DOI: https://doi.org/10.58253/2078-1628-2024-1(31)-004

УДК 330.1:334:338.2
JEL H54, H56, P51

Вікторія Євгенівна ХАУСТОВА
доктор економічних наук, професор,
директор,
Науково-дослідний центр індустріальних
проблем розвитку НАН України,
м. Харків, Україна
https://orcid.org/0000-0002-5895-9287
v.khaust@gmail.com

Наталія Валеріївна ТРУШКІНА
кандидат економічних наук, старший дослідник,
старший науковий співробітник сектору промислової
політики та інноваційного розвитку
відділу промислової політики та енергетичної безпеки,
Науково-дослідний центр індустріальних
проблем розвитку НАН України,
м. Харків, Україна
https://orcid.org/0000-0002-6741-7738
nata_tru@ukr.net

БІБЛІОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З АКТУАЛЬНИХ ПРОБЛЕМ РОЗВИТКУ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Анотація. *На даний час у глобальному світі особливої актуальності набули різнопланові питання розвитку критичної інфраструктури в умовах формування безпекового середовища. Це обумовлено, у першу чергу, тим, що критично важливі об'єкти інфраструктури у країнах світу зазнають реальних або потенційних загроз, які створюються через природні катаклізми, екологічні й техногенні катастрофи, терористичні атаки, військові конфлікти.*

З огляду на це, метою даного дослідження є визначення тенденцій та ключових напрямів досліджень розвитку критичної інфраструктури в

умовах глобальних викликів і загроз на основі бібліометричного аналізу за допомогою програмного забезпечення VOSviewer.

У результаті дослідження встановлено, що розвиток критичної інфраструктури є процесом трансформаційних змін пріоритетних і стратегічно важливих для економіки об'єктів, систем, мереж шляхом переходу ключових складових інфраструктури на якісно новий рівень функціонування завдяки адаптації до мінливості й нестабільності екзогенного середовища з урахуванням впливу можливих загроз, ризиків і сучасних викликів.

У зв'язку з цим розвиток критичної інфраструктури пов'язано з процесами її модернізації, відновлення та відбудови. У зв'язку з цим у статті проведено бібліометричний аналіз співвідношення термінів «розвиток критичної інфраструктури», «відновлення критичної інфраструктури», «відбудова критичної інфраструктури», «модернізація критичної інфраструктури».

Побудовано карту мережевої візуалізації цитування статей з питань розвитку критичної інфраструктури з використанням інструментарію VOSviewer. Візуалізація мережевої карти ключових слів на основі бібліографічних даних дозволила виокремити 4 кластери, які характеризують ключові напрями досліджень: ідентифікація, адаптація, цифровізація, катастрофи і природні катаклізми.

Доведено, що пріоритетним напрямом подальших досліджень має стати обґрунтування Національної стратегії захисту критичної інфраструктури в Україні з урахуванням кращих світових практик та розроблення рекомендацій щодо вдосконалення нормативно-правового забезпечення розвитку критичної інфраструктури з позицій національної безпеки.

Ключові слова: *національна економіка, критична інфраструктура, об'єкти критичної інфраструктури, загроза, вразливість, небезпека, ризик, національна безпека, захист, стійкість, трансформація, модернізація, відновлення, бібліометричний аналіз, трендовий аналіз, кластерний аналіз, кластери досліджень, міжнародні наукометричні бази.*

Постановка проблеми. На сучасному етапі проблеми розвитку критичної інфраструктури в Україні набувають особливої важливості та потребують пошуку обґрунтованих управлінських рішень на національному рівні. Відповідно до Стратегії національної безпеки України, яку затверджено Указом Президента України від 14.09.2020 р. № 392/2020, до

основних напрямів зовнішньополітичної та внутрішньополітичної діяльності держави для забезпечення її національних інтересів і безпеки віднесено створення ефективної системи безпеки та стійкості критичної інфраструктури, заснованої на чіткому розподілі відповідальності її суб'єктів та державно-приватному партнерстві. Згідно з Концепцією забезпечення національної системи стійкості, затвердженої Указом Президента України від 27.09.2021 р. № 479/2021, впроваджувана система має передбачити забезпечення захищеності та безпеки об'єктів критичної інфраструктури.

Однак, слід наголосити, що в Україні ситуація щодо функціонування стратегічних об'єктів критичної інфраструктури залишається вкрай складною та напруженою унаслідок військової агресії росії та значних безпекових ризиків. За даними Київської школи економіки, з початку повномасштабного вторгнення росії на територію України загальна сума прямих задокументованих збитків житловій і нежитловій нерухомості, іншій інфраструктурі склала понад 150,5 млрд. дол. Найбільша частка у загальному обсязі прямих збитків належить житловим будівлям (37,1% або 55,9 млрд. дол.) та критичній інфраструктурі (24,3% або 36,6 млрд. дол.). Сукупні непрямі збитки від руйнувань та пошкоджень об'єктів інфраструктури (транспортна інфраструктура, дорожнє господарство, залізнична інфраструктура, авіаційна та портова галузь) складають 23,2 млрд. дол. (8,7%) та енергетичної інфраструктури – 27,2 млрд. дол. США (10,2%). До початку квітня 2024 р. загальна вартість знищених об'єктів інфраструктури становила 157,2 млрд. дол.

Водночас, за оцінками фахівців Світового банку, для повоєнної відбудови інфраструктури України у 2024-2034 роках необхідно буде понад 486 млрд. дол. Це у 3 рази більше суми збитків від руйнувань і пошкоджень об'єктів китичної інфраструктури. При цьому необхідний обсяг інвестиційних ресурсів для реконструкції та відновлення житлової інфраструктури складатиме 82,6 млрд. дол. або 17% загального обсягу фінансування; транспортної інфраструктури – 72,9 млрд. дол. або 15%; інфраструктури агропромислового комплексу – 58,3 млрд. дол. або 12%; енергетичної інфраструктури – 48,6 млрд. дол. або 10% загального обсягу інвестицій тощо.

Слід зауважити, що, попри війну, зовнішні інвестори вкладають інвестиції у відновлення критичної інфраструктури. Понад третини компаній-членів Європейської бізнес-асоціації мають інвестиційні проєкти в Україні, середня вартість яких 3-8 млн. дол.

За даними Національного банку України, обсяг прямих іноземних інвестицій в Україну становив у 2023 р. 4,25 млрд. дол., що на 4,7% більше порівняно з 2016 р. (4,06 млрд. дол.) і на 14% – з 2017 р. (3,73 млрд. дол.).

Крім цього, Світовий банк схвалив у 2023 р. додаткове фінансування проєкту у розмірі 535 млн. дол. Фінансування у вигляді грантів надаватиметься у рамках Цільового фонду підтримки, відновлення, відбудови та реформування України (URTF). У 2024 р. між урядом Франції та України підписано грантову угоду про залучення 200 млн. євро на відновлення та реконструкцію критичної інфраструктури, з яких 60 млн. будуть спрямовано на відбудову енергетичних потужностей. Німеччина має намір виділити Україні додатково 195 млн євро на захист та відновлення енергетичної інфраструктури.

Японія планує виділити 160 млн. євро фінансової допомоги для підтримки проєктів економічного відновлення України від наслідків війни. Пріоритетами відновлення визначено енергетичний сектор, житлова та критична інфраструктура, підтримка бізнесу.

