

Т.М. Шевчук, М.А. Бордюк

Фрактальність та параметр Грюнайзена полімерних систем з від'ємним коефіцієнтом Пуассона

*Рівненський державний гуманітарний університет, вул. Остафова 31, м. Рівне, 33000, Україна,
e-mail: bordiuk57@ukr.net*

Для металонаповнених поліуретанових композицій з від'ємним коефіцієнтом Пуассона визначено фрактальні розмірності структуроутворень та параметр Грюнайзена. Моделюються структуроутворення в таких системах та процеси поширення ультразвукових хвиль. На основі кластерної моделі полімерів визначені мікропараметри елементів структури, зокрема: об'єм та розміри кластерів, фрактальні розмірності ступеня збудження розпушеної матриці та мікропорожнин об'єму, гнучкість макромолекул. У рамках фрактального підходу з'ясовані можливості утворення дефектів в полімерній матриці та визначені розміри межових шарів композицій.

Ключові слова: полімерні системи, фрактальні розмірності, коефіцієнт Пуассона, параметр Грюнайзена, кластерна модель, гнучкість макромолекули.

Стаття постуила до редакції 28.08.2016; прийнята до друку 05.12.2016.

Вступ

Розвиток сучасної науки про полімери дає можливість створити найрізноманітніші полімерні системи. Одним з таких способів є наповнення полімерів. Під наповненням полімерів розуміють її суміщення з твердою, рідкою або газоподібною речовиною, яка відносно рівномірно розподіляється в об'ємі утвореної композиції і має чітко виражену межу з неперервною полімерною фазою (матрицею).

Наповнення полімерів – це один з універсальних принципів створення полімерних композиційних матеріалів з особливими, тільки їм характерними фізичними і хімічними властивостями, що визначаються макро-, мезо- і мікрогетерогенністю системи і фазовими взаємодіями на межі поділу фаз полімер-наповнювач [1].

Фізико-хімічні процеси наповнення розрізняються в залежності від процесу отримання полімерних композиційних матеріалів із готового полімеру чи при формуванні полімерної матриці з вихідних компонентів у присутності наповнювача. В обох цих випадках основну роль відіграють процеси, що відбуваються на межі поділу полімер-наповнювач і залежать від активності наповнювача. Під активністю наповнювачів розуміють структурну, кінетичну або термодинамічну їх активність. Якщо наповнювач впливає на структурні зміни в полімерній матриці, тобто під його дією

відбуваються зміни молекулярної чи надмолекулярної структури полімеру, то він є структурно активним. Під кінетичною активністю розуміють здатність наповнювача впливати на розміщення тих чи інших кінетичних елементів полімеру і тим самим змінювати релаксаційний спектр і в'язкопружні властивості. Здатність наповнювача впливати на стан термодинамічної рівноваги, фазовий стан і термодинамічні параметри наповнених полімерних систем є його термодинамічною активністю.

Необхідною умовою ефективного використання наповнювачів є суміщення компонентів, яке в значній мірі визначається здатністю полімеру змочувати поверхню частинок наповнювача. Змочування полімерами, які знаходяться у в'язкотекучому або високоеластичному стані чи розчині, суттєво відрізняється від змочування поверхні наповнювача низькомолекулярними речовинами [2, 3].

Введення в полімерну матрицю наповнювача призводить до зміни властивостей утворених гетерогенних систем. У таких системах змінюються фізико-механічні властивості, зокрема можна отримати полімерні матеріали з від'ємним коефіцієнтом Пуассона [4]. Питання створення ауксетиків, вивчення їх властивостей, моделювання їх структуроутворень розглядаються в значній кількості робіт [5-7]. Значна увага звертається і на

полімерні системи з від'ємним коефіцієнтом Пуассона. У роботах [8-11] моделюються макромолекулярні системи в яких, при дії зовнішнього силового поля, надмолекулярні утворення та структурні елементи макромолекул дають деформаційний відгук, що зумовлює від'ємний коефіцієнт Пуассона. Отримання та використання полімерних аускетиків на основі нано-, мікро-, мезо- і макрокопічних підходів аналізується в роботах [12-16].

Оскільки, наповнені полімери є термодинамічно невірноваженими системами і їх структуроутворення відбувається завдяки нелінійним процесам, для дослідження їх властивостей використовується фрактальний аналіз і принципи синергетики.

