

Г.О. Сіренко¹, І.В. Сулима¹, Л.М. Солтис¹, В.П. Свідерський²

Вплив природи та параметрів розподілу за розмірами частинок графітів на фізико-механічні властивості полімерних композитів на основі ароматичного поліаміду

¹Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна

²Хмельницький національний університет, вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29016, Україна

Приведені результати досліджень впливу природи та параметрів розподілу за розмірами частинок графітів на фізико-механічні властивості полімерних композитів на основі ароматичного поліаміду фенілон С-2. Розміри частинок наповнювача і полімеру за параметрами теоретичного гамма-розподілу (периметром, шириною і діаметром) мають різні значення. Знайдено вплив наповнювачів (природних графітів різних марок), які відрізнялися вмістом золи (5-15% і 0,05-2,5%), вологи і тонкістю мливу (дисперсністю) на зносостійкість зразків полімерного композиту. Між інтенсивністю зношування і параметрами розподілу частинок графітів є нелінійний зв'язок.

Ключові слова: полімерний композит, наповнювач, зольність, дисперсність, дискретний розподіл, ймовірнісний розподіл, зносостійкість, інтенсивність зношування.

Стаття поступила до редакції 10.08.2016; прийнята до друку 05.12.2016.

Вступ

Під час розробки технології та складу композиційних полімерних матеріалів, проектування та переробки їх у виробі, рекомендацій для певних умов експлуатації необхідно знати залежності фізико-механічних, фізико-хімічних, теплофізичних, трибологічних тощо властивостей композитів від природи, типу, форми і розподілу за розмірами частинок дисперсних та волоконних наповнювачів [7, 34, 35, 39, 41] та полімера – матриці. Результати досліджень впливу природи та розподілу частинок на фізико-механічні [34, 35, 38-41], трибологічні [11, 14, 16, 23, 33, 36], теплофізичні [9-11, 15-23, 29, 32, 36, 40, 44, 49, 53, 54, 56-58] властивості тощо зайвий раз підтверджують на необхідність вирішувати ці завдання дослідження та технології. Особливо розв'язання цих проблем важливо під час створення антифрикційних полімерних матеріалів на основі термостійких, термостійких та температуростійких полімерів [2, 8, 12, 27, 31, 45-47, 50, 52] та вуглецевих наповнювачів – дисперсних графітів та вуглецевих волокон [1, 30, 55].

Зв'язок антифрикційних та теплофізичних властивостей полімерних композитів у залежності від складу наповнювачів приводиться у [16, 36, 37], а антифрикційні властивості полімерних композитів на

основі термостійких полімерів, графіту та вуглецевих волокон під час тертя без або при обмеженому мащенні у [3-6].

Мета роботи полягає у вивченні залежності фізико-механічних (переважно трибологічних) властивостей полімерних композитів на основі термостійкого полімеру-матриці – ароматичного поліаміду від природи, типу та параметрів ймовірнісного розподілу частинок наповнювачів – графітів.

I. Матеріали та методи дослідження

1.1. Матеріали: полімерні композити на основі термостійкого ароматичного поліаміду (АПА) фенілон С-2 (продукти поліконденсації метафенілендіаміна і дихлорангідридів ізофталевої (60%) і терефталевої (40%) кислот, [2, 31, 50]), і зразки якого, мали наступні фізико-механічні, теплофізичні та фізико-хімічні властивості (у порівнянні з політетрафторетиленом (ПТФЕ) фторопласт-4 [12, 52] та поліімідом ПМ-69 [8] (табл. 1).

Наповнювачами АПА були природні графіти різних марок (табл. 2), які відрізнялися вмістом золи, вологи і тонкістю мливу (дисперсністю). Параметри дискретного розподілу приведені в табл. 2.

Table 1

The physical, mechanical, thermal physical and physical chemical properties of the PTFE, aromatic polyamid fenilon C-2 and polyimid PM-69 to room conditions obtained by compression and die casting methods [2, 3, 8, 12, 27, 31, 45-47, 50, 52]

Characteristic	PTFE fluoroplast-4	Aromatic polyamid fenilon C-2	Polyimid PM-69
Density, kg/m ³	2150–2220	1330	1370–1420
Substantiality (MPa):			
• during stretching	14–35	120	118–183
• during bending	14–18	200	210–229
• during pressing	10–12	220	210–220
Elongation at rupture, %	250–500	6,6	4-7
Modulus of elasticity (MPa):			
• during pressing	700–800	3000–3200	2060–2260
• during bending	470-850	–	2414-4415
Specific impact strength, (kJ/m ²):			
• without incision	> 100	35	110
Hardness HB, MPa	30–40	220	200–270
Vicat softening point, K	373–383	563	> 663
Temperature (K):			
• fragility	< 4	193	–
• glass transition	153	543	470–630
• melting	590	703	> 673
• beginning of chemical decomposition	> 688	>703	> 695
Coefficients:			
• linear thermal expansion, ($\times 10^{-5}$) K ⁻¹	25	3.2	2.3–5
• thermal conductivity, W/(m K)	0.24	0.25	0.30
• specific heat, kJ/(kg K)	1.05	1.34	1.12

Зразки полімерних композитів для дослідження діаметром 10 мм і висотою 15 мм були виготовлені за технологією [2, 31, 50] пресуванням порошку композиції з полімеру і графіту.

1.2. Методи дослідження.

Трибологічні властивості зразків полімерного композиту досліджували на машині тертя ХТІ- 72 [13] за двома схемами фрикційного контакту:

- схема 1 (режим сталих питомих навантажень): три зразки діаметром $10 \pm 0,5$ мм і висотою $15 \pm 0,5$ мм контактували з поверхнею сталі 45 термообробленою (НВ $4,5 \pm 0,18$ ГПа, $Ra_0 = 0,22 \pm 0,02$ мкм), при нормальному навантаженні на зразок $N_i = 235,5$ Н, питомому навантаженні $p = 3$ МПа, швидкості ковзання $v = 0,5$ м/с, за температури поверхні сталі 45 $T = 237 \pm 2$ К, шлях тертя 60 км.
- схема 2 (режим змінних граничних навантажень): три зразки діаметром $10 \pm 0,5$ мм і висотою $15 \pm 0,5$ мм з кінцівкою у вигляді напівсфери з радіусом 6,35 мм контактували сферами з поверхнею сталі 45 термообробленою (НВ= $4,5 \pm 0,2$ ГПа, $Ra=0,20 \pm 0,3$ мкм), при нормальному навантаженні на зразок $N_i = 100$ Н, швидкості ковзання $v = 0,3$ м/с, за температури поверхні сталі 45 $T = 323 \pm 1$ К. Шлях тертя першого етапу $S_1 = 0 \dots 4$ км (питоме навантаження змінювалося від $p_0 \approx HB^*$ (пружна твердість за Бринеллем) полімерного зразка до $p_1 \approx 30-40$ МПа) і другого етапу

$S_2 = 4-16$ км (питоме навантаження змінювалося від $p_1 \approx 30-40$ МПа до $p_2 \approx 20-25$ МПа). Шорсткість поверхні визначали за Ra за допомогою профілометра–профілографа ВЭН «Калибр» моделі 201.

II. Результати та їх обговорення

2.1. Ймовірнісний розподіл за розмірами частинок графітів.

