

УДК 541.64

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-5>

Галина МАРТИНЮК

кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри екології, географії та туризму, Рівненський державний гуманітарний університет, вул. Пластова, 31-в, м. Рівне, Україна, 33000

ORCID: 0000-0001-6842-5601

Олена АКСІМЕНТЬЄВА

доктор хімічних наук, професор, професор кафедри фізичної та колоїдної хімії, Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Кирила і Мефодія, 6/8, м. Львів, Україна, 79005

ORCID: 0000-0003-3836-9607

Микола ЯЦКОВ

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри хімії та фізики, Національний університет водного господарства і природокористування, директор, ВСП «Рівненський технічний фаховий коледж Національного університету водного господарства та природокористування», вул. Орлова, 35, м. Рівне, Україна, 33017

ORCID: 0000-0002-3854-7971

Оксана ГАКАЛО

кандидат сільськогосподарських наук, викладач, ВСП «Рівненський технічний фаховий коледж Національного університету водного господарства і природокористування», вул. Орлова, 35, м. Рівне, 33017, Україна

ORCID: 0000-0001-8892-9786

Бібліографічний опис статті: Мартинюк, Г., Аксіментьєва, О., Яцков, М., Гакало, О. (2021). Кінетичні особливості синтезу й електричні властивості композитів на основі спряжених поліаміноаренів та поліакрилової або поліметакрилової кислот. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 30–38, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-5>

КІНЕТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СИНТЕЗУ Й ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ СПРЯЖЕНИХ ПОЛІАМІНОАРЕНІВ ТА ПОЛІАКРИЛОВОЇ АБО ПОЛІМЕТАКРИЛОВОЇ КИСЛОТ

У статті наведені результати вивчення кінетичних закономірностей формування, структури, а також електричних властивостей полімерних композитів на основі поліаміноаренових сполук, синтезованих окисною полімеризацією аміноаренів (*o*-толуїдину або аніліну) у водних розчинах (гідрогелях) поліакрилової (ПАК) та поліметакрилової кислот (ПМАК), методом *in situ*; з'ясовано нові можливості застосування таких систем.

Досліджено вплив водорозчинних матриць поліакрилової або поліметакрилової кислот на кінетику окисної полімеризації аніліну, *o*-толуїдину.

За допомогою методу ІЧ-спектроскопії вивчено будову та молекулярну структуру полімерних композитів ПАН–ПАК.

На підставі вивчення електричних властивостей отриманих композитів з'ясовано, що концентраційна залежність питомої електропровідності від вмісту наповнювачів має перколяційний характер із «порогом перколяції», який залежить від природи полімерної матриці та поліаміноарену і становить 2,3–2,5% для композита ПоТІ–ПАК, 3–4% – для ПоТІ–ПМАК, 1,8% – для ПАН–ПАК і близько 2% – для ПАН–ПМАК.

З'ясовано, що наявність іон-провідних матриць поліакрилової та поліметакрилової кислот суттєво змінює кінетику полімеризації аніліну та *o*-толуїдину, проте не впливає на напівпровідниковий характер електропровідності та оптичного поглинання, спряжених поліаміноаренів, що дозволяє використовувати утворені композити для виготовлення нових електропровідних полімерних матеріалів.

Ключові слова: полімерні електроліти, *o*-толуїдин, поліанілін, поліакрилова та поліметакрилова кислоти, кінетика полімеризації, електропровідність.

Galyna MARTYNIUK

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ecology, Geography and Tourism, Rivne State University of the Humanities, 31 Plastova str., Rivne, Ukraine, 33000
ORCID: 0000-0001-6842-5601

Olena AKSIMENTYEVA

Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor at the Department of Physical and Colloid Chemistry, Ivan Franko National University of Lviv, 6 Kyryla and Mefodia str., Lviv, Ukraine, 79005
ORCID: 0000-0003-3836-9607

Mykola YATSKOV

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor at the Department of Chemistry and Physics, National University of Water and Environmental Engineering, Director, VSP "Rivne Technical Vocational College of the National University of Water Management and Nature Management", 35 Orlova str., Rivne, Ukraine, 33017
ORCID: 0000-0002-3854-7971

Oksana GAKALO

Candidate of Agricultural Sciences, Lecturer of VSP "Rivne Technical Vocational College of the National University of Water Management and Nature Management", 35 Orlova str., Rivne, Ukraine, 33017
ORCID: 0000-0001-8892-9786

To cite this article: Martyniuk, G., Aksimentyeva, O., Yatskov, M., Gakalo, O. (2021). Kinetychni osoblyvosti syntezu y elektrychni vlastyvoli kompozytiv na osnovi spriazhenykh poliaminoareniv ta poliakrylovoi abo polimetakrylovoi kyslot [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*, 3, 30–38, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-5>

KINETIC FEATURES OF SYNTHESIS AND ELECTRICAL PROPERTIES OF ELECTRICAL PROPERTIES OF COMPOSITES BASED ON CONJUGATED POLYAMINOARENES AND POLYACRYLIC OR POLYMETHACRYLIC ACIDS

In this paper presents the results of studying the kinetic regularities of formation, structure, and electrical properties of polymer composites based on polyaminoarene compounds synthesized by oxidative polymerization of aminoarenes (o-toluidine or aniline) in aqueous solutions (hydrogels) of polyacrylic (PAA) and polymethacrylic acids (PMAA) by the in "situ" method; new possibilities of application of such systems are found out.