Метою цієї роботи є вивчення процесів структуроутворення та властивостей поліуретанових композицій з від'ємним коефіцієнтом Пуассона на основі фрактального підходу.

I. Матеріали та методи досліджень

Об'єктом дослідження використовувався термопластичний поліуретан (ТПУ) синтезований на основі 4,4-дифенілметандізоціаната, 1,4-бутандіола і поліокситетраметиленгліколя з $M_n = 1500$. Наповнювачами вибрані високодисперсні порошки заліза (Fe), молібдену (Mo), вольфраму (W), розміри частинок склали 0,3 - 1,0 мкм. Композиції отримували прямим змішуванням у Т-р режимі. Швидкості поширення поздовжніх (v_l) та поперечних (v_t) ультразвукових хвиль на частоті 0,4 МГц, а також зміну теплоємності визначали за результатами роботи [17]. Це дало можливість визначити критичний вміст (об'ємний) наповнювача при якому полімерна матриця переходить в межовий шар [1]. Як показали результати теплофізичних досліджень [18], критичний вміст наповнювача для систем ТПУ+Fe складає 52 %, ТПУ + W – 48 %, ТПУ + Mo – 43 %.

За результатами акустичних досліджень [17-20] для ТПУ-систем визначався коефіцієнт Пуассона згідно співвідношення:

$$n = \frac{2 - \left(\frac{v_l}{v_t}\right)^2}{2 \left(1 - \left(\frac{v_l}{v_t}\right)^2\right)}, \quad (1)$$

При критичному вмісті наповнювачів ТПУ-системи мали від'ємний коефіцієнт Пуассона (таблиця 1). Моделювання процесів поширення ультразвукових хвиль у таких системах як деформаційних ефектів, що розповсюджуються у вигляді еліпсоїдів обертання, дало можливість визначити теоретичні значення коефіцієнта Пуассона за швидкостями v_l , v_t та відповідними характеристичними частотами Дебая [18].

Перспективність отримання поліуретанових композицій з від'ємним коефіцієнтом Пуассона підтверджується результатами роботи [21]. У цій роботі методами електронної мікроскопії було показано, що такі композиції мають $\nu = -0,4 + 0,12$.

II. Результати досліджень та їх обговорення

Розгляд структури полімерів та їх наповнених систем вказує на те, що на структурному рівні вони мають велику кількість мікро-, мезо-, макродефектів. Існування дефектів призводить до ієрархічної блочної структури макромолекулярних систем. На нано- та мікрорівні наповнені полімери володіють високим ступенем самоорганізації, існуванням ближнього та кластерного порядків [22-24]. ТПУ-системи, на основі такого підходу, можна розглядати як проміжні структуроутворення між повністю впорядкованими та хаотичними. Такий підхід до структури ТПУ-систем дає можливість розглядати їх як фрактальні і використовувати фрактальні підходи до аналізу наноутворень та надмолекулярної організації в них, а також властивостей.

Для таких систем, згідно синергетичного підходу, розраховували фрактальну розмірність структуроутворень [25]:

$$d_f = (d - 1)(1 + \nu). \quad (2)$$

де d – евклідова розмірність простору, ν – коефіцієнт Пуассона.

Значення фрактальних розмірностей ТПУ-систем

Table 1

Poisson's ratio, fractal dimension, Grunase equation TPU- system

Polymersystem	Полімерна система	ν (спів. 1)	ν [18]	d_f	γ_L (d = 3)	γ_L (d = 2)	γ_L (d = 1)	γ_A	D_f	$D_{f,\nu}$
TPU + 48 _{vol.%} W	ТПУ + 48об.% W	-0,397	-0,423	1,206	0,336	0,759	-2,927	0,283	1,557	1,557
TPU + 43 _{vol.%} Mo	ТПУ + 43об.% Mo	-0,365	-0,402	1,270	0,367	0,870	-2,352	0,308	1,578	1,578
TPU + 52 _{vol.%} Fe	ТПУ + 52об.% Fe	-0,236	-0,251	1,528	0,519	1,619	-1,447	0,423	1,679	1,679

(таблиця 1) вказують на те, що структуроутворення в них мають лінійний характер, в яких виявляються площинні ефекти. На макрорівні такі системи можна моделювати як лінійні регулярні структури – квазіодномірні ґратки. Вузли таких ґраток складають частинки наповнювача, які з'єднані ланцюгами полімерів, що перебувають у витягнутій або складчастій конформації. Оскільки, $d_f > 1$, то в такому одномірному надкрystalі присутня міжмолекулярна взаємодія між ґратками за рахунок структурних елементів макромолекул ТПУ. Результати розрахунків d_f свідчать, що для системи ТПУ+Fe в більшій мірі виявляються площинні ефекти.