Разом з тим, планується реалізація програми підтримки від Європейського Союзу для відновлення та модернізації економіки України – Український Фонд (Ukraine Facility). За програмою очікується фінансування у розмірі 50 млрд. євро упродовж 4 років. Дана програма має на меті відбудову інфраструктури, її модернізацію та безпеку. На відбудову та відновлення пошкоджених і зруйнованих об’єктів транспортної інфраструктури планується виділити 400 млн. євро. Уряд України також очікує 600 млн. євро на підтримку, захист і модернізацію енергетичної інфраструктури у рамках Ukraine Facility.

Таким чином, у сучасних умовах розвиток критичної інфраструктури визнано стратегічним завданням національної економіки України. Це обумовлено тим, що порушення роботи критично важливих систем та основних послуг, таких як телекомунікації, енерго- та водопостачання, транспортні та фінансові системи, може призвести до значних економічних збитків. Ці системи є дуже вразливими до різноманітних потрясінь – від кліматичних і геологічних небезпек до промислових аварій, терористичних атак, кіберзагроз, збройних конфліктів і бойових дій, які можуть спричинити каскадний негативний вплив на місцевому, національному та навіть глобальному рівнях.

З огляду на це, необхідність теоретико-методологічного обґрунтування розвитку критичної інфраструктури та розроблення належних механізмів її ефективного функціонування обумовлюють проведення подальших досліджень у цьому напрямі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Різноманітні аспекти розвитку критичної інфраструктури, обґрунтування концептуальних засад модернізації та теоретико-методологічних підходів до підвищення ефективності функціонування у різних секторах економіки входять до кола наукових інтересів багатьох провідних зарубіжних учених (B. Arvidsson et al. [1]; S. Argyroudis et al. [2]; A. Clark-Ginsberg et al. [3]; C.-J. Forsberg, N. Kourti [4]; L. Galbusera et al. [5]; N. Kumar et al. [6]; D. Markopoulou, V. Papakonstantinou [7]; A. Mottahedi et al. [8]; R. Osei-Kyei [9]; A. Poustourli, N. Kourti [10]; B. Rathnayaka et al. [11]; D. Rehak et al. [12]; L. Shen et al. [13]; A. Urlainis et al. [14]; Wang D. et al. [15]; E. Wells et al. [16]).

Видатні українські вчені-економісти та фахівці-практики (Д. Бірюков та ін. [17-18], Д. Бобро [19], І. Газдайка-Васильшин [20], К. Ганкевич та ін. [21], О. Єрменчук [22], В. Лойко та ін. [23], П. Підюков [24], С. Теленик [25], В. Франчук та ін. [26]) в останнє десятиріччя приділяють значну увагу уточненню суті й змісту поняття «критична інфраструктура»; визначенню правових засад регулювання розвитку критичної інфраструктури у різних країнах світу; науково-методичному обґрунтуванню та імплементації концепції розвитку критичної інфраструктури; розробленню практичних рекомендацій щодо формування державної системи захисту критичної інфраструктури у рамках реалізації Плану відновлення України.

Водночас, віддаючи належне науковим напрацюванням зарубіжних і вітчизняних вчених у дослідженні обраної проблематики, потрібно відзначити, що деякі питання розвитку критичної інфраструктури потребують подальших розробок і пошуку шляхів їх вирішення. І особливо вирішення даної проблеми актуалізується в умовах повоєнної модернізації національної економіки у контексті реалізації стратегії відродження та розбудови України.

Таким чином, дана проблема зумовила **мету даної статті**, яка полягає у визначенні тенденцій і ключових напрямів досліджень розвитку критичної інфраструктури в умовах глобальних викликів і загроз на основі бібліометричного аналізу за допомогою програмного забезпечення VOSviewer.

Виклад основного матеріалу й отриманих наукових результатів. На основі бібліометричного аналізу досліджено наукові публікації з питань розвитку критичної інфраструктури. За назвою статей, рефератами і ключовими словами у міжнародній наукометричній базі Scopus було знайдено 14150 документів (рис. 1).

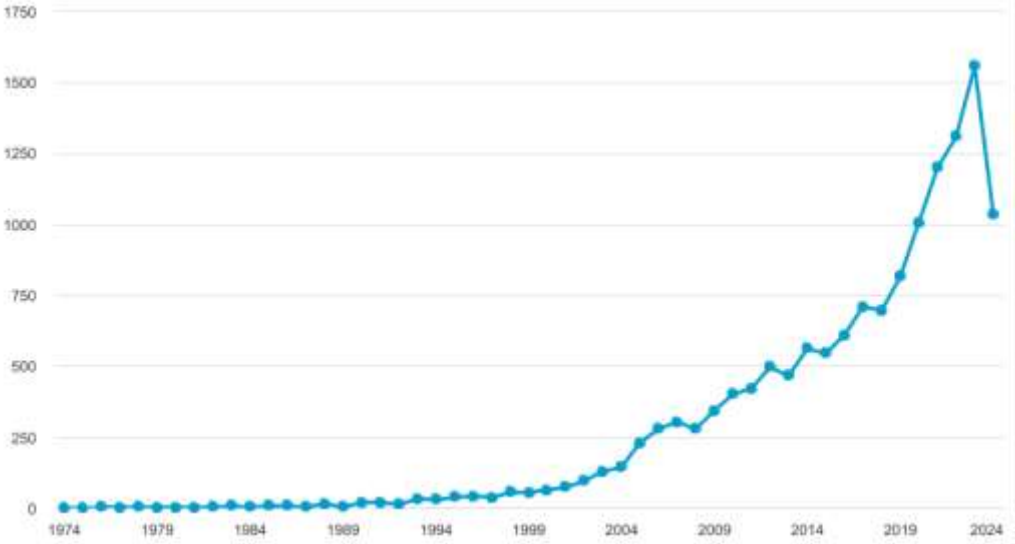

Рис. 1. Динаміка кількості наукових публікацій у базі Scopus, які висвітлюють різноманітні аспекти розвитку критичної інфраструктури

Джерело: побудовано на основі даних наукометричної бази Scopus.

Як показав аналіз, перша публікація з обраної тематики з'явилася у міжнародній наукометричній базі Scopus у 1974 р. [27]. У цій статті автор W. Seyfried дослідив проблему реалізації раціональної політики та інвестиційної стратегії для стимулювання і залучення інвестицій у розвиток інфраструктури міст.

Слід наголосити, що до 1990 року спостерігався низький рівень публікаційної активності. Так, у 1977 р., 1979 р., 1980 р., 1981 р. вийшло лише по дві праці з обраної тематики. А вже з 1988 р. дослідники почали приділяти більше уваги аспектам розвитку критичної інфраструктури. У міжнародній наукометричній базі Scopus з'явилися роботи таких науковців, як S. Ajoudanian, E. Bagheri, R. Bannon, H. Borchert, D. Burnett, K. Dithebe, L. Galbusera, A. Ghorbani, G. Giannopoulos, C. Nan, R. Narich, P. Neumann, G. Sansavini, M. Savadjani, P. Trucco, E. Williamson, D. Winget, X. Zhang, R. Zimmerman та інші, у яких сфокусовано увагу на розробленні концепції захисту критично важливих активів від терористичних актів; стійкої стратегії розвитку критичної інфраструктури; основного протоколу відбору концесіонерів у системі державно-приватного партнерства, який включає принципи державних закупівель, підхід до відбору за найкращою ціною, конкурентний процес відбору та багатокритеріальну оцінку тендеру для реалізації інфраструктурних проєктів; обґрунтуванні ефективних методів

управління ризиками терористичних атак на об’єкти критичної інфраструктури; моделюванні структури критичної інфраструктури.

