

УДК 541.64

<https://doi.org/10.37827/ntsh.chem.2023.73.086>

Галина МАРТИНЮК¹, Олена АКСИМЕНТЬЄВА-КРАСНОПОЛЬСЬКА²

ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ ПОЛІМЕРІВ

¹Рівненський державний гуманітарний університет,
вул. Пластова, 31в, 33000 Рівне, Україна
e-mail: galmart@ukr.net

²Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна
e-mail: aksimen@ukr.net

Досліджено електричні властивості полімер-полімерних композитів на основі діелектричних полімерних матриць різного типу – водорозчинних (ПВС, ПМАК, ПАК) і гідрофобних (ПММА, ПБМА, ЕД-20, СтМА). Спряжені поліаміноарени – поліортотолуїдин (ПоП), поліортоанізидин (ПоА) та поліанілін (ПАН) використано як електропровідні полімерні наповнювачі.

З'ясовано, що криві залежності питомої електропровідності композитів від об'ємного вмісту полімерного наповнювача в усіх випадках характеризуються перколяційною поведінкою зі значеннями порога перколяції на рівні 2–10 об. %. За такого невеликого вмісту спряженого полімеру для всіх досліджуваних композитів провідність зростає на 6–10 порядків.

Вперше визначено критичні параметри провідності полімерних композитів з електропровідним полімерним наповнювачем до і після порогу перколяції «t» і «s». Виявлено, що значення порогу перколяції та критичних параметрів провідності залежить від багатьох факторів, найперше від типу діелектричної матриці і структури наповнювача, наявності та типу замісника бензольного ядра в молекулі поліаміноарену.

Ключові слова: полімерний композит, електропровідний полімер, діелектрична матриця, поріг перколяції, критичні параметри.

Вступ

Електропровідні спряжені поліаміноарени на основі поліаніліну та його похідних, володіючи власною електронною провідністю, виступають в композитах з полімерними матрицями як електропровідні наповнювачі [1].

Під дією електричного потенціалу або хімічних агентів електропровідні полімери можуть оборотно окиснюватися або відновлюватись, змінюючи електропровідність, роботу виходу електрона, оптичне поглинання та інші властивості [2, 3].

В полімерних композитах на основі діелектричних полімерних матриць і спряжених полімерів поліпшення електричних, оптичних властивостей можна досягти за дуже низьких концентрацій наповнювачів (≤ 5 об %).

Електропровідність композитів на основі діелектричних полімерних матриць, наповнених електропровідними наповнювачами, залежить від умов формування електропровідної сітки у непровідній матриці та від характеристик провідного наповнювача (вміст, форма, рівномірність розподілу) та від властивостей самої полімерної матриці (в'язкість, кристалічність, полярність). З'ясовано [4–6], що електропровідність полімер-полімерних композитів при однаковому наповненні залежить від однорідності розподілу електропровідного наповнювача в полімерній матриці, ступеня дисперсності та міжфазової взаємодії наповнювач-матриця [1].

Для більшості полімерних композитів властива перколяційна поведінка, яка виявляється у різкій зміні фізико-хімічних властивостей під час введення деякої критичної концентрації наповнювача, що пов'язана з формуванням перколяційного кластера [1, 4, 7–9].

Доведено [10], що рівномірність розподілу наповнювача в полімерному композиті впливає на значення порога перколяції, а саме, нерівномірний розподіл зумовлює високі значення порога перколяції, а рівномірність диспергування – знижує поріг перколяції.

Існує багато теоретичних моделей, за допомогою яких можна описати концентраційну залежність електропровідності системи, однак жодна з запропонованих не враховує всі характеристики полімерного композита (матриці, наповнювача) [11–13].

Для опису концентраційної залежності електропровідності полімер-полімерних композитів використовують основні положення теорії ефективного середовища, симетричну формулу Бруггемана [14], модель Кіркпатріка (скейлінговий підхід) [15], які допомагають описати перколяційні властивості полімер-полімерних композитів типу провідник-діелектрик, такі як електропровідність, теплопровідність, діелектричну проникність тощо.

Вивчення перколяційних явищ у наповнених полімерних системах є важливим фундаментальним завданням, оскільки опис властивостей систем в околі критичної точки дає змогу створювати нові матеріали з прогнозованими функціональними характеристиками [7, 16].

