

УДК 678.027.3

DOI 10.36910/775.24153966.2021.72.4

С.А. Федосов¹, Ю.О. Одарчук¹, В.Є. Сахнюк¹, Д.А. Захарчук², О.М. Вілігурський¹¹Волинський національний університет імені Лесі Українки²Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

Стаття аналізує публікації авторитетних світових і українських науковців у галузі полімерних композитних матеріалів з метою знайти закономірності щодо підтримки та розвитку цього напрямку у світі та в Україні, визначити перспективи для спільних досліджень. Розглянуто особливості міжнародної співпраці, окреслено коло провідних видань у науковій області, проаналізовано фактори впливовості вчених різних країн на розвиток цієї області. Дослідження базується на результатах даних, опублікованих у міжнародній наукометричній базі Scopus. Виконано аналіз і сформульовано рекомендації для покращення поширення результатів вітчизняних вчених у світовій науковій спільноті за цим напрямком.

Ключові слова: полімерні композитні матеріали, публікації, наукові дослідження, h-індекс.

С.А. Федосов, Ю.О. Одарчук, В.Е. Сахнюк, Д.А. Захарчук, О.Н. Вилигурский АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УКРАИНЕ И МИРЕ

Статья анализирует публикации авторитетных мировых и украинских ученых в области полимерных композитных материалов с целью найти закономерности поддержки и развития этого направления в мире и в Украине, определит перспективы для совместных исследований. Рассмотрены особенности международного сотрудничества, очерчен круг ведущих изданий в научной области, проанализированы факторы влияния ученых разных стран на развитие этой области. Исследование основывается на результатах данных, опубликованных в международной наукометрической базе Scopus. Выполнен анализ и сформулированы рекомендации по улучшению распространения результатов отечественных ученых в мировой научной общности по этому направлению.

Ключевые слова: полимерные композитные материалы, публикации, научные исследования, h-индекс.

S. Fedosov, Yu. Odarchuk, V. Sakhnyuk, D. Zakharchuk, O. Viligurskiy ANALYSIS OF THE STATE OF RESEARCH OF POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS IN UKRAINE AND THE WORLD

The article analyzes the publications of authoritative world and Ukrainian scientists in the field of polymer composite materials in order to find patterns for the support and development of this area in the world and in Ukraine, to identify prospects for joint research. The peculiarities of international cooperation are considered, the range of leading publications in the scientific field is outlined, the factors of influence of scientists of different countries on the development of this field are analyzed. The study is based on the results of data published in the international scientometric database Scopus. The analysis is made and recommendations for improvement of distribution of results of domestic scientists in the world scientific community in this area are formulated.

Keywords: polymer composite materials, publications, scientific research, h-index.

Постановка проблеми. Нанотехнології швидко увійшли у світ науки та техніки і, завдяки своїм унікальним властивостям, набули застосування майже в усіх галузях виробництва і промисловості, починаючи від військових потреб і закінчуючи побутом. З розвитком нанотехнологій з'явилися надсучасні бронезилети, матеріали для «невидимості» літаків і кораблів та ін. Підвищення інтеграції електронних компонент, нові матеріали з покращеними характеристиками температурної стійкості та збереження своїх структурних, діелектричних, електрофізичних і магнітних властивостей, а також розроблення нових датчиків газу, тиску, випромінювання з широким діапазоном хвиль на основі мембран з атомарною товщиною – усе це суттєві переваги наноелектроніки. Дослідження пов'язані з нанотехнологіями є одними з найактуальніших на сьогодні і носять не лише теоретичний характер, але й мають велике практичне значення, і включають в себе розробку методів новітніх технологій одержання та переробки полімерних матеріалів з прогнозованим комплексом їх властивостей.

Постановка завдань. В роботі поставлено мету – виконати аналіз досліджень, які стосуються полімерних композитних матеріалів, зробити спробу визначити особливості розвитку даної тематики у світі та Україні.