Неврівноваженість структуроутворень у ТПУ-системах зумовлена ангармонізмом взаємодій структурних елементів макромолекул та надмолекулярних об'єднань. Ангармонізм теплових коливань квазірешітки, міжатомних (міжмолекулярних) зв'язків і нелінійність сил міжмолекулярної взаємодії оцінювали на основі параметра Грюнайзена. При цьому термодинамічний параметр Грюнайзена γ_T відтворює ангармонічність, усереднену за всіма коливальними модами, а решітковий γ_L відображає ангармонічність, усереднену за міжланцюговими коливальними модами.

Для визначення решіткового параметра Грюнайзена використали два підходи. Згідно з першим підходом квазірешітковий параметр Грюнайзена визначили як [26, 27]:

$$g_L = -\frac{d \ln \bar{u}}{d \ln V} + \frac{1}{2}, \quad (3)$$

де \bar{u} – середня швидкість фононів у системі; V – питомий об'єм. Середню швидкість поширення фононів у системі знаходили за експериментальними значеннями u_l , u_t згідно зі співвідношенням:

$$\bar{u} = 3 \sqrt{\frac{3u_l^3 u_t^3}{u_l^3 + 2u_t^3}}, \quad (4)$$

а величину питомого об'єму як $V = \frac{1}{\rho}$.

У другому випадку, згідно з ідентичністю потенціалу міжатомної і міжмолекулярної взаємодії для гетерогенних полімерних систем, коефіцієнт Пуассона пов'язаний із параметром Грюнайзена співвідношенням:

$$g_L = \frac{1+n}{1-2n}, \quad (5)$$

Встановлення взаємозв'язку між d_f і n [28,29] дає змогу виразити решітковий параметр Грюнайзена як:

$$g_L = \frac{d_f}{2(d-d_f)}, \quad (6)$$

На основі цього співвідношення визначали решітковий параметр Грюнайзена для об'ємних ефектів (об'ємних взаємодій $d=3$), площинних ($d=2$) та лінійних ($d=1$). Як свідчать результати розрахунків (таблиця 1) при реалізації об'ємних

взаємодій між структурними елементами макромолекул (атомними групами, мономірними ланками) ангармонічні ефекти найбільше виявляються в системі ТПУ+Fe. Такий же характер анагармонізму фіксується за виявлення площинних взаємодій. Лінійні ефекти в ТПУ-системах характеризуються від'ємними параметрами Грюнайзена. Такі значення γ_L свідчать про нестійкість квазіодномірної ґратки до деформацій зсуву, розмивання кластерного порядку, зміни ближнього порядку між структурними елементами макромолекул та виявом мембранного ефекту. Зміни в структуроутвореннях на лінійному рівні в досліджених макромолекулярних системах призводять до вирівнювання швидкостей поширення поздовжніх та поперечних ультразвукових хвиль ($u_l = u_t$) [17-20].

Виникаючий ангармонізм між структурними елементами макромолекул в ТПУ-системах при поширенні ультразвукових хвиль оцінювали на основі акустичного параметра Грюнайзена:

$$g_A = \frac{9}{2} \cdot \frac{\left(\frac{u_l}{u_t}\right)^2 - \frac{4}{3}}{\left(\frac{u_l}{u_t}\right)^2 + 2}, \quad (7)$$

або

$$g_A = \frac{3(1+n)}{2(2-3n)} \quad (8)$$

Розрахунки g_A свідчать, що його значення близьки до g_L у випадку $d=3$.