Серед найбільш цитованих публікацій особливої уваги заслуговує робота дослідників J. R. Wolch, J. Byrne, J. P. Newell [28], у якій розглянуто екологічні аспекти розвитку транспортної інфраструктури. Кількість цитувань даної статті у журналі, проіндексованому міжнародною наукометричною базою Scopus, становить 2615 разів, а кількість переглядів користувачами – 2782. Крім цього, можна відмітити статтю R. Kitchin за 2014 р. [29], яку процитовано в журналі, проіндексованому міжнародною наукометричною базою Scopus, 1745 разів (табл. 1). Вчений R. Kitchin досліджує питання розвитку міст з використанням цифрових пристроїв та великих баз даних. Автором проведено критичне осмислення наслідків великих даних і розумного урбанізму Тобто обґрунтовується необхідність розроблення концепції «розумного міста», реалізація якої дозволить аналізувати міське життя у режимі реального часу, застосовувати нові способи міського управління, впроваджувати більш стійкі, конкурентоспроможні, продуктивні й прозорі системи міського господарства.

Таблиця 1

Найбільш цитовані статті з питань розвитку критичної інфраструктури у наукометричній базі Scopus за 1974-2024 рр.

Автор(и), назва публікації	Рік	Назва видання	Кількість цитувань у базі Scopus	Кількість переглядів
Wolch J. R. et. al. Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough' [28]	2014	Landscape and Urban Planning	2615	2782
Kitchin R. The real-time city? Big data and smart urbanism [29]	2014	GeoJournal	1745	1407
Rai A. et al. Firm performance impacts of digitally enabled supply chain integration capabilities [30]	2006	MIS Quarterly: Management Information Systems	1458	1215
Zissis D., Lekkas D. Addressing cloud computing security issues [31]	2012	Future Generation Computer Systems	1427	642
Carlsson B., Stankiewicz R. On the nature, function and composition of technological systems [32]	1991	Journal of Evolutionary Economics	1223	503

Aldrich D. P., Meyer M. A. Social Capital and Community Resilience [33]	2015	American Behavioral Scientist	1102	440
Röller L.-H., Waverman L. Telecommunications infrastructure and economic development: A simultaneous approach [34]	2001	American Economic Review	901	115
Iwnicki S. Handbook of Railway Vehicle Dynamics [35]	2006	Boca Raton, FL	872	112
Bulleri F., Chapman M. G. The introduction of coastal infrastructure as a driver of change in marine environments [36]	2010	Journal of Applied Ecology	770	294
Ding D. et al. A survey on security control and attack detection for industrial cyber-physical systems [37]	2018	Neurocomputing	737	306

Джерело: складено на основі даних наукометричної бази Scopus.

Серед ключових слів, які найчастіше зустрічаються і використовуються у наукових публікаціях, можна перелічити такі, як сталий розвиток (1636 документів); людина (1264); критична інфраструктура (887); прийняття рішення (826); інфраструктура (762); оцінювання ризиків (743); сталість (690); зміни клімату (654); інвестиції (625); безпека мереж (466); інфраструктурний розвиток (462); ризик-менеджмент (380); інформаційний менеджмент (364); кібербезпека (305); проєктний менеджмент (294); планування (293); економічний розвиток (292); штучний інтелект (284); катастрофи (281); стійкість (275); витрати (272) тощо.

До головних видань, у яких публікуються праці з обраної тематики, можна віднести такі: Sustainability Switzerland (223 документа); Lecture Notes In Computer Science Including Subseries Lecture Notes In Artificial Intelligence And Lecture Notes In Bioinformatics (187); Proceedings Of SPIE The International Society For Optical Engineering (119); Proceedings Of The International Astronautical Congress (105); ACM International Conference Proceeding Series (95); Transportation Research Record (73); Iop Conference Series Earth And Environmental Science (72); Journal of Cleaner Production (68); IEEE Access (60); Lecture Notes In Civil Engineering (57); Energies (44); Journal Of Infrastructure Systems (43); International Journal Of Critical Infrastructures (38); Energy Policy (35); International Journal Of Critical Infrastructure Protection (26) (рис. 2).

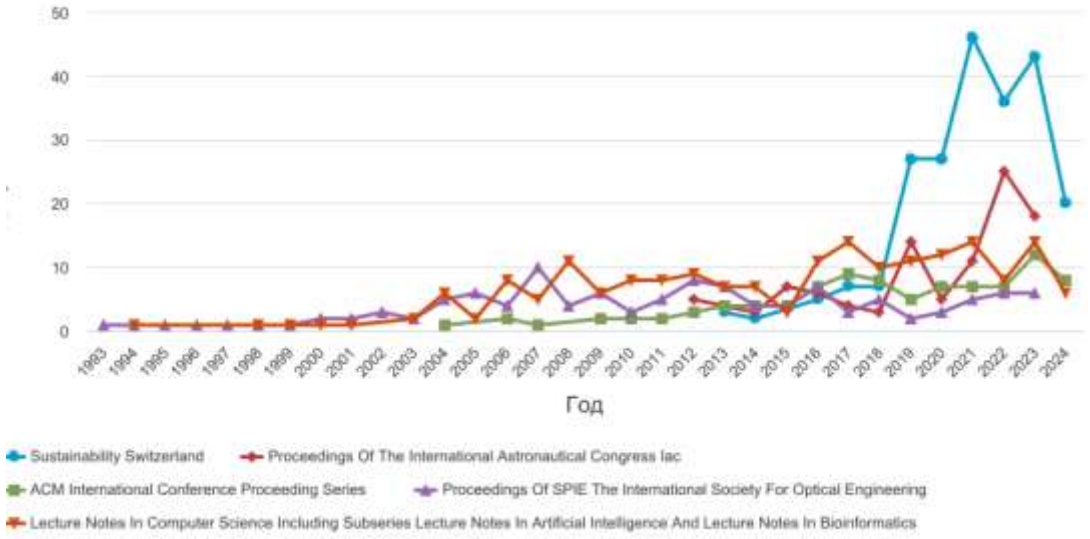

Рис. 2. Динаміка кількості наукових публікацій за джерелами

Джерело: побудовано на основі даних наукометричної бази Scopus.

У базі даних Scopus зустрічається по 25 документів вчених Y. Tamura, S. Yamada; 16 – P. Trucco; 15 – A. Gheorghe; 13 – A. Chan; по 10 праць – C. Aigbavboa, P. Katina, B. Petrenj, T. Zayed, X. Zhang (рис. 3).

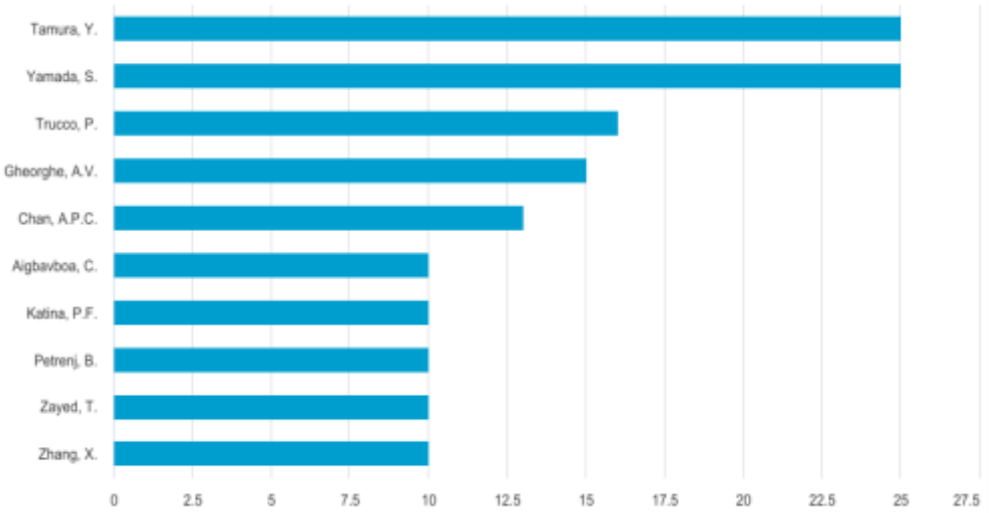

Рис. 3. Динаміка кількості наукових публікацій за авторами

Джерело: побудовано на основі даних наукометричної бази Scopus.