Обробка результатів експериментальних даних за розподілом частинок графітів та полімеру АПА за [42, 43] показала, що вони підпорядковані теоретичному гамма-розподілу [43] за периметром, шириною і діаметром частинок графітів і полімеру АПА фенілон С-2 приведені в табл. 3.

У табл. 3 позначено [43]: λ , θ – параметри гамма-розподілу; As , Ex – показники асиметрії та ексцесу гамма-розподілу за розмірами відповідно; $M_2(x)$, $D_2(x)$ – математичне сподівання та дисперсія об'ємного (масового) гамма-розподілу за розмірами відповідно; $E_2(x)$, $\sigma_2(x)$ – математичне сподівання та дисперсія числового гамма – розподілу за розмірами відповідно.

2.2. Залежність фізико-механічних властивостей полімерних композитів на основі ароматичного поліаміду від параметрів розподілу за розмірами частинок графітів.

Table 2

Ash, moisture and discrete distribution parameters of graphite of Zavalye deposit* (Ukraine)

Graphite	Lot	Ash content, %	Moisture, %	Discrete distribution		
				grinding fineness		
				remains, μm (%)	fraction, μm	primary fraction, μm (%)
Crucible	GT-1	7.0	10	200(>75)	100-600	200(75)
Crucible	GT-2	8.5	10	200(>70)	100-600	200(70)
Elemental	GE-3	10.0	1	160(<10)	10-200	63(>45)
Elemental	GE-4	14.0	1	160(<10)	10-200	63(>45)
Crystalline casting	GL-1 (KLZ)	13.0	1	160(<40)	30-400	100(>50)
Electro-coaling	EUZ-M	0.5	0.2	71(<5)	10-80	45(75-90)
Electro-coaling	EUZ-E	5.0	0.2	160(<20)	30-400	65(60-90)
Special low-ash	GCM-1	0.1	0.2	200(>70)	100-600	200(>70)
Battery	GAK-1	0.5	1	160(<50)	30-400	63(50-90)
Battery	GAK-2	1.0	1	160(<50)	30-400	63(60-95)
Battery	GAK-3	2.0	1	160(<50)	30-400	63(60-95)
Pencil	GK-1	1.0	0.2	63(<0.5)	3-40	5-20
Pencil	GK-2	3.0	0.2	63(<1.0)	3-40	5-20
Pencil	GK-3	5.0	0.2	63(<1.0)	5-50	8-30
Colloidal dry	C-1	1.5	0.5	63(<0.5)	1-80	1-8
Colloidal dry	C-2	2.0	0.5	63(<0.5)	1-80	1-8
Colloidal dry	C-3	2.5	0.5	63(<0.5)	1-80	1-8

* according to the manufacturer

1. Фізико-механічні властивості полімерного композиту на основі ароматичних поліамідів сильно залежать від дисперсності, зольності і концентрації графітованих частинок дисперсної фази. Графіти із вмістом золи 5-15% відносяться до високозольних, а з вмістом 0,05-2,5% – до малозольних.

2. Зростання вмісту графіту від 5 до 10 % (за об'ємом) в композиті АПА приводить до нелінійного зменшення міцності під час розтягу, а в межах 10-25 % (за об'ємом) міцність, під час розтягу зменшується за лінійним законом. Із зростанням вмісту золи у високозольних графітах за однакової дисперсності міцність під час розтягу зразків полімерного композиту зростає, але роль першого чинника дещо більша, ніж дисперсності. Для малозольних графітів із зростанням вмісту золи від 0,1 до 1,5 % та із зменшенням розмірів частинок міцність під час розтягу зменшується. Міцність полімерних композитів наповнених малозольними графітами, в меншій мірі залежить від зміни їх зольності, а в більшій – від дисперсності частинок.

3. Така ж закономірність, але в більш строгому вигляді, спостерігається для питомої ударної в'язкості: із зростанням вмісту золи у високозольних графітах питома ударна в'язкість полімерних композитів зростає. Зменшення розмірів частинок для малозольних графітів приводить до зменшення питомої ударної в'язкості полімерних композитів. Перехід від полімеру-матриці з ударною в'язкістю 45 кДж/м^2 до полімеру з ударною в'язкістю 90 кДж/м^2 не змінює загальну закономірність зміни питомої ударної в'язкості полімерних композитів на

їх основі від концентрації графіту, при цьому зміщується тільки межа початку появи лінійного показника з 2,5-5 до 10 %. У високозольних графітів для міцності під час стиску зразків композиції спостерігається та ж закономірність, що і для параметру міцності під час розтягу. Для низькозольних графітів певної закономірності за дисперсністю чи зольністю не знайдено, що пов'язано із впливом інших поверхневих властивостей графітів. Лінійна залежність міцності під час стиску від концентрації графіту появляється з 5%-вого наповнення за об'ємом. Це можна пояснити тим, що з 5-10%-вого наповнення за об'ємом формується структура полімерного композиту, яка утворюється із появою лінійної залежності властивостей від вмісту дисперсної фази.

4. Відносне подовження під час розриву полімерних композитів змінюється із зростанням концентрації графітів аналогічно зміні показника міцності під час розтягу. Для таких показників, як міцності під час розтягу та стиску, відносне подовження під час розриву і питома ударна в'язкість, спостерігається загальна закономірність: під час переходу від малозольних до високозольних графітів показники полімерного композиту зростають.

5. Для модуля пружності під час стиску полімерних композитів спостерігається зворотна закономірність: під час переходу від високозольних до малозольних графітів показник зростає. Для малозольних графітів із зростанням розмірів частинок модуль пружності полімерних композитів знижується. Одночасно із зростанням дисперсності графітів зростає в цьому ряду і вміст золи. Полімерні ком-

Table 3

The parameters of possible gamma-distribution of size of graphite and aromatic polyamid fenilon C-2

Material	The parameters of gamma-distribution							
	a) perimeter, L							
	λ , μm^{-1}	θ	A_s	E_x	$M_2(x)$, μm	$D_2(x)$, μm^2	$E_2(x)$, μm	$\sigma_2(x)$, μm
graphite EUZ-M	0.0560	5.313	0.868	1.129	112.732	2013.07	94.875	41.16
graphite KLZ (GL-1)	0.0051	2.500	1.265	2.400	686.28	134563.63	490.196	310.03
graphite GE-4	0.0071	1.819	1.483	3.299	397.04	55921.44	256.197	189.96
graphite EUZ-E	0.0157	1.680	1.543	3.571	170.701	10872.65	107.006	82.56
fenilon C-2 (lot 313)	0.0910	2.200	1.348	2.727	351.648	38642.68	241.758	162.99
fenilon C-2 (lot 299)	0.0110	1.700	1.534	3.529	245.455	22314.05	154.545	118.53
b) effective diameter, D								
graphite EUZ-M	0.1560	4.650	0.927	1.290	36.218	232.17	29.808	13.82
graphite KLZ (GL-1)	0.0130	2.050	1.397	2.927	234.615	18047.34	157.692	110.14
graphite GE-4	0.0186	1.530	1.617	3.922	136.022	7312.98	82.258	66.50
graphite EUZ-E	0.0490	1.531	1.616	3.919	51.633	1054.14	31.245	25.25
fenilon C-2 (lot 313)	0.0315	2.460	1.275	2.439	109.841	3487.02	78.095	49.79
fenilon C-2 (lot 299)	0.0380	1.850	1.470	3.243	75.000	1973.68	48.684	35.79
c) thickness, d								
graphite EUZ-M	0.3380	4.750	0.918	1.263	17.012	50.33	14.053	6.45
graphite KLZ (GL-1)	0.0284	2.180	1.355	2.752	111.972	3942.67	76.761	51.99
graphite GE-4	0.0880	2.610	1.238	2.299	41.022	466.17	29.659	18.36
graphite EUZ-E	0.0810	1.311	1.747	4.577	28.531	352.23	16.185	14.14
fenilon C-2 (lot 313)	0.0942	2.830	1.189	2.120	40.658	431.62	30.042	17.86
fenilon C-2 (lot 299)	0.0810	1.800	1.490	3.330	34.568	426.76	22.222	16.56