Для дослідження перколяційних явищ в утворених композитах використовували модельні системи на основі діелектричних полімерних матриць різного типу, а саме промислові полімерні матеріали – водорозчинні: полівініловий спирт (ПВС), поліакрилова (ПАК) та поліметакрилова (ПМАК) кислоти; гідрофобні: поліметилметакрилат (ПММА), полібутилметакрилат (ПБМА), кополімер стирену з малеїновим ангідридом – стиромаль (СТМа), а також епоксидна полімерна матриця ЕД – 20 [1, 4, 6, 17–20].

Спряжені поліаміноарени – поліортогалуїдин (ПоТІ), поліортоанізидин (ПоА), поліанілін (ПАН) використано як електропровідні полімерні наповнювачі [1, 3, 4, 17, 21].

Методика експерименту

Полімер-полімерні композити формували у вигляді циліндричних зразків механічним або ультразвуковим диспергуванням компонентів із наступним пресуванням під тиском 150 кг/см^2 та нагріванні як описано раніше [22, 23].

Електропровідність пресованих зразків визначали за стандартним двоконтактним методом за температури $T = 293 \text{ К}$ [1, 24, 25].

Електричний опір фіксували за допомогою автоматичного імпульсного омметра-вольтметра В7-35, з діапазоном вимірювання $10\text{--}10^9$ Ом. Питому об'ємну провідність (σ) визначали як величину, обернену до питомого опору і вимірювали у спеціально сконструйованій комірці [1, 26].

Результати та обговорення

Отримані криві залежності логарифма питомої провідності (σ) від вмісту полімерного наповнювача полімер-полімерних композитів на основі різних за властивостями полімерних матриць наведені в [1, 18, 26–28], а також на рис. 1.

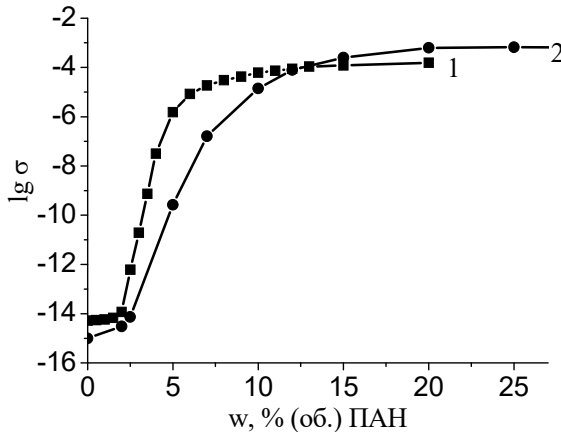


Рис. 1. Залежність логарифма питомої провідності композитів від вмісту електропровідного наповнювача: 1) ПБМА–ПАНі, поріг перколяції 2,5 об. %; 2) ЕД-20–ПАНі, поріг перколяції 2,5–5 об. %.

Fig. 1. Dependence of the logarithm of specific conductivity of composites on the content of conductive filler: 1) PBMA–PANi, percolation threshold 2.5 vol. %; 2) ED-20–PANi, percolation threshold 2.5–5% by volume.

Перехід діелектрик–провідник частково описується перколяційною теорією, яка зазвичай використовується для визначення відношення між мікроструктурою цих систем та їхніми фізичними властивостями [29].

За теорією перколяції у системах до і після порога перколяції співвідношення між електропровідністю та вмістом електропровідного наповнювача описується за допомогою скейлінгового закону (моделі Кіркпатріка [15]), який характеризується набором параметрів, серед яких важлива роль належить критичним параметрам $\langle t \rangle$ і $\langle s \rangle$, наведених у рівняннях 1,2 [14]. Однак це формальне рівняння часто не відповідає експериментальним результатам для провідних композицій, що містять дисперсні наповнювачі через те, що не враховує особливостей структури конкретних систем – форми частинок, взаємодії наповнювача з матрицею, присутності контактних явищ на границі частинка-частинка, впливу умов одержання композицій на об'ємний розподіл провідних частинок [8].

$$\sigma = \sigma_{\text{напов}} (\varphi_c - \varphi)^{-s} \quad (1)$$

$$\sigma = \sigma_{\text{матр}} (\varphi - \varphi_c)^t, \quad (2)$$

де, σ – електропровідність полімерної системи (композита);
 $\sigma_{\text{напов}}$, $\sigma_{\text{матр}}$ – електропровідність полімерної матриці та наповнювача;
 φ – об'ємна частка електропровідного нанонаповнювача;
 φ_c – критична об'ємна частка нанонаповнювача (порог перколяції);
 t , s – показники степеня (критичні індекси електропровідності).

