

РЕЗИЛЬЄНТНІСТЬ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД: БІБЛІОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ГЕНЕЗИ ТА ТЕМАТИЧНОЇ СТРУКТУРИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

©2026 ХАУСТОВА В. Є., ГУБАРЄВА І. О., ТРУШКІНА Н. В.

УДК 620.9:332.1:001.89
JEL: O18; Q40; Q42; Q48; R58

Хаустова В. Є., Губарева І. О., Трушкіна Н. В. Резильєнтність енергетичних систем територіальних громад: бібліометричний аналіз генези та тематичної структури наукових досліджень

У статті досліджено генезу, динаміку розвитку та тематичну структуру наукових публікацій, присвячених резильєнтності енергетичних систем територіальних громад. Актуальність дослідження зумовлена тим, що в умовах кліматичних, технологічних, безпекових і соціально-економічних ризиків локальні енергетичні системи дедалі більше розглядаються не лише як технічна інфраструктура, а як основа безперервного функціонування критичних послуг, місцевої економіки та життєздатності територій. Водночас у науковій літературі ця проблематика часто представлена фрагментарно – у контексті електромереж, мікромереж, відновлюваної енергетики, цифрового управління, енергетичних спільнот, міської інфраструктури або енергетичної політики. Це ускладнює формування цілісного уявлення про резильєнтну енергетичну систему саме на рівні територіальної громади. Метою статті є виявлення генези, динаміки розвитку та тематичної структури досліджень резильєнтності енергетичних систем територіальних громад на основі бібліометричного аналізу публікацій, індексованих у базах Scopus і Web of Science. Методологічну основу дослідження становить бібліометричний підхід, реалізований у три етапи: формування широкого поля досліджень резильєнтності енергетичних систем; виокремлення понятійного ядра енергетичної резильєнтності; ідентифікація локально-муніципального виміру, пов'язаного з містами, громадами, локальними енергетичними системами, енергетичними спільнотами та мікромережами. Для візуалізації та інтерпретації результатів використано програмне середовище VOSviewer. У результаті дослідження встановлено, що широке поле резильєнтності енергетичних систем має тривалу генезу, однак його інтенсивне зростання припадає на період після 2020 року. Поняття енергетичної резильєнтності як самостійного наукового напрямку особливо активізувалося у 2024–2026 роках. Локально-муніципальний вимір сформувався пізніше, але демонструє найдинамічніше зростання та об'єднує дослідження мікромереж, розподілених енергетичних ресурсів, накопичення енергії, відновлюваної генерації, енергетичних спільнот, цифрового моніторингу, кліматичної адаптації та локального енергетичного планування. Наукова новизна полягає в обґрунтуванні переходу від загального дослідження резильєнтності енергетичних систем до локального рівня територіальних громад та у трактуванні резильєнтної енергетичної системи територіальної громади як інтегрованої системи локального енергозабезпечення, що поєднує технічні, організаційні, управлінські та ресурсні компоненти, необхідні для підтримання критично важливих енергетичних послуг, адаптації до шоків і відновлення функціонування після порушень. Практична цінність результатів полягає в можливості їх використання для розроблення місцевих планів енергетичної безпеки, визначення критичних навантажень, обґрунтування інвестицій у мікромережі, системи накопичення, відновлювану генерацію, резервне живлення та цифрові інструменти управління енергетичною інфраструктурою громад.

Ключові слова: резильєнтність; резильєнтна енергетична система; енергетична резильєнтність; територіальні громади; локальні енергетичні системи; мікромережі; енергетичні спільноти; ризик; загрози; економічний шок; кризова ситуація; енергетична безпека; бібліометричний аналіз.

Рис.: 5. **Табл.:** 9. **Бібл.:** 45.

Хаустова Вікторія Євгенівна – доктор економічних наук, професор, директор Науково-дослідного центру індустріальних проблем розвитку НАН України (пров. Інженерний, 1а, 2 пов., Харків, 61166, Україна)

E-mail: v.khaust@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5895-9287>

Губарева Ірина Олегівна – доктор економічних наук, професор, заступник директора Науково-дослідного центру індустріальних проблем розвитку НАН України (пров. Інженерний, 1а, 2 пов., Харків, 61166, Україна)

E-mail: gubarievairyna@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9002-5564>

Трушкіна Наталія Валеріївна – кандидат економічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник сектора промислової політики та інноваційного розвитку відділу промислової політики та енергетичної безпеки, Науково-дослідний центр індустріальних проблем розвитку НАН України (пров. Інженерний, 1а, 2 пов., Харків, 61166, Україна)

E-mail: trushkina@nas.gov.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6741-7738>

UDC 620.9:332.1:001.89
JEL: O18; Q40; Q42; Q48; R58

Khaustova V. Ye., Hubarieva I. O., Trushkina N. V. Resilience of Energy Systems of Territorial Communities: A Bibliometric Analysis of the Genesis and Thematic Structure of Scientific Research

The article examines the genesis, development dynamics, and thematic structure of scientific publications devoted to the resilience of energy systems of territorial communities. The relevance of the study is determined by the fact that, under climate, technological, security, and socioeconomic risks, local energy systems are increasingly considered not only as technical infrastructure, but also as a basis for the continuous functioning of critical services, the local economy, and the viability of territories. At the same time, in the scientific literature, this issue is often presented in a fragmented way: in the context of power grids, microgrids, renewable energy, digital management, energy communities, urban infrastructure, or energy policy. This complicates the formation of a holistic understanding

of a resilient energy system specifically at the level of a territorial community. The aim of the article is to identify the genesis, development dynamics, and thematic structure of research on the resilience of energy systems of territorial communities based on a bibliometric analysis of publications indexed in the Scopus and Web of Science databases. The methodological basis of the study is a bibliometric approach implemented in three stages: the formation of a broad field of research on the resilience of energy systems; the identification of the conceptual core of energy resilience; and the identification of the local and municipal dimension related to cities, communities, local energy systems, energy communities, and microgrids. The VOSviewer software environment was used to visualize and interpret the results. The study identified that the broad field of energy system resilience has a long genesis, but its intensive growth occurred after 2020. The concept of energy resilience as an independent scientific direction became especially active in 2024–2026. The local and municipal dimension was formed later, but it demonstrates the most dynamic growth and brings together research on microgrids, distributed energy resources, energy storage, renewable generation, energy communities, digital monitoring, climate adaptation, and local energy planning. The scientific novelty lies in substantiating the transition from the general study of energy system resilience to the local level of territorial communities and in interpreting the resilient energy system of a territorial community as an integrated system of local energy supply. This system combines technical, organizational, managerial, and resource components necessary to maintain critically important energy services, adapt to shocks, and restore functioning after disruptions. The practical value of the results lies in the possibility of using them to develop local energy security plans, identify critical loads, substantiate investments in microgrids, energy storage systems, renewable generation, backup power supply, and digital tools for managing the energy infrastructure of communities.

Keywords: resilience; resilient energy system; energy resilience; territorial communities; local energy systems; microgrids; energy communities; risk; threats; economic shock; crisis situation; energy security; bibliometric analysis.

Fig.: 5. **Tabl.:** 9. **Bibl.:** 45.

Khaustova Viktoriia Ye. – D. Sc. (Economics), Professor, Director of the Research Centre for Industrial Problems of Development of NAS of Ukraine (2 floor 1a Inzhenernyi Ln., Kharkiv, 61166, Ukraine)

E-mail: v.khaust@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5895-9287>

Hubarieva Iryna O. – D. Sc. (Economics), Professor, Deputy Director of the Research Centre for Industrial Problems of Development of NAS of Ukraine (2 floor 1a Inzhenernyi Ln., Kharkiv, 61166, Ukraine)

E-mail: gubarievaairyna@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9002-5564>

Trushkina Nataliia V. – PhD (Economics), Senior Research Staff Member, Senior Research Fellow of the Sector of Industrial Policy and Innovative Development of the Department of Industrial Policy and Energy Security, Research Centre for Industrial Problems of Development of NAS of Ukraine (2 floor 1a Inzhenernyi Ln., Kharkiv, 61166, Ukraine)

E-mail: trushkina@nas.gov.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6741-7738>

Сучасні енергетичні системи функціонують в умовах посилення кліматичних, технологічних, безпекових і соціально-економічних ризиків [1], а також зростання залежності суспільства від безперервного надання енергетичних послуг. Енергетика є базовою умовою економічної стабільності, соціальної безпеки, функціонування критичної інфраструктури, місцевого бізнесу, медичних, освітніх, комунальних, транспортних і цифрових систем. Тому порушення енергопостачання мають системні наслідки для якості життя населення, стійкості місцевої економіки та здатності територій підтримувати життєво необхідні функції в умовах криз.

Особливої актуальності ця проблематика набуває на рівні територіальних громад, де перебої в електро-, тепло- і водопостачанні безпосередньо впливають на роботу об'єктів критичної інфраструктури [2], діяльність підприємств, доступність публічних послуг і повсякденне життя населення. У цьому контексті територіальна громада постає як простір взаємодії населення, місцевої економіки, інфраструктури, органів управління та систем життєзабезпечення. Її життєздатність значною мірою залежить від спроможності локальної енерге-

тичної системи протистояти шокам, адаптуватися до змін, підтримувати критично необхідні енергетичні послуги та відновлювати функціонування після порушень.

Наукова проблема полягає в тому, що резильєнтність енергетичних систем територіальних громад ще не має достатньо усталеного концептуального та методичного окреслення у вітчизняному науковому дискурсі. У міжнародних дослідженнях активно розвиваються напрями, пов'язані з енергетичною резильєнтністю, стійкістю електромереж, мікромережами, розумними електромережами, відновлюваною енергетикою, накопиченням енергії, цифровим управлінням, кліматичною адаптацією, енергетичною безпекою та енергетичними спільнотами. Водночас ці напрями часто досліджуються фрагментарно – у технічному, екологічному, економічному, урбаністичному або управлінському вимірах, що ускладнює формування цілісного уявлення про резильєнтну енергетичну систему саме на рівні територіальної громади.

Енергетична резильєнтність громади не зводиться лише до надійності електромережі або наявності резервного джерела живлення. Вона охоплює

диверсифікацію джерел енергії, розвиток локальної генерації, інтеграцію відновлюваних джерел енергії, використання систем накопичення, підтримання критичних навантажень, цифровий моніторинг, кібербезпеку, енергетичне планування, фінансову спроможність, участь мешканців і бізнесу, координацію дій органів місцевого самоврядування та готовність до реагування на надзвичайні ситуації. Отже, йдеться про комплексну властивість системи локального енергозабезпечення, від якої залежить безперервність ключових функцій територіальної громади.

Для України прикладний вимір цієї проблеми є особливо гострим. Воєнні загрози, пошкодження енергетичної інфраструктури, ризики тривалих відключень, потреба в підтриманні роботи критичних об'єктів і забезпеченні базових умов життя населення актуалізують питання енергетичної автономності, локальної стійкості та адаптивного управління на рівні громад. Водночас українські територіальні громади істотно відрізняються за ресурсною базою, структурою енергоспоживання, рівнем урбанізації, станом мереж, інвестиційними можливостями та управлінською спроможністю. Тому міжнародні підходи до формування енергетичної резильєнтності потребують систематизації й адаптації до українського локального контексту.

У цьому зв'язку важливого значення набуває бібліометричний аналіз досліджень резильєнтності енергетичних систем. Він дає змогу виявити генезу, динаміку розвитку, тематичні зрушення, провідні поняття, дослідницькі кластери, міждисциплінарні зв'язки та напрями переходу від досліджень великих енергосистем до проблематики міст, муніципалітетів, локальних енергетичних систем, енергетичних спільнот і територіальних громад.

Отже, актуальність обраної тематики зумовлена поєднанням наукової потреби в систематизації генези й тематичної структури досліджень енергетичної резильєнтності та практичної потреби територіальних громад у науково обґрунтованих підходах до підвищення енергетичної автономності, стійкості, безпеки та здатності до відновлення в умовах сучасних ризиків і кризових впливів.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Дослідження резильєнтності енергетичних систем сформувався як міждисциплінарний напрям, що поєднує проблематику надійності електроенергетичних систем, енергетичної безпеки, декарбонізації, цифровізації, критичної інфраструктури, локального енергетичного планування та участі громад. Аналіз сучасних публікацій дає

підстави виокремити кілька концептуальних підходів до розуміння енергетичної резильєнтності: техніко-системний, процесно-адаптивний, інституційно-економічний, цифрово-безпековий і локально-муніципальний.

У межах *техніко-системного підходу* резильєнтність розглядається як здатність енергетичних систем, електромереж і пов'язаних інфраструктур зберігати працездатність, підтримувати якість електропостачання, адаптуватися до порушень і відновлювати функціонування після зовнішніх впливів. Базовими передумовами резильєнтної енергетики в цьому підході є надійність, ефективність енергосистем, якість електроенергії, диспетчеризація, керування навантаженням, оптимізація гібридних систем, розвиток розумних електромереж і комунікаційної інфраструктури [3–7]. Водночас сучасні дослідження показують, що технічної надійності вже недостатньо для пояснення резильєнтності, оскільки енергетичні системи дедалі більше залежать від відновлюваних джерел енергії, цифрового моніторингу, накопичення енергії, розподілених ресурсів, транспортної інфраструктури та поведінки споживачів.