Ключовими організаціями, що займаються вирішенням проблем розвитку критичної інфраструктури, є University of Illinois Urbana-Champaign (103 документи); Chinese Academy of Sciences (101); University College London (89); University of Melbourne (84); Delft University of Technology, The Hong Kong Polytechnic University (по 83); University of Johannesburg (81); Arizona State University та Politecnico di Milano (по 73); University of California, Berkeley (71) (рис. 4).

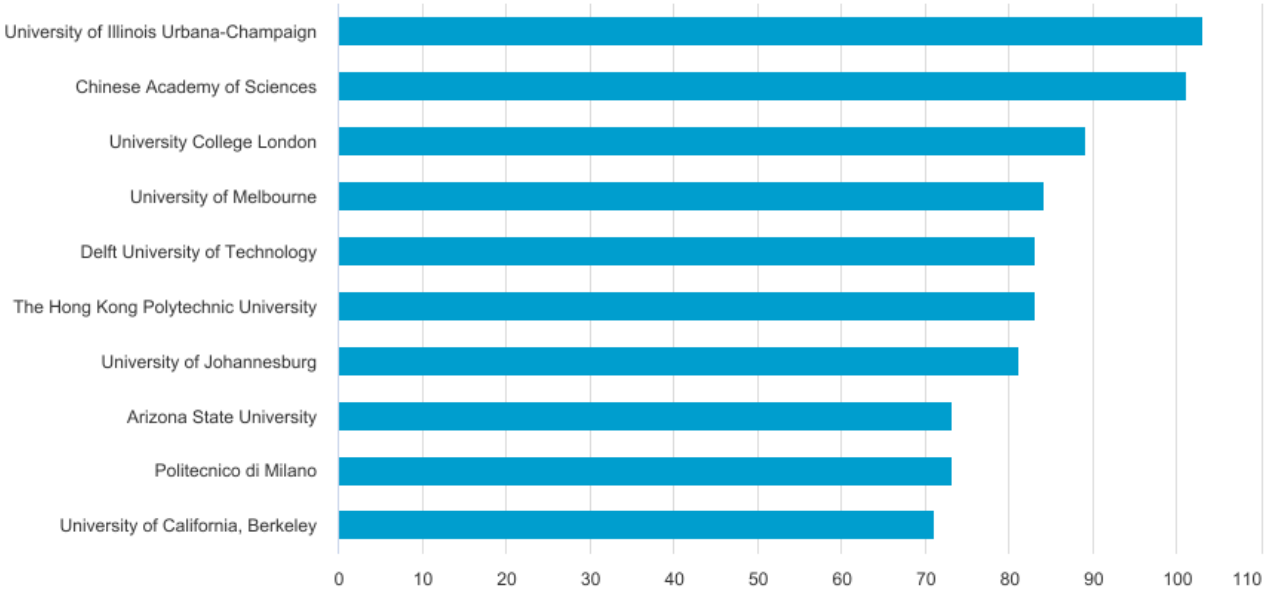

Рис. 4. Кількість наукових публікацій за організаціями

Джерело: побудовано на основі даних наукометричної бази Scopus.

Результати аналізу свідчать, що здебільшого роботи за досліджуваною проблематику публікують науковці з США (4014 документів), Великобританії (1475), Китаю (1236), Індії (879), Австралії (847), Італії (720), Німеччини (675), Канади (629 документів). В Україні за встановленими реквізитами пошуку було виявлено 166 документів (рис. 5).

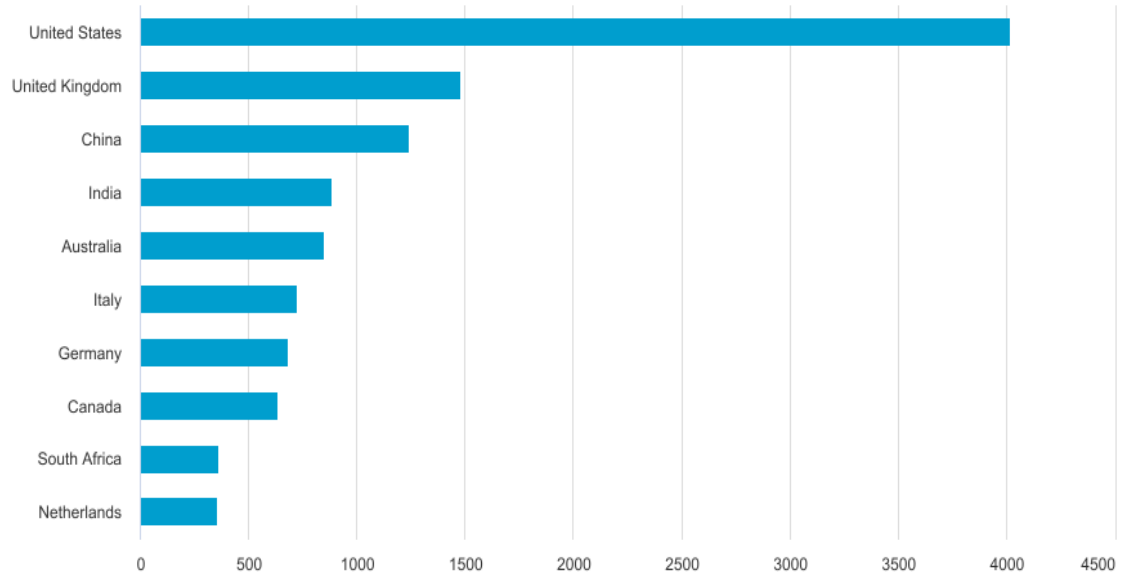

Рис. 5. Кількість публікацій з проблематики розвитку критичної інфраструктури за країнами

Джерело: побудовано на основі даних наукометричної бази Scopus.

Здебільшого наукові праці з проблем розвитку критичної інфраструктури публікуються за такими галузями знань: інженерія (6082 документа); суспільні науки (4258); комп'ютерні науки (4044); науки про охорону довкілля (екологія) (2897); енергетика (1651); науки про Землю та планети (1633); бізнес, менеджмент і бухгалтерський облік (1531); математика (1001); економіка, економетрика та фінанси (837); науки про прийняття рішень (790) (табл. 2). Все це свідчить про багатоаспектність і мультидисциплінарність обраної тематики дослідження.

Таблиця 2

Питома вага наукових публікацій за галузями знань

Галузь знань	Частка наукових публікацій, %
Інженерія	21,9
Суспільні науки	15,3
Комп'ютерні науки	14,5
Науки про охорону довкілля	10,4
Енергетика	5,9
Науки про Землю та планети	5,9
Бізнес, менеджмент і бухгалтерський облік	5,5
Математика	3,6
Економіка, економетрика та фінанси	3,0
Науки про прийняття рішень	2,8
Інші галузі	11,1

Джерело: складено на основі даних наукометричної бази Scopus

Ранжування наукових праць за типами документів наведено у табл. 3. Як бачимо, здебільшого науковці висвітлюють проблеми розвитку критичної інфраструктури у наукових статтях і апробують під час конференцій різного рівня.