Процеси структуроутворення у ТПУ-системах аналізуються в рамках кластерної моделі [30]. За цією моделлю макромолекулярну систему слід розглядати як [31, 32] неупорядковане (міжкластерне) середовище в якому розміщені об'єми впорядковані структуроутворення-кластери (області локального порядку). Кластери в такій моделі розглядаються як структурні дефекти, що порушують повне неупорядкування, а сегмент кластера – лінійний дефект. За фрактальними розмірностями, з урахуванням об'ємних ефектів, визначали об'єм кластера ($V_{кл}$):

$$V_{кл} = \frac{(6,44 \cdot 10^{-10})^2}{(3-d_f)^2} l_0, \quad (9)$$

де l_0 – міжструктурна віддаль, яка для макромолекули ТПУ рівна $1,34 \text{ \AA}$ (C-N зв'язок), $1,54 \text{ \AA}$ (C-C), $1,50 \text{ \AA}$ (C-O).

Якщо вважати кластер кульовим включенням, то його ефективний діаметр ($d_{кл}$) рівний:

$$d_{кл} = 1,24 \cdot \frac{(6,44 \cdot 10^{-10})^{2/3}}{(3-d_f)^{2/3}} \cdot l_0^{1/3}, \quad (10)$$

Table 2

Parameters cluster model and flexible macromolecules TPU - systems

Polymersystem	Полімерна система	$V_{кл} \cdot 10^{30}$, м ³	$d_{кл} \cdot 10^{10}$, м	σ (d = 3)	σ (d = 2)	$b \cdot 10^{10}$, м (d = 3)	$b \cdot 10^{10}$, м (d = 2)	$r_{мк} \cdot 10^{10}$, м (d = 3)	$r_{мк} \cdot 10^{10}$, м (d = 2)
TPU + 48vol.% W	ТПУ + 48об.% W	4,82	2,10	1,56	2,85	5,79	4,28	24,59	17,47
		5,54	2,19					24,19	17,07
		5,39	2,18					24,27	17,15
TPU + 43vol.% Mo	ТПУ + 43об.% Mo	4,91	2,11	1,58	2,99	5,75	4,18	24,40	17,01
		5,64	2,21					24,00	16,61
		5,49	2,19					24,08	16,69
TPU + 52vol.% Fe	ТПУ + 52об.% Fe	5,31	2,17	1,68	4,57	5,58	3,06	23,60	11,73
		6,10	2,27					23,20	11,33
		5,90	2,24					23,28	11,41

Значення $V_{кл}$ і $d_{кл}$ подані в таблиці 2 (для різних значень між структурної віддалі). Максимальні значення цих характеристик відповідають системі ТПУ+Fe. Порівняння розмірів кластерів полімерних систем з від'ємним коефіцієнтом Пуассона з відповідними значеннями для наповнених полімерів з $\nu > 0$ [24] вказує на те, що вони менші (1,5 - 2 рази).

При розгляді взаємодії між структурними елементами макромолекул, між ними і поверхнею наповнювача слід враховувати конформаційні явища, які відбуваються на просторово-часових масштабах, що значно перевищує атомні. Здатність змінювати конформацію полімерним ланцюгом внаслідок внутрішньо-молекулярного теплового руху і під дією зовнішніх полів характеризують гнучкість. Використання фрактальних розмірностей та аналіз механізмів гнучкості (S) макромолекул на основі різномірних модельних підходів [22, 31, 32] дозволили визначити її:

$$S = \frac{2d_f}{d(d-1)(d-d_f)} + \frac{4}{3}, \quad (11)$$

Тільки внутрішньомолекулярні взаємодії в макромолекулі ($d = 1$) зумовлюють нескінченно великі значення S (макромолекула згортається в щільний гнучкий клубок). Мембранні ефекти ($d = 2$), які виявляються в ТПУ-системах можливі за рахунок значної гнучкості макромолекул. Для площинних структуроутворень гнучкість макромолекули ТПУ більша ніж при об'ємних взаємодіях.

Якщо вважати кластер як дислокацію в міжкластерній області, то за вектором Бюргерса (b):

$$b = \left(\frac{52,2}{s} \right)^{1/2} \cdot a, \quad (12)$$

виходячи з геометрії моделі, можна визначити віддаль між структурними елементами макромолекул, що входять в сусідні кластери, а отже протяжність областей неупорядкування ($r_{мк}$):

$$r_{мк} = 4,71b - 2l_0 \quad (13)$$

Як показують результати розрахунків $r_{мк}$ їх значення значно перевищують лінійні розміри кластерів (таблиця 2). При виявленні плівкових властивостей структуроутвореннями наповнених

полімерних систем у більшій мірі реалізуються процеси впорядкування.