Ці параметри були визначені експериментально за нахилом кривих $\lg\sigma - \lg(\varphi - \varphi_c)$, а також $\lg\sigma - \lg(\varphi_c - \varphi)$ до і після порога перколяції, відповідно, [17, 18, 23]. Перколяційні параметри провідності полімерних композитів з електропровідним полімерним наповнювачем та розраховані значення параметрів « t » і « s » наведені в табл. Типові залежності зображено на рис. 2.

З'ясовано, що криві залежності питомої провідності композитів від об'ємного вмісту полімерного наповнювача в усіх випадках характеризуються перколяційною поведінкою з відповідними значеннями порога перколяції.

Таблиця

Перколяційні характеристики полімер-полімерних композитів

Table

Percolation characteristics of polymer-polymer composites

Матриця	Наповнювач	Порог перколяції, (φ_c) об. %	Критичний індекс « s »	Критичний індекс « t »	σ_0 , См/см	$\sigma_{\text{макс}}$, См/см
ПВС	ПАН	2,1	0,74	1,88	$1,6 \cdot 10^{-12}$	$5,55 \cdot 10^{-5}$
	ПоТІ	2,8	0,67	1,54		$3,3 \cdot 10^{-7}$
	ПоА	1,7	0,76	2,25		$1,9 \cdot 10^{-6}$
ПАК	ПоТІ	2,3	0,77	1,66	10^{-14}	$5,5 \cdot 10^{-6}$
ПМАК	ПоТІ	3,4	0,90	1,76	10^{-14}	$4,5 \cdot 10^{-6}$
СтМа	ПоТІ	10	0,67	2,58	$2 \cdot 10^{-15}$	$9,09 \cdot 10^{-7}$
	ПАН	8,4	0,75	2,75		$7,63 \cdot 10^{-5}$
	ПоА	8,0	0,66	2,9		$1,13 \cdot 10^{-5}$
ПММА	ПАН	2,0	0,76	3,28	$1 \cdot 10^{-14}$	$8,12 \cdot 10^{-5}$
ПБМА	ПАН	2,5	0,67	5,28	$2 \cdot 10^{-14}$	$7,76 \cdot 10^{-5}$
ЕД-20	ПАН- BF_3	2,5–5,0	–	–	$1 \cdot 10^{-15}$	$1,12 \cdot 10^{-10}$

Виявлено, що за невеликого вмісту спряженого полімеру для всіх досліджуваних композитів провідність зростає на 6–10 десяткових порядків. Можна припустити, що за граничного вмісту струмопровідного наповнювача в композиті забезпечується належний контакт між частинками, у цьому випадку електропровідний наповнювач формує власну полімерну сітку (кластер провідності), всередині полімеру «господаря», яка пронизує весь об'єм матеріалу й утворюється неперервна електропровідна фаза, яка рівномірно розподіляється по всьому об'єму полімерного композита [5, 30].

За результатами, поданими в табл., можна зазначити, що для композитів на основі ПВС, ПАК, ПММА поріг перколяції настає при невеликому вмісті наповнювача (ПАН) $\sim 2,0$ об. %. Наявність метильних замісників у молекулі ПоТІ, ймовірно, зумовлює іншу конформаційну поведінку макромолекул і формування окремої фази ПоТІ, яка чинить «розпушуючий» ефект, що призводить до порушення контакту між окремими областями композита [1,6, 17]. Порог перколяції настає за

вищого вмісту полімерного наповнювача ПоТІ: 2,8 об. % – композити ПВС–ПоТІ, 2,3 об. % – ПАК–ПоТІ і 3,4 об. % – ПМАК–ПоТІ.

Для композитів на основі гідрофобної полімерної матриці (СтМа) концентраційна залежність питомої електропровідності композита також виявляє перколяційний характер, але з набагато вищим порогом перколяції ПоТІ – 10 об. %, ПАН – 8,4 об. % та ПоА – 8 об. % (див. табл.).