позити, що містять графіти з однаковою зольністю, але різною дисперсністю, мають модулі пружності, які різко відрізняються. Така ж закономірність спостерігається і для питомої ударної в'язкості та міцності під час розриву зразків полімерних композитів під час порівняння графітів з близькою зольністю. Таким чином, для малозольних графітів дисперсність є основним чинником, що визначає властивості полімерного композиту. Для полімерних композитів з високозольними графітами на модуль пружності впливають обидва чинники (дисперсність і зольність), тому яскраво вираженої закономірності не спостерігається. Але під час порівняння графітів з близькою зольністю, із зростанням розміру частинок модулі пружностей зразків зростають. Для твердості зразків полімерних композитів спостерігається загальна закономірність: із зменшенням діаметру частинок графіту твердість композиту зростає. Змішування полімерних композитів з малозольними графітами у змішувачі з сильним диспергуючим ефектом (МРП-1, дисембратор, дезінтегратор) приводить до різкого зменшення міцності під час розтягу і стиску та відносного подовження під час

розриву із зростанням концентрації графіту до 10 % (за об'ємом). У цьому випадку зберігається загальна закономірність, яка властива малозольним графітам: із зростанням розміру частинок графіту міцність під час розтягу і стиску, а також відносне подовження під час розриву зразків композиту, зростають.

2.3. Залежність трибологічних властивостей полімерних композитів на основі ароматичного поліаміду від параметрів розподілу за розмірами частинок графітів.

1. Вплив зольності і дисперсності дисперсної фази на зносостійкість зразків полімерного композиту. Дослідження впливу зольності і дисперсності графітової дисперсної фази на фрикційну міцність АПА показали (рис. 1), що обидва чинники впливають приблизно однаково. Встановлені закономірності для міцності під час розтягу і стиску, питомої ударної в'язкості, відносного подовження під час розриву спостерігаються і для трибологічних властивостей, що виявлені в режимі граничних навантажень: із зменшенням зольності і дисперсності для малозольних графітів та із зростанням зольності і дисперсності високозольних графітів відносна зносо-

стійкість $(\frac{1}{I_K} / \frac{1}{I_{II}} = \frac{I_{II}}{I_K})$, де I_K, I_{II} – інтенсивність

зношування полімерного композиту та полімеру-матриці відповідно) зразків колоїдної системи на їх основі зростає. Мінімум фрикційної міцності спостерігається за 1,5-5% вмісту золи. За вибраним методом дослідження зносостійкість зразків полімерного композиту має міцний зв'язок з комплексом об'ємних механічних властивостей. Величини обох показників визначаються адгезійними взаємодіями на межі розділу частинок полімеру-матриці (дисперсійного середовища) і дисперсної фази, тобто поверхневими властивостями і дисперсністю дисперсної фази.

Таким чином, для створення оптимального полімерного композиту на основі АПА можливе введення двох типів графітових дисперсних фаз: високозольних низкодисперсних і малозольних високодисперсних (1:1). Кількість кожного типу графіту може бути не більше 1.

2. Перевірка цієї гіпотези (рис. 2) показала, що

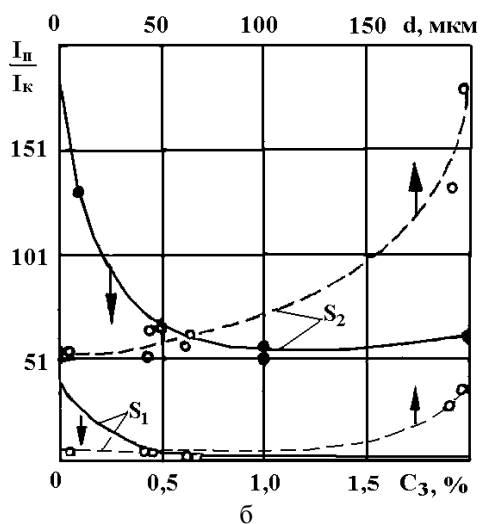
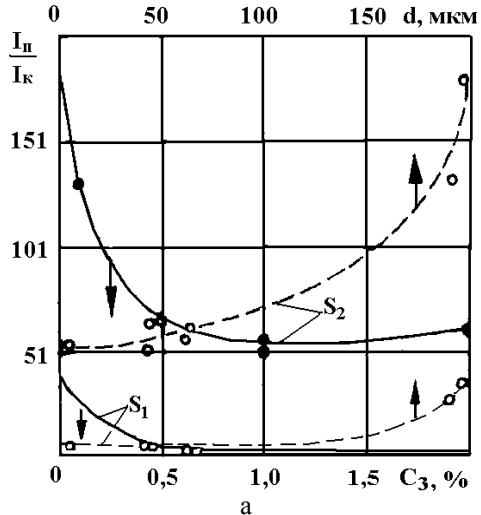


Fig. 1. The dependence on ash content and dispersion of low-ash (a) and high-ash (b) content graphite relative wear resistance of polymer composites based on aromatic polyamide fenilon C-2 and 14% graphite dispersed phase during tribological test samples of the system on steel 45 ({A}: S1 = 0 ... 4 km; S2 = 4 ... 16 km).

для сумішей графітів спостерігається синергетичний ефект зростання зносостійкості зразків полімерних композитів: зносостійкість під час введення сумішей графітів відрізняється від обчисленої за правилом адитивності у 2-5 (перша ділянка зношування) і у 2-14 (друга ділянка зношування) разів.

3. Дослідження залежності зносостійкості зразків полімерних композитів на основі АПА від об'ємного вмісту малозольних графітів показали, що для другої ділянки зношування (рис. 3 б) існує сильна залежність величини оптимального вмісту від природи, дисперсності графіту і технології змішування полімерного композиту: для графіту ГСМ-1 оптимальний вміст дорівнює 9% (за об'ємом), для ЕУЗ-М – 13 об.%, для С-1 – 17 об.%

Для першої ділянки зношування (рис. 3 а) тип графіту і дисперсність у меншій мірі впливають на оптимальний вміст: для графіту ГСМ-1 оптимальний вміст дорівнює 12,5 об.%, для ЕУЗ-М – 14,5 об.%, для С-1 – 16,5 об.%