Існування флуктуаційного вільного об'єму в аморфних полімерах дає можливість у ТПУ-системах міжкластерні області розглядати як фрактальні, розмірність яких співпадає з розмірністю областей локалізації «надлишкової» енергії. Така розмірність характеризує ступінь збудження розпушеної матриці в кластерній моделі аморфного полімера і може бути визначена як:

$$D_f = \frac{2(1-n)}{1-2n}, \quad (14)$$

Мікропорожнини вільного об'єму в неупорядкованій області кластерної моделі характеризували фрактальною розмірністю $D_{f,V}$:

$$D_{f,V} = 1 + \frac{1}{3-d_f}, \quad (15)$$

Фрактальна розмірність мікропорожнин вільного об'єму для ТПУ-систем (таблиця 1) вказує на те, що вони є лінійно-площинними дефектами. Розмірність таких об'єктів співпадає з значеннями D_f що вказує на те, що структуроутворення елементів макромолекул ТПУ-систему таких областях є джерелами дисипації механічної енергії при поширенні акустичних хвиль (значення параметра Грюнайзена для $d = 1$).

У рамках моделі наповненого полімеру [1, 17] та фрактального підходу (межовий шар у наповнених полімерах розглядається як наслідок взаємодії двох фракталів – полімерної матриці та поверхні наповнювача) визначали геометричні розміри межового шару ($l_{м.ш.}$) [33]:

$$l_{м.ш.} \sim l_0 \left(\frac{r_n}{l_0} \right)^{\frac{2(d-d_n)}{d}} \quad (16)$$

де d_n – фрактальна розмірність поверхні наповнювача, r_n – радіус частинки наповнювача.

Якщо поверхня наповнювача є пористою і пори – джерела потенціальних полів ($d = 3$), то за рахунок їх заповнення структурними елементами макромолекул ТПУ розміри $l_{м.ш.} = l_0$. У цьому випадку частинки

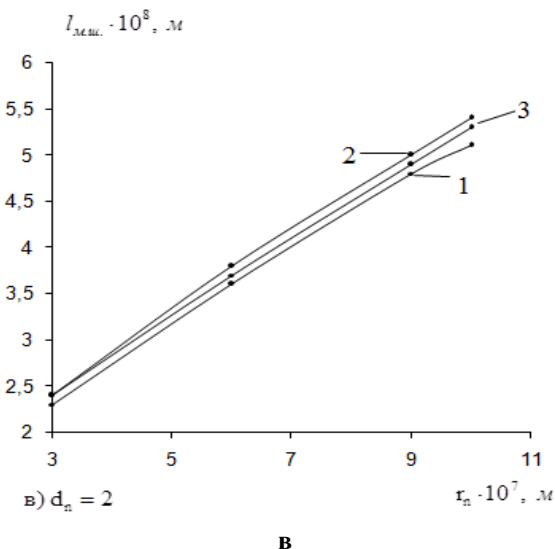
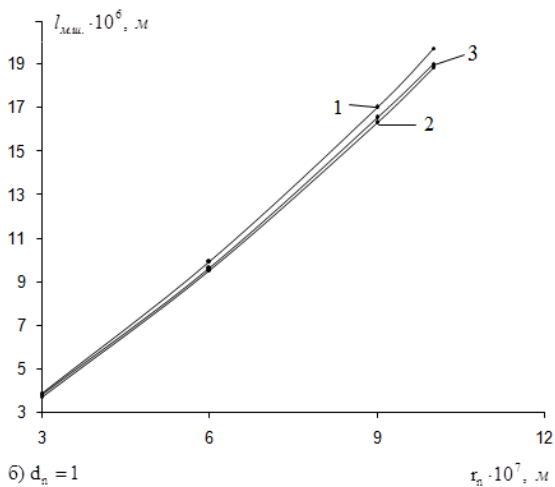
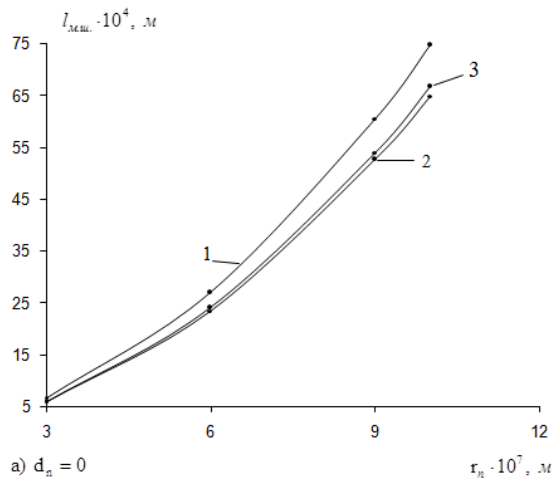