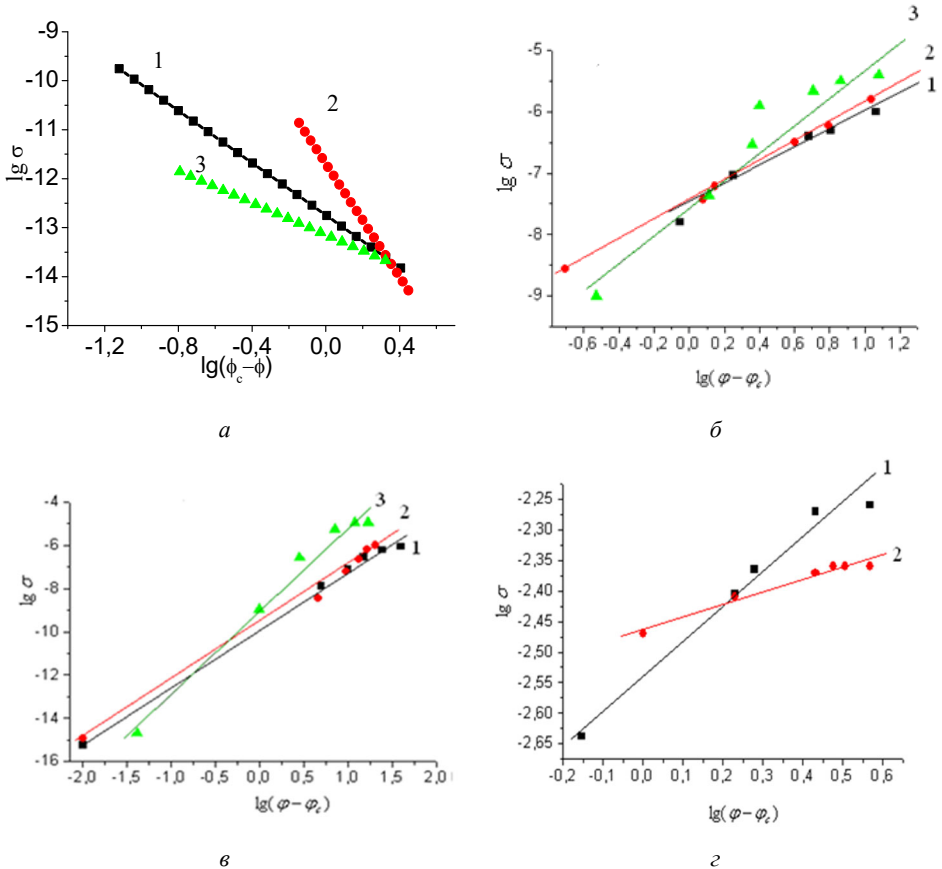


Рис. 2. Логарифмічна залежність питомої електропровідності від вмісту електропровідного наповнювача: *a*) до досягнення порогу перколяції для композитів ПВС–ПАН (1), ПВС–ПоТІ (2), ПВС–ПоА (3); після досягнення порогу перколяції (*б–г*): *б*) для композитів ПВС–ПАН (1), ПВС–ПоТІ (2), ПВС–ПоА (3); *в*) СтМа–ПоТІ (1), СтМа–ПАН (2), СтМа–ПоА (3); *г*) ПАК–ПоТІ (1), ПМАК–ПоТІ (2) [18].

Fig. 2. Logarithmic dependence of the specific electrical conductivity on the content of conductive filler: *a*) before reaching the percolation threshold for composites PVA–PANi (1), PVA–PoT (2), PVA–PoA (3); after reaching the percolation threshold (*b–d*): *b*) for composites PVA–PANi (1), PVA–PoT (2), PVA–PoA (3); *c*) StMa–PoT (1), StMa–PANi (2), StMa–PoA (3); *d*) PAA–PoT (1), PMAA–PoT (2).