Методологія досліджень. Проведено аналіз публікацій, індексованих у наукометричній базі Scopus. Для аналізу відібрано статті з пошуку за ключовими словами (тегом) «Polymer composite materials» (Полімерні композитні матеріали) у ключових словах (keywords) наукових статей за період 1993-2021 рр. Вибірку зроблено за результатом аналізу таких матеріалів: найбільш

цитованих публікацій із афіліацією у світі, найновіших публікацій із афіліацією в світі, аналогічно, із афіліацією в Україні – найцитованіших публікацій і найбільш нових публікацій. Аналізувалися: афіліація авторів, країни авторів, наявність фінансової підтримки досліджень, журнал, у якому здійснено публікацію, рік публікації та їх кількість, а також і самі публікації. Така методика була запропонована і апробована у [1-3].

Викладення основного матеріалу. Вивченням проблем, які пов'язані з дослідженнями полімерних композитних матеріалів займається велика кількість науковців усього світу. У наукометричній базі даних Scopus за період 1993-2021 рр. опубліковано 50 020 наукових праць пов'язаних з полімерними композитними матеріалами (Polymer composite materials). Високий сумарний h-індекс ($h = 373$) лише підтверджує велику зацікавленість науковців до даної тематики. Майже половина всіх робіт (рис. 1) опубліковано вченими з Китаю та США. Серед країн-лідерів, також: Індія, Японія, Великобританія, Німеччина тощо. Самі ж дослідження з даної тематики зосереджено у провідних науково-дослідних центрах, серед яких: Міністерство освіти Китаю, Китайська академія наук, Сичуанський університет, Харбінський технологічний інститут, Національний центр наукових досліджень CNRS, Технологічний інститут Джорджії тощо. Закономірно, що провідні центри належать саме країнам-лідерам – Китай, США тощо.

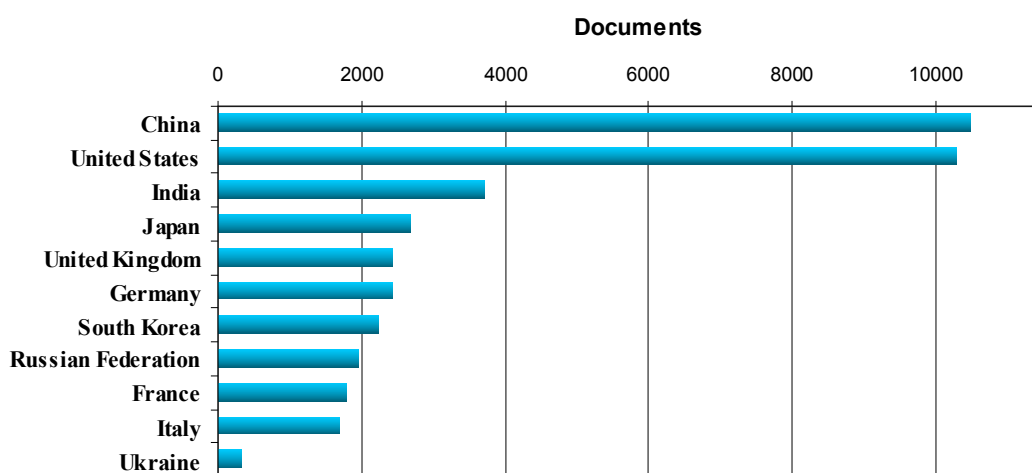


Рис. 1. Кількість публікацій за країнами у дослідженнях полімерних композитних матеріалів.

Для дослідників з українських організацій кількість публікацій присвячених вивченню питань полімерних композитних матеріалів (Polymer composite materials) значно менша ніж загальносвітова і складає 325 із h-індексами $h = 27$. Провідними українськими установами за кількістю публікацій, які пов'язані з дослідженнями полімерних композитних матеріалів є (кількість публікацій у Scopus): Національна академія наук України (157), інститути НАН України – Інститут хімії високомолекулярних сполук (35), Інститут хімії поверхні (21), Інститут фізики (18), Інститут проблем матеріалознавства (17), Інститут фізики напівпровідників (15), а також Київський національний університет імені Тараса Шевченка (37), Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (22), Національний університет «Львівська політехніка» (13).