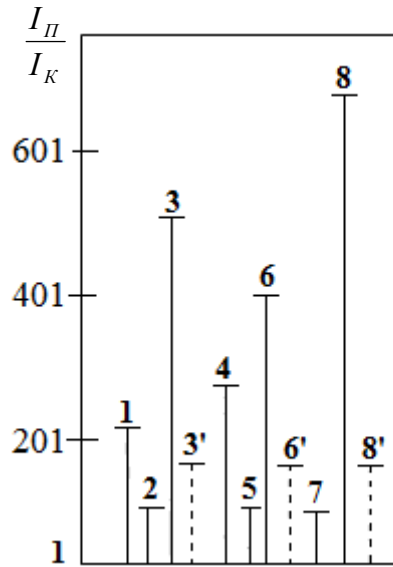


Fig. 2. The synergistic effect increase durability of APA with 12% mix of graphite: 1 - GT-2 [$C_3 = 8,5\%$; $d = 200$ micron (70%); $\Delta d = 100...600$ micron]; 2 - C-1 [$C_3 = 1,5\%$; $d = 4$ micron; $\Delta d = 1...70$ micron]; 3 – the mixture of GT-2 and C-1 at a ratio of 7:5; 4 – GE-4 [$C_3 = 14\%$; $d = 63$ micron (45%); $\Delta d = 10...200$ micron]; 5 – EUZ-M [$C_3 = 0,5\%$; $d = 45$ micron (80%); $\Delta d = 10...80$ micron]; 6 – the mixture of GE-4 and EUZ-M at a ratio of 7:5; 7 – GK-1 [$C_3 = 1\%$; $d = 16$ micron (80%); $\Delta d = 3...40$ micron]; 8 – the mixture of GE-4, GT-2, GK-1 at a ratio of 6:3,5:2,5 (solid lines). The rest – discontinuous lines (3',6',8') – the value of wear resistance obtained by the additivity rule; see test conditions. Fig. 1, S₂ = 4 ... 16 km).

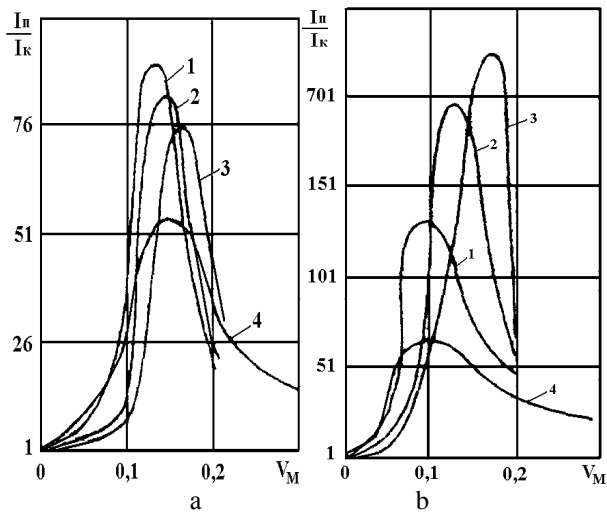


Fig. 3. The dependence on volume fraction of low-ash content graphite relative wear resistance of polymeric composite samples based on aromatic polyamide fenilon C-2: 1 – GSM-1; 2 – EUZ-M; 3 – C-1; 4 – EUZ-M after further processing mill in composition with strong dispersing effect; a – $S_1 = 0 \dots 4$ km; b – $S_2 = 4 \dots 16$ km.

Таким чином, зростання вмісту золи за одночасного зростання вихідної дисперсності зміщує оптимальний вміст у ділянку малих значень вмісту дисперсної фази. Тоді як для одного і того ж графіту зростання дисперсності у процесі змішування з порошком полімеру зміщує і одночасно зсувує ділянку оптимального вмісту в бік більшого вмісту дисперсної фази.

2.4. Кореляційний та регресійний аналізи.

1. На основі отриманих результатів з метою прогнозування ділянки застосування і експлуатаційних властивостей полімерних композитів за [24-26, 28, 48, 51] шукали лінійний кореляційний зв'язок між відносною зносостійкістю ($y = I_{\Pi}/I_K$) на першому (S_1) і на другому (S_2) етапах тертя та параметрами θ і λ гамма-розподілу периметру (як найбільш інформативного параметру) частинок графітів у полімерних композитах.

2. У табл. 4 зведені результати розрахунків: вибірових коефіцієнтів кореляцій r_{pi} , критичного значення коефіцієнта кореляції $r_{кр.} \{ \alpha = 0,05; f = N-2 = 2 \} = 0,950$, ступенів лінійності $\xi_2(r)$ та нелінійності $\xi_1(r)$; z_{p1} – перетворення Фішера, добутку ($z_{табл.} \cdot \sigma_z$) = $[z_{табл.} \{ p = 1 - \frac{\alpha}{2} = 0,975 \} = 1,96] \cdot 1,0 = 1,96$, ступенів

лінійності $\xi_2(z)$ та нелінійності $\xi_1(z)$ для зв'язків $I_{\Pi}/I_K \sim \theta_j, \lambda_j, E_2(x)_j; \sigma_{j2}(x)$, де $j = 1, 2$ етапів випробувань для периметрів, ефективних діаметрів та ширини частинок графітів.

3. Як видно з табл. 4, $r_{кр.} > |r_{розр.}|$, то нульова гіпотеза H_0 (рівності нулю генерального коефіцієнта кореляції) не відкидається з $r = 0,95$ та $\alpha = 0,05$, тобто немає підстав вважати, що між I_{Π}/I_K і $\theta_i, \lambda_i, E_2(x)_i; \sigma_2(x)_i$ (де $i=1-8$) для периметрів частинок графітів є лінійний зв'язок, при цьому ступінь нелінійності складає:

- $\xi_1(r) = 1,3618-1,9631$ та $\xi_1(z) = 2,2722-3,7107$ із залишками ступеня лінійності в нелінійному зв'язку $\xi_2(r) = 0,5094-0,7343$ та $\xi_2(z) = 0,2695-0,4401$ на першому етапі випробувань;

- $\xi_1(r) = 1,0041-1,3116$ та $\xi_1(z) = 1,0931-2,1381$ із залишками ступеня лінійності в нелінійному зв'язку $\xi_2(r) = 0,7624-0,9959$ та $\xi_2(z) = 0,4677-0,9148$ на другому етапі випробувань.

Шукали нелінійний зв'язок між I_{Π}/I_K і $\theta_i, \lambda_i, E_2(x)_i; \sigma_2(x)_i$ для $i = 1-8$ у формі:

$$y = b_0 \ln(x) + b_1; \tag{1}$$

$$y = b_0 \cdot x^{b_1}; \tag{2}$$

$$y = b_0 \cdot \hat{a}^{b_1 \cdot x}; \tag{3}$$

$$y = b_0 + b_1 x + b_{11} x^2; \tag{4}$$

$$y = b_0 + b_1 x + b_{11} x^2 + b_{111} x^3, \tag{5}$$

де $y = I_{\Pi}/I_K$ – відношення інтенсивності об'ємного зносу полімеру I_{Π} до цього ж показника полімерного композиту (відносна зносостійкість полімерного композиту);

$x = \theta_i, \lambda_i$, – параметри гамма-розподілу;

$x = E_2(x)_i; \sigma_2(x)_i$ – математичне сподівання і середнє квадратичне відхилення відповідно.

4. Для першого етапу тертя $S_1 = 0 \dots 4$ км для виду зв'язку $I_{\Pi}/I_K \sim \theta_i R^2$ змінюється в межах 0,16-1,0; для зв'язку $I_{\Pi}/I_K \sim \lambda_i R^2$ змінюється в межах 0,50 – 1,0; для зв'язку $I_{\Pi}/I_K \sim E_2(x)_i R^2$ змінюється в межах 0,57-1,0; для зв'язку $I_{\Pi}/I_K \sim \sigma_2(x)_i R^2$ змінюється в межах 0,60-1,0. Для другого етапу тертя $S_2 = 4 \dots 16$ км для виду зв'язку $I_{\Pi}/I_K \sim \theta_i R^2$ змінюється в межах 0,55-1,0; для зв'язку $I_{\Pi}/I_K \sim \lambda_i R^2$ змінюється в межах 0,88-1,0; для зв'язку $I_{\Pi}/I_K \sim E_2(x)_i R^2$ змінюється в межах 0,44-1,0; для зв'язку $I_{\Pi}/I_K \sim \sigma_2(x)_i R^2$ змінюється в межах 0,60-1,0. Самий тісний зв'язок існує між вказаними видами рівнянь, коли $R^2 \approx 1$. Рівняння (4) і (5) найбільше відповідають такій вимозі (табл. 5).

