

Андрій Степанович Завербний,*д-р екон. наук, професор,*

ORCID 0000-0001-7307-536X

e-mail: andrii.s.zaverbnyi@lpnu.ua

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

Наталія Вікторівна Осадча,*д-р екон. наук, доцент,*

ORCID 0000-0001-5066-2174

e-mail: nosadcha86@gmail.com

Інститут економіки промисловості НАН України, м. Київ

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ФОРМУВАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СТІЙКІСТЮ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПАНІЙ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННИХ РИЗИКІВ, ГІБРИДНИХ ЗАГРОЗ ТА ДИНАМІЧНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Постановка проблеми. Сучасний енергетичний сектор України перебуває під безпрецедентним тиском комплексних зовнішніх/внутрішніх ризиків, що виникли та прогресують внаслідок повномасштабної війни. Енергетичні компанії, як ключові елементи вітчизняної критичної інфраструктури, щоденно зіштовхуються із обстрілами об'єктів, кібератаками, логістичними викликами, порушенням постачання ресурсів тощо. У цьому контексті забезпечення стійкості/надійності функціонування енергосистеми нашої країни набуває стратегічного значення як для нацбезпеки так і безпосередньо для енергетичної її складової, економічної стабільності, підтримання вцілому життєдіяльності суспільства. Відповідно значної актуальності набули військові, гібридні загрози як тригер для зміни підходів щодо формування, моделювання та розвивання систем управління стійкістю енергетичних компаній України. Поточна воєнна ситуація сформувала новий спектр загроз (фізичні атаки на енергетичні об'єкти (електростанції, розподільчі мережі тощо); гібридні впливи (дезінформація, кібератаки, маніпулювання енергетичними потоками через цифрові платформи); логістичні ризики у постачанні палива, обладнання; психологічний, соціальний тиск на персонал, суспільство). Зазначені виклики потребують не лише оперативних дій, але й системного перегляду моделей управління, їх розвивання/удосконалення, інтегрування ризик-орієнтованого підходу, прогнозування, адаптування, відновлення, подальшого розвивання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Нами було проведено огляд наукової літератури за проблематикою формування, моделювання інтегрованої системи управління стійкістю енергетичних компаній України в умовах воєнних ризиків, гібридних загроз та динамічної невизначеності. Зупини-

мося на огляді науково-практичного контексту існуючої в українській енергетиці проблемі. У світовій науковій літературі питання стійкості енергетичних систем розглядаються в контексті зміни клімату, зміцнення критичної інфраструктури, кібербезпеки, адаптації до природних катастроф [5; 15; 17–19; 22]. Вагомі здобутки в наукових дослідженнях також стосуються ролі відновлювальної енергетики в розвитку енергетики, запобіганню енергетичної кризи, серед них доцільно виокремити праці наступних науковців Crovini C., Hojrup E. M., Jensen M. S., Sorensen K. S., Jensen S. R. [19], Krystosiak K., Kluczek A., Werpachowski W. [22], Jadhav H. L., Pandey P. P., Pawar G. G., Kadam P. B. [20] та багатьох інших науковців. Також слід відзначити увагу науковців до екологічних проблем розвитку та забезпечення стабільності енергетики Bukhari S. D. [17], Jadhav H. L. [20], Park Y. W., Inoue S. [27], Pandey P. P., Pawar G. G., Kadam P. B. [20], Cai M., Hu J., Hu M. [18]. Заслужують уваги результати досліджень, що стосуються проблем формування систем управління енергетичними підприємствами, їх ресурсами саме за умов циркулярної економіки [19; 26; 27; 34; 36]. Адже за вказаних умов енергетичні ресурси є вагомим джерелом для подальшого їх використання, оптимізування відходів та викидів при їх застосуванні, що засвідчує тематику обраного дослідження. Дещо поза увагою вчених залишається проблематика що стосується формуванню систем управління стійкістю енергетичних компаній в умовах воєнних ризиків, гібридних загроз, їх розвивання. Однак, саме специфіка воєнних ризиків, гібридних загроз, притаманних Україні, висуває нові вимоги до концептуальних моделей стійкості, які не повною мірою представлені в існуючих дослідженнях [6; 8; 9; 11; 13; 24; 25; 32]. Як показало проведене дослідження, із урахуванням масштабних пошкоджень енергетичної інфраструк-



тури (протягом 2022–2026 рр.), дефіциту ресурсів (передусім енергетичних), питання управління стійкістю стають не тільки академічним завданням, але й ключовим елементом для державної політики. Актуальність дослідження управління стійкістю енергетичних компаній України в умовах воєнних ризиків, гібридних загроз є значною, мультидисциплінарною. Вона обумовлена необхідністю інтегрування стратегій безпеки, управління ризиками, розроблення адаптивних моделей для умов неопізнаної, змінної (динамічної) загрози, заповнення існуючих наукових прогалин на стику енергетики, безпеки, кризового менеджменту, — формування практичних підходів, що відповідають реаліям сучасного геополітичного контексту. В наукових дослідженнях підкреслюється, що стійкість включає три компоненти: готовність, адаптацію, відновлення [21; 34]. У контексті енергетичних систем велика увага приділяється моделям оцінювання загроз і невизначеностей (зокрема, гібридні загрози включають поєднання військових дій із кібератаками й інформаційними кампаніями, що ускладнює ідентифікацію та нейтралізацію ризиків [28–30]). У практичних публікаціях енергетичного сектору за останні роки (2020–2024) зростає фокус на кібербезпеці енергетичних мереж, впровадженні децентралізованих джерел енергії та мобільних резервних одиниць [16; 23; 29]. Однак, недостатньо розроблені комплексні методики управління стійкістю саме в умовах активної воєнної агресії, що зумовлює необхідність глибшого дослідження.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Мета статті полягає в обґрунтуванні теоретичних положень, розробленні науково-методичних підходів щодо формування, моделювання інтегрованої системи управління стійкістю енергетичних компаній України в умовах воєнних ризиків, гібридних загроз, динамічної невизначеності шляхом поєднання механізмів ризик-менедже-