У найцитованіших публікаціях розглядаються найактуальніші результати досліджень полімерних композитних матеріалів. Аналіз самих публікацій за тегом «Polymer composite materials» (Полімерні композитні матеріали) вказує на високе практичне значення таких досліджень. Зокрема у найбільш цитованій роботі [4] (10 645 цитувань) представлено новий загальний підхід до створення графен-полімерних композитів шляхом повного відшарування графіту⁹ і дисперсії на молекулярному рівні окремих хімічно модифікованих графенових листів всередині полімерних хостів, що забезпечує шлях до широкого нового класу матеріалів на основі графену та значно розширює їх застосування. Ефективність збору носіїв та ефективність перетворення енергії полімерних фотоелектричних елементів було покращено [5] (9 192 цитувань) шляхом змішування напівпровідникового полімеру з C_{60} або його функціоналізованими похідними, а висока ефективність збору є результатом двонеперервної мережі внутрішніх донорно-акцепторних гетеропереходів. Автори [6] (4 914 цитувань) показали, що WS_2 і MoS_2 ефективно зміцнюють полімери, тоді як гібридні плівки WS_2 вуглецевих нанотрубок мають високу

провідність, що призводить до перспективних термоелектричних властивостей. У [7] (4 589 цитувань) увага авторів зосереджена на механізмах і теоретичних моделях, які були розроблені для електроспінінгу, а також на можливості керувати діаметром, морфологією, складом, вторинною структурою та просторовим вирівнюванням електроспінінгових нановолокон. Виділено також деякі потенційні застосування, які пов'язані з особливими характеристиками електроспінінгових нановолокон. Огляд [8] (4 313 цитувань) досліджує стан знань про взаємозв'язок між пористістю та розміром пор біоматеріалів, що використовуються для регенерації кістки. Розглянуто вплив цих морфологічних особливостей на остеогенез *in vitro* та *in vivo*, а також взаємозв'язок з механічними властивостями каркасів. У роботі [9] (3 341 цитувань) розглянуто прогрес, який досягнуто на сьогоднішній день у сфері механічного армування полімерів за допомогою нанотрубок і як результат досліджень – обговорення найбільш перспективних методів обробки механічного армування та перспективи на майбутнє. Детально розглядаються різні методи модифікації поверхні для досягнення хорошої біосумісності, а також більш високої стійкості до зносу та корозії у [10] (3 324 цитувань). Загалом, була зроблена спроба розкрити поточний стан матеріалів на основі Ті для біомедичного використання. У [11] (3 160 цитувань) вивчався конструкційний полімерний матеріал із здатністю автономно загоювати тріщини. Матеріал містить мікрокапсулований загоювальний агент, який виділяється при проникненні тріщин. Експерименти з руйнуванням дають 75 % відновлення міцності, і автори очікують, що їх підхід буде застосовний до інших систем крихких матеріалів (включаючи кераміку та скло).

Найбільш цитовані публікації українських вчених мають місце у співавторстві з колегами із Польщі [12], Франції [13], США [14] і [15], Китаю [15]. Найцитованіша робота науковців України [12] (388 цитувань) присвячена дослідженню електрохімічних властивостей композитів, які виготовлені з електропровідного полімеру полі(3,4-етилendioкситіофену) тобто PEDOT та багатошарових вуглецевих нанотрубок (ВНТ) для застосування суперконденсаторів. Встановлено, що PEDOT/вуглецевий композит має хороші циклічні характеристики з високою стабільністю у всіх електролітах та володіє значною об'ємною енергією через свою високу щільність. У [13] (368 цитувань) авторами розглянуто кілька методів виробництва композитів/сумішей, що містять поліанілін PANI. Зокрема, розглянуто узагальнені підходи до підготовки таких матеріалів. Розглянуто дві різні групи синтетичних методів, заснованих на полімеризації аніліну: (1) у присутності або всередині полімеру матриці, або (2) змішування попередньо приготовленого PANI з полімером матриці. Проаналізовано деякі аспекти цих методів, наголошено на особливостях, які визначають властивості кінцевих композитів/сумішей.