Процесно-адаптивний підхід акцентує увагу не на статичній стійкості системи, а на її здатності готуватися до порушень, поглинати їхні наслідки, підтримувати критичні функції, відновлюватися та адаптуватися до нових умов [8–17]. У такому розумінні енергетична резильєнтність охоплює не лише інженерні параметри, а й економічну доцільність, фінансову спроможність, інституційне регулювання, соціальну залученість, кліматичні ризики та довгострокову трансформацію енергетики. У літературі представлені підходи до оцінювання внутрішньої енергетичної резильєнтності процесних систем [8], а також динамічні моделі, у яких резильєнтність пов'язується з етапами підготовки, поглинання порушення, відновлення та адаптації [9]. Водночас дослідники звертають увагу на обмеженість традиційних метрик, які не завжди враховують децентралізацію енергетики, кіберзагрози, кліматичні події, ризики ланцюгів постачання, соціальну справедливість і локальний контекст [3].

Інституційно-економічний підхід виходить із того, що енергетична резильєнтність не може забезпечуватися лише технічними рішеннями. Вона потребує обґрунтованих інвестицій, регуляторної підтримки, фінансової спроможності, енергетичної політики та координації між учасниками енергетичної системи. У працях, присвячених інвестуванню в резильєнтність, підкреслюється, що абсолютна захищеність енергетичної системи часто є економічно недосяжною або недоцільною, тому важливим

завданням стає визначення оптимального рівня інвестицій відповідно до ресурсів і прийняттого рівня ризику [11]. Інші дослідження пов'язують енергетичну резильєнтність із викидами парникових газів, енергетичним переходом, законодавством, фінансовою інклюзією та цифровими технологіями [10; 14; 15]. Водночас енергетична резильєнтність ще недостатньо інтегрована в дослідження енергетичної політики, оскільки соціально-економічні й управлінські аспекти представлені менш системно, ніж технічні та інфраструктурні [17].

Цифрово-безпековий підхід формується під впливом цифровізації енергетики, розвитку розумних електромереж, кіберфізичних систем, штучного інтелекту, моніторингу й аналітики даних. У цьому контексті резильєнтність пов'язується зі здатністю енергетичної системи своєчасно виявляти порушення, запобігати поширенню аварій, підтримувати керованість і забезпечувати захист даних та інфраструктури. Дослідження Центрально-американської енергосистеми показує, що розвиток відновлюваної енергетики відкриває можливості для декарбонізації, але водночас посилює вимоги до стабільності, допоміжних послуг, накопичення енергії, мікромереж і довгострокового планування [6]. Праці щодо виявлення аномалій в інтегрованих енергетичних системах на основі генеративного штучного інтелекту додатково підкреслюють значення кібербезпеки, захисту даних і раннього виявлення порушень [7].

Найближчим до тематики територіальних громад є *локально-муніципальний підхід*. У його межах енергетична резильєнтність розглядається на рівні локальних енергетичних систем, енергетичних спільнот, мікромереж, автономних гібридних систем, електромобільності, водневих технологій і багатовекторних моделей енергопостачання. Локальні енергетичні системи в цьому підході не є зменшеною копією великої енергосистеми. Вони мають власну логіку функціонування, оскільки технологічні рішення мають узгоджуватися з потребами громади, структурою споживання, локальними ресурсами та управлінськими можливостями. Їх розвиток пов'язаний із розподіленими енергетичними ресурсами, електромобілями, накопиченням енергії та гнучкими технологіями керування потоками енергії [18].

У цьому підході важливе місце посідають мікромережі, які розглядаються як механізм підвищення енергетичної автономності та підтримання критичних навантажень у разі порушень централізованого енергопостачання. Їхня роль полягає в інтеграції відновлюваних джерел енергії, роботі в автономному або острівному режимі, гнучкому ке-

руванні та зменшенні наслідків відключень. Дослідження ізольованих мікромереж постійного струму показують, що цифрові алгоритми керування, зокрема на основі рекурентних нейронних мереж, можуть підвищувати стабільність системи навіть за умов збоїв комунікаційної інфраструктури [19].

Локальні енергетичні системи дедалі частіше аналізуються не лише як технічні об'єкти, а як організаційно-управлінські моделі взаємодії між виробниками, споживачами, операторами мереж, місцевою владою та бізнесом. Інтегровані енергетичні системи громад дають змогу поєднувати розподілені енергетичні ресурси з локальними цілями – скороченням витрат, зменшенням викидів і підвищенням енергетичної автономності [20–23]. Водночас розумні локальні енергетичні системи мають бар'єри, пов'язані з плануванням, регулюванням, архітектурою системи, показниками ефективності та координацією учасників [24]. Отже, технологічна модернізація на рівні громад має супроводжуватися інституційною готовністю, управлінською спроможністю та участю локальних стейкхолдерів.

Окремий блок досліджень стосується територій, що функціонують у складних просторових, кліматичних або інфраструктурних умовах. Для віддалених, сільських, гірських і малодоступних громад автономні або напівавтономні гібридні енергетичні системи є передумовою доступу до енергії, розвитку сфери освіти, охорони здоров'я та місцевої економіки. Багатокритеріальні підходи до вибору таких систем враховують вартість енергії, надійність, резильєнтність, частку ВДЕ, викиди, надлишкову енергію та чутливість до зміни навантаження [22]. Дослідження теплових мереж для гірських громад показують, що енергетична резильєнтність може забезпечуватися через локальні відновлювані ресурси, когенерацію, районне теплопостачання та баланс між електричними й тепловими потребами [25].

Узагальнення літератури дає змогу визначити кілька дослідницьких прогалин. *По-перше*, дослідження резильєнтності енергетичних систем залишаються тематично фрагментованими: окремо розглядаються технічна надійність, мікромережі, цифровізація, законодавство, фінансування, енергетична політика, міста та локальні енергетичні системи. *По-друге*, енергетична резильєнтність часто аналізується на рівні великих енергосистем або окремих технологічних рішень, тоді як територіальна громада як рівень поєднання енергетичної інфраструктури, місцевої економіки, управління та потреб населення ще не отримала достатньо системного висвітлення. *По-третє*, наявні підходи до

оцінювання не завжди враховують локальний контекст, соціальну участь, критичні навантаження, управлінську спроможність, ресурсні обмеження та специфічні ризики громад. По-четверте, недостатньо представлено досвід муніципалітетів і громад, які функціонують в умовах тривалих безпекових загроз, пошкодження інфраструктури, дефіциту резервних потужностей і необхідності швидкого відновлення критичних послуг.

Отже, опрацьовані джерела свідчать не про відсутність досліджень енергетичної резильєнтності, а про їхню фрагментарність і недостатню інтегрованість між кількома тематичними лініями – технічною, цифровою, інституційно-економічною, кліматичною та локальною. Найменш цілісно в цьому полі представлено саме рівень територіальної громади, де енергетична резильєнтність має поєднувати технологічні рішення, управлінську спроможність, фінансові ресурси, участь споживачів і здатність підтримувати критичні послуги в умовах порушень. Саме цей розрив між розвиненим техніко-технологічним дискурсом і недостатньою концептуалізацією локально-муніципального рівня визначає подальшу логіку дослідження.

МЕТА, ДОСЛІДНИЦЬКІ ПИТАННЯ ТА АНАЛІТИЧНЕ ПРИПУЩЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою статті є виявлення генези, динаміки розвитку та тематичної структури наукових досліджень, присвячених резильєнтності енергетичних систем територіальних громад, на основі бібліометричного аналізу публікацій, індексованих у наукометричних базах Scopus і Web of Science.

Для досягнення поставленої мети дослідження сформульовано такі *дослідницькі питання*:

- ✦ Як формувалося широке наукове поле досліджень резильєнтності енергетичних систем і які етапи його публікаційного розвитку можна виокремити?
- ✦ Коли енергетична резильєнтність почала формуватися як самостійний науковий напрям?
- ✦ Які країни, наукові джерела, галузі знань і найбільш цитовані публікації визначають розвиток досліджень резильєнтності енергетичних систем?
- ✦ Які тематичні кластери, міждисциплінарні зв'язки та часові зрушення характеризують сучасні дослідження енергетичної резильєнтності?
- ✦ Як у міжнародному науковому полі представлено локально-муніципальний вимір, пов'язаний із містами, громадами, локаль-

ними енергетичними системами, енергетичними спільнотами та мікромережами?

- ✦ Які спільні тенденції та відмінності простежуються в результатах бібліометричного аналізу за даними Scopus і Web of Science?

З огляду на бібліометричний і описово-аналітичний дизайн дослідження формальні статистичні гіпотези не висувалися. Вихідне аналітичне припущення полягає в тому, що проблематика резильєнтності енергетичних систем територіальних громад формується на перетині кількох напрямів: енергетичної безпеки, відновлюваної енергетики, мікромереж, розумних електромереж, накопичення енергії, кліматичної адаптації, цифрового управління, енергетичних спільнот і локального енергетичного планування.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методологічну основу дослідження становить бібліометричний підхід [1; 26–28], який дає змогу оцінити динаміку розвитку наукового напрямку, виявити його тематичну структуру, ключові поняття, наукові зв'язки та зміну дослідницьких акцентів у часі.

Інформаційною базою дослідження стали публікації, проіндексовані у Scopus і Web of Science. Scopus використано як основне джерело для кількісного аналізу, побудови бібліометричних карт і виявлення тематичних кластерів у VOSviewer. Web of Science залучено для порівняльної перевірки результатів і уточнення загальних тенденцій розвитку досліджуваного напрямку.

Дослідження виконано у три етапи: 1) формування широкого поля публікацій щодо резильєнтності енергетичних систем, електроенергетичних систем, енергетичної інфраструктури та електромереж; 2) звуження аналізу до поняття енергетичної резильєнтності як самостійної наукової категорії; 3) виокремлення локально-муніципального виміру через поєднання проблематики енергетичної резильєнтності з поняттями міст, громад, муніципалітетів, локальних енергетичних систем, енергетичних спільнот, міських і сільських громад.

Пошукові запити формувалися в полі назви, анотації та ключових слів. Для підвищення релевантності вибірки застосовано обмеження за типом документа, мовою, стадією публікації та афіліаційною належністю авторів. Основну увагу приділено англomовним науковим статтям, опублікованим у фінальній стадії. Додатково виключено нерелевантні значення окремих термінів, зокрема вживання слова «спільнота» у біологічному, зоологічному або мікробіологічному контексті. Опрацювання даних охоплювало аналіз кількості публікацій,

хронологічних меж, публікаційної динаміки, провідних джерел, країн, організацій, галузей знань, спонсорів фінансування та найбільш цитованих документів. У VOSviewer побудовано карти співзв'язності ключових слів, часової еволюції тематики, співавторства за країнами, аналізу джерел публікацій і бібліографічного зв'язування документів.

Результати Scopus і Web of Science не об'єднувалися в один масив через відмінності у принципах індексації, структурі даних і профілі охоплення журналів. Обмеження дослідження пов'язані з вибором пошукових термінів, параметрами відбору публікацій, орієнтацією на англomовні джерела та охопленням лише праць, індексованих у Scopus і Web of Science. Дані за 2026 рік інтерпретовано обережно, оскільки рік ще не завершено.

РЕЗУЛЬТАТИ

Бібліометричний аналіз виконано за трьома послідовними етапами: від широкого поля досліджень резильєнтності енергетичних систем – до понятійного ядра енергетичної резильєнтності та її локально-муніципального виміру.

На *першому етапі* сформовано базовий масив публікацій, у яких резильєнтність розглядається у зв'язку з енергетичними системами, електроенергетичними системами, електромережами та енергетичною інфраструктурою. Пошуковий запит у Scopus було побудовано на поєднанні терміна “resilient” із поняттями “energy system*”, “power system*”, “electricity system*”, “electric power system*”, “power grid*”, “electric grid*”. Після застосування обмежень щодо року публікації, стадії публікації та афіліаційної належності авторів сформовано корпус із 17697 документів за 1978–2026 рр.

Динаміка публікацій свідчить про нерівномірний, але швидко зростаючий розвиток цього напрямку. До 2009 р. публікаційна активність була незначною – 116 документів, що свідчить про початкове формування проблематики в межах досліджень надійності мереж, складних систем і технічної безпеки. У 2010–2014 рр. кількість публікацій зросла до 466, що пов'язано з розвитком розумних електромереж, цифрового керування енергосистемами та інтеграції відновлюваних джерел енергії. У 2015–2019 рр. зафіксовано подальше розширення напрямку – 2151 документ, а у 2020–2023 рр. – 4606 документів. Найбільш інтенсивне зростання припадає на 2024–2026 рр., коли опубліковано 10358 документів, тобто 58,5% усього масиву. Це свідчить про перехід проблематики резильєнтності енергетичних систем до числа провідних напрямів сучасних енергетичних досліджень.

За типами публікацій у першому масиві домінують журнальні статті (8209 документів, або

46,4% загального обсягу) і конференційні матеріали (6874 документи; 38,8%). Така структура підтверджує подвійну природу напрямку: з одного боку, він має сформоване академічне ядро, з іншого – зберігає виразний інженерно-прикладний характер, пов'язаний із моделюванням, цифровим керуванням, оптимізацією та практичними завданнями відновлення енергопостачання.

Аналіз провідних джерел показує, що дослідження резильєнтності енергетичних систем формуються у трьох основних площинах. Перша – *енергетична*, представлена журналами *Energies*, *Applied Energy*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, де резильєнтність пов'язується з енергетичним переходом, відновлюваними джерелами енергії, енергоефективністю та декарбонізацією. Друга – *інженерно-цифрова*, де провідну роль відіграють видання *IEEE*, орієнтовані на розумні електромережі, керування навантаженням, кіберфізичні системи, автоматизацію та відновлення мереж. Третя – *міждисциплінарна*, у межах якої резильєнтність розглядається через сталість, міський розвиток, політику та інфраструктурне планування.