нту, кризового управління, цифрового трансформування, кібербезпеки та забезпечення енергетичної безпеки для підвищення рівня організаційної резильєнтності, довгострокової конкурентоспроможності суб'єктів енергетичного сектору.

Виклад основного матеріалу дослідження. Стійкість енергетичних компаній — це «здатність підтримувати безперервність і якість поставок енергії, швидко адаптуватися до змін у середовищі, а також відновлювати функціональні можливості після зовнішніх і внутрішніх шоків» [15; 17–19; 22; 31; 33]. В умовах воєнних, гібридних загроз забезпечення такої стійкості стає ключовою стратегічною задачею. Аналізування управлінських, технічних, організаційних компонентів стійкості призводить до формулювання практичних рекомендацій щодо зміцнення енергетичної безпеки України [10; 12]. Воєнний стан на території України, період післявоєнної відбудови, нові виклики, загрози (геополітичні), впливають та впливатимуть на енергетичну безпеку. Це стосуватиметься формування нової системи економічних важелів, модернізування технологічної складової енергетичної сфери, що формуватиме цілком нові цілі державного регулювання енергетичної безпеки. Сучасні моделі енергетичного управління у світі ґрунтуються на енергетичному переході (energy transition). Це стосується переходу від централізованих, викопних джерел до децентралізованих, чистих, цифрово керованих систем. Глобальна тенденція полягає в переході від централізованих до інтелектуальних, безмережних, автономних рішень. Адже вони є здатними функціонувати навіть в умовах фізичної ізоляції окремих елементів мережі. Це надзвичайно актуально для України під час воєнних атак загарбника. За даними Kyiv School of Economics¹, станом на травень 2026 р. загальні збитки, втрати енергетичного сектору України через повномасштабне російське вторгнення склали приблизно 57 млрд дол. США (табл. 1).

Таблиця 1. Втрати енергетичного сектору України внаслідок війни (2022–2025 рр.)

Роки	Обсяг збитків (втрат), млрд USD за роками			Основні події, причини, особливості років
	Загальні	Прямі	Непрямі	
2022	20,5	8,0	12,5	Період початку повномасштабного вторгнення; масові атаки на ТЕС, підстанції, нафтобази; перший блекаут листопада 2022 р.
2023	13,4	3,8	9,6	Відновлення після зимових атак (2022–2023 рр.); ремонт 70% об'єктів; початок використання мобільних генераторів, microgrid-пілотів тощо.
2024	22,5	4,3	18,2	Нові ракетні удари по енергосистемі (весна 2024); стабілізація генерації; активне впровадження відновлювальних джерел енергії; міжнародна допомога
2025	8,3	2,5	5,8	Часткова модернізація мереж, запуск програм енергетичної незалежності громад, активне залучення донорів, постійні блекауты, систематичні відключення та обстріли і руйнування енергетичної інфраструктури
Сумарно (2022–2025)	64,7	18,6	46,1	Фінансові втрати української енергетичної інфраструктури під час повномасштабної війни з 2022 по 2025 рр.

Джерело: складено за [3; 12; 26] та даним (Міністерство енергетики України. URL: <https://mev.gov.ua/>; Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/>)

¹ <https://kse.ua/kse-department/kse-institute/>

З цієї суми понад 16,1 млрд дол. є прямими фізичними збитками (зруйновані чи пошкоджені генеруючі потужності, магістральні лінії передачі, нафтогазова інфраструктура), решта є непрямими втратами (втрачені доходи енергокомпаній, витрати на відновлення, демонтаж, ліквідацію наслідків). Для повного відновлення інфраструктури енергетичного сектора за принципом «Build Back Better» (з урахуванням підвищених стандартів, модернізування) KSE оцінює потребу приблизно в 50,5 млрд дол. Систематизування даних у табл. 1 демонструє значні фінансові втрати української енергетичної інфраструктури під час повномасштабної війни з 2022 по 2025 рр. За оцінками KSE¹, прямі втрати енергетичного сектора складають понад \$16 млрд (станом на кінець 2025 р.). Це включає знищені/пошкоджені електростанції (теплові, гідро), пошкоджені високовольтні підстанції, зруйновані об'єкти нафто-, газопостачання. Непрямі ж втрати (табл. 1) охоплюють фінансові наслідки, які не пов'язані із прямим руйнуванням активів, але вплинули економічно. Ці втрати оцінюються приблизно у \$46 млрд. До них належать втрачені доходи енергетичних компаній України через зниження виробництва, витрати на розбирання завалів, демонтаж, економічні наслідки нестабільного енергопостачання (зниження промислового виробництва, збільшення імпорту енергії тощо). Протягом 2025–2026 рр. непрямі втрати продовжують зростати через подальші удари по енергетичній інфраструктурі, графіки відключень, необхідність імпорту електроенергії, втрату виробничого потенціалу. Українська енергосистема демонструє унікальний досвід кризового управління. До основних напрямів вдосконалення належать наступні [6; 8; 9; 11; 13; 24–26; 32]:

1. Моделювання ризиків і стійкості [12; 26] (Energy Resilience Modeling) (прогнозування наслідків атак, формування резервних сценаріїв, розроблення привентивних заходів).