The influence of water-soluble PAA or PMAA matrices on the kinetics of oxidative polymerization of aniline and o-toluidine has been studied.

The structure and molecular structure of PANI–PAA polymer composites were studied by IR spectroscopy.

It is established that the kinetics of oxidative polymerization of aminoarenes (aniline, o-toluidine, etc.) in the presence of a PAA or PMAA matrix differs significantly from the polymerization of pure aminoarenes and has a complex character. The structure and structure of PANI–PAK polymer composites were studied by IR spectroscopy.

Based on the study of the electrical properties of the obtained composites, it was found that the concentration dependence of the specific electrical conductivity on the filler content has a percolation character with "percolation threshold", which depends on the nature of the polymer matrix and polyaminoarene and is 2.3–2.5% for PoT–PAA composite, 3–4% for PoT–PMAA, 1.8% for PANI–PAA and about 2% for PANI–PMAA.

The presence of ion-conducting matrices of polyacrylic and polymethacrylic acids significantly changes the polymerization kinetics of o-toluidine or aniline, but does not affect the semiconductor nature of electrical conductivity and optical absorption of conjugated polyaminoarenes, which allows the use of formed composites for the manufacture of new conductive polymeric materials.

Key words: polymer electrolytes, o-toluidine, aniline, polyacrylic and polymethacrylic acids, kinetics of polymerization, electrical conductivity, optical spectra.

Упродовж останнього десятиліття органічні провідники широко застосовуються в різних галузях науки та техніки (Аксіментьєва, 2011). На їх основі розробляють високоефективні пристрої нового типу: суперконденсатори, біосенсори, актуатори, органічні транзистори й елементи пам'яті, штучні м'язи, засоби захисту об'єктів довкілля, принцип дії яких базується на окисно-відновних властивостях електропровідних полімерів (Аксіментьєва 2011), (Feron, 2018), (Pandey, 2016). Особливу увагу сконцентровано на одержанні нових плівкових композиційних матеріалів із електропровідними, оптичними та іншими властивостями.

Відомі електропровідні полімери: поліанілін (далі – ПАН), поліортотолуїдин (далі – ПоТІ), поліортоанзідин (далі – ПоА), що мають систему спряжених зв'язків, у вільному стані не утворюють плівку, демонструють обмежену розчинність, мають низьку міцність і відсутність еластичності. З таких матеріалів важко формувати механічно стійкі, еластичні плівки, а також електродні матеріали з дуже розвинутою поверхнею контакту полімеру з електролітом. Регулювати фізико-хімічні властивості струмопровідних полімерних композитів можна за допомогою створення нових композиційних матеріалів на основі електропровідного полімерного наповнювача і водорозчинного матричного полімеру (Євчук, 2012).

Поліанілін та його похідні завдяки хімічній стабільності, простоті синтезу можуть бути використані як електропровідні полімерні наповнювачі (Аксіментьєва, 1998).

Серед великої кількості полімерних матриць для електропровідних зв'язуючих особливе місце займають іонні гідрогеліні полімерні сполуки: поліакрилова (далі – ПАК) та поліметакрилова (далі – ПМАК) кислоти, завдяки своїй тривимірній сітчасто-зшитій структурі з цікавими плівкоутворювальними властивостями, здатності утворювати з аміноаренами досить стійкі молекулярні комплекси, відігравати роль легувальних агентів спряженого полімерного ланцюга (Євчук, 2012), (Ноа, 2008), (Ahn, 2014), (Nomma, 2012).

Проте інформації про механізм та кінетичні особливості утворення композитів поліаміноарен – водорозчинна полімерна матриця в літературі не досить.

У роботі вивчено кінетичні закономірності формування, структуру, а також електричні властивості полімерних композитів на основі поліаренових сполук і водорозчинних полімерних матриць-гідрогелів (ПАК, ПМАК); з'ясовано нові можливості застосування таких систем.

Синтез полімерних композитів поліаміноарен – поліакрилова або поліметакрилова кислоти здійснювали за допомогою окисної полімеризації *in situ*, згідно з відомою методикою (Ноа, 2008), (Мамуня, 2013), за умови, коли спряжений електропровідний полімер синтезується безпосередньо в розчині полімерної матриці, що зумовлює рівномірну взаємодію полімерної матриці та наповнювача. Однак шар полімеру, що утворюється навколо поверхні наповнювача, перешкоджає виникненню контактів між ними, знижуючи провідність композитів.

Поліакрилову і поліметакрилову кислоти синтезували радикальною полімеризацією відповідних мономерів у водному розчині або в органічних розчинниках за присутності радикальних ініціаторів.