Географічна структура публікацій засвідчує лідерство США (4254 документи, або 24% загального обсягу праць), Китаю (3725; 21%) та Індії (2476; 14%), які разом формують понад половину загального масиву. Це пояснюється масштабом їхніх енергетичних систем, активними інвестиціями в модернізацію мереж, розвитком відновлюваної енергетики та цифрових технологій. Європейські країни представлені насамперед через проблематику енергетичного переходу, декарбонізації, децентралізації, локальних енергетичних систем і енергетичних спільнот. Для України показник 113 документів у широкому масиві є важливим, однак недостатнім з огляду на актуальність енергетичної резильєнтності в умовах воєнних загроз, пошкодження енергетичної інфраструктури та потреби підвищення автономності територіальних громад.

Галузева структура першого масиву має виразне інженерно-енергетичне ядро, але не обмежується ним. Домінування напрямів *Engineering* та *Energy* свідчить про вихідний фокус на технічній здатності енергосистем протистояти порушенням і відновлювати функціонування. Водночас значна присутність *Computer Science*, *Environmental Science*, *Social Sciences*, *Decision Sciences* і *Business, Management and Accounting* показує поступове перетворення резильєнтності на міждисциплінарну категорію, що поєднує цифровізацію, кліматичну адаптацію, енергетичну політику, управління ризиками, інвестиційні рішення та соціальну вразливість.

Найбільш цитовані праці першого корпусу демонструють різні джерела формування сучасного розуміння резильєнтності. З одного боку, це дослідження складних мереж, важливі для аналізу крихкості та стійкості мережевих структур (Callaway D. S., Newman M. E. J., Strogatz S. H., Watts D. J. [29]). З іншого – праці з інституційної інерції енергетичних режимів і низьковуглецевих переходів (Geels F. W. [30]); декарбонізації та стійких міст (Chen L., Msigwa G., Yang M. et al. [31]); резильєнтності енергосистем до природних катастроф (Wang Y., Chen C., Wang J., Baldick R. [32]); інтеграції відновлюваної енергетики та накопичення енергії (Kabeyi M. J. B., Olanrewaju O. A. [33]); технологій розумних електромереж (Dileep G. [34]); забезпечення міської та інфраструктурної резильєнтності (Ouyang M., Dueñas-Osorio L., Min X. [35]).

Отже, *перший етап* показав, що дослідження резильєнтності енергетичних систем сформувалися на перетині мережевої теорії, інженерної надійності, енергетичного переходу, цифровізації та інфраструктурної безпеки. Цей широкий масив важливий для розуміння генези напрямку, але він ще не дає змоги повною мірою розкрити локально-муніципальний вимір. Тому подальший аналіз було сфокусовано на понятійному ядрі енергетичної резильєнтності та її представленості в дослідженнях міст, громад, локальних енергетичних систем, енергетичних спільнот і мікромереж.

Завдання *другого етапу* дослідження полягає у виокремленні публікацій, у яких енергетична резильєнтність постає як самостійне поняття, а не лише як складова ширшої проблематики надійності, відновлення або технічної стійкості енергосистем. Для цього було сформовано окремий пошуковий запит у базі Scopus, орієнтований на пряме використання понять “energy resilience”,

“resilient energy” та “energy resiliency” у назвах, анотаціях і ключових словах публікацій. Порівняно з першим етапом результати другого пошукового етапу демонструють суттєве звуження бібліографічного масиву: з 17697 документів до 1275 статей (табл. 1). Це звуження має не лише кількісне, а й змістове значення. Якщо перший масив охоплював широке поле досліджень резильєнтності енергетичних систем, то другий фіксує саме ті праці, у яких енергетична резильєнтність набуває статусу окремого предмета дослідження. До цього масиву потрапляють не лише праці про електромережі, а й дослідження міст, домогосподарств, енергетичної бідності, автономності, відновлюваної енергетики та локальних енергетичних рішень.

Ані табл. 1 показують, що, попри тривале хронологічне охоплення масиву, реальне становлення енергетичної резильєнтності як самостійного напрямку відбулося лише в останні роки. До 2015 р. кількість публікацій була незначною, а саме поняття ще не мало чіткої дослідницької автономії. Натомість у 2024–2026 рр. сконцентровано понад дві третини всіх статей масиву. Це свідчить не лише про зростання публікаційної активності, а й про швидке формування понятійного ядра енергетичної резильєнтності в умовах енергетичного переходу, кліматичних ризиків, цифровізації та посилення уваги до безперервності енергетичних послуг. Ця динаміка демонструє зміну наукового фокусу. Якщо раніше дослідники переважно аналізували надійність, вразливість або технічну стійкість енергомереж, то нині дедалі частіше використовують поняття енергетичної резильєнтності як інтегральну характеристику системи. Вона охоплює здатність до попередження порушень, поглинання шоку, адаптації, підтримання критичних функцій і відновлення після кризових впливів.

Таблиця 1

Динаміка публікацій за темою енергетичної резильєнтності у Scopus

Період	Кількість документів	Частка в масиві, %	Характеристика розвитку
1923–2009	18	1,4	Поодинокі згадки; поняття ще не утворює самостійного напрямку
2010–2015	24	1,9	Початкове формування понятійного поля енергетичної резильєнтності
2016–2019	65	5,1	Зростання інтересу до відновлюваної енергетики, енергетичної безпеки, мікромереж і розумних електромереж
2020–2023	255	20,0	Прискорення розвитку під впливом кліматичних ризиків, криз, цифровізації та енергетичного переходу
2024–2026	915	71,8	Інтенсивна актуалізація тематики; енергетична резильєнтність стає одним із ключових понять сучасного енергетичного дискурсу

Джерело: розраховано та складено авторами на основі опрацювання міжнародної наукометричної бази даних Scopus.

Аналіз провідних джерел публікацій за темою енергетичної резильєнтності свідчить про зміну публікаційного профілю порівняно з першим етапом дослідження. Якщо в широкому масиві помітною була перевага інженерно-технічних видань, то на другому етапі перші позиції займають журнали з енергетики, сталого розвитку, міських систем, енергетичної економіки та будівельного середовища. Присутність журналів *Sustainable Cities and Society*, *Energy Economics* та *Energy and Buildings* показує, що енергетична резильєнтність уже пов'язується не лише з електромережами, а й із містами, будівлями, економічною доступністю енергії, локальною політикою, соціальною вразливістю та плануванням сталого розвитку.

На відміну від першого етапу, де лідером були США, у масиві публікацій з енергетичної резильєнтності першість має Китай. Це свідчить про посилення уваги до регіональної стійкості, зеленої трансформації, цифрової економіки, енергетичної політики, фінансових механізмів та оцінювання резильєнтності на рівні територій. США зберігають сильні позиції в напрямках критичної інфраструктури, мікромереж і відновлення після надзвичайних подій. Україна представлена 15 документами, що вказує на обмежену видимість українського контексту в міжнародному масиві, попри особливу актуальність проблематики енергетичної резильєнтності в умовах воєнних ризиків, пошкодження інфраструктури та потреби в локальній автономності.

Галузева структура підтверджує, що енергетична резильєнтність є ширшою за суто технічну проблематику. Її ядро залишається енергетико-інженерним, однак вагома присутність екологічних, соціальних, комп'ютерних та економічних наук свідчить про розширення змісту цього поняття. Енергетична резильєнтність поступово охоплює не лише здатність мережі витримати аварію, а й питання екологічної сталості, доступності енергії, цифрової керованості, фінансової життєздатності, політичного регулювання та участі споживачів. Для територіальних громад це означає, що локальна енергетична стійкість не може забезпечуватися лише технічним підсиленням мережі, а потребує поєднання інженерних рішень, енергетичного планування, цифрового моніторингу, соціальної участі, фінансових механізмів і управлінської спроможності.

Для поглиблення інтерпретації другого етапу використано карти VOSviewer, які дали змогу виявити ключові тематичні вузли та часові зрушення в масиві з 1275 статей. Тематична структура досліджень охоплює кілька взаємопов'язаних блоків: енергетичний перехід, відновлювану енергетику, енергоефективність, енергетичну політику, нако-

пичення енергії, мікромережі, сонячну генерацію, цифрові технології та кібербезпеку. Це підтверджує, що енергетична резильєнтність формується як міждисциплінарна категорія, у якій технічні, екологічні, економічні, цифрові та управлінські виміри взаємодіють між собою. На рис. 1 представлено часову візуалізацію тематичної еволюції досліджень енергетичної резильєнтності за масивом Scopus.

Часова візуалізація показує, що раніше актуалізовані тематичні вузли тяжіють до енергетичних систем, енергетичної політики, сталості, викопного палива, вразливості, просторового аналізу, інформаційних систем і географічних інформаційних систем. Це свідчить, що на початкових етапах енергетична резильєнтність розглядалася переважно через призму ресурсної безпеки, оцінювання вразливості, просторового планування та загальної стійкості енергетичних систем. Новіші тематичні вузли пов'язані з водневим накопиченням, виробництвом водню, акумуляторними системами, фотоелектричними технологіями, електромобілями, машинним і глибоким навчанням, прогнозуванням навантаження, кібербезпекою, багатокритеріальним прийняттям рішень, фінансами, цифровізацією, технологічними інноваціями та економічним зростанням. Це засвідчує перехід до більш технологічно насиченого, цифрово орієнтованого й управлінські складного дискурсу енергетичної резильєнтності.

Для систематизації результатів картографування ключових слів узагальнено основні змістові кластери досліджень енергетичної резильєнтності (табл. 2).

Як видно з табл. 2, енергетична резильєнтність охоплює технічну стійкість мереж, перехід до відновлюваної енергетики, кліматичну адаптацію, економічне оцінювання, фінансові інструменти та цифрові методи управління. Для територіальних громад це має прикладне значення, оскільки на локальному рівні ці чинники не діють окремо: мікромережі, локальна генерація, накопичення енергії, цифровий моніторинг, кібербезпека, фінансування та участь споживачів мають розглядатися як елементи єдиної системи забезпечення енергетичної стійкості.

Для перевірки й уточнення результатів Scopus було використано дані Web of Science. У ширшому пошуку за тематикою енергетичної резильєнтності у Web of Science зафіксовано 26740 публікацій, з них 20738 статей. Сфокусований масив за точним поняттям енергетичної резильєнтності охопив 860 публікацій, з них 638 статей. Найвища активність у цьому масиві припадає на 2024–2026 рр.: у 2024 р. – 111 статей, у 2025 р. – 281, у 2026 р. – 150. Отже, Web of Science підтверджує тенденцію, виявлену



Рис. 1. Часова візуалізація тематичної еволюції досліджень енергетичної резильєнтності

Джерело: побудовано авторами на основі опрацювання міжнародної наукометричної бази даних Scopus з використанням інструментарію VOSviewer.

Таблица 2

Тематичні кластери досліджень енергетичної резильєнтності

Кластер	Ключові слова	Змістова інтерпретація
Технологічна стійкість мереж	Мікромережі, розумні електромережі, накопичення енергії, електромобілі, управління навантаженням, кібербезпека	Формує технічне ядро енергетичної резильєнтності
Енергетичний перехід і відновлювані джерела	Відновлювана енергетика, сонячна генерація, вітрова енергетика, водень, батареїні системи	Пов'язує резильєнтність із децентралізацією та низьковуглецевою трансформацією
Сталий розвиток і кліматична політика	Сталий розвиток, вуглецеві викиди, циркулярна економіка, кліматичні ризики, біоенергетика	Розкриває екологічний і кліматичний виміри
Управління й економічна оцінка	Енергетична політика, економічний аналіз, фінанси, інновації, багато-критеріальне оцінювання	Переводить енергетичну резильєнтність у площину управлінських рішень
Цифровізація та інтелектуальні методи	Штучний інтелект, машинне навчання, глибоке навчання, прогнозування, інформаційні системи	Підтверджує зростання ролі цифрових технологій

Джерело: складено авторами на основі опрацювання міжнародної наукометричної бази даних Scopus з використанням інструментарію VOSviewer.

у Scopus: після 2023 р. енергетична резильєнтність стала одним із найбільш динамічних напрямів енергетичних досліджень. Дані за 2026 р. мають попередній характер, оскільки рік ще не завершено.

Змістовний аналіз масиву Web of Science показує, що ранні публікації пов'язували енергетичну

резильєнтність переважно з безпекою енергетичної інфраструктури, оцінюванням вразливості, кліматичною адаптацією та енергетичною політикою. У новіших працях акценти зміщуються до міської енергетичної резильєнтності, цифровізації, зеленого переходу, фінансових механізмів, законо-

давчого регулювання та інституційної спроможності. Це свідчить, що у Web of Science енергетична резильєнтність репрезентована не лише як технічна характеристика енергосистеми, а як категорія, що поєднує технологічні, економічні, кліматичні, управлінські та безпекові аспекти.