2. Децентралізування управління (передавання повноважень громадам, створення енергокооперативів, інші форми розосередження).

3. Впровадження систем «розумного енерго менеджменту» (Smart Energy Management) на рівні підприємств, лікарень, військових об'єктів, інших об'єктів критичної інфраструктури країни.

4. Розвивання технологій накопичення енергії (battery storage) як ключового елементу автономності.

5. Інтеграція штучного інтелекту, Big Data для моніторингу, оптимізації балансів, виявлення та усунення аномалій у мережі.

6. Розвиток військово-цивільного партнерства в енергетиці (формування мобільних енергетичних підрозділів для швидкого відновлення після ударів ворога).

Україна застосовує та впроваджує досвід інших країн для запобігання, уникнення даних загроз та усунення їх наслідків через: спільні програми ЄС у сфері Smart Energy Transition; впровадження європейських стандартів кіберзахисту енергомереж; локалізацію виробництва енергетичного обладнання; пілотні проекти microgrid у громадах; розвиток енергетичних кластерів на базі університетів і технопарків. Такі рішення поєднують технологічну автономію з економічною стійкістю, забезпечуючи основу для відновлення промисловості після війни [12].

Враховуючи результати аналізування необхідним є розроблення та реалізування системи управління стійкістю енергетичних компаній України в умовах воєнних ризиків і гібридних загроз. Для формування ефективної системи управління доцільним є систематичний моніторинг, оцінювання стійкості енергетичних компаній України у воєнних умовах. Для цього рекомендується застосовувати композитний Індекс стійкості енергетичних компаній у воєнних умовах (War-Time Energy Resilience Index (IER)). Він буде придатним для використання у аналітичних звітах, прикладних дослідженнях для України та формуванні дієвої і адаптивної системи управління стійкістю енергетичних компаній України в умовах воєнних ризиків і гібридних загроз. Зазначений індекс (1) доцільно будувати із урахуванням наступних чинників: воєнних і гібридних загроз; стандартів критичної інфраструктури (NATO CIR, EU Critical Entities Resilience Directive); принципів «resilience engineering»; фінансової/операційної стійкості; цифрової безпеки. Концептуальна структура індексу повинна складатися із наступних ключових 5 інтегрованих вимірів (pillars): фізична, технічна стійкість (PHR), кібер- та інформаційна безпека (CIR), операційна адаптивність (OAR), фінансова, інвестиційна стійкість (FIR), управлінсько-інституційна готовність (GIR). Формула для розрахунку інтегрального індексу стійкості енергетичних компаній у воєнних умовах має наступний вигляд (1):

$$IER = \sum_k a_k \cdot PI_k, \quad (1)$$

де a_k — ваговий коефіцієнт k -го виміру; PI_k — значення підіндексу k -го виміру.

Інтерпретування отриманих значень (діапазон 0–100) інтегрального індексу стійкості енергетичних компаній у воєнних умовах має наступний вигляд [6; 7; 9; 13; 24–26]: від 0 до 39 — критична вразливість енергетичних компаній; від 40 до 59 — низький рівень стійкості енергетичних компаній у воєнних умовах; 60–74 — середній рівень стійкості енергетичних компаній; 75–89 високий рівень стійкості енергетичних компаній; 90–100 — зразковий (еталонний) рівень стійкості енергетичних компаній.

Запропонований інтегральний індекс стійкості енергетичних компаній у воєнних умовах (1) дозволить інтегрувати воєнні, гібридні ризики; поєднувати кібер-фізичний підхід; враховувати державну

¹ <https://kse.ua/kse-department/kse-institute/>

координацію; буде придатним для бенчмаркінгу; може застосовуватися при регуляторній політиці. Наступним етапом процесу управління стійкістю енергетичних компаній України в умовах воєнних ризиків і гібридних загроз є побудова (табл. 2) інтегрованої регуляторної карти дій держави за рівнями індексу IER.

Очікуваними ефектами реалізування регуляторної карти дій держави (табл. 2) виступають такі:

скорочення часу відновлення функціонування енергетичної інфраструктури після аварій, надзвичайних ситуацій (обстрілів), зниження (мінімізування) фінансових втрат, спричинених перебоями в енергопостачанні, кіберінцидентами, збройними конфліктами, підвищення рівня інвестиційної привабливості енергетичного сектору, інтегрування до європейського енергетичного простору.