Таблиця 3

Кількість і частка наукових публікацій за типами документів

Вид публікації	Кількість наукових публікацій	Частка наукових публікацій, %
Наукові статті	6809	48,1
Праці апробаційного характеру (матеріали конференцій)	4879	34,5
Частина книги або розділ монографії	1092	7,7
Оглядові статті	833	5,9
Книги або монографічні видання	243	1,7

Джерело: побудовано на основі даних наукометричної бази Scopus.

Серед головних спонсорів, які фінансують наукові публікації з проблем розвитку критичної інфраструктури, можна вказати такі: National Natural Science Foundation of China (410 документів); National Science Foundation (345); European Commission (267); Horizon 2020 Framework Programme (207); Engineering and Physical Sciences Research Council (119); U.S. Department of Energy (116); National Key Research and Development Program of China (85); Fundamental Research Funds for the Central Universities (74); Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (71); Horizon 2020 (68); European Regional Development Fund (67 документів) (рис. 6).

Варто відзначити, що розвиток критичної інфраструктури є процесом трансформаційних змін пріоритетних і стратегічно важливих для економіки об’єктів, систем, мереж шляхом переходу ключових складових інфраструктури на якісно новий рівень функціонування завдяки адаптації до мінливості й нестабільності екзогенного середовища з урахуванням впливу можливих загроз, ризиків і сучасних викликів [38]. У зв’язку з цим розвиток критичної інфраструктури пов’язано з процесами її модернізації, відновлення та відбудови.

На підставі бібліометричного аналізу встановлено, що у міжнародній наукометричній базі Scopus розміщено 701 наукову працю з проблем відновлення критичної інфраструктури (рис. 7), відбудови – 462 публікації (рис. 8), а модернізації – 289 наукових джерела (рис. 9). Як свідчить проведений аналіз, публікаційна активність науковців почала зростати з 2011 р.

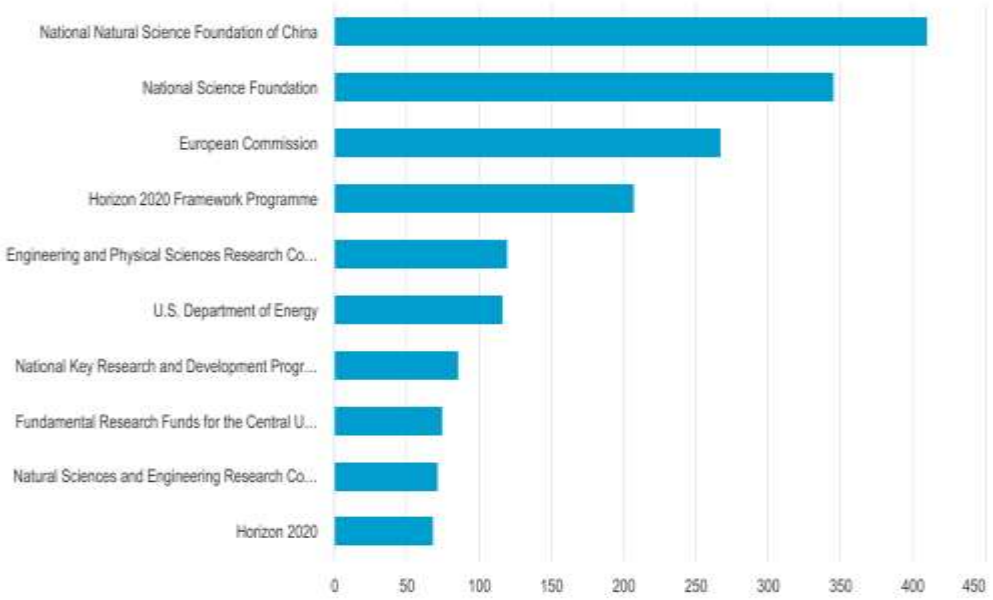

Рис. 6. Перелік спонсорів, які фінансують публікації з розвитку критичної інфраструктури у країнах світу

Джерело: побудовано на основі даних наукометричної бази Scopus.

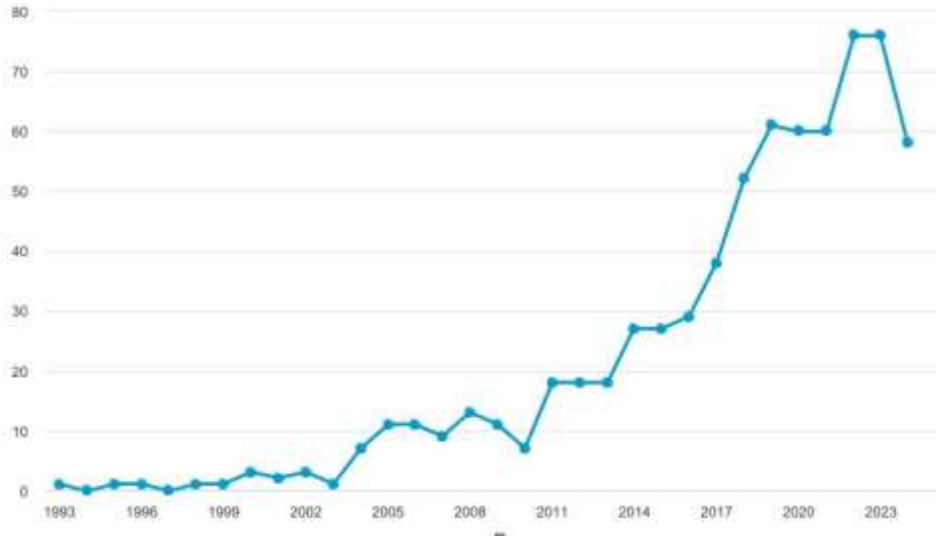

Рис. 7. Динаміка кількості наукових публікацій у базі Scopus, які висвітлюють питання відновлення критичної інфраструктури за 1993-2024 роки

Джерело: побудовано на основі даних наукометричної бази Scopus.

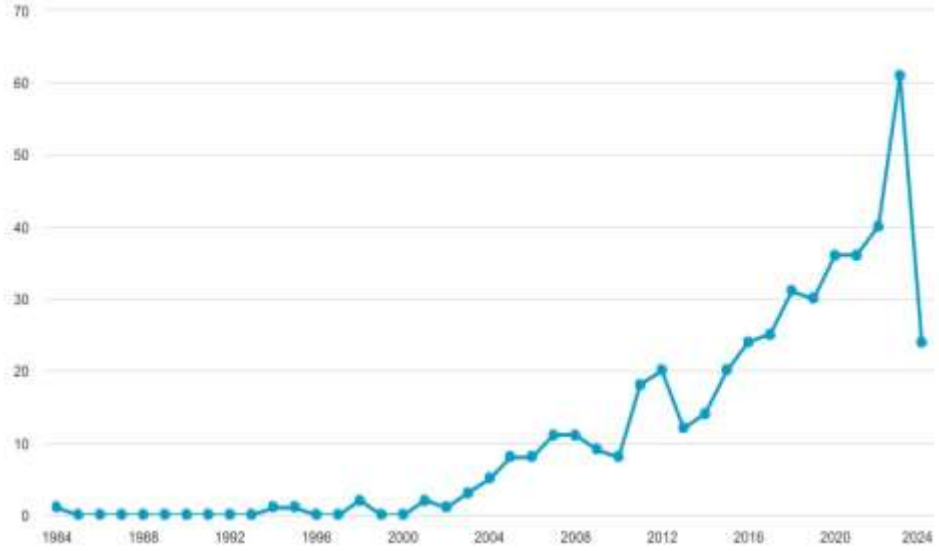

Рис. 8. Динаміка кількості наукових публікацій у базі Scopus, які висвітлюють проблеми відбудови критичної інфраструктури за 1984-2024 роки

Джерело: побудовано на основі даних наукометричної бази Scopus.