Тематична структура сфокусованого корпусу Web of Science охоплює кілька змістових блоків. Перший пов'язаний із технологічною стійкістю та керуванням енергетичними системами: мікромережами, накопиченням енергії, оптимізацією, електромобілями, розумними електромережами, фотоелектричними технологіями, акумуляторними системами, надійністю та керуванням попитом. Другий блок охоплює енергетичний перехід, кліматичну політику та сталий розвиток: відновлювану енергетику, декарбонізацію, вуглецеву нейтральність, циркулярну економіку, біоенергетику та пом'якшення кліматичних змін. Третій блок відображає економіко-управлінський вимір і включає управління, споживання, вартість, індикатори, метрики, енергетичну безпеку, енергетичну бідність, геополітичні ризики, економічне зростання та політику Європейського Союзу. Окреме значення мають поняття міської резильєнтності, будівель, житлових будівель, теплового комфорту, енергетичного планування та геоінформаційних систем, які наближають досліджувану проблематику до рівня міст, громад і локального середовища життєдіяльності населення.

На *рис. 2* подано часову візуалізацію тематичної еволюції досліджень енергетичної резильєнтності за даними Web of Science.

Часова карта показує, що більш ранні тематичні вузли тяжіють до понять концептуальної рамки, безпеки, метрик, енергетичної системи, адаптації, кліматичних змін, енергетичної політики, міської резильєнтності та сталого розвитку. Це означає, що на початкових етапах активного розвитку напряму дослідники зосереджувалися переважно на концептуальному осмисленні енергетичної резильєнтності, формуванні рамок її оцінювання, питань безпеки, кліматичної адаптації та політики.

Нові тематичні вузли дедалі більше пов'язані з конкретними технологічними, фінансовими й управлінськими рішеннями: зеленим воднем, водневим накопиченням, акумуляторними системами, електромобілями, фотоелектричними технологіями, когенерацією, резильєнтністю відновлюваної енергетики, торгівлею, економічним зростанням, викидами, вуглецевою нейтральністю та політикою Європейського Союзу. Це свідчить про зміщення дослідницького фокусу від загального концептуального обґрунтування до пошуку прикладних механізмів забезпечення енергетичної резильєнтності.

Для територіальних громад цей результат має практичне значення. Він показує, що підвищення локальної енергетичної стійкості потребує не одного універсального рішення, а поєднання локальної

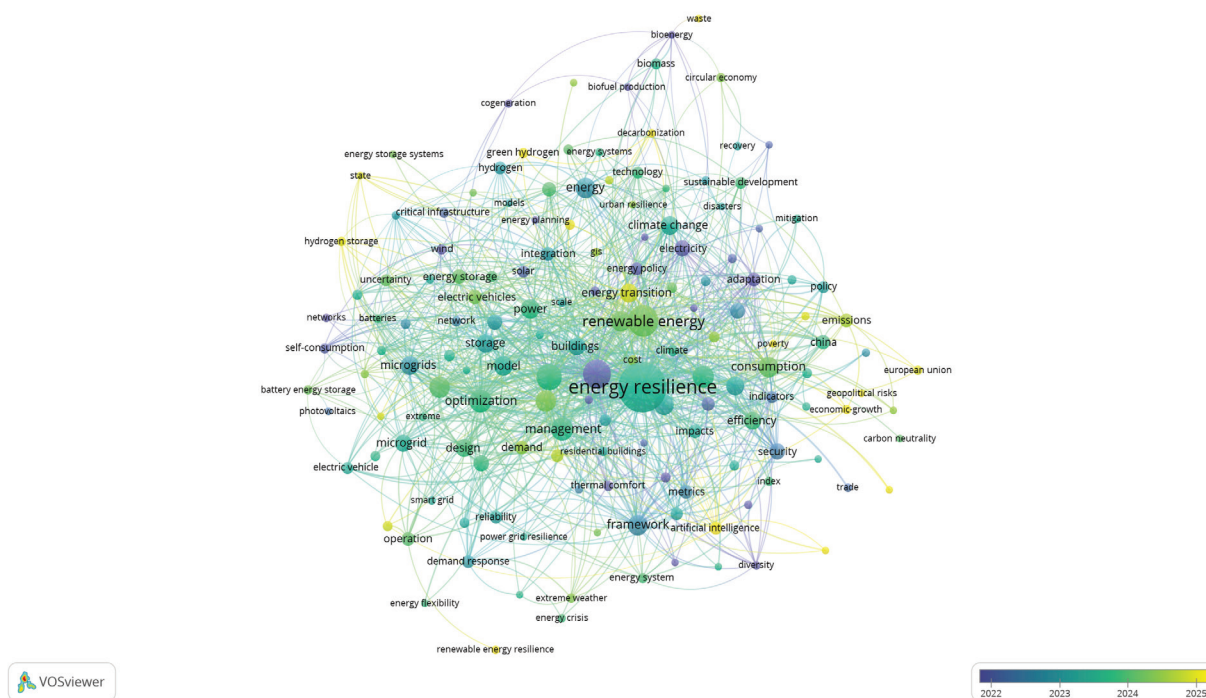


Рис. 2. Часова візуалізація тематичної еволюції досліджень енергетичної резильєнтності

Джерело: побудовано авторами на основі опрацювання міжнародної наукометричної бази даних Web of Science з використанням інструментарію VOSviewer.

генерації, систем накопичення, резервного живлення, енергоефективності, мікромереж, управління попитом, цифрового моніторингу та фінансово обґрунтованого планування. Посилення економіко-політичної складової у Web of Science також свідчить, що енергетична резильєнтність дедалі частіше розглядається як елемент енергетичного переходу, кліматичної нейтральності та економічної безпеки.

Отже, результати Web of Science підтверджують і поглиблюють висновки, отримані за даними Scopus. Якщо Scopus виразніше репрезентує техніко-енергетичний вимір енергетичної резильєнтності, то Web of Science сильніше підкреслює її економіко-політичний, інституційний, цифровий і міський контекст [36–39]. Це дає підстави розглядати обидві бази не як дублюючі, а як взаємодоповнювальні джерела для аналізу розвитку досліджуваного напрямку (табл. 3).

Таким чином, *другий етап* виконує роль аналітичної перехідної ланки між широким полем досліджень резильєнтності енергетичних систем і локально-муніципальним виміром цієї проблематики. Він показує, що енергетична резильєнтність уже не обмежується рівнем великої енергосистеми або національної інфраструктури, а дедалі частіше пов'язується з містами, громадами, локальними енергетичними системами, енергетичними спільнотами та мікромережами. Це обґрунтовує перехід до локально-муніципального масиву, який дає змогу безпосередньо дослідити представленість про-

блематики енергетичної резильєнтності на рівні територіальних громад.

Третій етап є ключовим для досягнення мети цього дослідження, оскільки саме він дозволяє перейти від загального аналізу резильєнтності енергетичних систем і понятійного ядра енергетичної резильєнтності до її локального прояву. Якщо перший етап відтворював історичні та міждисциплінарні передумови формування досліджень, а другий – становлення енергетичної резильєнтності як самостійного наукового напрямку, то третій етап спрямований на просторову конкретизацію проблематики. У центрі уваги перебувають міста, муніципалітети, територіальні громади, локальні енергетичні системи, енергетичні спільноти, мікромережі та міська інфраструктура. Для формування релевантного масиву публікацій було поєднано два блоки пошукових понять: перший охоплював терміни, пов'язані з резильєнтністю енергетичних систем, а другий – поняття, що відображають локальний, міський і муніципальний рівні. Загальну логіку пошукової стратегії третього етапу наведено в табл. 4.

Як видно з табл. 4, третій масив було сформовано через цілеспрямоване поєднання енергетичного та локально-муніципального блоків. Особливе значення мало виключення нерелевантних значень слова «спільнота», які могли стосуватися біологічного, зоологічного або мікробіологічного контексту. У результаті сформовано масив із 1258 англomовних наукових статей за

Таблиця 3

Порівняння результатів пошуку в базах даних Scopus і Web of Science за напрямом енергетичної резильєнтності

Параметр	Scopus	Web of Science	Аналітична інтерпретація
Сфокусований масив	1275 статей	860 публікацій, з них 638 статей	Scopus формує ширший журнальний масив
Тип документів	Наукові статті	Публікації різних типів, окремо виділено статті	Scopus-масив є більш однорідним для картографування
Пік активності	2025 р. – 434 статті; 2026 р. – 294 статті	2025 р. – 281 публікація; 2026 р. – 150 публікацій	Обидві бази підтверджують пік інтересу у 2024–2026 рр.
Провідний змістовий акцент	Відновлювана енергетика, мікромережі, накопичення енергії, розумні електромережі, енергетична політика	Штучний інтелект, зелене фінансування, законодавство, цифровізація ланцюгів постачання, міська енергетична резильєнтність	Scopus сильніше репрезентує техніко-енергетичний вимір, Web of Science – економіко-політичний і цифровий
Методична роль	Основний масив для карт VOSviewer і кількісного аналізу	Додатковий масив для порівняння та уточнення тенденцій	Бази доцільно не змішувати, а використовувати як взаємодоповнювальні джерела

Джерело: складено авторами на основі опрацювання міжнародної наукометричної бази даних Scopus і Web of Science з використанням інструментарію VOSviewer.

Таблиця 4

Пошукова стратегія третього етапу дослідження

Параметр	Характеристика
Назва етапу	Локально-муніципальний вимір резильєнтності енергетичних систем
Пошуковий фокус	Резильєнтність енергетичних систем у зв'язку з містами, громадами, муніципалітетами, локальними енергетичними системами та енергетичними спільнотами
Блок енергетичної резильєнтності	Резильєнтність енергетичних систем; резильєнтність електроенергетичних систем; резильєнтність електромереж; міська енергетична резильєнтність; енергетична резильєнтність громад
Локально-муніципальний блок	Муніципалітет; місцевий рівень; місцеве самоврядування; локальна енергетична система; енергетична спільнота; міська громада; сільська громада; місто; територіальна громада
Додаткові виключення	Біологічні, зоологічні та мікробні значення слова «спільнота»
Обмеження	Наукові статті; англійська мова; фінальна стадія публікації; виключено афіліацію авторів з росії
Кількість документів	1258
Хронологічне охоплення	2008–2026 рр.
Аналітична роль	Основний масив для аналізу тематичної структури досліджень територіальних громад

Джерело: складено авторами на основі опрацювання міжнародної наукометричної бази даних Scopus з використанням інструментарію VOSviewer.

2008–2026 рр., найбільш релевантний для аналізу енергетичної резильєнтності на рівні територіальних громад.

Динаміка публікацій у межах цього масиву (табл. 5) дає змогу визначити, коли локально-муніципальний вимір почав набувати самостійного значення в міжнародному науковому полі.

Як видно з табл. 5, локально-муніципальний вимір сформувався пізніше, ніж загальне поле резильєнтності енергетичних систем, але саме він демонструє найдинамічніше зрос-

тання. У 2008–2014 рр. зафіксовано лише 13 публікацій, тобто локальна енергетична резильєнтність ще не була виокремлена як самостійна тема. У 2015–2019 рр. кількість документів зросла до 103, що пов'язано з активізацією досліджень мікромереж, розумних електромереж, локальної генерації та міських енергетичних систем. Найбільш інтенсивне зростання припадає на 2024–2026 рр. – 854 документи, або майже 68% масиву. Це означає, що локальна енергетична резильєнтність стає відповіддю на практичні виклики сучасного енергетичного розвитку: децентралізацію генерації, зростан-

Таблиця 5

Динаміка публікацій за локально-муніципальним масивом досліджень

Період	Кількість документів	Частка в масиві, %	Характеристика розвитку напрямку
2008–2014	13	1,0	Початковий етап; локальний вимір ще не має чіткого енергетичного профілю
2015–2019	103	8,2	Формування прикладного напрямку; увага до мікромереж, локальної генерації та міської інфраструктури
2020–2023	288	22,9	Прискорення під впливом кліматичних ризиків, цифровізації та енергетичного переходу
2024–2026	854	67,9	Інтенсивна актуалізація теми міст, громад, локальних енергосистем і енергетичних спільнот

Джерело: розраховано та складено авторами на основі опрацювання міжнародної наукометричної бази даних Scopus з використанням інструментарію VOSviewer.

ня ролі громад, необхідність підвищення автономності міст і територій, ризики тривалих відключень, кліматичні загрози, цифровізацію та пошук нових моделей локального енергетичного управління.

Подальший аналіз джерел публікацій дозволяє визначити, у яких наукових виданнях (табл. 6) концентрується ця проблематика. Аналіз свідчить, що локально-муніципальний масив досліджень має більш прикладний і просторово орієнтований характер порівняно з попередніми етапами. Якщо широке поле резильентності енергетичних систем значною мірою було пов'язане з інженерними журналами та матеріалами конференцій, то в локально-муніципальному масиві посилюється роль видань, присвячених містам, будівлям, сталому розвитку, локальному енергетичному плануванню та енергетичній політиці. Особливо показовою є висока позиція журналу *Sustainable Cities and Society*, що відображає перехід від технічної резильентності мереж до ширшого міського, локального та управлінського виміру. Для концептуалізації енергетичної резильентності територіальної громади це важливо, оскільки на локальному рівні ключовими стають не лише мережі та генерація, а й будівлі, міська інфраструктура, локальна політика, енергетичні спільноти, кліматична адаптація та просторове планування.