5. На рис. 4 показано залежність відносної зносостійкості I_{Π}/I_K від параметрів розподілу периметру частинок графіту $\theta_i, \lambda_i, E_2(x)_i; \sigma_2(x)_i$ для першого S_1 і другого S_2 етапів тертя. Як видно з рис. 4 а, відносна зносостійкість зразків полімерного композиту на першому етапі тертя (крива 1) незначно змінюється зі зміною θ , на другому етапі тертя (крива 2) відносна зносостійкість полімерного композиту зростає, проходячи через максимум ($\theta = 3-4$) і тоді різко зменшується.

Як видно з рис. 4 б, із зростанням λ відносна зносостійкість зразків полімерного композиту зменшується на обох етапах тертя (криві 1, 2). Аналіз рис. 4 в і 4 г приводить до висновків, що відносна зносостійкість зразків полімерного композиту на першому етапі тертя (крива 1) із зростанням $E_2(x)_i; \sigma_2(x)_i$ майже не змінюється, а на другому етапі (крива 2) відносна зносостійкість полімерного композиту зростає.

6. Шукали також лінійний кореляційний зв'язок між відносною зносостійкістю (I_{Π}/I_K) на першому (S_1) і на другому (S_2) етапах тертя та ефективним діаметром (D) частинок графітів у полімерному композиті.

Table 4

Results of correlation analysis of the relative durability of composite polymer samples based on APA fenilon C-2 and the parameters of gamma-distribution of size particle of the dispersed phase (graphite)

I. The perimeter of graphite particles								
Correlation	r_{Pi}	$r_{кр.}$	$\xi_2(r)$	$\xi_1(r)$	$ z_{Pi} $	$(z_{tabl.} \cdot \sigma_z)$	$\xi_2(z)$	$\xi_1(z)$
a) the first stage of testing ($S_1 = 0...4$ km)								
$I_{П}/I_K \sim \theta$	-0.48396	0.950	0.5094	1.9631	-0.5282	1.96	0.2695	3.7107
$I_{П}/I_K \sim \lambda$	-0.66192	0.950	0.6968	1.4351	-0.7962	1.96	0.4062	2.4617
$I_{П}/I_K \sim E_2(x)$	0.61259	0.950	0.6448	1.5509	0.7131	1.96	0.3638	2.7486
$I_{П}/I_K \sim \sigma_2(x)$	0.69757	0.950	0.7343	1.3618	0.8626	1.96	0.4401	2.2722
b) the second stage of testing ($S_1 = 4...16$ km)								
$I_{П}/I_K \sim \theta$	-0.72432	0.950	0.7624	1.3116	-0.9167	1.96	0.4677	2.1381
$I_{П}/I_K \sim \lambda$	-0.92899	0.950	0.9779	1.0226	-1.6510	1.96	0.8423	1.1872
$I_{П}/I_K \sim E_2(x)$	0.88111	0.950	0.9275	1.0782	1.3807	1.96	0.7044	1.4196
$I_{П}/I_K \sim \sigma_2(x)$	0.94608	0.950	0.9959	1.0041	1.7930	1.96	0.9148	1.0931
II. The effective diameter of graphite particle								
Correlation	r_{Pi}	$r_{кр.}$	$\xi_2(r)$	$\xi_1(r)$	$ z_{Pi} $	$(z_{tabl.} \cdot \sigma_z)$	$\xi_2(z)$	$\xi_1(z)$
a) the first stage of testing ($S_1 = 0...4$ km)								
$I_{П}/I_K \sim \theta$	-0.5204	0.950	0.5478	1.8255	-0.5769	1.96	0.2943	3.3975
$I_{П}/I_K \sim \lambda$	-0.6911	0.950	0.7275	1.3746	-0.8501	1.96	0.4337	2.3056
$I_{П}/I_K \sim E_2(x)$	0.6194	0.950	0.6520	1.5337	0.7240	1.96	0.3694	2.7072
$I_{П}/I_K \sim \sigma_2(x)$	0.7021	0.950	0.7391	1.3530	0.8714	1.96	0.4446	2.2493
b) the second stage of testing ($S_1 = 4...16$ km)								
$I_{П}/I_K \sim \theta$	-0.7620	0.950	0.8021	1.2467	-1.1045	1.96	0.5635	1.7746
$I_{П}/I_K \sim \lambda$	0.9430	0.950	0.9926	1.0075	-2.7979	1.96	1.4276	0.7005
$I_{П}/I_K \sim E_2(x)$	0.8767	0.950	0.9228	1.0837	1.6076	1.96	0.8202	1.2192
$I_{П}/I_K \sim \sigma_2(x)$	0.9365	0.950	0.8033	1.2449	1.1078	1.96	0.5652	1.7692
III. The thickness of the graphite particles								
Correlation	r_{Pi}	$r_{кр.}$	$\xi_2(r)$	$\xi_1(r)$	$ z_{Pi} $	$(z_{tabl.} \cdot \sigma_z)$	$\xi_2(z)$	$\xi_1(z)$
a) the first stage of testing ($S_1 = 0...4$ km)								
$I_{П}/I_K \sim \theta$	-0.1916	0.950	0.2017	4.9579	-0.1940	1.96	0.0990	10.1031
$I_{П}/I_K \sim \lambda$	-0.5256	0.950	0.5533	1.8073	-0.5840	1.96	0.2980	3.3562
$I_{П}/I_K \sim E_2(x)$	0.4680	0.950	0.4926	2.0300	0.5075	1.96	0.2589	3.8621
$I_{П}/I_K \sim \sigma_2(x)$	0.4233	0.950	0.4456	2.2442	0.4517	1.96	0.2305	4.3392
b) the second stage of testing ($S_1 = 4...16$ km)								
$I_{П}/I_K \sim \theta$	-0.6377	0.950	0.6713	1.4896	-0.7543	1.96	0.3849	2.5984
$I_{П}/I_K \sim \lambda$	-0.9039	0.950	0.951	1.0515	-1.4931	1.96	0.7618	1.3127
$I_{П}/I_K \sim E_2(x)$	0.8214	0.950	0.8646	1.1566	1.1611	1.96	0.5924	1.6881
$I_{П}/I_K \sim \sigma_2(x)$	0.8436	0.950	0.8880	1.1261	1.2335	1.96	0.6293	1.5890