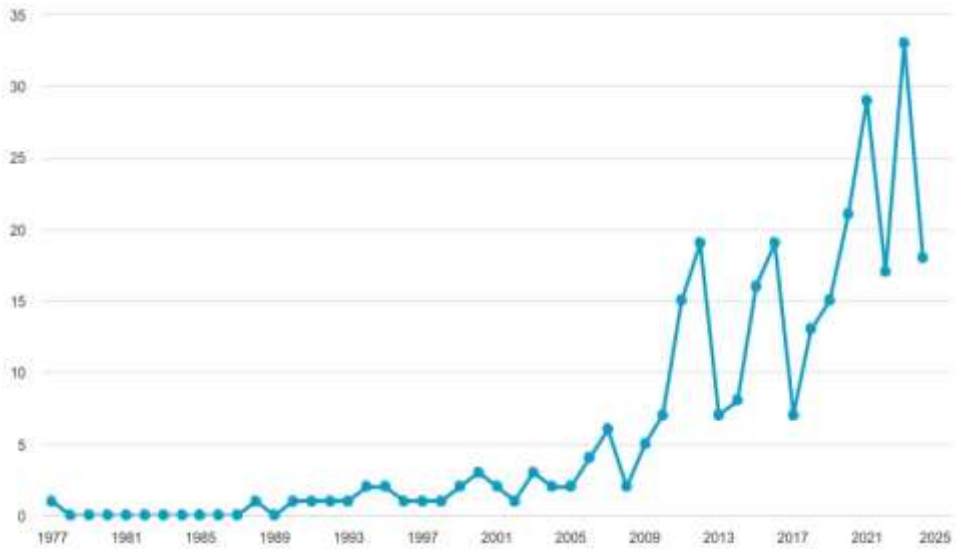

Рис. 9. Динаміка кількості наукових публікацій у базі Scopus, які висвітлюють різноманітні питання модернізації критичної інфраструктури за 1977-2024 роки

Джерело: побудовано на основі даних наукометричної бази Scopus.

Отже, аналіз публікаційної активності підтвердив, що починаючи з початку 90-х років XX ст. спостерігається зростання наукового інтересу до дослідження розвитку критичної інфраструктури у контексті трансформаційних змін. При цьому прослідковується міждисциплінарний характер досліджень, а географія науковців і дослідників, які вивчають цю тематику, є різноманітною (але з помітним переважанням науковців і установ з США, Великобританії, Китаю, Австралії, Індії, Італії).

Подальше оброблення та аналіз бібліографічних даних здійснювалися за допомогою програмного забезпечення VOSviewer, що є програмним інструментом побудови та візуалізації карт бібліометричних мереж. Програмне забезпечення VOSviewer було використано для побудови мережевих карт зв'язків між ключовими словами на основі бібліографічних записів з баз даних Scopus. Візуальні результати отриманої карти бібліометричної мережі наведено на рис. 10.

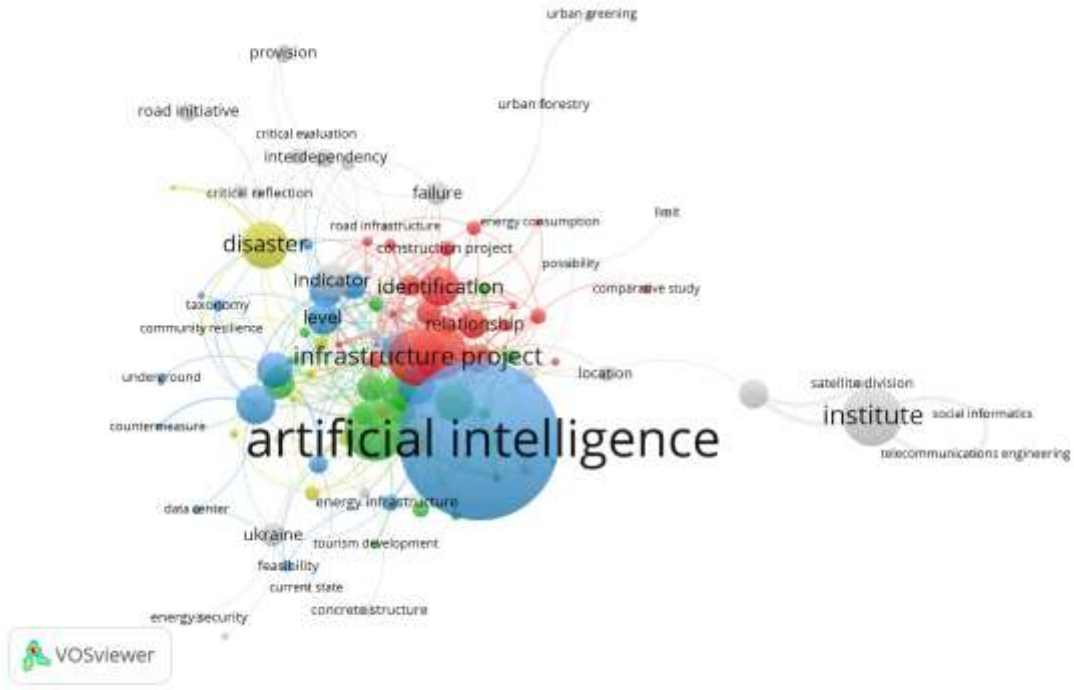

Рис. 10. Мережева візуалізація цитування статей з питань розвитку критичної інфраструктури, реалізована за допомогою інструментарію VOSviewer

Джерело: побудовано на основі даних наукометричної бази Scopus.

Карта бібліометричної мережі відображає частоту вживання термінів за розміром кола й інтенсивність зв'язку, та дозволяє відстежувати варіанти комбінацій термінів як усередині кластерів, так і між ними. Колір кола вказує на приналежність ключового слова до певному кластеру. Чим більший діаметр кола, тим частіше зустрічається цей термін у наукових публікаціях. Посилання на карті показують частоту повторюваності ключових слів у публікаціях, при цьому, чим менша відстань між ключовими словами, тим сильнішим є зв'язок між ними [39-40].

Відповідно до рис. 10 за допомогою програми VOSviewer 102 ключових слова згруповано у 4 кластери. Узагальнена характеристика кластерів ключових словосполучень у наукових дослідженнях з актуальних проблем розвитку критичної інфраструктури подано у табл. 4.

Таблиця 4

Характеристика кластерів ключових словосполучень у наукових дослідженнях з проблем розвитку критичної інфраструктури

Кластер	Найуживаніший термін	Кількість ключових слів	Пов’язані ключові слова
1 (червоний)	Ідентифікація	22	Порівняльний аналіз, порівняльне дослідження, емпіричне дослідження, критичні чинники успіху, детермінанта, споживання енергії, інфраструктурний проєкт, прямі іноземні інвестиції, публічно-приватне партнерство, взаємовідносини
2 (зелений)	Адаптація	19	Бар’єр, компонента, концептуальна модель, будівництво, діагностування, емпіричний аналіз, докази, вплив, ефективність, стейкхолдери, ланцюг постачання
3 (синій)	Цифровізація	18	Бар’єр, штучний інтелект, критична інформаційна інфраструктура, кібератака, розвиток, енергетична інфраструктура, оцінка, таксономія, загроза
4 (жовтий)	Катастрофа	12	Класифікація, стійкість критичної інфраструктури, зелена інфраструктура, природні катаклізми, небезпека, інтегрований підхід, ризик-менеджмент

Джерело: сформовано авторами за допомогою програми VOSviewer.