Таблиця 2. Інтегрована регуляторна карта дій держави за рівнями IER

Діапазони значень інтегрального індексу (IER)	Рівні	Цілі держави	Ключові регуляторні інструменти	Фінансові механізми	Міжнародне координування
0–39	Критичний	Запобігання колапсу системи	Надзвичайний режим; fast-track закупівлі; централізовані ремонти; аудит фізичного захисту; екстрене тарифне регулювання	Держгарантії IFI; гранти; податкові канікули	EU Civil Protection; NATO Energy Security COE
40–59	Низький	Стабілізування	Stress-tests; мінімальні резерви; BCP/DRP; тарифні стимули; кібер-аудит	Цільові субсидії модернізації; пільгові кредити	Технічна допомога донорів
60–74	Середній	Прискорене адаптування	Regulatory sandbox; microgrid-стимули; кіберсертифікація; ESG звітність	CAPEX-кредити; зелені стимули	ENTSO-E; партнерські аудити
75–89	Високий	Масштабування best practices	Диференційовані тарифи; war-resilience bonds; експортні стандарти; міждержавчання	Blended finance; bond-markets	EU drills; регіональні платформи
90–100	Зразковий	Національний еталон	Центри експертизи; участь у нормотворенні ЄС; інноваційні зони; regulatory pilots	Суверенні фонди інновацій	Міжнародні хаби; донорські програми

Джерело: побудовано на основі [6–8; 10; 12; 14; 15; 17–19; 22; 26]

Висновки з проведеного дослідження. Стійкість енергетичних компаній України в умовах воєнних ризиків і гібридних загроз є комплексною проблемою, що вимагає системного, комплексного підходу щодо управління ризиками, технічної модернізування, інтегрування цифрових рішень. Розроблена методика оцінювання стійкості, управління нею дозволить комплексно вимірювати потенціал компанії/компаній щодо подолання шоків, відновлення функціонування. Основними пріоритетами підвищення стійкості є модернізування технічної інфраструктури, посилення кібербезпеки, проактивне управління ризиками, ефективне координування між приватним сектором і державними органами. Практичні заходи, такі як впровадження автономних джерел живлення, систем SIEM/SOC, показали високу ефективність у реальних умовах воєнної агресії. Проведене дослідження підтвердило, що енергетичний сектор України функціонує в умовах багатовимірних воєнних і гібридних загроз, які формують принципово новий контекст управління ризиками та стійкістю. Аналізування статистичних

даних за 2022–2025 рр. засвідчило домінування непрямих економічних втрат над прямими фізичними руйнуваннями, що підкреслює необхідність відновлення не лише інфраструктури, а й фінансово-операційних функцій компаній. Найбільш уразливим сегментом залишається електроенергетика, де поєднання втрат генерації, пошкодження мереж і зростання імпорту електроенергії створює системні ризики для енергетичної безпеки держави. Доведено, що традиційні моделі управління не забезпечують достатнього рівня адаптивності в умовах високої невизначеності, інтенсивних атак і динамічних логістичних обмежень. Запропонований для використання індекс (IER) дозволить комплексно вимірювати рівень стійкості компаній з урахуванням фізичних, кібернетичних, операційних, фінансових та управлінських чинників. Подальші дослідження доцільно спрямувати на емпіричну валідацію IER у ширшій вибірці компаній, сценарне моделювання післявоєнної трансформації та оцінювання довгострокових ефектів енергетичного переходу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Завербний А. С. Комплементарність енергетичної та економічної політики України в умовах євроінтеграції: монографія. Нац. ун-т «Львівська політехніка». Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2018. 307 с.
2. Завербний А. С. Фактори впливу на формування стратегії організаційного розвитку енергетичних підприємств. *Інноваційна економіка*. 2017. № 5/6 (69). С. 96–102. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2020.4.53>
3. Завербний А. С., Шпак Ю. Н. Проблеми гармонійного розвитку енергозабезпечення та енергоефективності економіки в умовах євроінтеграції. *Економіка: реалії часу*. 2019. № 4 (44). С. 40–48. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3757885>