Реакційна суміш містила поліметакрилову або поліакрилову кислоту, мономерну сполуку (анілін, *o*-толуїдин), окисник – амоній пероксодисульфат, які розчиняли в 0,5 М розчині сульфатної кислоти і витримували за 293 К впродовж 2 годин. У результаті утворювалися забарвлені полімерні дисперсії, стабільні до осідання впродовж кількох місяців, колір яких залежав від концентрації мономера. За невеликого вмісту ПАН утворювалося темно-зелене забарвлення, властиве електропровідній формі поліаміноарену (емеральдину), а за великих концентрацій мономера – зелено-синє забарвлення. Плівкові композити виливали на поверхню скла або тефлону, витримували за температури 323–333 К і спостерігали утворення полімер-полімерних композитів у вигляді гнучких, прозорих плівок, які зумовлені наявністю матриць ПАК і ПМАК (Ноа, 2008), (Аксіментьєва, 2017).

Вивчення кінетики окисної полімеризації аніліну та *o*-толуїдину в розчинах ПАК і ПМАК різної концентрації проводили за інтервалу температур 323–333 К, використовуючи спектрофотометр СФ-46, фіксуючи зміну оптичної густини реакційної системи за довжини хвилі 760 нм. Утворені кінетичні криві зображено на рис. 1, 2.

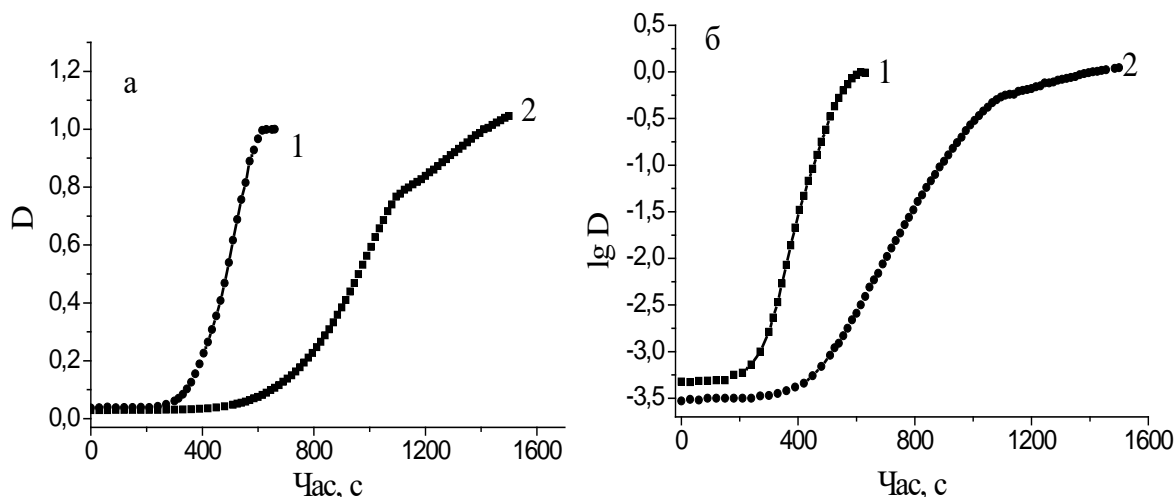


Рис. 1. Залежність оптичної густини (а) та логарифма оптичної густини (б) реакційної суміші від часу. Концентрація аніліну та окисника – $2,5 \cdot 10^{-2}$ моль/екв.л, розчинник – 0,5 М H_2SO_4 (1); за окиснення аніліну в матриці ПАК (2)

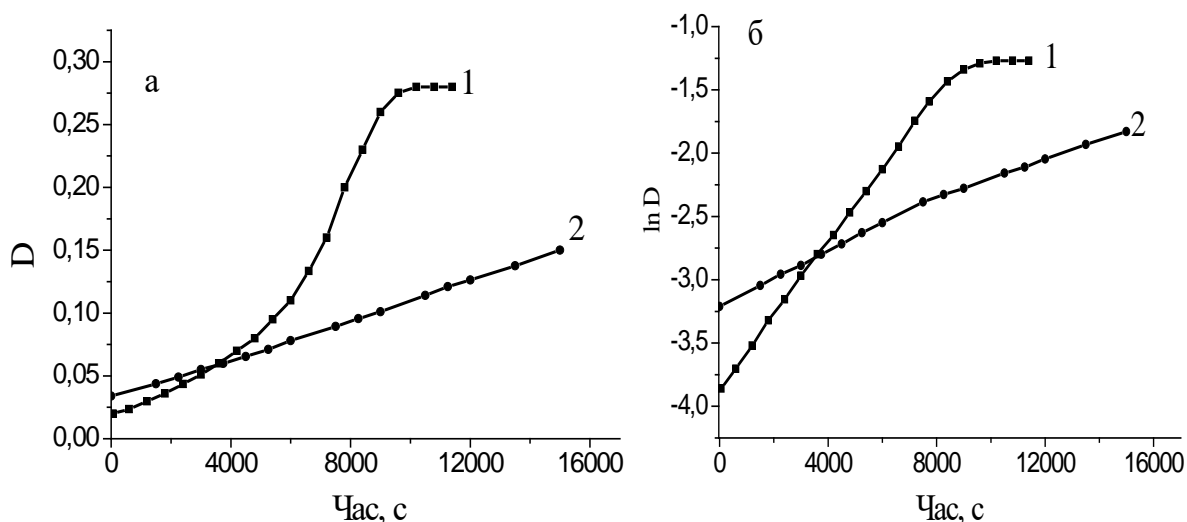


Рис. 2. Залежність оптичної густини (а) та логарифма оптичної густини (б) реакційної суміші від часу полімеризації 0,1 М розчину *o*-толуїдину під дією еквімолярної кількості окисника $(NH_4)_2S_2O_8$ в 0,5 М розчині H_2SO_4 (1); за окиснення *o*-толуїдину за наявності 0,07% розчину ПАК (2)