Географія досліджень дозволяє з'ясувати, які країни формують основні наукові підходи до ло-

кальної енергетичної резильентності (табл. 7). Як показує бібліометричний аналіз, локально-муніципальний вимір формується переважно під впливом Китаю та США. Для Китаю характерний фокус на міських енергетичних системах, зеленому переході, цифровізації та регіональному розвитку. США зберігають сильні позиції в дослідженнях критичної інфраструктури, мікромереж і відновлення електропостачання після надзвичайних подій. Європейські країни демонструють інший профіль: енергетичні спільноти, локальні переходи, міське планування, енергоефективність будівель і кліматична адаптація. Показник України – 7 документів – засвідчує недостатню міжнародну представленість українського досвіду, хоча саме для України проблема локальної енергетичної резильентності має критичне практичне значення через поєднання енергетичних, інфраструктурних, безпекових і управлінських викликів.

Міждисциплінарний характер локально-муніципального масиву підтверджується його галузевою структурою: поряд із енергетикою та інженерією помітну роль відіграють екологічні, соціальні, комп'ютерні й економічні науки. Це свідчить, що локальна енергетична резильентність розглядається не тільки як інженерна проблема, а й як питання управління, соціальної участі, цифрового моніторингу, планування, оцінювання ризиків і координації рішень. Для тери-

Таблиця 6

Провідні журнали, у яких опубліковано статті з проблем забезпечення енергетичної резильентності на локально-муніципальному рівні

Джерело	Кількість документів	Змістовне значення
Energies	68	Енергетичні системи, мікромережі, відновлювані джерела, накопичення енергії
Applied Energy	66	Системне моделювання, оптимізація, декарбонізація, інтеграція локальних рішень
Sustainable Cities and Society	65	Міська енергетична резильентність, розумні міста, сталість, кліматична адаптація
Sustainability (Switzerland)	52	Сталість, громади, енергетичні спільноти, локальна політика
Energy	33	Енергетичний перехід, енергетична політика, системна трансформація
IEEE Access	32	Цифровий, інженерний і мережевий вимір
Energy and Buildings	24	Будівлі, міське енергомодельовання, тепловий комфорт
Sustainable Energy, Grids and Networks	22	Енергомережі, децентралізація, розумні електромережі
Energy Reports	18	Прикладні дослідження локальних енергетичних систем
Journal of Cleaner Production	18	Чисте виробництво, циркулярна економіка, декарбонізація

Джерело: складено авторами на основі опрацювання міжнародної наукометричної бази даних Scopus з використанням інструментарію VOSviewer.

Таблиця 7

Країни-лідери за кількістю публікацій

Країна / територія	Кількість документів	Аналітична інтерпретація
Китай	338	Міська енергетична резильєнтність, зелений перехід, цифровізація, регіональні енергосистеми
США	247	Критична інфраструктура, мікромережі, відновлення електропостачання, міська інфраструктура
Велика Британія	93	Енергетична політика, локальні переходи, міська сталість
Італія	84	Локальні енергетичні системи, енергетичні спільноти, міське планування
Індія	81	Розумні електромережі, енергетична доступність, мікромережі
Канада	73	Кліматичні ризики, локальні енергосистеми, інфраструктурна адаптація
Саудівська Аравія	67	Відновлювана енергетика, водневі технології, енергетична трансформація
Іран	65	Оптимізація енергосистем, мікромережі, управління навантаженням
Австралія	59	Кліматичні ризики, локальні системи, енергетична автономність
Іспанія	40	Урбаністичні, енергетичні та кліматично орієнтовані дослідження
Німеччина	34	Енергетичний перехід, децентралізація, енергетичні спільноти
Японія	32	Енергетична безпека, міська інфраструктура, накопичення енергії
Швеція	32	Кліматична адаптація, міські енергетичні системи, будівлі
Україна	7	Дуже обмежена представленість, що засвідчує потребу посилення українських досліджень

Джерело: складено авторами на основі опрацювання міжнародної наукометричної бази даних Scopus з використанням інструментарію VOSviewer.

торіальних громад це має безпосереднє значення, оскільки забезпечення енергетичної резильєнтності потребує не лише технічної модернізації мережі, а й організаційних рішень, фінансування, місцевих планів енергетичної безпеки, цифрових інструментів, участі бізнесу та мешканців і здатності органів місцевого самоврядування координувати дії в кризових умовах.

Для поглиблення змістовного аналізу локально-муніципального масиву було побудовано карти VOSviewer, а саме: карту співзустрічальності авторських ключових слів, часову еволюцію тематики та карту міжнародної співпраці. Разом вони розкривають понятійне ядро, динаміку розвитку та географію наукових зв'язків у досліджуваному полі. Першою є карта співзустрічальності авторських ключових слів, яка дозволяє визначити, які поняття самі автори найчастіше пов'язують із локально-муніципальним виміром енергетичної резильєнтності (рис. 3).

З рис. 3 видно, що ядро авторських ключових слів формують такі поняття: резильєнтність, відновлювана енергетика, енергетична резильєнтність, енергоефективність, кліматичні зміни, мікромережі, розумні електромережі, енергетичні спільноти, накопичення енергії, розподілені енергетичні ресурси, електромобілі, міські енергетичні

системи та децентралізовані енергетичні системи. На відміну від другого етапу, де центральним було поняття енергетичної резильєнтності як загальної категорії, рис. 3 демонструє більш прикладну структуру. У ній чітко проявляються поняття, пов'язані з рівнем територіальних громад: енергетичні спільноти, локальні енергетичні системи, просюмери, самозабезпечення, локальна генерація, районне теплопостачання та міське енергетичне планування. Отже, у локально-муніципальному масиві енергетична резильєнтність набуває не лише технічного, а й організаційного, управлінського та соціального змісту.

Наступним кроком є аналіз часової еволюції тематики, що дає змогу простежити, які поняття були актуалізовані раніше, а які набули більшої ваги останніми роками (рис. 4). Як показано на рис. 4, раніше актуалізовані тематичні вузли були зосереджені на міській інфраструктурі, кліматичних змінах, критичній інфраструктурі, електромережах, вразливості, ризиках і надійності. Це свідчить, що локальна енергетична резильєнтність спочатку розвивалася як частина ширшого інфраструктурного, кліматичного та безпекового дискурсу. Нові дослідження концентруються навколо водневого накопичення, батарейних сис-

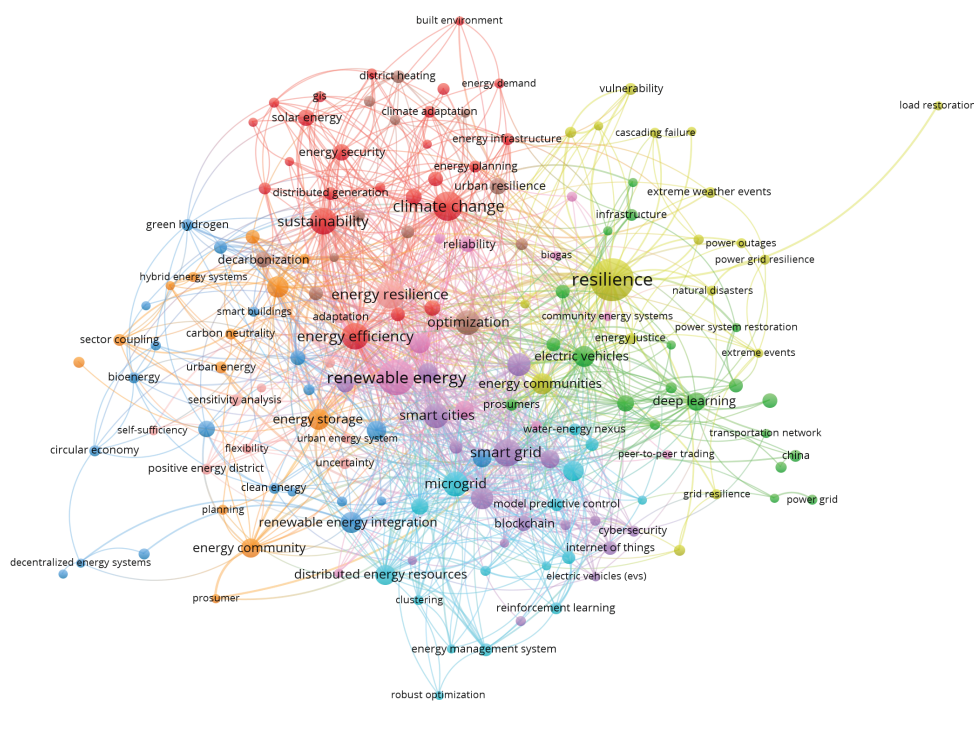


Рис. 3. Карта співзустрічальності авторських ключових слів за локально-муніципальним масивом досліджень енергетичної резильєнтності

Джерело: побудовано авторами на основі опрацювання міжнародної наукометричної бази даних Scopus з використанням інструментарію VOSviewer.



Рис. 4. Часова еволюція тематики локально-муніципального масиву досліджень енергетичної резильєнтності

Джерело: побудовано авторами на основі опрацювання міжнародної наукометричної бази даних Scopus з використанням інструментарію VOSviewer.

тем, електромобілів, зарядної інфраструктури, оптимізаційних алгоритмів, багатокритеріального прийняття рішень, вартості енергії, цін на електроенергію та вуглецевої нейтральності. Це означає, що сучасний етап розвитку напрому переходить від загального аналізу ризиків до конкретних інструментів локальної енергетичної автономності. Для громад це має практичне значення: йдеться не лише про резервне живлення, а про створення гнучких локальних систем, здатних поєднувати генерацію, накопичення, управління попитом, електромобільність і цифрове планування.

Окрім тематичної структури, важливим є аналіз міжнародної співпраці. Карту країн-лідерів та їхніх зв'язків наведено на *рис. 5*, який підтверджує кількісні результати *табл. 7*: найбільшими вузлами є Китай та США. Водночас карта дає змогу побачити не лише лідерство за кількістю документів, а й структуру міжнародної наукової співпраці. Навколо Китаю формується азіатський і трансрегіональний блок, до якого входять Індія, Саудівська Аравія, Малайзія, Пакистан, Об'єднані Арабські Емірати, Південна Корея, Гонконг і Японія. Цей блок відображає інтерес до урбанізації, відновлюваної енергетики, розумних міст, регіональних енергетичних систем і цифрової трансформації.

Європейський блок представлений Італією, Німеччиною, Іспанією, Португалією, Францією, Ні-

дерландами, Швецією, Данією, Фінляндією, Австрією, Румунією та Польщею. Для нього характерні дослідження енергетичних спільнот, децентралізації, локальних енергетичних ринків, будівельної енергоефективності та кліматичної адаптації. Україна не є помітним вузлом на карті, що ще раз підтверджує потребу посилення міжнародної видимості українських досліджень у сфері енергетичної резильєнтності громад.

Результати картографування доцільно узагальнити у вигляді тематичних кластерів (*табл. 8*), які показують значення кожного напрому для територіальних громад.

Як видно з *табл. 8*, резильєнтність енергетичних систем територіальних громад є багатовимірною категорією. Вона не зводиться до наявності резервного джерела живлення або надійності електромережі. Її зміст формується на перетині кліматичної адаптації, технічної стійкості, децентралізації генерації, цифрового управління, участі громади, економічної оцінки та інституційної спроможності. Саме така структура пояснює, чому дослідження енергетичної резильєнтності громад потребує міждисциплінарного підходу.

Завершальним елементом третього етапу є аналіз найбільш цитованих публікацій, які дозволяють визначити інтелектуальне ядро дослідницького напрому (*табл. 9*). Як показано в *табл. 9*, най-

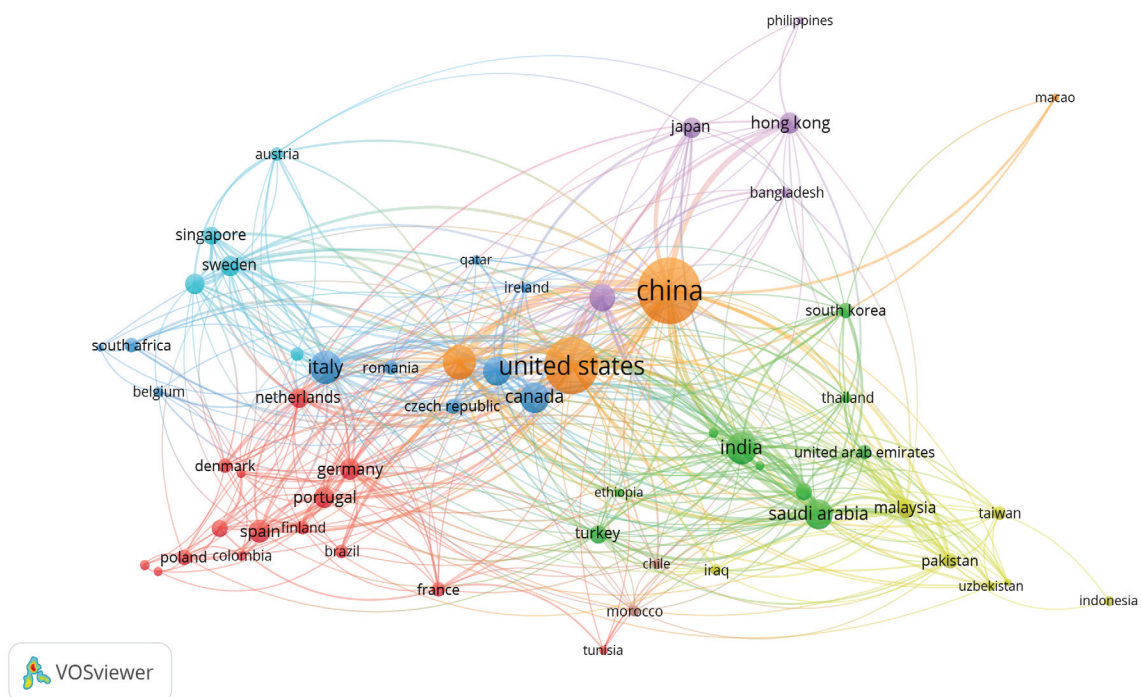


Рис. 5. Карта країн-лідерів та міжнародної співпраці в локально-муніципальному вимірі досліджень енергетичної резильєнтності

Джерело: побудовано авторами на основі опрацювання міжнародної наукометричної бази даних Scopus з використанням інструментарію VOSviewer.