4. Зябіна Є. А. Детермінанти підвищення енергетичної ефективності національної економіки: дис. ... канд. екон. наук : 08.00.03. Сумський державний університет. Суми, 2021. 240 с. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/6ccf7aab-2235-4a9b-8ae1-67d26e7df583/content>
5. Ільєнко А. С. Енергетична безпека України: сутність, загрози та механізми регулювання. *Наукові записки ТНУ ім. В.І. Вернадського*. 2019. Т. 30 (69), № 4. С. 61–66. <https://doi.org/10.32838/2663-6468/2019.4/11>
6. Кириченко Г. В. Енергетична безпека України в умовах воєнних загроз: трансформація державної енергетичної політики та інституційних механізмів реагування. *Публічне управління та національна безпека*. 2025. № 12 (65). С. 64–71. <https://doi.org/10.25313/2617-572X-2025-12-11733>
7. Клят Ю., Соломицький О., Таран О. Обґрунтування системи показників оцінювання енергетичної безпеки держави. *Military Science*. 2024. Т. 2, № 2. С. 5–12. <https://doi.org/10.62524/msj.2024.2.2.01>
8. Лушніков О. С., Баштанник В. В. (2025). Забезпечення енергетичної незалежності України в умовах російсько-української війни: публічно-управлінський аспект. *Дніпровський науковий журнал публічного управління, психології та права*. Т. 3. С. 21–28. <https://doi.org/10.32782/2414-4436/2025-4-2>
9. Матвійчук Н. Загрози енергетичній безпеці України. *Економічний часопис Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки*. 2018. Т. 1, № 13. С. 11–25. <https://doi.org/10.29038/2411-4014-2018-01-118-125>
10. Микитенко В. В., Драчук Ю. З. Просторове забезпечення сталого управління критичною інфраструктурою в умовах особливого періоду. *Економічний вісник Донбасу*. 2022. № 2 (68). С. 165–173. [https://doi.org/10.12958/1817-3772-2022-2\(68\)-165-173](https://doi.org/10.12958/1817-3772-2022-2(68)-165-173)
11. Селезнєва О. Міжнародна енергетична безпека: політична концепція. *Політичний менеджмент*. 2010. № 2. С. 148–155.
12. Сімонцева Л. О., Якимчук А. Ю. Управління енергетичним комплексом як фундаментальна основа національної економіки в умовах воєнного стану. *Таврійський науковий вісник*. 2025. Т. 5. <https://doi.org/10.32782/tnv-pub.2025.5.12>
13. Суходоля О. М., Харазішвілі Ю. М., Бобро Д. Г., Сменковський А. Ю., Рябцев Г. Л., Завгородня С. П. Енергетична безпека України: методологія системного аналізу та стратегічного планування: аналітична доповідь. Київ: НІСД. 2020. 178 с.
14. Тімашов В. О., Ярова Р. О. Воєнні загрози енергетичній інфраструктурі: правові механізми захисту. *Аналітичне та порівняльне правознавство*. 2025. № 3, Ч. 2. С. 273–277. <https://doi.org/10.24144/2788-6018.2025.03.2.44>
15. Adiguzel Z., Sonmez K. F. Leveraging green information systems and big data analytics infrastructure flexibility for sustainable performance: the mediating role of green technological turbulence in energy companies. *Industrial Management and Data Systems*. 2025. Vol. 125, Iss. 11. P. 2924–2955. <https://doi.org/10.1108/IMDS-10-2024-1040>
16. Aydın Z. Detecting Cybersecurity Threats in Digital Energy Systems Using Deep Learning for Imbalanced Datasets. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2025. Vol. 15, No. 3. P. 614–628. <https://doi.org/10.32479/ijeep.19649>
17. Bukhari S. D. Green Manufacturing in Industry 5.0: Towards Sustainable Industrial Transformation / M. Venkatesh, S. S. Appadoo, M. R. Khan (Eds.). *Green Manufacturing Technologies in Industry 5.0*. Springer, 2025. P. 1–17. https://doi.org/10.1007/978-981-95-0363-6_1
18. Cai M., Hu J., Hu M. Energy consumption and trade liberalization: new micro-evidence from China. *Environment Development and Sustainability*. 2025. <https://doi.org/10.1007/s10668-025-06624-3>
19. Crovini C., Hojrup E. M., Jensen M. S., Sorensen K. S., Jensen S. R. The Integration of Sustainability into the Risk Management Process and the Impact of the Energy Crisis and Green Transition: Insights from a Danish Energy Trading Company / N. Castellano, G. D'Onza, A. Melis, F. De Luca, M. Maffei (Eds.). *Sidrea Series in Accounting and Business Administration*. Springer, 2025. P. 319–335. https://doi.org/10.1007/978-3-031-76618-3_16
20. Jadhav H. L., Pandey P. P., Pawar G. G., Kadam P. B. The Green and Sustainable Business Model: A Review. *World Sustainability Series*. 2025. P. F775. P. 191–215. https://doi.org/10.1007/978-3-031-92636-5_11
21. Jonas A. E. G. (2012). Region and place: Regionalism in question. *Progress in Human Geography*. 2012. Vol. 36, Iss. 2. P. 263–272. <https://doi.org/10.1177/0309132510394118>
22. Krystosiak K., Kluczek A., Werpachowski W. Analysis of proper ink management impact on overall environmental equipment efficiency for sustainability. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14, Iss. 1. Art. 19104. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70118-x>
23. Kumar K., Pandey N. K., Verre F., Sha, R. Cybersecurity Challenges in the Digitization and Integration of Renewable Energy Systems: A Review. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 2025. Vol. 72. P. 3042–3054. <https://doi.org/10.1109/TEM.2025.3586557>
24. Osadcha N., Zaverbnyj A. Assessing the Role and Viability of Nuclear Power in Ukraine's Post-War Energy Strategy. *European Journal of Sustainable Development*. 2024. Vol. 13, No. 3. P. 469–488. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2024.v13n3p469>
25. Osadcha N., Zaverbnyj A. Assessment of the energy system of Ukraine: ways of recovery, cases of development. *European Journal of Sustainable Development*. 2024. Vol. 13, No. 1. P. 185–204. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2024.v13n1p185>
26. Osadcha N., Zaverbnyj A. Managing the Resilience of Ukrainian Energy Companies in the Context of Military Risks and Hybrid Threats. *European Journal of Sustainable Development*. 2026. Vol. 15, No. 2. P. 989–1018. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2026.v15n2p989>
27. Park Y. W., Inoue S. CE strategy in the electric vehicle batteries industry / Y. W. Park, K. Tamaki (Eds.). *Circular Economy Strategy for Sdg Business Management New Theories and System Techniques*. Springer, 2025. P. 119–136. https://doi.org/10.1007/978-981-96-4194-9_7
28. Rai I. N. A. S., Heryadi D., Yani Y. M., Nashir A. K. Rethinking european cybersecurity integration through liberal intergovernmental politics in general data protection regulation enforcement study. *Bangladesh Journal of Multidisciplinary Scientific Research*. 2026. Vol. 11, Iss. 1. P. 23–34. <https://doi.org/10.46281/bjmsr.v11i1.2638>
29. Ramezan C. A., Ahmad M. J., Schaupp L. C., Hatten F. W., Starling M. A. The modern cybersecurity analyst: An international position analysis. *Computers and Security*. 2026. Vol. 163. Art. 104825. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2026.104825>