Як можна бачити з даних, наведених у таблиці, значення критичного параметра провідності « t » для досліджуваних композитів становить від 1,66 до 2,9 і відрізняються залежно від природи полімерної матриці і типу поліаміноарену. Для композитів на основі ПВС і спряжених поліаміноаренів значення $t \approx 1,88-2,25$, що властиво для тривимірних об'єктів, у тім числі тих, які мають пористу структуру [15, 31] і в середньому добре узгоджується зі значеннями, які передбачає теорія перколяції (значення $t \approx 2$ спостерігається для багатьох двофазових матеріалів). Відхилення критичного індексу « t » від універсальних значень для композитів на основі матриці СтМа ($t \approx 2,58-2,9$) можна пояснити низкою причин, а саме: контактними явищами, зокрема, якщо між провідними елементами матеріалу реалізуються тунельні контакти, замість омичних; різною морфологією та різною питомою поверхнею матеріалу, наявністю анізотропних форм електропровідного наповнювача. Для композитів ПБМА–ПАН значення критичного індексу « t » = 5,28 суттєво відрізняється від універсального значення, що можна пояснити особливостями взаємодії гідрофобної полімерної матриці з поліаміноареном, умовами формування нескінченного кластера провідності, тунельним механізмом перенесення заряду для цього композита [17, 18]. Нерівномірність розподілу провідних і непровідних фрагментів у композиті зумовлює значні розбіжності між величинами електропровідності матриці та композита, що спостерігається, наприклад, у композитах типу діелектрична полімерна матриця – спряжений поліаміноарен. У підсумку відбуваються суттєві відхилення від статичної залежності критичного параметра « t ».

Розраховані значення критичного параметра « s » для досліджуваних композитів на основі поліаміноаренів набувають значень $s \approx 0,74-0,76$, що добре узгоджуються з універсальними значеннями [15, 17, 18].

Висновки

Отже, використовуючи модель Кіркпатріка для опису перколяційної поведінки наповнених систем, ми визначили електричні параметри провідності полімер-полімерних композитів. Підтверджено, що значення порога перколяції та критичних параметрів провідності залежить від багатьох факторів, найперше від типу матриці, її фазового стану, власної електропровідності. Вплив природи наповнювача залежить від наявності і типу замісника бензолного ядра, характеру його агрегації тощо [15].

Подяка

Ця робота виконана за часткової підтримки Саймонс Фоундейшн (Номер Гранту: 1037973).

Acknowledgments

This work was partly supported by the Simons Foundation (Award Number: 1037973).

ЛІТЕРАТУРА

1. *Aksimentyeva O.I., Konopelnyk O.I., Martyniuk G.V.* Chapter 9. Synthesis and Physical-Chemical Properties of Composites of Conjugated Polyaminearenes with Dielectric Polymeric Matrixes / eds.: O.V. Reshetnyak, G.E. Zaikov. Computational and Experimental