Table 5

Results of correlation analysis for polynomial models of the third degree

Form of binding	Equation	R^2
$S_1 = 0-4$ км		
$I_{П}/I_K \sim \theta$	$I_{П}/I_K = 62,459\theta^3 - 598,78\theta^2 - 1690,4\theta - 1443,5$	1
$I_{П}/I_K \sim \lambda$	$I_{П}/I_K = 2 \cdot 10^7\theta^3 - 10^7\theta^2 - 17414\theta - 44,686$	1
$I_{П}/I_K \sim E_2(x)$	$I_{П}/I_K = -4 \cdot 10^{-6}\theta^3 + 0,0027\theta^2 - 0,4317\theta - 22,275$	1
$I_{П}/I_K \sim \sigma_2(x)$	$I_{П}/I_K = -1 \cdot 10^{-5}\theta^3 + 0,0047\theta^2 - 0,4619\theta - 1443,5$	1
$S_2 = 4-16$ км		
$I_{П}/I_K \sim \theta$	$I_{П}/I_K = 196,52\theta^3 - 1890,7\theta^2 - 5349,6\theta - 4456,9$	1
$I_{П}/I_K \sim \lambda$	$I_{П}/I_K = 5 \cdot 10^7\theta^3 - 4 \cdot 10^6\theta^2 - 52983\theta - 13,194$	1
$I_{П}/I_K \sim E_2(x)$	$I_{П}/I_K = 6 \cdot 10^{-5}\theta^3 - 0,0542\theta^2 + 13,763\theta - 801,15$	1
$I_{П}/I_K \sim \sigma_2(x)$	$I_{П}/I_K = -1 \cdot 10^{-6}\theta^3 - 0,005\theta^2 + 1,9805\theta - 4,1166$	1

У даному випадку також $r_{кр.} > |r_{розр.}|$, то нульова гіпотеза H_0 (рівності нулю генерального коефіцієнта кореляції) не відкидається з $p = 0,95$, тобто немає

підстав вважати, що між $I_{П}/I_K$ і θ , λ , $E_2(x)$; $\sigma_2(x)$ (де $i=1-8$) є лінійний зв'язок, при цьому ступінь нелінійності складає:

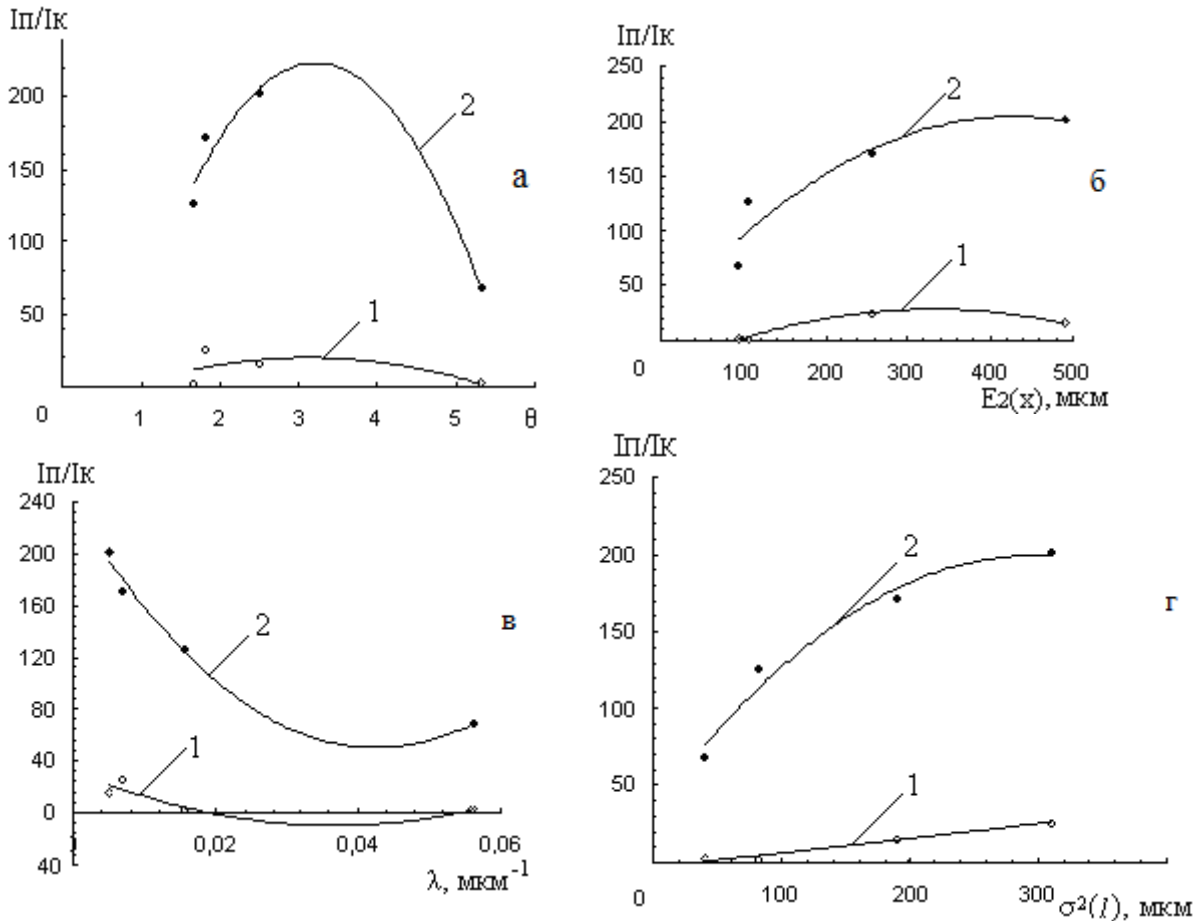


Fig. 4. The dependence on the parameters of the distribution of graphite particles θ_i , λ_i , $E_2(x)_i$; $\sigma_2(x)_i$; relative wear resistance ($I_{п}/I_{к}$) of polymer composite samples based on the aromatic polyamide fenilon C-2 for the first $S_1 = 0 \dots 4$ km (curve 1) and the second $S_2 = 4 \dots 16$ km (curve 2) phase friction.

- $\xi_1(r) = 1,3530 - 1,8255$ та $\xi_1(\dot{Z}) = 2,2493 - 3,3975$ із залишками ступеня лінійності в нелінійному зв'язку $\xi_2(r) = 0,5478 - 0,7391$ та $\xi_2(\dot{Z}) = 0,2943 - 0,4446$ на першому етапі випробувань;

- $\xi_1(r) = 1,0075 - 1,2467$ та $\xi_1(\dot{Z}) = 0,7005 - 1,7746$ із залишками ступеня лінійності в нелінійному зв'язку $\xi_2(r) = 0,8021 - 0,9926$ та $\xi_2(\dot{Z}) = 0,5635 - 1,4276$ на другому етапі випробувань.

Шукали лінійний кореляційний зв'язок між відносною зносостійкістю ($I_{п}/I_{к}$) на першому (S_1) і на другому (S_2) етапах тертя і шириною (d) частинок графітів у полімерному композиті. Так як $|z_{\text{пор.}}| < (z_{\text{табл.}} \cdot \sigma_z)$, то приймаємо гіпотезу про те, що немає лінійного зв'язку між інтенсивністю зношування і шириною частинок графітів, що повністю відповідає першому методу дослідження лінійного зв'язку, при цьому ступінь нелінійності складає:

- $\xi_1(r) = 1,8073 - 4,9579$ та $\xi_1(\dot{Z}) = 3,3562 - 10,1031$ із залишками ступеня лінійності в нелінійному зв'язку $\xi_2(r) = 0,2017 - 0,5533$ та $\xi_2(\dot{Z}) = 0,0990 - 0,2980$ на першому етапі випробувань;

- $\xi_1(r) = 1,0515 - 1,4896$ та $\xi_1(\dot{Z}) = 1,3127 - 2,5984$ із залишками ступеня лінійності в нелінійному зв'язку $\xi_2(r) = 0,6713 - 0,9510$ та $\xi_2(\dot{Z}) = 0,3849 - 0,7618$ на другому етапі випробувань.