Вплив складу ливарної суміші та процесу введення наночастинок на морфологічні та граничні властивості підготовлених мембран досліджували у [14] (237 цитувань) шляхом порівняння нанокompозитів різних препаратів із контрольними групами без срібла. Інтерпретовано структуру та властивості нанокompозитів з точки зору взаємозв'язку процесів утворення наночастинок та гелеутворення багатої на полімер фази під час фазової інверсії. Встановлено у деяких випадках включення нанорозмірного срібла, яке призводило до розширення макровидів і зниження гідравлічного опору на порядок, що супроводжувалося лише помірним зниженням відторгнення. У роботі [15] (166 цитувань) продемонстровано 3D двофотонний запис та двофотонне зчитування у фотохромних полімерних композитах. Метод зчитування на основі RET виявився по суті неруйнівним (демонстрував втрату початкового випромінювання флуоресценції менше ніж 20% від початкового випромінювання після 10 000 циклів зчитування), забезпечуючи вирішення давньої проблеми у фотохромному оптичному зберіганні даних. Електропровідні композити на основі PE, PP, PS, PMMA і PA, які наповнені сажею досліджено в [16] (125 цитувань). Встановлено, що перколяційна поведінка провідності залежить від ступеня взаємодії полімер-наповнювач. Запропоновано рівняння, що враховують взаємодію полімер-наповнювач, для опису провідності композиту вище та нижче порога перколяції.

Серед найбільш цитованих світових наукових центрів (науковців публікації, яких найбільш цитовані) спостерігаються, в основному, установи країн-лідерів: Північно-Західний університет (США), Бірксський нанотехнологічний центр (США), Інститут полімерів та органічних твердих тіл (США), Центр досліджень адаптивних наноструктур і нанопристроїв (Ірландія), Корейський університет (Південна Корея), Вашингтонський університет (США), Університет Тафтса (США) та ін. Хоча ці центри не входять до переліку провідних науково-дослідних центрів, які мають найбільшу кількість публікацій, проте науковці з них можуть претендувати на найвищі позиції у рангу світових вчених. В Україні окрім провідних за кількістю публікацій також є низка центрів з

найавторитетнішими (найцитованішими) науковцями в області полімерних композитних матеріалів: Київський національний університет технологій і дизайну, Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАНУ, Національний університет «Києво-Могилянська академія», Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова та ін.

Табл. 1.

Порівняльна характеристика світових та українських досліджень в області «Полімерні композитні матеріали» (Polymer composite materials)

Світ	Порівняння	Україна
50 020	Кількість публікацій	325
373	h-індекс	27
<ul style="list-style-type: none"> – Journal of Applied Polymer Science, US (Q1 0,58) – Composites Science and Technology, UK (Q1 2,0) – Composites Part B: Engineering, UK (Q1 2,2) – Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering, US (0,19) – Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, UK (Q1 1,88) – Advanced Materials Research, Germany – Polymer, Netherlands (Q1 0,91) – ACS applied materials & interfaces, US (Q1 2,54) – Composite Structures, Netherlands (Q1 1,63) – Polymer Composites, US (Q1 0,58) 	Джерела публікацій, країна (SJR)	<ul style="list-style-type: none"> – Molecular Crystals and Liquid Crystals, UK (Q3 0,22) – Chemical and Petroleum Engineering, US (Q3 0,29) – Powder Metallurgy and Metal Ceramics, US (Q3 0,22) – Springer Proceedings in Physics, Germany (0,14) – Nanoscale Research Letters, US (Q1 0,87) – Journal of Applied Polymer Science, US (Q1 0,58) – Materials Science, US (Q3 0,23) – Mechanics of Composite Materials, US (Q2 0,36) – Functional Materials, Ukraine (Q4 0,18) – International Applied Mechanics, US (Q3 0,22)
<ul style="list-style-type: none"> – National Natural Science Foundation of China – National Science Foundation – European Commission – Ministry of Education of the People's Republic of China – Fundamental Research Funds for the Central Universities – U.S. Department of Defense – Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China – National Research Foundation of Korea – Engineering and Physical Sciences Research Council – Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology 	Організації, що фінансують дослідження	<ul style="list-style-type: none"> – European Commission – National Academy of Sciences of Ukraine – Ministry of Education and Science of Ukraine – North Atlantic Treaty Organization – Seventh Framework Programme – Research Executive Agency – Bundesministerium für Bildung und Forschung – Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego – Narodowe Centrum Nauki – Russian Foundation for Basic Research

Найвагоміші результати досліджень світових науковців опубліковано у авторитетних виданнях Q1. Найбільшу кількість представлено у журналах: Journal of Applied Polymer Science (SJR 0,58), Composites Science and Technology (SJR 2,0), Composites Part B: Engineering (SJR 2,2), Composites Part A: Applied Science and Manufacturing (SJR 1,88), Polymer (SJR 0,91), ACS applied materials & interfaces (SJR 2,54), Composite Structures (SJR 1,63), Polymer Composites (SJR 0,58),