- Analysis of Functional Materials. Toronto: Apple Academic Press, 2017. P. 331–370. (<https://doi.org/10.1201/9781315366357-9>).
2. Heeger A.J. Semiconducting and metallic polymers: the fourth generation of polymeric materials. *Synth. Metals*. 2002. Vol. 123. P.23–42. ([https://doi.org/10.1016/S0379-6779\(01\)00509-4](https://doi.org/10.1016/S0379-6779(01)00509-4)).
 3. Aksimentyeva O.I. Electrochemical methods of synthesis and conductivity of conjugated polymers. Lviv.: Svit. 1998. 153 p. (in Ukrainian).
 4. Aksimentyeva O., Konopelnyk O., Opaynych I., Tzish B., Ukrainets A., Ulansky Y., Martyniuk G. Interaction of components and conductivity in polyaniline-polymethylmethacrylate nanocomposites. *Rev. Adv. Mater. Sci*. 2010. Vol. 23(2). P.30–34.
 5. Aksimentyeva O., Dutka V., Gorbenco Yu., Martyniuk G. and others. Composites of conductive polyaminoarenes in styrofoam matrices. *Proc. Shevchenko Sci. Soc. Chem. Sci*. 2017. Vol. XLVIII. P. 7–16. http://nbuv.gov.ua/UJRN/pntsh_him_2017_48_3 (in Ukrainian).
 6. Yevchuk O., Aksimentyeva O., Horbenko Yu. Optical and electrical properties of composites of conjugated polyaminoarenes with polymer electrolytes. *Visnyk Lviv Univ. Ser. Chem*. 2012. Vol. 53P. 352–356 (in Ukrainian).
 7. Herega A. Some Applications of the Percolation Theory: Brief Review of the Century Beginning. *J. Mater. Sci. Eng. A*. 2015. Vol. 5(11–12). P. 409–414. (<https://doi.org/10.17265/2161-6213/2015.11-12.004>).
 8. Mamunya Ye.P., Yurzenko M.V., Lebedyev Ye.V., Levchenko V.V., Chervakov O.V., Matkovska O.K., Sverdlikovska O.S. Electroactive polymeric materials. K: Alfa Reklama, 2013. 402 p. (in Ukrainian).
 9. Tarasevich Yu.Yu. Percolation: theory, practice, algorithms. Tutorial. M.: URSS, 2002, 112 p.
 10. Hu N., Masuda Z., Yan C., Yamamoto G., Fukunaga H., Hashida T. The electrical properties of polymer nanocomposites with carbon nanotube fillers. *Nanotechnology*. 2008. Vol. 19(21). (<https://doi.org/10.1088/0957-4484/19/21/215701>).
 11. Snarskii A.A. Did Maxwell know about the percolation threshold? (on the fiftieth anniversary of percolation theory). *Phys. Usp*. 2007. Vol. 50(12). P. 1239–1242. (<https://doi.org/10.1070/PU2007v050n12ABEH006348>).
 12. Xue Q. The influence of particle shape and size on electric conductivity of metal-polymer composites. *Eur. Polym. J*. 2004. Vol. 40(2). P. 323–327. (<https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2003.10.011>).
 13. Taherian R. Development of an Equation to Model Electrical Conductivity of Polymer-Based Carbon Nanocomposites. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*. 2014. Vol. 3(6). P. M26–M38. (<https://doi.org/10.1149/2.023406jss>).
 14. Lysenkov E.A., Yakovlev Yu.V., Klepko V.V. Influence of polymer matrix features on the percolation behavior of systems based on polyethers and carbon nanotubes. *Phys. Chem. Solid State*. 2014. Vol. 15(1). P. 372–379. (<http://hdl.handle.net/123456789/10315>) (in Ukrainian).
 15. Kirkpatrick S. Classical Transport in Disordered Media: Scaling and Effective-Medium Theories. *Phys. Rev. Lett*. 1971, Vol. 27(25). P. 1722–1725. (<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.27.1722>).
 16. Shklovsky B.I., Efros A.D. Theory of percolation and conductivity of strongly inhomogeneous media. *Successes Fiz. Nauk*. 1975. Vol. 117(3). P.401–435. (<https://doi.org/10.3367/UFNr.0117.197511a.0401>).
 17. Martyniuk G., Aksimentyeva O., Yatskov M., Gakalo O. Kinetic features of synthesis and electrical properties of electrical properties of composites based on conjugated polyaminoarenes and polyacrylic or polymethacrylic acids. *Problems of chemistry and sustainable development*. 2021. Vol. 3. P. 30–38 (in Ukrainian). (<https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-5>).

18. *Aksimentyeva O.I., Martyniuk G.V.* Percolation phenomena in the polymer composites with conducting polymer fillers. *Phys. Chem. Solid State.* 2021. Vol. 22(4). P. 811–816. (<https://doi.org/10.15330/pcss.22.4.811-816>).
19. *Martyniuk G.V., Aksimentyeva O.I.* Features of charge transport in polymer composites polymethylmethacrylate–polyaniline. *Phys. Chem. Solid State.* 2020. Vol. 21(2). P. 319–324. (<https://doi.org/10.15330/pcss.21.2.319-324>).
20. *Christensen K.* Percolation theory. L:MIT Press, 2002. 40 p.
21. *Aksimentyeva O.I., Konopelynyk O.I., Ukrainets A.M. etc.* Conductivity anisotropy and percolation phenomena in film composites of conjugated polyaminoarenes with polyvinyl alcohol. *Phys. Chem. Solid State.* 2004. Vol. 5(1). P. 142–146.
22. *Ukrainets A.M., Melnyk H.M., Yevchuk O.M., Aksimentyeva O.I.* Physico-mechanical properties of poly(butyl methacrylate) and polyaniline composites. Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University named after V. Hnatyuk. Chemistry Series, 2009. Vol. 15. P. 64–67. (in Ukrainian).
23. *Martyniuk G., Aksimentyeva O.* Study of electrical conductivity and thermal deformation properties of polybutyl methacrylate-polyaniline composites. *Problems of Chemistry and Sustainable Development* 2023. Vol. 1. P. 16–27 (in Ukrainian).
24. *Aksimentyeva O.I., Hrytsiv M.Ya., Konopelynyk O.I.* Temperature dependence of conductivity and structure of amine-containing polyarylenes. *J. Phys. Res.* 2002. Vol. 6(2). P. 180–184. (<https://doi.org/10.30970/jps.06.180>).
25. *Inokuty H., Akamatu H.* Electroconductivity of organic semiconductors. *Trans. with English M.: Izd. foreign lit.* 1963. 205 p.
26. Galina V.M. Physico-chemical properties of composites of conjugated polyaminoarenes with dielectric polymer matrices: Diss. Ph.D. chemical science: 02.00.04. Lviv. 2008. 139 p.
27. *Martyniuk G.* Influence of dielectric polymer matrix on properties of composites with electrically conductive polymeric filler. *East European Scientific Journal Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe.* 2015. Vol. 3. P. 73–77 (in Ukrainian).
28. *Yurkiv V., Aksimentyeva O., Ukrainets A., Martyniuk G., Opaynych I.* Electrical properties of composites of polymethyl methacrylate and polyaniline. *Visnyk Lviv Univ. Ser. Chem.* 2006. Vol. 47. P. 352–356. (in Ukrainian).
29. *Mullen S., Stevens D.R., Roberts W.A., Ojha S.S., Clarke L.I., Gorga R.E.* Morphological, electrical and mechanical characterization of electrospun nanofiber mats containing multiwalled carbon nanotubes. *Macromolecules.* 2007. Vol. 40(4). P. 997–1003. (<https://doi.org/10.1021/ma061735c>).
30. *Ziadan K.M., Hussein H.F., Ajeel K.I.* Study of the electrical characteristics of poly(o-toluidine) and application in solar cell. *Energy Procedia* 2012. Vol. 18. P. 157–164. (<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.05.027>).
31. *Berezkin V.I., Popov V.V.* Percolation transition in carbon composite on the basis of fullerenes and exfoliated graphite. *Phys. Solid State.* 2018. Vol. 60. P. 207–211. (<https://doi.org/10.1134/S1063783418010043>).