Кінетика окисної полімеризації аміноаренів (аніліну, *o*-толуїдину тощо) за наявності матриці ПАК або ПМАК суттєво відрізняється від полімеризації чистих аміноаренів і має складний характер.

За наявності ПАК у реакційному розчині ПАН–ПАК можна відзначити більш полого зміну нахилу і чітко виділити три ділянки кривої (див. рис. 1 а). На першій – чітко відстежується збільшення індукційного періоду з 300 до 650 секунд та, відповідно, й оптичної густини.

Потім йде перехідна ділянка, а далі оптична густина різко зростає (кінцева ділянка кривої). Полімеризація аніліну має ознаки автокаталітичного процесу, зокрема після порівняно повільної зміни оптичної густини (D) впродовж 60–70 хвилин відбувається різке її збільшення внаслідок перебігу реакції полімеризації з великим прискоренням (Аксіментьєва, 2011).

Згідно з рис. 2 а (крива 2) введення навіть невеликих кількостей ПАК до реакційної суміші суттєво змінює кінетику полімеризації

o-толуїдину. Спостерігається рівномірне накопичення ПоТІ, що виражається у майже лінійній залежності зміни оптичної густини від часу (див. рис. 2 а). Представлення початкових ділянок кінетичних кривих у координатах рівняння першого порядку $\ln D-t$ (див. рис. 2 б) дає змогу оцінити константи швидкості полімеризації ПоТІ за різних умов. Виявлено, що константа швидкості на початковій ділянці окиснення *o*-толуїдину становить $(2,7 \pm 0,1) \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$, тоді як за наявності 0,07% ПАК зменшується до $(1,6 \pm 0,1) \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$.

Для пояснення ефекту гальмування швидкості реакції окисного сполучення *o*-толуїдину в матриці ПАК запропоновано кілька версій. Так, полімерна матриця ПАК може зумовити зростання в'язкості системи. В результаті дифузії молекул зменшується, тому і швидкість реакції ініціювання знижується. Однак для досить повільних процесів, про що свідчить значення константи швидкості порядку 10^{-4} c^{-1} , таке припущення малоімовірне. З іншого боку, можливо, спостерігається взаємодія мономера з кислотними групами макроланцюгів ПАК. Це зумовить зміну просторової орієнтації молекул, а також спричинить їх закріплення на поверхні фібрил, зменшуючи їхню окисну здатність.

Для вивчення морфології композитів, отриманих у результаті окиснення *o*-толуїдину та аніліну в розчині ПАК або ПМАК, формували плівкові зразки товщиною до 0,5 мм на поверхні предметного скла за допомогою поливу поліме-

ризаційної суміші та її монолітизації впродовж 48 годин на повітрі та 4–6 годин у термостаті за 323–333 К. Утворені полімерні композитні плівки (рис. 3) з різним вмістом аміноарену та окисника досліджували, використовуючи оптичну мікроскопію – мікроскоп «Micromed» і цифрову фотокамеру «Nicon-2500» (збільшення в 600 і 1200 разів).

Сформовані композиційні плівки ПоТІ–ПАК мають світло-зелене забарвлення, властиве електропровідній формі поліаміноарену (емеральдину), та певну прозорість, зумовлену наявністю матриці ПАК. Під час дослідження морфології плівки в оптичному мікроскопі можна спостерігати доволі рівномірний розподіл ПоТІ в матриці ПАК.

Структуру композита ПАН–ПАК досліджували за допомогою методу ІЧ-спектроскопії (Мартинюк, 2021). Встановлено, що в спектрі гідрогелю композита ПАН–ПАК присутні смуги поглинання в ділянці $1080\text{--}1100 \text{ cm}^{-1}$, що вказує на наявність ПАН у гідрогелі ПАК у провідній (сольовій) формі. Наявність у спектрі досліджуваних зразків смуг поглинання в ділянці $1540\text{--}1550 \text{ cm}^{-1}$ і 1490 cm^{-1} свідчить про присутність хіноїдних і бензенових кілець, відповідно. А збережена смуга поглинання карбоксильної групи ПАК в ділянці 1700 cm^{-1} означає, що ПАН в отриманому гідрогелі перебуває у вигляді солі хлоридної кислоти, яка в цьому випадку і є допантом. Ці результати добре узгоджуються з результатами інших досліджень