тоді як найбільш цитовані статті опубліковані у топових (з високим SJR) журналах: Nature (SJR 15,99), Science (SJR 12,56), Advanced Materials (SJR 10,71), Biomaterials (SJR 3,21), Carbon (SJR 2,25), Progress in Materials Science (SJR 9,71), Macromolecules (SJR 1,99), Nature Nanotechnology (SJR 14,31). Причому, значна кількість публікацій видана не лише у топових журналах, але й у великій кількості матеріалів конференцій, таких як Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering (SJR 0,19) тощо, що вказує на важливість участі науковців у роботі таких заходів, зокрема представлення на них своїх результатів.

Для України ситуація з невисоким значенням h-індексу пов'язана не лише з кількістю публікацій. Є країни, які мають приблизно таку ж кількість публікацій, але випереджають нас за якістю (h-індексом). Для пояснення цього проаналізовано видання, де представлені дослідження наших вчених. Українські науковці найчастіше публікують свої результати в журналах Q3: Molecular Crystals and Liquid Crystals (SJR 0,22), Chemical and Petroleum Engineering (SJR 0,29), Powder Metallurgy and Metal Ceramic (SJR 0,22), Materials Science (SJR 0,23), International Applied Mechanics (SJR 0,22), але і значна їх кількість прослідковується у виданнях Q1 і Q2: Nanoscale Research Letters (SJR 0,87), Journal of Applied Polymer Science (SJR 0,58), Mechanics of Composite Materials (SJR 0,36). Привертає увагу те, що країни-лідери за кількістю і якістю публікацій публікують результати своїх досліджень практично у тих самих наукових виданнях. Це є певним «плюсом», оскільки, публікуючи статті у таких самих журналах, вчені цих країн звертають увагу на інші праці, опубліковані у цих виданнях. Таким чином реалізується більша кількість цитувань їх праць. Тому найбільш цитовані українські публікації саме у виданнях Q1 і Q2. Причому, імпаکت-фактори цих журналів не завжди є надто високими: Journal of Physics and Chemistry of Solids (Q2 SJR 0,74), Progress in Polymer Science (Q1 SJR 5,95), Journal of Membrane Science (Q1 SJR 1,93), Chemistry of Materials (Q1 SJR 3,74), Composite Interfaces (Q2 SJR 0,59), Advances in Colloid and Interface Science (SJR Q1 2,27), ACS Nano (Q1 SJR 5,55), Polymer Engineering and Science (Q2 SJR 0,5), Journal of Colloid and Interface Science (Q1 SJR 1,54), Powder Technology (Q1 SJR 1,08). Часто такими виданнями є матеріали профільних конференцій, що є ознакою сформованого певного міжнародного наукового середовища, представники якого беруть спільно участь у міжнародних конференціях та симпозиумах, де діляться своїми результатами.

Дещо складніше робити висновки за галузю знань, з якою позиціонується певна публікація. Для всіх публікацій по світу пов'язаних з «Полімерні композитні матеріали» (Polymer composite materials), переважаючими є «Матеріалознавство», «Інженерія», «Хімія», «Фізика та астрономія» і «Хімічна інженерія» (рис. 2а). Для України переважаючі галузі такі ж як у світі (рис. 2б), лише з дещо іншими пріоритетами. Значно вищі світові відсоткові значення кількості публікацій проти українських пов'язаних з галузями знань «Матеріалознавство» (33,4 проти 29,0%), «Інженерія» (24,1 і 21,1%), «Хімія» (12,3 і 11,7%), «Хімічна інженерія» (6,7 і 5,1%). Тоді як для галузі «Фізика та астрономія» спостерігається значний «перекос» (10,9 проти 20,7%). Лідерство «Матеріалознавства» вказує на те, що відповідні дослідження більше інтегровані саме до конкретних областей матеріалознавства і перейшли у практичне русло, яке пов'язане з інженерією чи хімією. Перевагу за кількістю публікацій галузі знань «Фізика та астрономія» можна пояснити значним фундаментальним доробком і розвитком прикладних аспектів. Науковці намагаються знайти практичне застосування результатів досліджень своїх колективів в матеріалознавстві чи інженерії, але спираються у більшості на попередні результати. Також, часто такі напрями визначаються наявною матеріальною базою або публікаціями у співпраці вчених з різних країн, де кожна наукова група чітко виконує свою частину роботи.