Узагальнення тематичних кластерів локально-муніципального масиву досліджень

Кластер	Ключові слова	Значення для територіальних громад
Кліматично-адаптаційний	Кліматичні зміни, адаптація, екстремальні події, вразливість, природні катастрофи	Обґрунтовує потребу врахування кліматичних ризиків у місцевому енергетичному плануванні
Техніко-мережевий	Мікромережі, розумні електромережі, розподілені енергетичні ресурси, відновлення навантажень	Формує технічну основу енергетичної резильєнтності громади
Енергетично-перехідний	Відновлювана енергетика, накопичення енергії, водень, батареї, електромобілі	Показує перехід до децентралізованої та гнучкої локальної енергетики
Соціально-учасницький	Енергетичні спільноти, просюмери, самозабезпечення, локальна участь	Підкреслює роль мешканців, бізнесу та громадських ініціатив
Цифрово-інтелектуальний	Штучний інтелект, машинне навчання, Інтернет речей, цифрові двійники, кібербезпека	Формує цифрову основу керування локальними енергетичними системами
Управлінсько-економічний	Енергетична політика, витрати, ціни на електроенергію, багатокритеріальне оцінювання	Забезпечує інструменти пріоритизації, фінансування та управління заходами резильєнтності

Джерело: складено авторами на основі опрацювання міжнародної наукометричної бази даних Scopus з використанням інструментарію VOSviewer.

Таблиця 9

Найбільш цитовані публікації, які присвячено вирішенню проблем забезпечення енергетичної резильєнтності на локальному рівні

Автори, рік, джерело	Кількість цитувань у Scopus	Змістовне значення
Lin J., Yu W., Zhang N. et al. (2017) [40]	2541	Цифрова основа розумних міст, розумних електромереж, Інтернету речей і кібербезпеки
Ouyang M., Dueñas-Osorio L., Min X. (2012) [35]	858	Методична основа аналізу резильєнтності міської інфраструктури
Perera A. T. D., Nik V. M., Chen D. et al. (2020) [41]	711	Зв'язок енергетичних систем міст із кліматичними ризиками
Hong T., Chen Y., Luo X. et al. (2020) [43]	507	Значення міського енергетичного моделювання для будівель, енергоефективності й резильєнтності
Reed D. A., Kapur K. C., Christie R. D. (2009) [44]	473	Рання методика оцінювання резильєнтності мережевої інфраструктури
Xu Y., Liu C.-C., Schneider K. P. et al. (2018) [42]	446	Роль мікромереж у відновленні критичних навантажень після катастроф
Serban A. C., Lytras M. D. (2020) [45]	272	Роль штучного інтелекту в розвитку розумної відновлюваної енергетики та міст

Джерело: складено авторами на основі опрацювання міжнародної наукометричної бази даних Scopus з використанням інструментарію VOSviewer.

більш цитовані публікації локально-муніципального масиву не зводяться до класичних праць про електроенергетичні системи. Вони репрезентують ширше інтелектуальне поле: цифрові технології, Інтернет речей, міську інфраструктуру, кліматичні ризики, моделювання будівель, мережеву інфраструктуру, мікромережі та штучний інтелект. Це

підтверджує, що енергетична резильєнтність територіальної громади формується як результат поєднання технічних, цифрових, кліматичних, просторових, економічних і організаційних рішень.

Проведений поетапний бібліометричний аналіз показав логіку поступового звуження й одночасного поглиблення наукового поля. *Перший*

етап дав змогу реконструювати широке походження досліджень резильєнтності енергетичних систем і показав їхнє коріння в теорії складних мереж, інженерній надійності, енергетичному переході, цифровізації та управлінні ризиками. *Другий етап* виокремив енергетичну резильєнтність як самостійний науковий конструкт, що поєднує технічні, екологічні, економічні, цифрові та політичні аспекти. *Третій етап* дозволив локалізувати це поняття на рівні міст, муніципалітетів, енергетичних спільнот і територіальних громад.

Отримані результати дають підстави стверджувати, що резильєнтність енергетичних систем територіальних громад є не окремим технічним параметром, а комплексною властивістю системи локального енергозабезпечення громади. Вона формується через взаємодію мікромереж, розподіленої генерації, відновлюваних джерел енергії, систем накопичення, цифрового моніторингу, кібербезпеки, енергетичних спільнот, участі мешканців, місцевого планування, фінансової спроможності та здатності швидко відновлювати критичні енергетичні послуги після порушень. Саме це узагальнення створює основу для формування підсумкових висновків, практичних рекомендацій і визначення подальших напрямів досліджень.

ОБГОВОРЕННЯ

Результати бібліометричного аналізу засвідчують, що резильєнтність енергетичних систем територіальних громад доцільно розглядати не як окрему технічну характеристику електромережі, а як комплексну властивість локальної системи енергозабезпечення. Її зміст формується на перетині технічної надійності, локальної генерації, мікромереж, систем накопичення енергії, цифрового моніторингу, енергетичних спільнот, фінансових механізмів, місцевого управління та здатності підтримувати критичні енергетичні послуги в умовах порушень.

Отримані результати узгоджуються з дослідженнями, у яких енергетичні системи та розумні електромережі розглядаються як складні інженерні системи, що потребують підвищення надійності, керованості, якості електропостачання та здатності до відновлення [4; 5]. Водночас проведений аналіз показує, що сучасне розуміння енергетичної резильєнтності вже виходить за межі класичної інженерної проблематики. Воно дедалі більше пов'язується із енергетичним переходом, декарбонізацією, цифровізацією, інфраструктурною безпекою, кліматичною адаптацією та міжсистемною взаємодією. Подібна логіка простежується у працях щодо зеленого переходу регіональних енергосистем, де інтеграція відновлюваних джерел енер-

гії розглядається не лише як інструмент декарбонізації, а і як чинник нових вимог до стабільності, балансування, накопичення енергії та довгострокового планування [6].

Важливим є те, що енергетична резильєнтність поступово набуває статусу самостійного наукового конструкта. Це підтверджують праці, у яких наголошено на обмеженості традиційних метрик резильєнтності для децентралізованих, декарбонізованих і цифровізованих енергетичних систем [3]. У сучасній літературі резильєнтність дедалі частіше трактується не як статичний запас міцності, а як процес, що охоплює підготовку до порушення, поглинання його наслідків, відновлення та адаптацію [9]. Водночас різні підходи до кількісного оцінювання внутрішньої резильєнтності процесних систем, інфраструктурної адаптивності, відновлюваності та управління ризиками свідчать про методичну неоднорідність цього напрямку [8; 9]. Саме тому бібліометричне впорядкування дає змогу чіткіше окреслити структуру наукового поля, його провідні поняття та тематичні зрушення.

Окремого значення набувають економічні, фінансові та інституційні аспекти енергетичної резильєнтності. Підходи до розумного інвестування доводять, що абсолютна захищеність енергетичної системи часто є економічно недосяжною або недоцільною, тому важливим стає вибір оптимального рівня інвестицій відповідно до ризиків, ресурсів і пріоритетів [11]. Інші дослідження пов'язують енергетичну резильєнтність із фінансовою інклюзією, зеленим фінансуванням, енергетичним законодавством, енергетичним переходом і цифровими технологіями [10; 14; 15]. Для територіальних громад це означає, що підвищення резильєнтності не може обмежуватися придбанням обладнання. Необхідними є фінансування, нормативна підтримка, місцеве планування, участь бізнесу та мешканців, а також здатність органів місцевого самоврядування координувати рішення.

Локальний рівень має власну логіку формування енергетичної резильєнтності. Він не є зменшеною копією великої енергосистеми, оскільки тут технічні рішення мають бути узгоджені з потребами громади, структурою місцевого споживання, критичними об'єктами, доступними ресурсами, управлінською спроможністю та фінансовими можливостями. Цей висновок узгоджується з працями, у яких локальні енергетичні системи, мікромережі та енергетичні спільноти розглядаються як інструменти декарбонізації, самозабезпечення, підвищення гнучкості й енергетичної автономності територій [18; 23; 24].

Особливе місце в локальній енергетичній резильєнтності посідають мікромережі. У літературі вони розглядаються як інструмент підтримання критичних навантажень, роботи в автономному режимі та відновлення електропостачання після порушень [19; 42]. Проте результати аналізу показують, що мікромережі не є універсальним рішенням самі по собі. Їхня ефективність залежить від поєднання з локальною генерацією, системами накопичення, цифровим керуванням, гнучкістю попиту, економічним обґрунтуванням і участю споживачів. Подібна логіка стосується автономних і гібридних енергетичних систем для віддалених, сільських і гірських громад, де резильєнтність має оцінюватися не тільки через вартість енергії, а й через надійність, частку відновлюваних джерел, здатність підтримувати критичні послуги та адаптацію до місцевих умов [22; 25].

Цифровий вимір стає одним із ключових чинників енергетичної резильєнтності. У досліджуваному полі зростає роль штучного інтелекту, машинного навчання, цифрового моніторингу, кібербезпеки та інтелектуального керування. Це узгоджується з працями щодо виявлення аномалій в інтегрованих енергетичних системах [7], впливу штучного інтелекту на енергетичну резильєнтність [10] та керування мікромережами в умовах збоїв комунікаційної інфраструктури [19]. Водночас для територіальних громад цифрові технології мають оцінюватися не лише за рівнем інноваційності, а й за доступністю, вартістю, кадровим забезпеченням, кіберризиками та можливістю інтеграції в місцеву систему управління.

Проведене дослідження підтверджує дисбаланс між технічним і соціально-управлінським вимірами енергетичної резильєнтності. У літературі вже наголошено, що енергетична політика недостатньо враховує проблематику резильєнтності, а соціальні, управлінські та справедливі аспекти залишаються менш розвиненими порівняно з технічними [17]. Отримані результати показують подібну картину: у науковому полі домінують мікромережі, розумні електромережі, накопичення енергії, оптимізація, електромобілі та цифрові технології. Водночас поступово посилюється увага до енергетичних спільнот, самозабезпечення, участі громади, енергетичної справедливості та локального планування. Це свідчить про потребу поєднувати технічні рішення з управлінськими, фінансовими та соціальними механізмами.

Для України результати мають особливе значення. Міжнародна література переважно аналізує енергетичну резильєнтність через кліматичні ризики, природні катастрофи, декарбонізацію,

цифровізацію, автономні системи та енергетичний перехід. Український контекст додає безпековий вимір: воєнні загрози, пошкодження енергетичної інфраструктури, тривалі відключення, потребу в резервному живленні критичних об'єктів і швидкому відновленні базових послуг. Низька представленість України в міжнародних бібліометричних масивах свідчить про наукову нішу, яку доцільно розвивати через дослідження енергетичної резильєнтності саме на рівні громад.

Отже, результати дослідження дають підстави уточнити зміст поняття «резильєнтність енергетичних систем територіальних громад» як комплексної властивості системи локального енергозабезпечення громади. Вона формується через поєднання технічної надійності, локальної генерації, систем накопичення, мікромереж, цифрового моніторингу, енергетичних спільнот, фінансової спроможності, участі мешканців і бізнесу, інституційної координації та здатності підтримувати критичні енергетичні послуги в умовах порушень.

При цьому варто зазначити, що дослідження має певні обмеження. Його результати залежать від обраних пошукових запитів, ключових слів і параметрів формування бібліографічних масивів. Аналіз охоплює лише публікації, індексовані у Scopus і Web of Science, тому поза увагою залишаються частина національних журналів, аналітичних звітів, нормативних документів, матеріалів органів місцевого самоврядування та донорських програм. Переважання англійських публікацій забезпечує міжнародну порівнянність, але обмежує представленість україномовних та інших національних досліджень. Дані за 2026 рік мають попередній характер, оскільки рік ще не завершено, а бібліометричні карти відображають структуру наукових зв'язків, але не замінюють повного аналізу кожної публікації.

Попри зазначені обмеження, *результати мають теоретичну та прикладну цінність*. Теоретично вони впорядковують фрагментоване поле енергетичної резильєнтності та показують перехід від загальних досліджень енергосистем до рівня міст, локальних енергетичних систем, енергетичних спільнот і територіальних громад.

Прикладне значення полягає в тому, що виявлені тематичні кластери можуть бути використані як орієнтири для розроблення місцевих планів енергетичної безпеки, оцінювання вразливості громад, визначення критичних навантажень, обґрунтування інвестицій у мікромережі, системи накопичення, резервне живлення, відновлювану генерацію, цифровий моніторинг і механізми участі громади.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження дозволило систематизувати генезу, динаміку розвитку та тематичну структуру наукових досліджень, присвячених резильєнтності енергетичних систем територіальних громад. На основі поетапного бібліометричного аналізу встановлено, що ця проблематика сформувалася не як ізольований напрям, а як результат перетину кількох наукових полів: надійності енергетичних систем, енергетичної безпеки, критичної інфраструктури, відновлюваної енергетики, мікромереж, розумних електромереж, кліматичної адаптації, цифрового управління, міської інфраструктури та локального енергетичного планування.