Як видно з табл. 4, кожен з кластерів символізує окремий напрямок наукових досліджень з розвитку критичної інфраструктури. Згруповані ключові слова у першому кластері вказують на те, що науковці розглядають критичну інфраструктуру з позицій ідентифікації до конкретного критично важливого об'єкту інфраструктури. Особливу увагу приділено механізму фінансового забезпечення розвитку критичної інфраструктури.

Другий кластер враховує чинник адаптації критичної інфраструктури до сучасних викликів і загроз. Третій кластер пов'язано з питаннями цифрової трансформації критичної інфраструктури. Четвертий спрямовано на екстрене реагування, оцінювання і моделювання катастроф, кризових ситуацій і явищ, розроблення відповідних заходів з ризик-менеджменту.

Висновки. Таким чином, за результатами дослідження можна зробити такі висновки:

1) Кількість публікацій, що індексуються у Scopus, назви, анотації та ключові слова яких містять терміни «розвиток критичної інфраструктури», «відбудова критичної інфраструктури», «відновлення критичної інфраструктури», «модернізація критичної інфраструктури» з кожним роком зростає прискореними темпами. Дослідження трансформаційних змін критичної інфраструктури набувають все більшої популярності, починаючи з 90-х років XX ст. Основними причинами зростання популярності цих наукових досліджень є: пошук нових ідей, трансформація парадигми енергетичного менеджменту, впровадження концепцій сталого розвитку, чистого виробництва, зеленої та циркулярної економіки, розвиток цифрових технологій.

2) Термін «критична інфраструктура» має міждисциплінарний характер, використовується у дослідженнях різних галузей науки, а саме: зустрічається у публікаціях з інженерії, комп'ютерних наук, енергетики, екології, суспільних наук, менеджменту, економіки, науки з прийняття рішень тощо.

3) Візуалізація мережевої карти ключових слів на основі бібліографічних даних дозволила виокремити 4 кластери, які характеризують ключові напрями досліджень: ідентифікація, адаптація, цифровізація, катастрофи і природні катаклізми.

4) Лідерами за кількістю публікацій, що індексуються у міжнародній наукометричній базі Scopus і містять термін «розвиток критичної інфраструктури», є США, Великобританія, Китай, Австралія, Індія, Італія, Німеччина, Канада.

У результаті дослідження встановлено, що розвиток критичної інфраструктури в публікаціях науковців здебільшого розглядається з

позицій зеленої економіки, циркулярної економіки, цифрових трансформацій і кліматичних змін. Проте, Україна стикнулася з безпрецедентним викликом, що в свою чергу вплинув на багато країн світу, – тривалою повномасштабною військовою агресією росії, яка супроводжується навмисним руйнуванням інфраструктури у всіх регіонах України. До такої підступної стратегії ведення війни Україна (як і інші країни світу) не була готова, через що інфраструктурні та інші втрати країни є величезними. Це потребує формування нового підходу до розбудови інфраструктури з урахуванням воєнних загроз і безпекових ризиків.

У зв'язку з цим у подальших дослідженнях планується обґрунтувати доцільність застосування ризик-орієнтованого підходу до управління розвитком критичної інфраструктури, а також Національну стратегію захисту критичної інфраструктури в Україні з урахуванням кращих світових практик.

Список використаних джерел:

1. Arvidsson B., Johansson J., Guldåker N. Critical infrastructure, geographical information science and risk governance: A systematic cross-field review. *Reliability Engineering & System Safety*. 2021. Vol. 213. Article 107741.

2. Argyroudis S.A., Mitoulis S.A., Hofer L., Zanini M.A., Tubaldi E., Frangopol D.M. Resilience assessment framework for critical infrastructure in a multi-hazard environment: Case study on transport assets. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 714. Article 136854.

3. Clark-Ginsberg A., Rueda I.A., Monken J. et al. Maintaining critical infrastructure resilience to natural hazards during the COVID-19 pandemic: hurricane preparations by US energy companies. *Journal of Infrastructure Preservation and Resilience*. 2020. Vol. 1. Article 10.

4. Forsberg C.-J., Kourti N. European reference network for critical infrastructure protection – ERNCIP 2020 strategy. *JRC Scientific and Policy Reports (JRC85351)*. Italy, Ispra: European Commission, Joint Research Centre, Institute for the Protection and Security of the Citizen, 2013. 55 p.

5. Galbusera L., Trucco P., Giannopoulos G. Modeling interdependencies in multi-sectoral Critical Infrastructure systems: evolving the DMCI approach. *Reliability Engineering and System Safety*. 2020. Vol. 203. Article 107072.

6. Kumar N., Poonia V., Gupta B.B., Goyal M. K. A novel framework for risk assessment and resilience of critical infrastructure towards climate change. *Technological Forecasting and Social Change*. 2021. Vol. 165. Atricle 120532.

7. Markopoulou D., Papakonstantinou V. The regulatory framework for the protection of critical infrastructures against cyberthreats: Identifying

shortcomings and addressing future challenges: The case of the health sector in particular. *Computer Law & Security Review*. 2021. Vol. 41. Article 105502.

8. Mottahedi A., Sereshki F., Ataei M., Qarahasanlou A. N., Barabadi A. Resilience estimation of critical infrastructure systems: Application of expert judgment. *Reliability Engineering & System Safety*. 2021. Vol. 215. Article 107849.

9. Osei-Kyei R., TamV., Ma M., Mashiri F. Critical review of the threats affecting the building of critical infrastructure resilience. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2021. Vol. 60. Article 102316.

10. Poustourli A., Kourti N. Standarts for critical infrastructure protection. *Coopepation among standardization organizations and the scientific and academic community*: Conference Proceedings / Edited by I. Mijatovic, K. Jakobs. Germany, Aachen: Euras Contributions to Standardisation Research, 2014. Pp. 181-195.

11. Rathnayaka B., Siriwardana C., Robert D., Amaratunga D., Setunge S. Improving the resilience of critical infrastructures: Evidence-based insights from a systematic literature review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2022. Vol. 78. Article 103123.

12. Rehak D., Hromada M., Onderkova V., Walker N., Fuggini C. Dynamic robustness modelling of electricity critical infrastructure elements as a part of energy security. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2022. Vol. 136. Article 107700.

13. Shen L., Li J., Suo W. Risk response for critical infrastructures with multiple interdependent risks: A scenario-based extended CBR approach. *Computers & Industrial Engineering*. 2022. Vol. 174. Article 108766.

14. Urlainis A., Ornai D., Levy R., Vilnay O., Shohet I. M. Loss and damage assessment in critical infrastructures due to extreme events. *Safety Science*. 2022. Vol. 147. Article 105587.

15. Wang D., Gryshova I., Balian A., Kyzym M., Salashenko T., Khaustova V., Davidyuk O. Assessment of Power System Sustainability and Compromises between the Development Goals. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. Iss. 4. Article 2236.

16. Wells E. M., Boden M., Tseytlin I., Linkov I. Modeling critical infrastructure resilience under compounding threats: A systematic literature review. *Progress in Disaster Science*. 2022. Vol. 15. Article 100244.

17. Зелена книга з питань захисту критичної інфраструктури в Україні: зб. матеріалів міжнар. експерт. нарад / упоряд. Д. С. Бірюков, С. І. Кондратов; за заг. ред. О.М. Суходолі. Київ: НІСД, 2016. 176 с.