30. Rice J., Martin N. Managing cybersecurity risks in Small businesses: A simulation-based decision framework. *Technological Forecasting and Social Change*. 2026. Vol. 223. Art. 124456. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2025.124456>
31. Silva D., Prolo C., Braga P., Gomes T., Velez L. Corporate emissions and climate targets: Insights from high-emitting firms in Brazil's transition to sustainability. *Plos Sustainability and Transformation*. 2025. Vol. 4. Art. e0000198. <https://doi.org/10.1371/journal.pstr.0000198>
32. Tichy L., Dubský Z. The EU Energy Security Relations with Russia Until Ukraine War. *Energy Strategy Reviews*. 2024. Vol. 52. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4326109>
33. Viswanathan N. S., Rajeshwari K., Kumar Y. S., Girisha T., Divakar S. M. Role of economic analysis for firms in long-term sustainability: An empirical study. *Aip Conference Proceedings*. 2025. Vol. 3306, Iss. 1. Art. 030010. <https://doi.org/10.1063/5.0276602>
34. Wang J., Trivella A., Guericke D., Yazan D. M. An Optimization Framework for Managing Resource Flows in Hubs for Circularity. *Circular Economy and Sustainability*. 2025. Vol. 5, Iss. 5. P. 3909–3938. <https://doi.org/10.1007/s43615-025-00592-6>
35. Webler T., Tuler S. Four decades of public participation in risk decision making. *Risk Analysis*. 2018. <https://doi.org/10.1111/risa.13250>
36. Wu C., Xu X., Barnes D., Qi Z. Sustainable energy supplier selection in turbulent environments: a multi-stage DEA-Malmquist based dynamic 3D-Kraljic model. *Energy*. 2026. Vol. 344. Art. 140036. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2026.140036>

Надійшла до редакції 03.06.2026

Прийнята до друку 07.07.2026

Опублікована 29.09.2026

REFERENCES

1. Zaverbnyi, A. S. (2018). *Complementarity of energy and economic policy of Ukraine in the conditions of European integration* [Monograph]. Lviv Polytechnic National University [in Ukrainian].
2. Zaverbnyi, A. S. (2017). Factors of influence on the formation of the organizational development strategy of energy enterprises. *Innovatsiina ekonomika*, 5/6(69), 96–102. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2020.4.53> [in Ukrainian].
3. Zaverbnyi, A. S., & Shpak, Yu. N. (2019). Problems of harmonious development of energy supply and energy efficiency of the economy in the conditions of European integration. *Ekonomika: realii chasu*, 4(44), 40–48. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3757885> [in Ukrainian].
4. Ziabina, Ye. A. (2021). *Determinants of increasing the energy efficiency of the national economy* [Candidate dissertation, Sumy State University]. <https://essuir.sumdu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/6ccf7aab-2235-4a9b-8ae1-67d26e7df583/content> [in Ukrainian].
5. Iliencko, A. S. (2019). Energy security of Ukraine: Essence, threats and regulation mechanisms. *Naukovi zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho*, 30(69), 61–66. <https://doi.org/10.32838/2663-6468/2019.4/11> [in Ukrainian].
6. Kyrtychenko, H. V. (2025). Energy security of Ukraine in the conditions of military threats: Transformation of state energy policy and institutional response mechanisms. *Publichne upravlinnia ta natsionalna bezpeka*, 12(65), 64–71. <https://doi.org/10.25313/2617-572X-2025-12-11733> [in Ukrainian].
7. Kliat, Yu., Solomytskyi, O., & Taran, O. (2024). Substantiation of the system of indicators for assessing the energy security of the state. *Military Science*, 2(2), 5–12. <https://doi.org/10.62524/msj.2024.2.2.01> [in Ukrainian].
8. Lushnikov, O. S., & Bashtannyk, V. V. (2025). Ensuring the energy independence of Ukraine in the conditions of the Russian-Ukrainian war: Public management aspect. *Dniprovskiyi naukoviy zhurnal publichnoho upravlinnia, psykholohii ta prava*, 3, 21–28. <https://doi.org/10.32782/2414-4436/2025-4-2> [in Ukrainian].
9. Matviichuk, N. (2018). Threats to the energy security of Ukraine. *Ekonomichniy chasopys Skhidnoievropeiskoho natsionalnoho universitetu imeni Lesi Ukrainky*, 1(13), 11–25. <https://doi.org/10.29038/2411-4014-2018-01-118-125> [in Ukrainian].
10. Mykytenko, V. V., & Drachuk, Yu. Z. (2022). Spatial provision of sustainable management of critical infrastructure in the conditions of a special period. *Ekonomichniy visnyk Donbasu*, 2(68), 165–173. [https://doi.org/10.12958/1817-3772-2022-2\(68\)-165-173](https://doi.org/10.12958/1817-3772-2022-2(68)-165-173) [in Ukrainian].
11. Seleznova, O. (2010). International energy security: A political concept. *Politychnyi menedzhment*, 2, 148–155 [in Ukrainian].
12. Simontseva, L. O., & Yakymchuk, A. Yu. (2025). Management of the energy complex as a fundamental basis of the national economy under martial law. *Tavriiskiyi naukoviy visnyk*, 5. <https://doi.org/10.32782/tnv-pub.2025.5.12> [in Ukrainian].
13. Sukhodolia, O. M., Kharazishvili, Yu. M., Bobro, D. G., Smenkovskiy, A. Yu., Riabtsev, H. L., & Zavorodnia, S. P. (2020). *Energy security of Ukraine: Methodology of systems analysis and strategic planning* [Analytical report]. Kyiv: NISS [in Ukrainian].
14. Timashov, V. O., & Yarova, R. O. (2025). Military threats to energy infrastructure: Legal mechanisms of protection. *Analitichne ta porivnialne pravoznavstvo*, 3(2), 273–277. <https://doi.org/10.24144/2788-6018.2025.03.2.44> [in Ukrainian].
15. Adiguzel, Z., & Sonmez Cakir, F. (2025). Leveraging green information systems and big data analytics infrastructure flexibility for sustainable performance: The mediating role of green technological turbulence in energy companies. *Industrial Management and Data Systems*, 125(11), 2924–2955. <https://doi.org/10.1108/IMDS-10-2024-1040>
16. Aydın, Z. (2025). Detecting cybersecurity threats in digital energy systems using deep learning for imbalanced datasets. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 15(3), 614–628. <https://doi.org/10.32479/ijeep.19649>
17. Bukhari, S. D. (2025). Green manufacturing in industry 5.0: Towards sustainable industrial transformation. In M. Venkatesh, S. S. Appadoo, & M. R. Khan (Eds.), *Green Manufacturing Technologies in Industry 5.0* (pp. 1–17). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-95-0363-6_1
18. Cai, M., Hu, J., & Hu, M. (2025). Energy consumption and trade liberalization: New micro-evidence from China. *Environment Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-025-06624-3>
19. Crovini, C., Hojrup, E. M., Jensen, M. S., Sorensen, K. S., & Jensen, S. R. (2025). The integration of sustainability into the risk management process and the impact of the energy crisis and green transition: Insights from a Danish energy trading company. In