Перший етап дослідження показав, що широке поле публікацій щодо резильєнтності енергетичних систем має тривалу, але нерівномірну траєкторію розвитку. До 2010-х років ця проблематика розвивалася переважно в межах технічної надійності, складних мереж, електроенергетичних систем і функціонування інфраструктури. В останнє десятиліття, особливо після 2020 року, вона перейшла до ширшого міждисциплінарного поля, у якому поєднуються технічні, екологічні, цифрові, економічні та управлінські аспекти.

Другий етап дав змогу виокремити енергетичну резильєнтність як самостійний науковий конструкт. Найбільша концентрація публікацій припадає на 2024–2026 роки, що підтверджує високу актуальність тематики в сучасному науковому дискурсі. Порівняння Scopus і Web of Science засвідчило спільну тенденцію стрімкого зростання досліджень, але також виявило відмінності тематичних акцентів: Scopus виразніше репрезентує техніко-енергетичний вимір, а Web of Science – економіко-політичний, інституційний, цифровий і міський контекст енергетичної резильєнтності.

Третій етап став ключовим для розкриття теми територіальних громад. Локально-муніципальний корпус Scopus дозволив перейти від загальної проблематики енергетичної резильєнтності до її прикладного виміру на рівні міст, муніципалітетів, локальних енергетичних систем, енергетичних спільнот і територіальних громад. Встановлено, що цей напрям сформувався пізніше, ніж загальне поле досліджень, але саме він демонструє найдинамічніше зростання в останні роки. Майже дві третини публікацій локально-муніципального масиву припадають на 2024–2026 роки, що підтверджує актуалізацію цієї проблеми для формування енергетичної політики, міського управління, практики розвитку територіальних громад.

Побудовані карти VOSviewer дали змогу виявити тематичне ядро досліджень резильєнтності енергетичних систем територіальних громад. Його

формують кліматичні зміни, відновлювана енергетика, мікромережі, розумні електромережі, накопичення енергії, енергетичні спільноти, локальні енергетичні системи, міська інфраструктура, цифрове управління, штучний інтелект, кібербезпека, енергетична політика та управління ризиками. Часова візуалізація засвідчила зміщення наукової уваги від загальних питань інфраструктурної стійкості, надійності мереж і кліматичних ризиків до прикладних інструментів локальної енергетичної автономності: водневих технологій, електромобільності, зарядної інфраструктури, цифрових платформ, оптимізаційних моделей і багатокритеріального прийняття рішень.

Отримані результати дають підстави розглядати резильєнтну енергетичну систему територіальної громади як комплексну систему локального енергозабезпечення, здатну підтримувати критично важливі енергетичні послуги, адаптуватися до зовнішніх шоків, використовувати місцеві енергетичні ресурси, інтегрувати відновлювані джерела енергії та системи накопичення, підтримувати критичні навантаження, залучати мешканців і бізнес, а також швидко відновлювати функціонування після порушень. Такий підхід дозволяє відійти від вузького розуміння енергетичної стійкості як технічної надійності електромережі та перейти до ширшого бачення, у якому поєднуються інфраструктурна готовність, енергетична автономність, цифрова керованість, фінансова спроможність, соціальна участь та інституційна координація.

Важливим результатом є виявлення недостатньої представленості українського контексту в міжнародному науковому полі. Попри високу практичну значущість цієї проблеми для України, пов'язану з воєнними загрозами, пошкодженням енергетичної інфраструктури, ризиками тривалих відключень, потребою в резервуванні та підвищенні автономності громад, кількість українських публікацій у відповідних корпусах залишається обмеженою. Це формує дослідницьку нішу для розвитку українських студій з енергетичної резильєнтності територіальних громад і посилення їхньої видимості в міжнародних наукометричних базах.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості їх використання для обґрунтування пріоритетів енергетичної політики на локальному рівні. Для органів державної влади важливим є включення проблематики енергетичної резильєнтності громад до стратегічних документів з енергетичної безпеки, відновлення, регіонального розвитку та управління критичною інфраструктурою. Для органів місцевого самовряду-

вання результати можуть бути корисними під час підготовки місцевих планів енергетичної безпеки та резильєнтності, визначення критичних енергетичних послуг, пріоритизації об'єктів резервного живлення, розвитку локальної генерації, систем накопичення енергії, мікромереж, енергоефективності будівель і механізмів участі мешканців та бізнесу. Для операторів енергетичної інфраструктури, наукових установ, закладів вищої освіти та міжнародних донорів результати дослідження можуть слугувати основою для координації проєктів, розроблення методик оцінювання, визначення пріоритетів фінансування та підтримки локальної енергетичної автономності громад.

Отже, резильєнтність енергетичних систем територіальних громад є не лише актуальним науковим напрямом, а й важливою прикладною передумовою життєздатності територій в умовах сучасних ризиків. Її формування потребує поєднання технологічних рішень, локального енергетичного планування, фінансових механізмів, цифрового управління, участі громадян, міжсекторної координації та адаптації міжнародного досвіду до українських реалій.

Перспективи подальших досліджень полягають у концептуальному обґрунтуванні типології громад за рівнем енергетичної вразливості, станом локальної енергетичної інфраструктури та потенціалом енергетичної автономності. Це дозволить розробляти адресні управлінські рішення, визначати пріоритети відновлення та формувати практичні інструменти підвищення енергетичної стійкості територіальних громад України. ■

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Губарева І. О., Хаустов М. М. Ризики енергетичній безпеці. Візуалізація наукових досліджень. *Проблеми економіки*. 2024. № 2. С. 21–30.
DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2024-2-21-30>
2. Хаустова В. Є., Котляров Є. І., Трушкіна Н. В. Ідентифікація та ранжування елементів критичної інфраструктури територіальних громад України. *Бізнес Інформ*. 2026. № 4. С. 155–172.
DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2026-4-155-172>
3. Parag Y., Ainspan M., Zemah Shamir S. Why current resilience metrics fall short in the energy transition: A system-level review of gaps and needs. *Energy Strategy Reviews*. 2026. Vol. 63. Art. 102023.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2025.102023>
4. Eltamaly A. M., Zaki Diab A. A. Power systems and smart grids. Vol. 1. Stevenage, United Kingdom: Institution of Engineering and Technology, 2025. 248 p.
DOI: <https://doi.org/10.1049/pbpo264f>

5. Eltamaly A. M., Zaki Diab A. A. Power systems and smart grids. Vol. 2. Stevenage, United Kingdom: Institution of Engineering and Technology, 2025. 203 p.
DOI: <https://doi.org/10.1049/PBPO264G>
6. Gómez-Ramírez G. A., Meza C., Mora-Jiménez G. et al. The Central American Power System: Achievements, Challenges, and Opportunities for a Green Transition. *Energies*. 2023. Vol. 16. Iss. 11. Art. 4328.
DOI: <https://doi.org/10.3390/en16114328>
7. Badakhshan S., Zhang J. Generative AI-Enhanced Real-Time Anomaly Detection in Integrated Energy Systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2026. Vol. 17. Iss. 2. P. 1549–1560.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TSG.2025.3630562>
8. Guha S. Quantification of inherent energy resilience of process systems pertaining to a gas sweetening unit. *International Journal of Industrial Chemistry*. 2020. Vol. 11. Iss. 2. P. 71–90.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s40090-020-00203-3>
9. Janta P., Leeraphun N., Thapmanee K. et al. Energy resilience assessment: Incorporating consideration of recoverability and adaptability in risk assessment of energy infrastructure. *Energy for Sustainable Development*. 2024. Vol. 81. Art. 101506.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2024.101506>
10. Feng Y., Yan T., Guo J. Assessing the global impact of artificial intelligence on energy resilience: The role of financial inclusion. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2026. Vol. 103. Art. 102380.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2025.102380>
11. Ullah S. M. S., Yankson S., Ebrahimi S. et al. Smart investment framework for energy resilience: A case study of a campus microgrid research facility. *Next Energy*. 2024. Vol. 4. Art. 100131.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nxener.2024.100131>
12. Rehman H. U., Hamdy M., Hasan A. Towards Extensive Definition and Planning of Energy Resilience in Buildings in Cold Climate. *Buildings*. 2024. Vol. 14. Iss. 5. Art. 1453.
DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14051453>
13. Anderson K., Laws N. D., Marr S. et al. Quantifying and monetizing renewable energy resiliency. *Sustainability*. 2018. Vol. 10. Iss. 4. Art. 933.
DOI: <https://doi.org/10.3390/su10040933>
14. Dong K., Dong X., Jiang Q., Zhao J. Assessing energy resilience and its greenhouse effect: A global perspective. *Energy Economics*. 2021. Vol. 104. Art. 105659.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105659>
15. Zhang Z., Zhao M., Chen Y. et al. The nexus between energy legislation, energy transition, and energy resilience: Evidence from 55 countries worldwide. *Energy*. 2025. Vol. 324. Art. 135906.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.135906>
16. Mohaghegh L., Abbaspour M., Ghodoosi J., Sharifi A. Determination and Prioritization of Criteria for Urban Energy Resilience Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP). *Journal of Environmental Studies*. 2021. Vol. 47. Iss. 1. P. 25–43.
DOI: <https://doi.org/10.22059/JES.2021.322334.1008167>

17. Tiwari S., Chakrabarty A., Schelly C. et al. Does energy policy scholarship consider energy resilience? A bibliometric analysis and agenda for reform. *Electricity Journal*. 2025. Vol. 38. Iss. 3. Art. 107496. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tej.2025.107496>
18. Zhang X., Zhou N., Liao J. et al. Flexible interconnected support for decarbonizing local energy systems with high penetration distributed energy resources and electric vehicles. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*. 2025. Vol. 170. Art. 110850. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2025.110850>
19. Anum H., Hashmi M. A., Shahid M. U. et al. Recurrent Neural Network (RNN) Based Algorithm in Multi-Level Control of an Islanded DC Microgrid Connected to Variable Communication Networks. *IET Renewable Power Generation*. 2025. Vol. 19. Iss. 1. Art. e70052. DOI: <https://doi.org/10.1049/rpg2.70052>
20. Fahad S., Khan S. A., Salman M., Han Y., Liu Y. Quantum-inspired multi-modal multi-objective optimization for integrated electric and hydrogen mobility in renewable energy systems: Case study in Islamabad, Pakistan. *Applied Energy*. 2026. Vol. 415. Art. 127900. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2026.127900>
21. Ahangar H. G., Yew W. K., Flynn D. Smart Local Energy Systems: Optimal Planning of Stand-Alone Hybrid Green Power Systems for On-Line Charging of Electric Vehicles. *IEEE Access*. 2023. Vol. 11. P. 7398–7409. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3237326>
22. Tyagi S. V., Kansal M. L., Singhal M. K. Reliability-resilience-economic-sustainability-based off-grid hybrid energy system for remote communities in the Indian Himalayan region. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2026. Vol. 85. Art. 104809. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2025.104809>
23. Koirala B. P., Ávila J. P. C., Gómez T. et al. Local alternative for energy supply: Performance assessment of integrated community energy systems. *Energies*. 2016. Vol. 9. Iss. 12. Art. 9120981. DOI: <https://doi.org/10.3390/en9120981>
24. Couraud B., Andoni M., Robu V. et al. Responsive FLEXibility: A smart local energy system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2023. Vol. 182. Art. 113343. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113343>
25. Pompei L., Nardecchia F., Bisegna F. A new concept of a thermal network for energy resilience in mountain communities powered by renewable sources. *Sustainable Energy, Grids and Networks*. 2023. Vol. 33. Art. 100980. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.segan.2022.100980>
26. Khaustova V., Kyzym M., Trushkina N., Khaustov M. Digital transformation of energy infrastructure in the conditions of global changes: bibliometric analysis. *Proceedings of the 12th International Conference on Applied Innovations in IT*. 2024. Vol. 12. Iss. 1. P. 135–142. DOI: <http://dx.doi.org/10.25673/115664>
27. Хаустова В. Є., Трушкіна Н. В., Проноза П. В., Юденко Є. В. Реструктуризація економіки країни: бібліометричний аналіз досліджень. *Проблеми економіки*. 2025. № 2. С. 143–159. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2025-2-143-159>
28. Zaporozhets A., Khaustova V., Kyzym M., Trushkina N. Sustainable Financing Mechanism for Energy System Development Toward a Decarbonized Economy: Conceptual Model and Management Framework. *Energies*. 2026. Vol. 19. Iss. 2. Art. 422. DOI: <https://doi.org/10.3390/en19020422>
29. Callaway D. S., Newman M. E. J., Strogatz S. H., Watts D. J. Network robustness and fragility: percolation on random graphs. *Physical Review Letters*. 2000. Vol. 85. Iss. 25. P. 5468–5471. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.85.5468>
30. Geels F. W. Regime resistance against low-carbon transitions: introducing politics and power into the multi-level perspective. *Theory, Culture & Society*. 2014. Vol. 31. Iss. 5. P. 21–40. DOI: <https://doi.org/10.1177/0263276414531627>
31. Chen L., Msigwa G., Yang M. et al. Strategies to achieve a carbon neutral society: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 2022. Vol. 20. Iss. 4. P. 2277–2310. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01435-8>
32. Wang Y., Chen C., Wang J., Baldick R. Research on resilience of power systems under natural disasters: a review. *IEEE Transactions on Power Systems*. 2016. Vol. 31. Iss. 2. P. 1604–1613. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2015.2429656>
33. Kabeyi M. J. B., Olanrewaju O. A. Sustainable energy transition for renewable and low carbon grid electricity generation and supply. *Frontiers in Energy Research*. 2022. Vol. 9. Art. 743114. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.743114>
34. Dileep G. A survey on smart grid technologies and applications. *Renewable Energy*. 2020. Vol. 146. P. 2589–2625. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.092>
35. Ouyang M., Dueñas-Osorio L., Min X. A three-stage resilience analysis framework for urban infrastructure systems. *Structural Safety*. 2012. Vol. 36–37. P. 23–31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2011.12.004>
36. Nepal R., Zhao X. M., Dong K. Y. et al. Can artificial intelligence technology innovation boost energy resilience? The role of green finance. *Energy Economics*. 2025. Vol. 142. Art. 108159. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.108159>
37. Zhou Y., Dan Z. Modern energy resilience studies with artificial intelligence for energy transitions. *Cell Reports Physical Science*. 2025. Vol. 6. Iss. 4. Art. 102508. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2025.102508>
38. Jiang G. H., Chen F. Z., Gu M. Y. Supply chain digitization and energy resilience: evidence from China. *Energy Economics*. 2025. Vol. 144. Art. 108420. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2025.108420>