18. Бірюков Д. Концепція захисту критичної інфраструктури як елемент загальноєвропейської безпекової політики. *Наукові записки ІПіЕНД ім. І.Ф. Кураса НАН України*. 2018. Вип. 6 (68). С. 106-115.

19. Бобро Д.Г. Методологія оцінки рівня критичності об'єктів інфраструктури. *Стратегічні пріоритети*. 2016. № 3 (40). С. 78-86.

20. Газдайка-Васильшин І.Б. Основні терміни проекту Закону України «Про критичну інфраструктуру та її захист». *Міжнародний журнал «Право і суспільство»*. 2019. Вип. 9. С. 15-20.

21. Ганкевич К. Б., Левчук В. Д., Корольов С. С. Особливості становлення правових засад існування об'єктів критичної інфраструктури України в системі Міністерства оборони України. *Юридичний науковий електронний журнал*. 2021. № 11. С. 79-82. https://doi.org/10.32782/2524-0374/2021-11/15.

22. Єрменчук О.П. Основні підходи до організації захисту критичної інфраструктури в країнах Європи: досвід для України: монографія. Дніпро: Дніпроп. держ. ун-т внутр. справ, 2018. 180 с.

23. Лойко В.В., Храпкіна В.В., Маляр С.А., Руденко М.В. Економіко-правові засади забезпечення захисту критичної інфраструктури. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*. 2020. № 4 (35). С. 426-438.

24. Підюков П.П., Калиновський О.В. Система державного захисту критичної інфраструктури України: генеза, сучасний стан і перспективи оптимізування в умовах подальшого забезпечення національної безпеки країни. *Часопис Київського університету права*. 2020. № 4. С. 355-359.

25. Теленик С.С. Державна система захисту критичної інфраструктури України: концептуальні засади адміністративно-правового регулювання. Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2020. 602 с.

26. Франчук В.І., Пригунов П.Я., Мельник С.І. Безпека об'єктів критичної інфраструктури в Україні: організаційно-нормативні проблеми та підходи. *Соціально-правові студії*. 2021. Вип. 3 (13). С. 142-148.

27. Seyfried W.R. Linking human settlements to economic growth: Strategy for urban development in less developed countries. *International Journal of Environmental Studies*. 1974. Vol. 7. Iss. 1. Pp. 37-46.

28. Wolch J.R., Byrne J., Newell J.P. Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'. *Landscape and Urban Planning*. 2014. Vol. 125. Pp. 234-244.

29. Kitchin R. The real-time city? Big data and smart urbanism. *GeoJournal*. 2014. Vol. 79. Iss. 1. Pp. 1-14.

30. Rai A., Patnayakuni R., Seth N. Firm performance impacts of digitally enabled supply chain integration capabilities. *MIS Quarterly: Management Information Systems*. 2006. Vol. 30. Iss. 2. Pp. 225-246.

31. Zissis D., Lekkas D. Addressing cloud computing security issues. *Future Generation Computer Systems*. 2012. Vol. 28. Iss. 3. Pp. 583-592.

32. Carlsson B., Stankiewicz R. On the nature, function and composition of technological systems. *Journal of Evolutionary Economics*. 1991. Vol. 1. Iss. 2. Pp. 93-118.

33. Aldrich D.P., Meyer M.A. Social Capital and Community Resilience. *American Behavioral Scientist*. 2015. Vol. 59. Iss. 2. Pp. 254-269.

34. Röller L.-H., Waverman L. Telecommunications infrastructure and economic development: A simultaneous approach. *American Economic Review*. 2001. Vol. 91. Iss. 4. Pp. 909-923.

35. Handbook of Railway Vehicle Dynamics / Edited by S. Iwnicki. Boca Raton, FL, 2006. 535 p.

36. Bulleri F., Chapman M. G. The introduction of coastal infrastructure as a driver of change in marine environments. *Journal of Applied Ecology*. 2010. Vol. 47. Iss. 1. Pp. 26-35.

37. Ding D., Han Q.-L., Xiang Y., Ge X., Zhang X.-M. A survey on security control and attack detection for industrial cyber-physical systems. *Neurocomputing*. 2018. Vol. 275. Pp. 1674-1683.

38. Хаустова В., Трушкіна Н., Зінченко В. Ключові виклики відновлення критичної інфраструктури України в умовах повоєнної розбудови економіки. *Повоєнне відновлення економіки України: проблеми та напрямки вирішення*: кол. монографія / за ред. В. Є. Хаустової. Харків: ФОП Лібуркіна Л.М., 2023. С. 7-33.

39. Bezpartochnyi M., Khaustova V., Trushkina N. Bibliometric analysis of the relationship between the concepts of “critical infrastructure” and “national security”. *Management of socio-economic transformations of business processes: current realities, global challenges, forecast scenarios and development prospects*: scientific monograph. Sofia: Professor Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2023. Pp. 177-193.

40. Hubarieva I., Trushkina N. Relationship between the concepts of “digital transformation” and “critical infrastructure”: bibliometric and trend analysis. *Global Trends of Digitalization and their Impact on National Economic Activity*: monograph / Edited by I. Tatomyr, L. Kvasnii, Yu. Shulzhyk. Praha: OKTAN PRINT, 2024. Pp. 385-396.

Viktoriia KHAUSTOVA
Doctor of Economic Sciences, Professor,
Director,
Research Center for Industrial Problems
of Development of the NAS of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0002-5895-9287
v.khaust@gmail.com

Nataliia TRUSHKINA
Ph.D. (in Economics), Senior Research Fellow,
Senior Researcher of the Sector of Industrial Policy
and Innovative Development of the Department
of Industrial Policy and Energy Security,
Research Center for Industrial Problems
of Development of the NAS of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0002-6741-7738
nata_tru@ukr.net

BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF SCIENTIFIC RESEARCH ON CURRENT PROBLEMS OF THE CRITICAL INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT

Abstract. *At present, in the global world, multifaceted issues of the development of critical infrastructure in the conditions of the formation of a security environment have become especially relevant. This is due, first, to the fact that critical infrastructure facilities in the countries of the world are subject to real or potential threats created by natural disasters, ecological and man-made disasters, terrorist attacks, and military conflicts.*

In view of this, the purpose of this study is to determine the trends and key areas of research in the development of critical infrastructure in the context of global challenges and threats based on bibliometric analysis using the VOSviewer software.

As a result of the study, it was established that the development of critical infrastructure is a process of transformational changes of priority and strategically important objects, systems, networks for the economy through the transition of key infrastructure components to a qualitatively new level of functioning due to adaptation to the variability and instability of the exogenous

environment, taking into account the influence of possible threats, risks and modern challenges. In this regard, the development of critical infrastructure is connected with the processes of its modernization, restoration and reconstruction. In this regard, the article carries out a bibliometric analysis of the relationship between the terms "critical infrastructure development", "critical infrastructure restoration", "critical infrastructure reconstruction", "critical infrastructure modernization".

A network visualization map of citations of articles on the development of critical infrastructure was built using the VOSviewer toolkit. Visualization of the network map of keywords based on bibliographic data made it possible to single out 4 clusters that characterize the key areas of research: identification, adaptation, digitization, disasters and natural disasters.

It has been proven that the priority direction of further research should be the substantiation of the National Strategy for the Protection of Critical Infrastructure in Ukraine, taking into accounts the best world practices and the development of recommendations for improving the regulatory and legal support for the development of critical infrastructure from the standpoint of national security.

Keywords: *national economy, critical infrastructure, critical infrastructure objects, threat, vulnerability, danger, risk, national security, protection, sustainability, transformation, modernization, recovery, bibliometric analysis, trend analysis, cluster analysis, research clusters, international scientometric bases.*