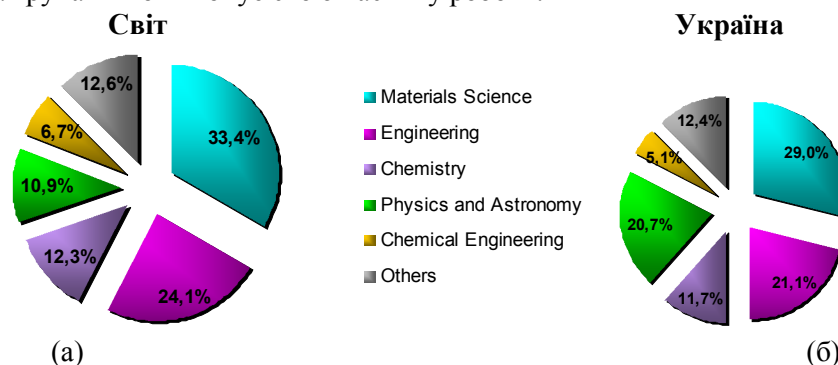


Рис. 2. Переважаючі галузі знань публікацій з «Полімерні композитні матеріали» (Polymer composite materials).

Схожим є аналіз країн, з представниками яких частіше йдуть на співпрацю. Для України це країни, які мають можливість надати матеріальну базу високого рівня. Закономірно бачити значну кількість публікацій з: РФ – 29 спільних публікацій, Польща – 23, США – 19, Франція – 17, Греція – 15. Є серед країн-партнерів і Німеччина, Великобританія, Італія, Білорусь, Китай. Хоча Китай і США мають високий економічний потенціал та суттєво вищі показники за кількістю публікацій (рис. 1), вони не є переважаючими серед країн-партнерів для України. Як правило, для цих країн пріоритетною є підтримка власних досліджень та, відповідно, значна кількість публікацій без іноземних партнерів.

Найбільшими світовими організаціями, що фінансують дослідження в даній галузі – здебільшого організації з Китаю і США: National Natural Science Foundation of China, National Science Foundation, European Commission, Ministry of Education of the People's Republic of China, Fundamental Research Funds for the Central Universities, U.S. Department of Defense тощо. Для України ситуація з державною підтримкою складніша. Дуже мала (7 і 5 відповідно) кількість публікації (рядок 4 табл. 1), де вказано виконання за сприянням НАНУ і МОНУ. Зате є публікації українських вчених, дослідження яких підтримані Bundesministerium für Bildung und Forschung (Німеччина), Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Narodowe Centrum Nauki (Польща) тощо. Фінансують українські дослідження і загальносвітові спонсори (кількість праць): European Commission (8), NATO і Seventh Framework Programme (5). Як правило, українські вчені виконують свої дослідження або в закордонних інституціях, вигравши певний дослідницький грант, або українська організація співпрацює із закордонною. Тому вчені є співавторами багатьох спільних статей. Іншою проблемою у науковців з України є не деталізація на метаданих (відсутність виконання у рамках певного гранту), або виконання досліджень без фінансової підтримки. Лише близько чверті публікацій з українськими науковцями із проіндексованих мають відомості про фінансування дослідження.

Висновки. На основі проведеного аналізу стану досліджень полімерних композитних матеріалів в Україні та світі можна зробити висновок про високу актуальність даного напрямку, оскільки ним займається велика кількість науковців, про що свідчать 50 020 наукових праць у наукометричній базі даних Scopus за період 1993-2021 рр з сумарним h-індексом ($h = 373$). Серед країн-лідерів в цій галузі можна виділити: Китай, США, Індія, Японія, Великобританія, Німеччина тощо. Така зацікавленість науковців провідних країн світу і не тільки до даної проблематики свідчить про високе її практичне значення.