Fig. 1. Dependence $l_{m.sh.}$ on r_n for systems and TPU) $d_n = 0$, б) $d_n = 1$, в) $d_n = 2$; (1) - (C-N) -connectivity; (2) - (C-C) -connectivity; (3) - (C-O) -connectivity.

наповнювача будуть сегреговані, але розділені структурними елементами макромолекул ТПУ і перебуватимуть на віддалі l_0 . На рисунку 1 подані залежності $l_{m.sh.}$ від r_n для точкових взаємодій ($d_n = 0$, атомна група макромолекули – активний центр поверхні наповнювача), лінійних ($d_n = 1$, макромолекула ТПУ у вигляді витягнутої конформації розміщується на поверхні наповнювача) і поверхневих ефектів ($d_n = 2$).

Оскільки поверхня наповнювачів Fe, W, Mo є непроникнутою для структурних елементів макромолекул ТПУ, то найбільш ймовірними є поверхневі взаємодії внаслідок яких і формуються межові шари в таких системах. Співставлення розмірів цих шарів ($d = 2$) з розмірами структуроутворень кластерної моделі вказує на те, що виконується співвідношення: $l_{m.sh.} = N(d_{кл.} + r_{мк.})$, де $N = (7 - 15)$.

Висновки

1. На основі фрактальних підходів визначено решітковий параметр Грюнайзена для структуроутворення ТПУ-систем різного рівня упорядкування.

2. У рамках кластерної моделі і за фрактальними розмірностями ТПУ-систем визначені геометричні розміри впорядкованих і неупорядкованих областей структуроутворень. Показано, що кластери і міжкластерні області є наноутвореннями.

3. У досліджуваних ТПУ-системах вміст металевго наповнювача є критичним [17, 18], тому вся полімерна матриця переходить в межовий шар, який є нанорозмірним об'єктом.

4. ТПУ-системи з від'ємним коефіцієнтом Пуассона можна моделювати як квазіодномірний кристал між частинками якого знаходиться межовий шар. У такій моделі зв'язок між частинками наповнювача здійснюється за рахунок структуроутворень полімеру у вигляді наноутворень з почерговим розміщення областей порядку і безпорядку.

5. Перспективним напрямком досліджень є вивчення процесів коливань частинок наповнювача в такій моделі і впливу на цей спектр межового шару полімеру.

Шевчук Т.М. - кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики;

Бордюк М.А. - кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики.

- [1] Ju.S. Lipatov, Fiziko-himicheskieosnovynapolnenijapolimerov (Himija, Moskva, 1991).
 [2] M.A. Bordyuk, T. M. Shevchuk, B.S. Kolupayev, Fizyka polimeriv. Teoriya (RDHU, Rivne, 2012).
 [3] Y. Jack Weitsman, Fluid Effects in Polymers and Polymers Composites (Springer Science + Business Media, 2012).