- N. Castellano, G. D'Onza, A. Melis, F. De Luca, & M. Maffei (Eds.), *Sidrea Series in Accounting and Business Administration* (pp. 319–335). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-76618-3_16
20. Jadhav, H. L., Pandey, P. P., Pawar, G. G., & Kadam, P. B. (2025). The green and sustainable business model [A review]. *World Sustainability Series*, 191–215. https://doi.org/10.1007/978-3-031-92636-5_11
21. Jonas, A. E. G. (2012). Region and place: Regionalism in question. *Progress in Human Geography*, 36(2), 263–272. <https://doi.org/10.1177/0309132510394118>
22. Krystosiak, K., Kluczek, A., & Werpachowski, W. (2024). Analysis of proper ink management impact on overall environmental equipment efficiency for sustainability. *Scientific Reports*, 14(1), 19104. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70118-x>
23. Kumar, K., Pandey, N. K., Verre, F., & Sha, R. (2025). Cybersecurity challenges in the digitization and integration of renewable energy systems: A review. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 72, 3042–3054. <https://doi.org/10.1109/TEM.2025.3586557>
24. Osadcha, N., & Zaverbnyj, A. (2024). Assessing the Role and Viability of Nuclear Power in Ukraine's Post-War Energy Strategy. *European Journal of Sustainable Development*, 13(3), 469–488. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2024.v13n3p469>
25. Osadcha, N., & Zaverbnyj, A. (2024). Assessment of the energy system of Ukraine: ways of recovery, cases of development. *European Journal of Sustainable Development*, 13(1), 185–204. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2024.v13n1p185>
26. Osadcha, N., & Zaverbnyj, A. (2026). Managing the Resilience of Ukrainian Energy Companies in the Context of Military Risks and Hybrid Threats. *European Journal of Sustainable Development*, 15(2), 989–1018. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2026.v15n2p989>
27. Park, Y. W., & Inoue, S. (2025). CE strategy in the electric vehicle batteries industry. In Y. W. Park & K. Tamaki (Eds.), *Circular Economy Strategy for Sdg Business Management New Theories and System Techniques* (pp. 119–136). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-96-4194-9_7
28. Rai, I. N. A. S., Heryadi, D., Yani, Y. M., & Nashir, A. K. (2026). Rethinking european cybersecurity integration through liberal intergovernmental politics in general data protection regulation enforcement study. *Bangladesh Journal of Multidisciplinary Scientific Research*, 11(1), 23–34. <https://doi.org/10.46281/bjmsr.v11i1.2638>
29. Ramezan, C. A., Ahmad, M. J., Schaupp, L. C., Hatten, F. W., & Starling, M. A. (2026). The modern cybersecurity analyst: An international position analysis. *Computers and Security*, 163, 104825. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2026.104825>
30. Rice, J., & Martin, N. (2026). Managing cybersecurity risks in Small businesses: A simulation-based decision framework. *Technological Forecasting and Social Change*, 223, 124456. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2025.124456>
31. Silva, D., Prolo, C., Braga, P., Gomes, T., & Velez, L. (2025). Corporate emissions and climate targets: Insights from high-emitting firms in Brazil's transition to sustainability. *Plos Sustainability and Transformation*, 4, e0000198. <https://doi.org/10.1371/journal.pstr.0000198>
32. Tichy, L., & Dubský, Z. (2024). The EU Energy Security Relations with Russia Until Ukraine War. *Energy Strategy Reviews*, 52. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4326109>
33. Viswanathan, N. S., Rajeshwari, K., Kumar, Y. S., Girisha, T., & Divakar, S. M. (2025). Role of economic analysis for firms in long-term sustainability: An empirical study. *Aip Conference Proceedings*, 3306(1), 030010. <https://doi.org/10.1063/5.0276602>
34. Wang, J., Trivella, A., Guericke, D., & Yazan, D. M. (2025). An Optimization Framework for Managing Resource Flows in Hubs for Circularity. *Circular Economy and Sustainability*, 5(5), 3909–3938. <https://doi.org/10.1007/s43615-025-00592-6>
35. Webler, T., & Tuler, S. (2018). Four decades of public participation in risk decision making. *Risk Analysis*. <https://doi.org/10.1111/risa.13250>
36. Wu, C., Xu, X., Barnes, D., & Qi, Z. (2026). Sustainable energy supplier selection in turbulent environments: a multi-stage DEA-Malmquist based dynamic 3D-Kraljic model. *Energy*, 344, 140036. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2026.140036>