Висновки

1. Частинки графітів за периметром мають близькі значення з частинками ароматичного поліаміду, розподіл частинок якого залежить від технологічної партії синтезу фенілону С-2.

2. Частинки графітів і ароматичного поліаміду за ефективним діаметром приблизно мають однакові середні значення, що визначає композиційність цих матеріалів.

3. Ароматичний поліамід будь-якої партії та всі графіти мають малі розміри за шириною.

4. Встановлено за результатами кореляційного аналізу, що між інтенсивністю зношування і параметрами гамма-розподілу за розмірами частинок графітів немає лінійного зв'язку.

Сіренко Г.О. – заслужений діяч науки і техніки України, академік АТНУ, професор, доктор технічних наук, професор кафедри неорганічної та фізичної хімії;

Сулима І.В. – магістр, аспірант кафедри неорганічної та фізичної хімії;

Солтис Л.М. – член-кореспондент АТНУ, кандидат хімічних наук, викладач кафедри неорганічної та фізичної хімії;

Свідерський В.П. – кандидат технічних наук, доцент кафедри зносостійкості та надійності маши.

- [1] M.A. Avdeenko, V.D. Belogorskiy, G.N. Bagrov i dr., *Konstrukcionnye materialy i izdelija na osnove ugleroda* (Metallurgija, Moskva, 1970).
- [2] G.A. Sirenko, V.P. Sviderskiy, V.D. Gerasimov, V.Z. Nikonov, *Antifrikcionnye termostojkie polimery* (Tehnika, Kiïv, 1978).
- [3] G.O. Sirenko, L.V. Bazjuk, O.V. Kuzyshyn, V.P. Sviders'kyj, *Fizyka i himija tverdogo tila* 11 (1), 224 (2010).
- [4] L.V. Bazjuk, *Naukovi doslidzhennja – teorija ta eksperyment '2008: Materialy chetvertoi' mizhnarodnoi' naukovo-praktychnoi' konferencii'*, 9 tom (InterGrafika, Poltava, 2008), s. 84.
- [5] L.V. Bazjuk, V.P. Sviders'kyj, *Visnyk Prykarp. nac. un-tu. im. V. Stefanyka. Ser. Himija*, (V), 47 (2008).
- [6] L.V. Bazjuk, L.Ja. Midak, *Tezy dopov. XI Ukrai'ns'koi' konferencii' z vysokomolekuljarnyh spoluk: (Instytut himii' vysokomolekuljarnyh spoluk, Dnipropetrovs'k, 2007)*, s. 74.
- [7] L.V. Bazjuk, L.Ja. Midak, *Tezy dopov. VI Vidkrytoi' ukrai'ns'koi' konferencii' molodyh vchenyh z vysokomolekuljarnyh spoluk «VMS-2008» (Instytut VMS NAN Ukrai'ny, Kyi'v, 2008)*, s. 74.
- [8] М.И. Бессонов, М.М. Котон, В.В. Кудрявцев, Л.А. Лайус, *Полиимиды – новый класс термостойких полимеров* (Наука, Ленинград, 1983).
- [9] M.Ju. Voloshhuk, L.V. Bazjuk, *Tezy dopov. IH Vseukrai'ns'koi' konferencii' «Suchasni problemy himii'» (Kyi'vs'kyj nacional'nyj un-t imeni T. G. Shevchenka, Kyi'v, 2008)*, s. 196.
- [10] G.O. Sirenko, L.V. Bazjuk, V.P. Sviders'kyj, S.M. Taranenko, *Polimernyj zhurnal*, 28 (3), 214 (2006).
- [11] G.O. Sirenko, L.V. Bazjuk, O.V. Kuzyshyn, V.P. Sviders'kyj, *Materialy V Mizhnarodnoi' naukovo-tehnichnoi' WEB-konferencii' «Kompozycijni materialy» (NTUU «KPI», Kyi'v, 2010)*, s. 91.
- [12] A.V. Gorjainova, G.K. Bozhkov, M.S. Tihonova, *Ftoreplasty v mashinostroenii* (Mashinostroenie, Moskva, 1971).
- [13] R.V. Grinevich, V.V. Casjuk, A.S. Smirnov, *Specializirovannye mashiny trenija: Primenenie sinteticheskikh materialov* (Kartja Moldovenjaskje, Kishinev, 1975).
- [14] G.O. Cirenko, L.V. Bazjuk, O.V. Kuzyshyn, V.P. Sviders'kyj, *Naukovi doslidzhennja – teorija ta eksperyment'2010: Materialy shostoi' mizhnarodnoi' naukovo-praktychnoi' konferencii'*, 5 tom (InterGrafika, Poltava, 2010), s. 84.
- [15] G.O. Sirenko, L.V. Bazjuk, V.P. Sviders'kyj, S.M. Taranenko, *Fizyka i himija tverdogo tila*, 6 (3), 486 (2005).
- [16] G.O. Sirenko, L.V. Bazjuk, V.P. Sviders'kyj, L.Ja. Midak, *Fizyka i himija tverdogo tila*, 7 (2), 357 (2006).
- [17] L.V. Karavanovych, V.P. Sviders'kyj, *Tezy dopovid. X Ukrai'ns'koi' konferencii' z vysokomolekuljarnyh spoluk (Instytut himii' VMS, Kyi'v, 2004)*, s. 207.
- [18] L.V. Karavanovych, *Tezy dopov. V Regional'noi' konferencii' molodyh vchenyh ta studentiv z aktual'nyh pytan' himii' (Dnipropetrovs'kyj nacional'nyj un-t, Dnipropetrovs'k, 2003)*, s. 77.
- [19] L.V. Karavanovych, *Tezy dopov. V Ukrai'ns'koi' konferencii' molodyh vchenyh z vysokomolekuljarnyh spoluk (NANU, Kyi'v, 2003)*, s. 127.
- [20] L.V. Karavanovych, *Tezy dopov. IV Vseukrai'ns'koi' naukovo'i konferencii' studentiv ta aspirantiv «Suchasni problemy himii'» (Kyi'vs'kyj nacional'nyj un-t imeni T. G. Shevchenka, Kyi'v, 2003)*, s. 26.
- [21] L.V. Karavanovych, *Tezy dopov. Zvitnoi' naukovo'i konferencii' vykladachiv, aspirantiv kafedr ta studentiv Prykarpats'kogo un-tu imeni Vasylja Stefanyka za 2002r. (Prykarpats'kyj un-t imeni Vasylja Stefanyka, Ivano-Frankivs'k, 2003)*, s. 37.
- [22] L.V. Karavanovych, *Visnyk Prykarp. un-tu. Ser. Himija*, (4), 67 (2004).
- [23] L.V. Karavanovych, S.M. Taranenko, *Tezy dopov. I Mizhnarodnoi' naukovo-tehnichnoi' konferencii' studentiv i aspirantiv «Himija i suchasni tehnologii'» (Ukrai'ns'kyj derzhavnyj himiko-tehnologichnyj un-t, Dnipropetrovs'k, 2003)*, s. 110.
- [24] G.O. Cirenko, L.Ja. Midak, O.G. Sirenko, O.V. Kuzyshyn, L.V. Bazjuk, *Naukovi doslidzhennja – teorija ta eksperyment'2010: Materialy shostoi' mizhnarodnoi' naukovo-praktychnoi' konferencii'*, 5 tom (InterGrafika, Poltava, 2010), s. 21.
- [25] P. Mjuller, P. Nojman, R. Shtorm, *Tablicy po matematicheskoj statistike (Finansy i statistika, Moskva, 1982)*.
- [26] V.V. Nalimov, N.A. Chernova, *Statisticheskie metody planirovanija jeksperimental'nyh jeksperimentov* (Nauka, Moskva, 1965).
- [27] Ju.A. Panshin, S.G. Malkevich, C.S. Dunaevskaja, *Ftoreplasty (Himija, Leningrad, 1978)*.
- [28] K. Hartman, Je. Leckij, V. Sheffer i dr., *Planirovanie jeksperimenta v issledovanii tehnologicheskikh processov* (Mir, Moskva, 1977).
- [29] V.P. Sviders'kyj, L.V. Karavanovych, *Visnyk Prykarp. un-tu. Ser. Himija*, (2), 70 (2002).
- [30] V.P. Soseda, *Svoystva konstruktivnyh materialov na osnove ugleroda: Spravochnik (Metallurgija, Moskva, 1975)*.
- [31] G.A. Sirenko, *Antifrikcionnye karboplastiki (Tehnika, Kiïv, 1985)*.
- [32] G.O. Sirenko, O.S. Drobot, V.P. Sviderskiy, *Kompozycijni polimerni materialy*, 22 (1), 43 (2000).
- [33] G.O. Sirenko, L.V. Bazjuk, *Fizyka i himija tverdogo tila*, 8 (2), 397 (2007).
- [34] G.O. Sirenko, L.V. Bazjuk, *Matematychni metody v himii' i biologii'*, 1 (1), 165 (2013).