Окремо слід зауважити, що кількість публікацій українських вчених присвячених вивченню питань полімерних композитних матеріалів у загальносвітовому рейтингу складає 325 із h-індексами $h = 27$. Недостатнє представлення публікацій, які подаються українськими науковцями пояснено низкою факторів: потребами у наявності сучасної та дорогої матеріальної бази; ліцензованого програмного забезпечення; частою відсутністю зовнішнього фінансування таких досліджень; відсутністю чіткого інформування, за кошти яких саме грантів виконується конкретне дослідження. Однак, міжнародна співпраця українських вчених заслуговує уваги та вказує на перспективи розвитку досліджень полімерних композитних матеріалів.

Список використаних джерел:

1. Nykyruy L., Fedosov S., Saliy Ya., Prokopiv V., Zamurujeva O., Yavorsky R. Current research in the field of medical physics: Challenges for Ukraine. *Scientific Notes*. 2020. № 69. P. 82–91.
2. Wisz G, Nykyruy L, Yakubiv V, Hryhoruk I, Yavorskyi R. Impact of advanced research on development of renewable energy policy: Case of Ukraine. *Int. J. Renewable Energy Res*. 2018. Vol. 8, № 4. P. 2367–2384.
3. Nykyruy L.I., Zamurujeva O.V., Urban O.A., Fedosov S.A. The Impact of Scientific Research on the Development of Renewable Energy. *Perspective Technologies and Devices*. 2020. № 16. P. 82–91.
4. Stankovich S., Dikin D.A., Dommett G.H.B., et al. Graphene-based composite materials. *Nature*. 2006. Vol. 442, № 7100. P. 282–286.
5. Yu G., Gao J., Hummelen J.C., Wudl F., Heeger A.J. Polymer photovoltaic cells: Enhanced efficiencies via a network of internal donor-acceptor heterojunctions. *Science*. 1995. Vol. 270, № 5243. P. 1789–1791.
6. Coleman J.N., Lotya M., O'Neill A., et al. Two-dimensional nanosheets produced by liquid exfoliation of layered materials. *Science*. 2011. Vol. 331, № 6017. P. 568–571.
7. Li D., Xia Y. Electrospinning of nanofibers: Reinventing the wheel? *Adv. Mater*. 2004. Vol. 16, № 14. P. 1151–1170.

8. Karageorgiou V., Kaplan D. Porosity of 3D biomaterial scaffolds and osteogenesis. *Biomaterials*. 2005. Vol. 26, № 27. P. 5474–5491.
9. Coleman J.N., Khan U., Blau W.J., Gun'ko Y.K. Small but strong: A review of the mechanical properties of carbon nanotube-polymer composites. *Carbon*. 2006. Vol. 44, № 9. P. 1624–1652.
10. Geetha M., Singh A.K., Asokamani R., Gogia A.K. Ti based biomaterials, the ultimate choice for orthopaedic implants - A review. *Prog. Mater. Sci.* 2009. Vol. 54, № 3. P. 397–425.
11. White S.R., Sottos N.R., Geubelle P.H., et al. Autonomic healing of polymer composites. *Nature*. 2001. Vol. 409, № 6822. P. 794–797.
12. Lota K., Khomenko V., Frackowiak E. Capacitance properties of poly(3,4-ethylenedioxythiophene)/carbon nanotubes composites. *J. Phys. Chem. Solids*. 2004. Vol. 65, № 2-3. P. 295–301.
13. Pud A., Ogurtsov N., Korzhenko A., Shapoval G. Some aspects of preparation methods and properties of polyaniline blends and composites with organic polymers. *Prog. Polym. Sci.* 2003. Vol. 28, № 12. P. 1701–1753.
14. Taurozzi J.S., Arul H., Bosak V.Z., et al. Effect of filler incorporation route on the properties of polysulfone-silver nanocomposite membranes of different porosities. *J. Membr. Sci.* 2008. Vol. 325, № 1. P. 58–68.
15. Corredor C.C., Huang Z.-L., Belfield K.D., Morales A.R., Bondar M.V. Photochromic polymer composites for two-photon 3D optical data storage. *Chem. Mater.* 2007. Vol. 19, № 21. P. 5165–5173.
16. Mamunya E.P., Davidenko V.V., Lebedev E.V. Effect of polymer-filler interface interactions on percolation conductivity of thermoplastics filled with carbon black. *Compos. Interfaces*. 1997. Vol. 4, № 4. P. 169–176.