Received: 03.06.2026

Accepted: 07.07.2026

Published: 29.09.2026

Завербний А. С., Осадча Н. В. Проблеми та перспективи формування, моделювання інтегрованої системи управління стійкістю енергетичних компаній України в умовах воєнних ризиків, гібридних загроз та динамічної невизначеності

У статті досліджено проблеми та перспективи формування і моделювання інтегрованої системи управління стійкістю енергетичних компаній України в умовах воєнних ризиків, гібридних загроз та динамічної невизначеності. Актуальність дослідження зумовлена безпрецедентними викликами, що постали перед енергетичним сектором України внаслідок повномасштабної війни, масштабних руйнувань критичної інфраструктури, посилення кіберзагроз, логістичних обмежень та зростання рівня невизначеності зовнішнього середовища. Забезпечення стійкості енергетичних компаній набуває стратегічного значення для підтримання енергетичної безпеки держави, стабільності економіки та безперервності функціонування суспільства.

У процесі дослідження використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів, зокрема методи аналізу та синтезу, системного підходу, порівняльного аналізу, статистичного узагальнення, моделювання, індексного оцінювання та концептуального проектування. Проведено аналіз наукових підходів до забезпечення стійкості енергетичних систем, оцінено вплив воєнних та гібридних загроз на функціонування енергетичного сектору України, а також узагальнено міжнародний досвід підвищення енергетичної резильєнтності.

У результаті дослідження запропоновано концепцію інтегрованої системи управління стійкістю енергетичних компаній, яка поєднує інструменти ризик-менеджменту, кризового управління, цифрової трансформації, кібербезпеки та енергетичної безпеки. Розроблено інтегральний Індекс стійкості енергетичних компаній у воєнних умовах (War-Time Energy Resilience Index – IER), що враховує фізичну та технічну стійкість, кібер- та інформаційну безпеку, операційну адаптивність, фінансово-інвестиційну стійкість і управлінсько-інституційну готовність. Запропоновано шкалу інтерпретації значень індексу та інтегровану регуляторну карту дій держави залежно від рівня стійкості енергетичних компаній.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання запропонованого інструментарію органами державної влади, регуляторами, енергетичними компаніями та міжнародними партнерами для оцінювання рівня стійкості енергетичних підприємств, формування стратегій розвитку, підвищення ефективності антикризового управління, обґрунтування інвестиційних рішень і забезпечення післявоєнного відновлення та модернізації енергетичної інфраструктури України.

Ключові слова: енергетика, стійкість енергетичних компаній, енергетична безпека, воєнні ризики, гібридні загрози, інтегрована система управління.

Zaverbnyj A., Osadcha N. Problems and prospects of formation and modeling of an integrated resilience management system for Ukrainian energy companies under conditions of war risks, hybrid threats and dynamic uncertainty

The article investigates the problems and prospects of forming and modeling an integrated resilience management system for Ukrainian energy companies under conditions of wartime risks, hybrid threats, and dynamic uncertainty. The relevance of the study is determined by the unprecedented challenges faced by Ukraine's energy sector as a result of the full-scale war, extensive destruction of critical infrastructure, increasing cyber threats, logistical disruptions, and the growing uncertainty of the external environment. Ensuring the resilience of energy companies has become a strategic priority for maintaining national energy security, economic stability, and the continuity of essential social functions.

The research is based on a combination of general scientific and specialized methods, including analysis and synthesis, systems approach, comparative analysis, statistical generalization, modeling techniques, index-based assessment, and conceptual design. The study examines contemporary scientific approaches to energy system resilience, evaluates the impact of wartime and hybrid threats on the Ukrainian energy sector, and summarizes international practices aimed at strengthening energy resilience and adaptive capacity.

As a result, an integrated resilience management framework for energy companies has been developed, combining risk management, crisis management, digital transformation, cybersecurity, and energy security mechanisms. The study proposes the War-Time Energy Resilience Index (IER), designed to assess the resilience level of energy companies through five key dimensions: physical and technical resilience, cyber and information security, operational adaptability, financial and investment resilience, and managerial and institutional preparedness. In addition, a resilience assessment scale and an integrated regulatory roadmap for public authorities have been developed to support decision-making according to different resilience levels.

The practical significance of the research lies in the applicability of the proposed methodological tools for public authorities, regulators, energy companies, and international stakeholders. The developed approach can be used for resilience assessment, strategic planning, investment prioritization, risk mitigation, and crisis response management. Furthermore, the proposed index and regulatory framework contribute to enhancing the effectiveness of energy sector governance, improving resilience against wartime and hybrid threats, and supporting the post-war recovery and modernization of Ukraine's energy infrastructure in accordance with European resilience and security standards.

Keywords: energy sector, energy company resilience, energy security, wartime risks, hybrid threats, integrated management system.