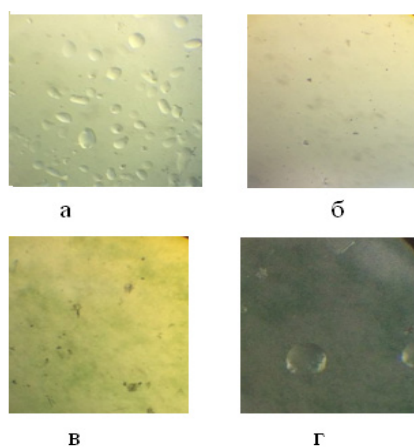


Рис. 3. Морфологія отриманих плівкових композитів ПАН–ПМАК методом оптичної мікроскопії за вмісту ПАН: а) 18,75%; б) 14,3%; в) 8,3%; г) розчин ПМАК

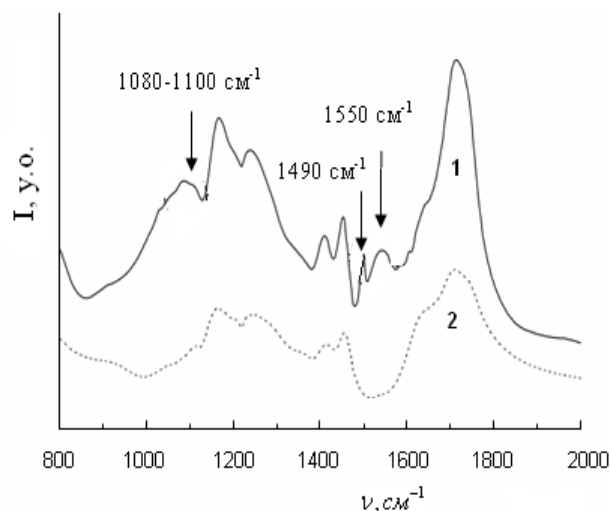


Рис. 4. ІЧ-спектри композита ПАН–ПАК (1) і ПАК (2) (Мартинюк, 2021)

(Власов, 2012), (Ельяшевич, 2016), вказуючи на утворення емеральдинової форми ПАН. Відсутність плато провідності в ІЧ-спектрі зразків ПАН-ПАК свідчить про невелику довжину ланцюга спряження синтезованого електропровідного полімеру. Отже, гідрогель ПАК впливає на процес полімеризації полімерного наповнювача ПАН, зумовлюючи зростання розгалужень, які порушують компланарність кілець поліанілінового ланцюга (Власов, 2016).

Вивчено вплив іонних полімерних матриць – поліакрилової та поліметакрилової кислот – на електричні властивості їхніх композитів із поліаніліном або поліортотолуїдином (Євчук, 2012), (Mazrouaa, 2011), (Лисенко, 2011).

Питому електропровідність досліджуваних зразків у вигляді спресованих таблеток вимірювали в спеціально сконструйованій комірці за допомогою двохелектродного методу (Мартинюк, 2008).

Встановлено, що електропровідність полімер-полімерних композитів за однакового наповнення залежатиме від розміру частинок, однорідного розподілу електропровідного наповнювача в полімерній матриці, характеру взаємодії компонентів провідної і непровідної фаз.

Питомий опір чистих матриць ПАК та ПМАК є досить високим і становить $\rho = 10^{14} - 10^{15}$ Ом·м, а за наявності малих концентрацій поліаміноарену – різко зменшується. В результаті питома провідність зростає, відповідно, на 8–10 порядків. Зі збільшенням концентрації поліаміноарену питома провідність ($\sigma = 1/\rho$) спочатку зростає, досягаючи максимуму за вмісту ПоТІ: 1) 5,5–6,0% ПоТІ-ПАК; 2) 7–8% ПоТІ-ПМАК (рис. 5), після чого зменшується.

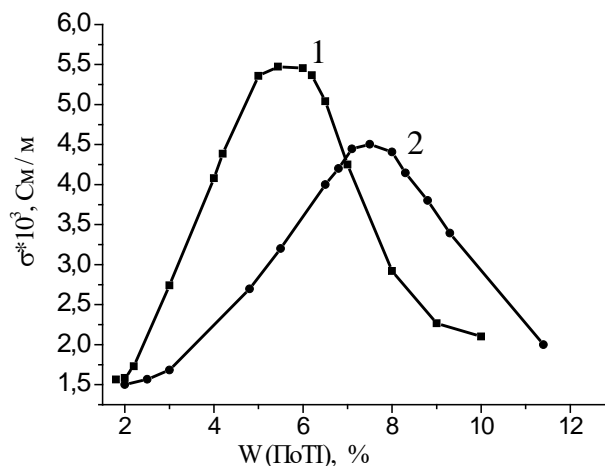


Рис. 5. Залежність питомої електропровідності композита ПоТІ-ПАК (1) та ПоТІ-ПМАК (2) від вмісту ПоТІ

Імовірно, що за такого вмісту електропровідного компонента в композиті забезпечена належна взаємодія між частинками. Зменшення провідності в разі зростання вмісту полімерного наповнювача пов'язане з погіршенням механічних властивостей композита, оскільки спряжений полімер чинить розпушувальну дію, зумовлюючи розрихлення структури композита аж до втрати монолітності.