- [35] G.O. Sirenko, L.V. Bazjuk, O.V. Shyjchuk, Visnyk Prykarpats'kogo nacional'nogo universytetu imeni Vasylja Stefanyka. Serija Himija, 6 (3), 36 (2008).
- [36] G.O. Sirenko, V.P. Sviders'kyj, L.V. Karavanovych, Tezy dopov. Mizhnarodnoi' naukovo-tehnichnoi' konferencii' «Znosostijkist' i nadijnist' vuzliv tertja mashyn (ZNM-2003)» (Tehnologichnyj un-t Podillja, Hmel'nyckyj, 2003), s. 27.
- [37] G.O. Sirenko, L.V. Bazjuk, L.Ja. Midak, Voprosy hymyy u hymycheskoj tehnologyy (3), 107 (2006).
- [38] G.O. Sirenko, L.V. Bazjuk, Naukovi doslidzhennja – teorija ta eksperyment '2008: Materialy chetvertoi' mizhnarodnoi' naukovo-praktychnoi' konferencii', tom 7 (InterGrafika, Poltava, 2008), s. 99.
- [39] G.O. Sirenko, L.V. Bazjuk, O.V. Shyjchuk, Fyzyka i himija tverdogo tila, 8 (3), 601 (2007).
- [40] G.O. Sirenko, V.P. Sviders'kyj, L.V. Karavanovych, Fyzyka i himija tverdogo tila, 5 (3), 557 (2004).
- [41] G.O. Sirenko, L.V. Bazjuk, Fyzyka i himija tverdogo tila, 9 (4), 541 (2008).
- [42] G.O. Sirenko, O.V. Shyjchuk, Kompozycijni polimerni materialy, 25 (1), 49 (2001).
- [43] G. O. Sirenko, L. M. Soltys, Visnyk Prykarp. nac. un-tu im. V.Stefanyka. Serija Himija, (XX), 52 (2016).
- [44] G.O. Sirenko, V.P. Sviders'kyj, L.V. Bazjuk, Polimernyj zhurnal, 27 (4), 272 (2005).
- [45] S.V. Shuckogo, A.V. Golubeva, K.N. Vlasova i dr., Spravochnik po plasticheskim massam (Himija, Moskva, 1967).
- [46] V.M. Kataeva, V.A. Popova, B.I. Sazhina, Spravochnik po plasticheskim massam. V 2-h t. (Himija, Moskva, 1975).
- [47] M.I. Garbara, M.S. Akutina, N.M. Egorova, V.M. Kataeva, Spravochnik po plasticheskim massam. U 2-h tomah (Himija, Moskva, T.1, 1967; T.2, 1969).
- [48] M.N. Stepnov, Statisticheskaja obrabotka rezul'tatov mehanicheskikh ispytanij (Mashinostroenie, Moskva, 1972).
- [49] G.A. Sirenko, V.P. Sviders'kyj, V.F. Vel'boj, L.M. Kirichenko, Kompozicionnye polimernye materialy, 14, 43 (1992).
- [50] L.B. Sokolov, V.D. Gerasimov, V.M. Savinov, V.K. Beljakov, Termostojkie aromatische poliamidy (Himija, Moskva, 1975).
- [51] V.B. Tihomironov, Planirovanie i analiz jeksperimenta (Legkaja industrija, Moskva, 1974).
- [52] D. Chegodaev, Z.K. Naumova, C.S. Dunaevskaja, Ftoroplasty (Goshimizdat, Leningrad, 1960).
- [53] N.I. Chepel', A.V. Chigarev, Ju.V. Chigarev, Vesti AN BSSR. Ser. fiz.-energ. n., (3) 109 (1991).
- [54] L.N. Cherkasova, Zhurnal fizicheskoi himii, 33 (9), 63 (1959).
- [55] S.V. Shulepov, Fizika uglegrafitovyh materialov (Metallurgija, Moskva, 1972).
- [56] H. Sirenko, L. Baziuk, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (8(65)), 52 (2013).
- [57] Yong-Ji Song, Shuang-He Meng, Fu-Dong Wang, Cai-Xia Sun, Zhi-Cheng Tan, Thermochim. acta, 389 (1-2), 19 (2002).
- [58] H.O. Sirenko, L.V. Baziuk, V.P. Sviderskiy, B.O.Talankin, Cb. nauchn. tr. Mezhdunar. nauchn. - prakt. konf. "Aktual'nye problemy inzhenernyh nauk v oblasti promyshlennosti, jekologii i ohrany vodnyh resursov» (PGUAS, Penza, 2012), s. 47.

H.O. Sirenko¹, I.V. Sulyma¹, L.M. Soltys¹, V.P. Svidersky²

The Effect of Nature and Parameters of Particle Size Distribution of Graphite on Physical and Mechanical Properties of Polymer Composites based on Aromatic Polyamide

¹Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine

²Khmelnytsky National University, 11, Instytutaska Str., Khmelnytsky, 29016, Ukraine

The results of studies of the effect of nature and parameters of particle size distribution of graphite on physical and mechanical properties of polymer composites based on aromatic polyamide fenilon C-2. The particle size of the filler and polymer for the theoretical gamma-distribution parameters (perimeter, thickness and diameter) have different values. Found the influence of fillers (natural graphite different bands), which differed ash content (5-15% and 0,05-2,5%), moisture and grinding fineness (dispersion) on the wear resistance of the samples of the polymer composite. There is non-linear connection between the intensity and parameters graphite particles distribution.

Key words: polymer composite, filler, ash, fineness, discrete distribution, possible distribution, wear-resistance, wear rate.