- [4] R.S. Lakes, Cellular Polymers 11, 466 (1992).
- [5] J.B. Choi, R.S. Lakes, J. Of Composite Materials 29(1), 113 (1995).
- [6] V.V. Novikov, K.W. Wojciechowski, Fizika tverdogo tela 41(12), 2147 (1999).
- [7] D.A. Konek, K.V. Vojcehovskij, Ju.M. Pleskachevskij, S.V. Shil'ko, Mehanika kompozitnih materialov i konstrukcij 10(1), 35 (2004).
- [8] E.A. Friis, R.S. Lakes, J.B. Park, J. Mater. Sci. 23, 4406 (1988).
- [9] Al. Al. Berlin, L. Rotenburg, R. Basjerst, Vysokomolekuljarnye soedinenija B. 33(8), 619 (1991).
- [10] Al. Al. Berlin, L. Rotenburg, R. Basjerst, Vysokomolekuljarnye soedinenija A. 34(7) 6 (1992).
- [11] S. Xinchun, R.S. Lakes, Phys. Stat. Sol. (b). 244(3), 1008 (2007).
- [12] M.C. Rechtsman, F.H. Stillinger, S. Torguato, Physical Review Letters. 101 (8), 085501-1 (2007).
- [13] D. Li, T. Jaglinski, D.S. Stone, R.S. Lakes, Applied Physics Letters. 101(25), 251903-1 (2012).
- [14] Y. Sun, N. Pugno, Materials.6, 699 (2013).
- [15] G. He, P. Liu, A.C. Griffin, C.W. Smith, K.E. Evans, Macromol. Chem. Phys. 206, 233 (2005).
- [16] R. Lakes, Applied Physics Letters. 90(22), 221905 (2007).
- [17] B.S. Kolupaev, Yu.S. Lipatov, V. I. Nikitschuk, N.A. Bordjuk, O.M. Voloshin, Доповіді Академії наук України 12,130 (1993).
- [18] B.S. Kolupaev, Ju.S. Lipatov, V.I. Nikitchuk, N.A. Bordjuk, O.M. Voloshin, Inzhenerno-fizicheskij zhurnal 69 (5), 726 (1996).
- [19] V.A. Mashhenko, B.B. Kolupaev, Fizika kondensovanih visokomolekuljarnih sistem 8, 62 (2000).
- [20] V.A. Mashhenko, O.M. Voloshin, B.B. Kolupaev, Fizika kondensovanih visokomolekuljarnih sistem 9, 36 (2002).
- [21] Y.J. Park, J.K. Kim, Advances in Materials Science and Engineering 2013 (ID 853289), 1 (2013).
- [22] V.U. Novikov, G.V. Kozlov, Uspehi himii 69 (4), 378 (2000).
- [23] B.S. Kolupaev, M.A. Bordjuk, Fizika kondensovanih visokomolekuljarnih sistem 10, 75 (2004).
- [24] N.A. Bordjuk, T.N. Shevchuk, Vesci BDPU. Seryja 3. 4(82),8 (2014).
- [25] A.S. Balankin, Sinergetika deformiruемого tela. Ch.1 (MO SSSR, Moskva, 1991).
- [26] N.A. Bordjuk, B.S. Kolupaev, V.V. Levchuk, Ju.S. Lipatov, Fizika tverdogo tela 38(7), 2270 (1996).
- [27] M. Bordjuk, S. Ivanishhuk, B. Kolupaev, Zhurnal fizichnih doslidzhen' 1 (2), 217 (1997).
- [28] B.Zh. Dzhangurazov, G.V. Kozlov, G.E. Zaikov, A.K. Mikitaev, Internationa ljournal of nanomechanics scince and technology 1(1), 31 (2010).
- [29] V.V. Novikov, Visnik Ukraïns'kogo materialoznavchogo tovaristva 1(1), 71 (2008).
- [30] G.V. Kozlov, V.N. Belousov, Ju.S. Lipatov, Doklady AN SSSR. 8(B), 48 (1990).
- [31] G.V. Kozlov, V.U. Novikov, Uspehi fizicheskikh nauk. 171(7), 717 (2001).
- [32] G.V. Kozlov, Uspehi fizicheskikh nauk. 185(1), 35 (2015).
- [33] H.G.E. Hentshel, J.M. Deutch, Phys. Rev. A. 29 (12),1609 (1984).

T.N. Shevchuk, N.A. Bordjuk

Fractal Dimension and Parameters of the Grunasena Polymer Systems with Negative Poissonratio

Rivne State Humanitarian University, 31 Ostafova str., 33000 Rivne, Ukraine, e-mail: bordiuk57@ukr.net

Based on the principles of fractal approach and synergy of structure formation processes modeled in polymer ausketykah based on thermoplastic polyurethane filled with powder of iron (Fe), molybdenum (Mo) and tungsten (W). Within the cluster model filled polymers shown that clusters and mizhklastermi area is nanoutvorennyamy. To study defined lattice of acoustic parameters of the Grunasena. Modeled filled polymer such systems, using fractal dimensions determined by the dimensions of boundary layers.