Вигляд залежності логарифма питомої провідності плівок утворених композитів від вмісту полімерного наповнювача (див. рис. 6) свідчить про перколяційний характер провідності в досліджуваних композитах уже за вмісту спряженого полімеру в 2,3–2,5% для композита ПоТІ-ПАК, 3–4% – для ПоТІ-ПМАК, 1,8% – для ПАН-ПАК і близько 2% – для

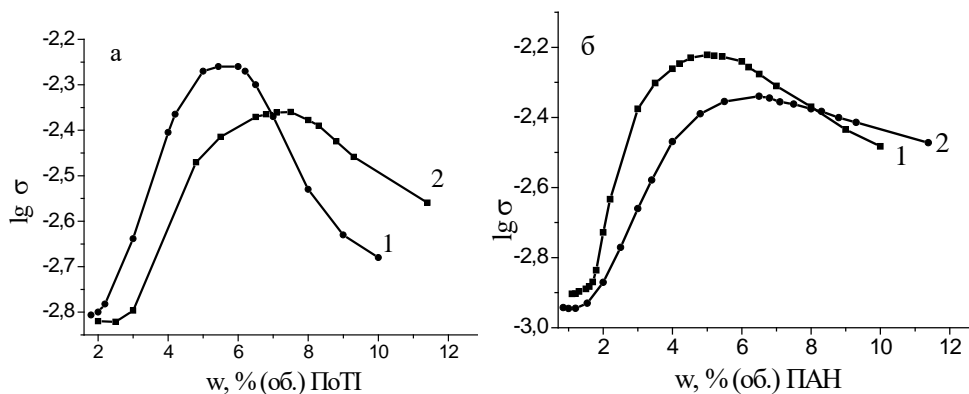


Рис. 6. Залежність логарифма питомої електропровідності для композита: (а) ПоТІ-ПАК (1), ПоТІ-ПМАК (2) від вмісту ПоТІ; (б) для ПАН-ПАК (1), ПАН-ПМАК (2) від вмісту ПАН

ПАН–ПМАК, причому провідність зростає на кілька (6–8) десяткових порядків.

Такі низькі значення порога перколяції характерні для композитів із електропровідною полімерною фазою. Можна припустити, що при цьому утворюється неперервна електропровідна полімерна матриця з рівномірним її розподілом в об'ємі полімерного композита (Аксіментьєва, 2004). Формування полімер-полімерних композитів ПАН та ПоТІ з іон-провідними матрицями ПАК або ПМАК у деяких випадках призводить до зростання питомої провідності у 1,5–2 рази, порівняно з полімером, синтезованим без ПАК або ПМАК. Отже,

полімерні електроліти є додатковими легувальними агентами спряжених поліаміноаренів (ПАН, ПоТІ) (Аксіментьєва, 2010).