39. Yang B., Cui Y. Can the energy consumption rights trading system enhance energy resilience? A synergistic perspective of green finance and financial technology. *Energy*. 2025. Vol. 322. Art. 135605. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.135605>
 40. Lin J., Yu W., Zhang N. et al. A survey on Internet of Things: architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications. *IEEE Internet of Things Journal*. 2017. Vol. 4. Iss. 5. P. 1125–1142. DOI: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2683200>
 41. Perera A. T. D., Nik V. M., Chen D. et al. Quantifying the impacts of climate change and extreme climate events on energy systems. *Nature Energy*. 2020. Vol. 5. Iss. 2. P. 150–159. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41560-020-0558-0>
 42. Xu Y., Liu C.-C., Schneider K. P. et al. Microgrids for service restoration to critical load in a resilient distribution system. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2018. Vol. 9. Iss. 1. P. 426–437. DOI: <https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2591531>
 43. Hong T., Chen Y., Luo X. et al. Ten questions on urban building energy modeling. *Building and Environment*. 2020. Vol. 168. Art. 106508. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106508>
 44. Reed D. A., Kapur K. C., Christie R. D. Methodology for assessing the resilience of networked infrastructure. *IEEE Systems Journal*. 2009. Vol. 3. Iss. 2. P. 174–180. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSYST.2009.2017396>
 45. Serban A. C., Lytras M. D. Artificial intelligence for smart renewable energy sector in Europe: smart energy infrastructures for next generation smart cities. *IEEE Access*. 2020. Vol. 8. P. 77364–77377. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2990123>
- ## REFERENCES
- Ahangar H. G., Yew W. K. & Flynn D. (2023). Smart Local Energy Systems: Optimal Planning of Stand-Alone Hybrid Green Power Systems for On-Line Charging of Electric Vehicles. *IEEE Access*, 11, 7398–7409. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3237326>
- Anderson K., Laws N. D. & Marr S. (2018). Quantifying and monetizing renewable energy resiliency. *Sustainability*, 4(10). <https://doi.org/10.3390/su10040933>
- Anum H., Hashmi M. A. & Shahid M. U. (2025). Recurrent Neural Network (RNN) Based Algorithm in Multi-Level Control of an Islanded DC Microgrid Connected to Variable Communication Networks. *IET Renewable Power Generation*, 1(19). <https://doi.org/10.1049/rpg2.70052>
- Badakhshan S. & Zhang J. (2026). Generative AI-Enhanced Real-Time Anomaly Detection in Integrated Energy Systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2(17), 1549–1560. <https://doi.org/10.1109/TSG.2025.3630562>
- Callaway D. S., Newman M. E. J., Strogatz S. H. & Watts D. J. (2000). Network robustness and fragility: percolation on random graphs. *Physical Review Letters*, 25(85), 5468–5471. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.85.5468>
- Chen L., Msigwa G. & Yang M. (2022). Strategies to achieve a carbon neutral society: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 4(20), 2277–2310. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01435-8>
- Couraud B., Andoni M. & Robu V. (2023). Responsive FLEXibility: A smart local energy system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 182. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113343>
- Dileep G. (2020). A survey on smart grid technologies and applications. *Renewable Energy*, 146, 2589–2625. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.092>
- Dong K., Dong X., Jiang Q. & Zhao J. (2021). Assessing energy resilience and its greenhouse effect: A global perspective. *Energy Economics*, 104. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105659>
- Eltamaly A. M. & Zaki Diab A. A. (2025). *Power systems and smart grids*. Stevenage, United Kingdom: Institution of Engineering and Technology. <https://doi.org/10.1049/pbpo264f>
- Eltamaly A. M. & Zaki Diab A. A. (2025). *Power systems and smart grids*. Stevenage, United Kingdom: Institution of Engineering and Technology. <https://doi.org/10.1049/PBPO264G>
- Fahad S., Khan S. A., Salman M., Han Y. & Liu Y. (2026). Quantum-inspired multi-modal multi-objective optimization for integrated electric and hydrogen mobility in renewable energy systems: Case study in Islamabad, Pakistan. *Applied Energy*, 415. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2026.127900>
- Feng Y., Yan T. & Guo J. (2026). Assessing the global impact of artificial intelligence on energy resilience: The role of financial inclusion. *Socio-Economic Planning Sciences*, 103. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2025.102380>
- Geels F. W. (2014). Regime resistance against low-carbon transitions: introducing politics and power into the multi-level perspective. *Theory, Culture & Society*, 5(31), 21–40. <https://doi.org/10.1177/0263276414531627>
- Gómez-Ramírez G. A., Meza C. & Mora-Jiménez G. (2023). The Central American Power System: Achievements, Challenges, and Opportunities for a Green Transition. *Energies*, 11(16). <https://doi.org/10.3390/en16114328>
- Guha S. (2020). Quantification of inherent energy resilience of process systems pertaining to a gas sweetening unit. *International Journal of Industrial Chemistry*, 2(11), 71–90. <https://doi.org/10.1007/s40090-020-00203-3>
- Hong T., Chen Y. & Luo X. (2020). Ten questions on urban building energy modeling. *Building and Environment*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106508>
- Hubarieva I. O. & Khaustov M. M. (2024). Ryzky enerhetychnii bezpetsi. Vizualizatsiia naukovykh doslid-

- zhen [Risks to energy security. Visualization of scientific research]. *Problemy ekonomiky*, 2, 21–30.
<https://doi.org/10.32983/2222-0712-2024-2-21-30>
- Janta P., Leeraphun N. & Thapmanee K. (2024). Energy resilience assessment: Incorporating consideration of recoverability and adaptability in risk assessment of energy infrastructure. *Energy for Sustainable Development*, 81.
<https://doi.org/10.1016/j.esd.2024.101506>
- Jiang G. H., Chen F. Z. & Gu M. Y. (2025). Supply chain digitization and energy resilience: evidence from China. *Energy Economics*, 144.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2025.108420>
- Kabeyi M. J. B. & Olanrewaju O. A. (2022). Sustainable energy transition for renewable and low carbon grid electricity generation and supply. *Frontiers in Energy Research*, 9.
<https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.743114>
- Khaustova V., Kyzym M., Trushkina N. & Khaustov M. (2024). Digital transformation of energy infrastructure in the conditions of global changes: bibliometric analysis. *Proceedings of the 12th International Conference on Applied Innovations in IT*, 1(12), 135–142.
<https://doi.org/10.25673/115664>
- Khaustova V. Ye., Trushkina N. V., Pronoza P. V. & Yudenko Ye. V. (2025). Restrukturyzatsiia ekonomiky krainy: bibliometrychnyi analiz doslidzhen [Restructuring of the country's economy: bibliometric analysis of research]. *Problemy ekonomiky*, 2, 143–159.
<https://doi.org/10.32983/2222-0712-2025-2-143-159>
- Khaustova V. Ye., Kotliarov Ye. I. & Trushkina N. V. (2026). Identyfikatsiia ta ranzhuvannia elementiv krytychnoi infrastruktury terytorialnykh hromad Ukrainy [Identification and ranking of critical infrastructure elements of territorial communities of Ukraine]. *Business Inform*, 4, 155–172.
<https://doi.org/10.32983/2222-4459-2026-4-155-172>
- Koirala B. P., Ávila J. P. C. & Gómez T. (2016). Local alternative for energy supply: Performance assessment of integrated community energy systems. *Energies*, 12(9).
<https://doi.org/10.3390/en9120981>
- Lin J., Yu W. & Zhang N. (2017). A survey on Internet of Things: architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(4), 1125–1142.
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2683200>
- Mohaghegh L., Abbaspour M., Ghodoosi J. & Sharifi A. (2021). Determination and Prioritization of Criteria for Urban Energy Resilience Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP). *Journal of Environmental Studies*, 1(47), 25–43.
<https://doi.org/10.22059/JES.2021.322334.1008167>
- Nepal R., Zhao X. M. & Dong K. Y. (2025). Can artificial intelligence technology innovation boost energy resilience? The role of green finance. *Energy Economics*, 142.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.108159>
- Ouyang M., Dueñas-Orsorio L. & Min X. (2012). A three-stage resilience analysis framework for urban infrastructure systems. *Structural Safety*, 36–37, 23–31.
<https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2011.12.004>
- Parag Y., Ainspan M. & Zemah Shamir S. (2026). Why current resilience metrics fall short in the energy transition: A system-level review of gaps and needs. *Energy Strategy Reviews*, 63.
<https://doi.org/10.1016/j.esr.2025.102023>
- Perera A. T. D., Nik V. M. & Chen D. (2020). Quantifying the impacts of climate change and extreme climate events on energy systems. *Nature Energy*, 2(5), 150–159.
<https://doi.org/10.1038/s41560-020-0558-0>
- Pompei L., Nardecchia F. & Bisegna F. (2023). A new concept of a thermal network for energy resilience in mountain communities powered by renewable sources. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 33.
<https://doi.org/10.1016/j.segan.2022.100980>
- Reed D. A., Kapur K. C. & Christie R. D. (2009). Methodology for assessing the resilience of networked infrastructure. *IEEE Systems Journal*, 2(3), 174–180.
<https://doi.org/10.1109/JSYST.2009.2017396>
- Rehman H. U., Hamdy M. & Hasan A. (2024). Towards Extensive Definition and Planning of Energy Resilience in Buildings in Cold Climate. *Buildings*, 5(14).
<https://doi.org/10.3390/buildings14051453>
- Serban A. C. & Lytras M. D. (2020). Artificial intelligence for smart renewable energy sector in Europe: smart energy infrastructures for next generation smart cities. *IEEE Access*, 8, 77364–77377.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2990123>
- Tiwari S., Chakrabarty A. & Schelly C. (2025). Does energy policy scholarship consider energy resilience? A bibliometric analysis and agenda for reform. *Electricity Journal*, 3(38).
<https://doi.org/10.1016/j.tej.2025.107496>
- Tyagi S. V., Kansal M. L. & Singhal M. K. (2026). Reliability-resilience-economic-sustainability-based off-grid hybrid energy system for remote communities in the Indian Himalayan region. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 85.
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2025.104809>
- Ullah S. M. S., Yankson S. & Ebrahimi S. (2024). Smart investment framework for energy resilience: A case study of a campus microgrid research facility. *Next Energy*, 4.
<https://doi.org/10.1016/j.nxener.2024.100131>
- Wang Y., Chen C., Wang J. & Baldick R. (2016). Research on resilience of power systems under natural disasters: a review. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2(31), 1604–1613.
<https://doi.org/10.1109/TPWRS.2015.2429656>
- Xu Y., Liu C.-C. & Schneider K. P. (2018). Microgrids for service restoration to critical load in a resilient distribution system. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 1(9), 426–437.
<https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2591531>

Yang B. & Cui Y. (2025). Can the energy consumption rights trading system enhance energy resilience? A synergistic perspective of green finance and financial technology. *Energy*, 322.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.135605>

Zaporozhets A., Khaustova V., Kyzym M. & Trushkina N. (2026). Sustainable Financing Mechanism for Energy System Development Toward a Decarbonized Economy: Conceptual Model and Management Framework. *Energies*, 2(19).
<https://doi.org/10.3390/en19020422>

Zhang Z., Zhao M. & Chen Y. (2025). The nexus between energy legislation, energy transition, and energy resilience: Evidence from 55 countries worldwide. *Energy*, 324.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.135906>

Zhang X., Zhou N. & Liao J. (2025). Flexible interconnected support for decarbonizing local energy systems with high penetration distributed energy resources

and electric vehicles. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 170.

<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2025.110850>

Zhou Y. & Dan Z. (2025). Modern energy resilience studies with artificial intelligence for energy transitions. *Cell Reports Physical Science*, 4(6).

<https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2025.102508>

Наукову статтю підготовлено за рахунок грантової підтримки Національного фонду досліджень України в рамках реалізації проекту «Розбудова резильєнтних розподілених енергетичних систем територіальних громад України» (реєстраційний № 2025.07/0056), який відібрано для виконання за конкурсом «Передова наука в Україні 2026–2028».

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Штучний інтелект для підготовки рукопису не використовувався.

Стаття надійшла до редакції / Received: 01.07.2026

Статтю прийнято до публікації / Accepted: 20.07.2026

Оприлюднено / Published: 19.08.2026