SUMMARY

Galyna MARTYNIUK¹, Olena AKSIMENTYEVA-KRASNOPOLSKA²

ELECTRICAL PROPERTIES OF COMPOSITES BASED ON DIELECTRIC AND CONDUCTING POLYMERS

¹*Rivne State Humanities University,
Plastova st., 31e, 33000 Rivne, Ukraine
e-mail: galmart@ukr.net*

²*Ivan Franko National University of Lviv,
Kyryla i Mefodiya Str., 6, 79005 Lviv, Ukraine
e-mail: aksimen@ukr.net*

Electrically conductive conjugated polyaminoarenes based on polyaniline and its derivatives, possessing their own electronic conductivity, and act as electrically conductive fillers in composites with dielectric polymer matrices.

Using the 2-contact method of measuring specific resistance, the electrical properties of polymer-polymer composites based on dielectric polymer matrices of various types, both water-soluble (PVA, PMAA, PAA) and hydrophobic (PMMA, PBMA, ED-20), were investigated.

Conjugated polyaminoarenes – polyorthotoluidine (PoT), polyorthoanisidine (PoA), and polyaniline (PANi), were used as electrically conductive polymer fillers.

To describe the concentration dependence of the electrical conductivity of polymer-polymer composites, the Kirkpatrick model (scaling law) was used, which allows describing the percolation properties of conductor-dielectric composites.

It was established that the curves of the dependence of the specific electrical conductivity of the composites on the volume content of the polymer filler in all cases are characterized by a percolation dependence with percolation threshold values at the level of 2–10 vol. %.

With such a small content of conjugated polymer, the conductivity increases by 6–10 orders of magnitude for all investigated composites. It can be assumed that at the maximum content of the conductive filler in the composite, proper contact between particles is ensured, while the conductive filler forms its own polymer network (conductivity cluster), inside the «host» polymer, which permeates the entire volume of the material and a continuous conductive phase is formed, which is uniformly is distributed throughout the volume of the polymer composite.

For the first time, the critical parameters of the conductivity of polymer composites with an electrically conductive polymer filler before and after the percolation threshold «*s*» and «*t*» were determined.

It was established that the value of the percolation threshold and critical parameters of conductivity depends on many factors, primarily on the type of dielectric matrix and the structure of the filler, the presence and type of the substituent of the benzene nucleus in the polyaminoarene molecule.

Keywords: polymer composite, conductive polymer, dielectric matrix, percolation threshold, critical parameters.

Стаття надійшла: 24.05.2023.
Після доопрацювання: 14.07.2023.
Прийнята до друку: 29.09.2023.