Отримані результати підтверджують думку інших авторів (Власов, 2016), (Bhadra, 2019), що наявність іон-провідних (водорозчинних полімерних) матриць не призводить до зміни напівпровідникового характеру електропровідності, властивого електропровідним композитам на основі спряжених поліаміноаренів, а забезпечується значення питомої провідності на рівні 10^{-3} см/м, яке дозволяє розширити сферу використання утворених полімерних композитів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Аксіментьєва О.І., Конопельник О.І., Ціж Б.Р. Гнучкі елементи оптичних сенсорів на основі спряжених полімерних систем. *Sensor Electronics and Microsystem Technologies*. 2011. № 2. С. 39–44.
2. Feron K., Lim R., Sherwood C. et al. Organic Bioelectronics: Materials and Biocompatibility. *J Mol. Sci.* 2018. No. 19 (8). P. 2382. DOI: 10.3390/ijms19082382.
3. Pandey S. Highly sensitive and selective chemiresistor gas/vapor sensors based n polyaniline nanocomposite: A comprehensive review. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*. 2016. Vol. 1. Issue 4. P. 431–453. DOI: 10.1016/j.jsamd.2016.10.005.
4. Євчук О.В., Аксіментьєва О.І., Горбенко Ю.Ю. Оптичні та електричні властивості композитів спряжених поліаміноаренів із полімерними електролітами. *Вісник Львівського університету. Серія хімічна*. 2012. Вип. 53. С. 352–356.
5. Аксіментьєва О.І. Електрохімічні методи синтезу та провідність спряжених полімерів. Львів : Світ, 1998. 153 с.
6. Hoa C.H., Liub C.D., Hsieh C.H. et al. High dielectric constant polyaniline/poly(acrylic acid) composites prepared by in situ polymerization. *Synthetic Metals*. 2008. Vol. 158. P. 630–637.
7. Ahn S.Y., An J.Lee. Review. Recent application developments of water-soluble synthetic polymers. *J. Ind. Eng. Chem.* 2014. № 20 (6). P. 3913–3918. DOI: 10.1016/j.jiec.2014.01.006.
8. Homma T., Kondo M., Kawahara T. et al. Electrochemical polymerization of aniline in the presence of poly(acrylic acid) and characterization of the resulting films. *Polymer*. 2012. Vol. 53. P. 223–228. DOI: 10.1016/j.polymer.2011.11.038.
9. Мамуня Є.П., Юрженко М.В., Лебедев Є.В. та ін. Електроактивні полімерні матеріали. Київ : Альфа Реклама, 2013. 402 с.
10. Аксіментьєва О.І., Ціж Б.Р., Чохань М.І. Сенсори контролю газових середовищ у харчовій промисловості та довікільні : монографія. Львів : Піраміда, 2017. 284 с
11. Мартинюк Г.В., Аксіментьєва О.І. Дослідження структури полімерних плівок на основі полімерних гідрогелів та поліаніліну методом ІЧ-спектроскопії : збірник наук. праць XVIII наук. конф. «Львівські хімічні читання-2021», м. Львів, 31 травня – 2 червня 2021 р. Львів : Видавництво від А до Я, 2021. Ф 1.
12. Власов П.В., Смирнов М.А., Боброва Н.В. и др. Синтез композиционных систем на основе сшитой полиакриловой кислоты и изучение их химической структуры методом ИК-спектроскопии. *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. 2012. Т. 17. № 3. С. 11–14.
13. Ельяшевич Г.К., Дмитриев И.Ю., Власов П.В. и др. Электроактивные гидрогели на основе сшитых полиакрилатов и проводящих полимеров : сборник трудов VI Всероссийской конференции «Физикохимия процессов переработки полимеров», 3–7 октября 2016 г. Иваново, 2016. С. 48.
14. Власов П.В. Электроактивные композиционные системы на основе полианилина и гидрогелей полиакриламида и полиакриловой кислоты : автореф. ... дисс. канд. физ.-мат. наук. Санкт-Петербург, 2016. 124 с.
15. Mazrouaa A.M., Abed M.Y., Mansour N.A. et al. Synthesis and Characterization of Poly-o-Anisidine Nanoparticles and their Nanocomposite. *J. Mat. Sci. Eng.* 2011. № 01 (01). DOI: 10.4172/2169-0022.1000103.
16. Лисенко Е.А., Клепко В.В. Нанокompозитні полімерні електроліти: структура та властивості. *Полімерний журнал*. 2011. Т. 33. № 4. С. 307–315.
17. Мартинюк Г.В. Фізико-хімічні властивості композитів спряжених поліаміноаренів із діелектричними полімерними матрицями : дис. ... канд. хім. наук : 02.00.04. Львів, 2008. 139 с.

18. Аксіментьєва О.І., Конопельник О.І, Українець А.М. та ін. Анізотропія провідності та перколяційні явища в плівкових композитах спряжених поліаміноаренів із полівініловим спиртом. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2004. Т. 5. № 1. С. 142–146.
19. Aksimentyeva O.I., Konopelnyk O.I. et al. Interaction of component and congactivity polyaniline-polymethylmethacrylate nanocomposites. *Rev. Adv. Mater. Sci.* 2010. Vol. 23. P. 30–34.
20. Bhadra J., Al-Thani N. Advances in blends preparation based on electrically conducting polymer. *Emergent Materials*. 2019. Vol. 2. P. 67–77.

REFERENCES:

1. Aksimentyeva, O.I., Konopelnyk, O.I., Tsizh, B.R. et al. (2011) Hnuchki elementy optychnykh sensoriv na osnovi spriazhenykh polimernykh system [Flexible elements of optical sensors based on conjugate polymer systems]. *Sensor Electronics and Microsystem Technologies*. No. 2. P. 39–44.
2. Feron, K., Lim, R., Sherwood, C. et al. Organic Bioelectronics: Materials and Biocompatibility. *J Mol. Sci.* 2018. No. 19 (8). P. 2382. DOI: 10.3390/ijms19082382.
3. Pandey, S. Highly sensitive and selective chemiresistor gas/vapor sensors based n polyaniline nanocomposite: A comprehensive review. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*. 2016. Vol. 1. Issue 4. P. 431–453. DOI: 10.1016/j.jsamd.2016.10.005.
4. Yevchuk, O.V., Aksimentyeva, O.I., Horbenko, Yu.Yu. (2012) Optychni ta elektrychni vlastyvoli kompozytiv spriazhenykh poli aminoareniv z polimernymy elektrolitamy [Optical and electrical properties of composites of conjugated polyaminoarenes with polymer electrolytes]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya khimichna. [Bulletin of Lviv University. Chemical series]*. No. 53. P. 352–356. [in Ukrainian]
5. Aksimentyeva O.I. (1998) Elektrokhimichni metody syntezy ta providnist spriazhenykh polimeriv [Electrochemical methods of synthesis and conductivity of conjugated polymers]. Lviv : Svit. 153 p. [in Ukrainian]
- 6 Hoa, C.H., Liub, C.D., Hsieha, C.H. et al. High dielectric constant polyaniline/poly(acrylic acid) composites prepared by in situ polymerization. *Synthetic Metals*. 2008. Vol. 158. P. 630–637.
7. Ahn, S.Y., An, J.Lee. Review. Recent application developments of water-soluble synthetic polymers. *J. Ind. Eng. Chem.* 2014. No. 20 (6). P. 3913–3918. DOI: 10.1016/j.jiec.2014.01.006.
8. Homma, T., Kondo, M., Kawahara, T. et al. Electrochemical polymerization of aniline in the presence of poly(acrylic acid) and characterization of the resulting films. *Polymer*. 2012. Vol. 53. P. 223–228. DOI: 10.1016/j.polymer.2011.11.038.
9. Mamunia, Ye.P., Yurzhenko, M.V., Lebediev, Ye.V. ta in. (2013) Elektroaktyvni polimerni materialy [Electroactive polymeric materials]. Kiyv : Alfa Reklama. 402 p. [in Ukrainian]
10. Aksimentyeva, O.I., Tsizh, B.R., Chokhan, M.I. (2017) Sensory kontroliu hazovykh seredovyshch u kharchovii promyslovosti ta dovkilli : monohrafiya. [Sensors for control of gaseous media in the food industry and the environment : a monograph]. Lviv : Pyramida. 284 p. [in Ukrainian]
11. Martyniuk G.V., Aksimentyeva O.I. (2021) Doslidzhennia struktury polimernykh plivok na osnovi polimernykh hidroheliu ta polianilinu metodom ICh-spektroskopii : zbirnyk nauk. prats XVIII nauk. konf. “Lvivski khimichni chytannia-2021”. [Investigation of the structure of polymer films based on polymer hydrogels and polyaniline by IR spectroscopy]. Collection of scientific works: XVIII scientific conference “Lviv chemical readings-2021”. Lviv : Vydavnytvo vid A do Ya. F 1. [in Ukrainian]
12. Vlasov, P.V., Smirnov, M.A., Bobrova, N.V. et al. (2012) Sintez kompozitsionnykh sistem na osnove sshitoy poliakrilovoy kisloty i izuchenie ih himicheskoy struktury metodom IK-spektroskopii. [Synthesis of composite systems based on crosslinked polyacrylic acid and study of their chemical structure by IR spectroscopy]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tehnologiya legkoy promyshlennosti [Proceedings of higher educational institutions. Light industry technology]*. No. 17 (3). P. 11–14. [in Russian]
13. Elyashevich, G.K., Dmitriev, I.Yu., Vlasov, P.V. (2016) Elektroaktivnyie gidrogeli na osnove sshitykh poliakrilatov i provodyaschih polimerov : sbornik trudov VI Vserossiyskoy konferentsii “Fizikohimiya protsessov pererabotki polimerov” [Electroactive hydrogels based on crosslinked polyacrylates and conductive polymers. Proceedings of the VI All-Russian Conference “Physico-chemistry of Polymer Processing Processes”]. Ivanovo. 48 p. [in Russian]
14. Vlasov, P.V. (2016) Elektroaktivnyie kompozitsionnyie sistemy na osnove polianilina i gidrogeley poliakrilamida i poliakrilovoy kisloty [Electroactive composite systems based on polyaniline and polyacrylamide and polyacrylic acid hydrogels]. *Ph.D. Thesis*. Sankt-Peterburg. [in Russian]
15. Mazrouaa, A.M., Abed, M.Y., Mansour, N.A. et al. Synthesis and Characterization of Poly-o-Anisidine Nanoparticles and their Nanocomposite. *J. Mat. Sci. Eng.* 2011. No. 01 (01). DOI: 10.4172/2169-0022.1000103.
16. Lysenko, E.A., Klepko, V.V. (2011) Nanokompozytni polimerni elektrolity: struktura ta vlastyvoli [Nanocomposite polymer electrolytes: structure and properties]. *Polimernyi zhurnal*. No. 33 (4). P. 307–315. [in Ukrainian]

17. Martyniuk, G.V. (2008) Fyzyko-khimichni vlastyvoli kompozytiv spriazhenykh poliaminoareniv z dielektrychnymy polimernymy matrytsiamy [Physico-chemical properties of composites of conjugated polyaminoarenes with dielectric polymer matrices]. *Ph.D. of chemical sciences*. Lviv National University, Lviv. [in Ukrainian]

18. Aksimentyeva, O.I., Konopelnyk, O.I., Ukrainets, A.M. ta in. (2004) Anizotropiia providnosti ta perkoliatsiini yavlyshcha v plivkovykh kompozytakh spriazhenykh poliaminoareniv z polivinilovym spyrtoom [Conduction anisotropy and percolation phenomena in film composites of conjugated polyaminoarenes with polyvinyl alcohol]. *Fizyka i khimiia tverdoho tila*. No. 5 (1). P. 142–146. [in Ukrainian]

19. Aksimentyeva, O.I., Konopelnyk, O.I. et al. Interaction of component and congactivity polyaniline-polymethylmethacrylate nanocomposites. *Rev. Adv. Mater. Sci.* 2010. Vol. 23. P. 30–34.

20. Bhadra, J., Al-Thani, N. Advances in blends preparation based on electrically conducting polymer. *Emergent Materials*. 2019. Vol. 2. P. 67–77.