

Рябцев Г. Л.<https://orcid.org/0000-0002-3478-825X>

Національний університет «Києво-Могилянська академія»;

Національний інститут стратегічних досліджень

ЕНЕРГЕТИЧНА СТІЙКІСТЬ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВІЙНИ: УРОКИ ТА ПРІОРИТЕТИ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Проаналізовано вплив російської військової агресії на функціонування енергетичного сектору України та визначено ключові напрями трансформації національної енергетичної системи в умовах тривалих воєнних загроз і післявоєнного відновлення. Показано, що успадкована від СРСР централізована модель енергозабезпечення, виявила критичні уразливості в умовах цілеспрямованих ударів по об'єктах генерації та інфраструктурі передачі. Обґрунтовано необхідність системного переходу до децентралізованої, багаторівневої архітектури енергетичної системи, що базується на поєднанні великої генерації, розподілених енергетичних ресурсів і систем зберігання енергії. Узагальнено сучасні наукові підходи до розуміння енергетичної безпеки та енергетичної стійкості з акцентом на зростанні ролі розподіленої генерації, кібернетичної безпеки, цифровізації та інтеграції до європейського енергетичного простору. Підкреслено концептуальний зсув у трактуванні енергетичної безпеки – від забезпечення достатності енергопостачання до забезпечення операційної стійкості енергетичних систем в умовах гібридних загроз, включно з воєнними, кібернетичними й техногенними впливами. Розроблено сценарний підхід до оцінювання перспектив розвитку енергетичної системи в умовах війни. Критичні уразливості всіх сценаріїв пов'язані з високовольтними мережами й системними обмеженнями балансування. Особливу увагу приділено ролі газової інфраструктури як стратегічного ресурсу гнучкості, зокрема для швидкого розгортання генеруючої потужності на основі газопоршневих і газотурбінних установок. Підкреслено значення систем зберігання енергії як ключової технології забезпечення стабільності мереж, регулювання частоти, формування автономних енергетичних кластерів. Проаналізовано інституційні й регуляторні аспекти енергетичної трансформації, зокрема необхідність спрощення дозвільних процедур, посилення координації між заінтересованими сторонами, забезпечення прозорих механізмів публічно-приватного партнерства. Оскільки фінансові обмеження є одним із ключових бар'єрів розвитку розподіленої генерації, варто посилити роль міжнародних фінансових інституцій, револьверних фондів енергетичної стійкості та інноваційних бізнес-моделей, таких як Energy-as-a-Service. Розвиток людського капіталу визначено як важливу передумову енергетичної трансформації, що потребує створення регіональних центрів компетенцій, прискорених навчальних програм й системної перекваліфікації кадрів у сферах інженерії, енергоменеджменту та цифрового управління. Підкреслено необхідність поєднання кібернетичної стійкості з інженерно-технічним захистом ключових вузлів мереж передачі й розподілу. Проаналізовано стратегічну роль газових сховищ у зміцненні регіональної енергетичної безпеки й посиленні позицій держави на європейському ринку. Розглянуто переваги синхронізації з континентальною європейською енергосистемою (ENTSO-E), яка вже довела свою значущість у забезпеченні стабільності системи. Розроблено рекомендації органам влади, спрямовані на гарантування енергетичної стійкості, включно з прискоренням розвитком розподіленої генерації, впровадженням систем зберігання енергії, реалізацією управління попитом, посиленням захисту високовольтної інфраструктури, створенням аварійних резервів та поглибленням інтеграції з європейськими енергетичними ринками.

Ключові слова: енергетична безпека, енергетична стійкість, державна політика, вироблення політики, аналіз політики, стратегічне управління, нейтралізація загроз безпеці, управління змінами і ризиком.

Постановка проблеми. Повномасштабна російська агресія стала найсерйознішим випробуванням для енергетичної системи України. Якщо до 2022 року головними викликами для галузі залишалися питання модернізації основних фондів, ринкової лібералізації та інтеграції до європейського енергетичного простору, то війна висунула на перший план фізичне виживання енергетичної інфраструктури та підтримання неперервного енергопостачання в умовах постійних атак.

Масовані удари по теплових і гідроелектростанціях, підстанціях магістральних мереж, об'єктах газотранспортної інфраструктури, системах розподілу електричної енергії продемонстрували, що успадкована від радянських часів модель централізованої енергетики не відповідає умовам сучасної війни. Концентрація значної потужності на обмеженій кількості об'єктів формує критичні ризики для функціонування всієї енергетичної системи держави.

Проаналізований автором досвід проходження опалювальних сезонів 2022–2026 років дозволяє зробити висновок: забезпечення енергетичної безпеки України потребує не тільки відновлення пошкоджених об'єктів, але й глибокої трансформації архітектури енергетики. Тому принцип «відновити краще, ніж було» (Build Back Better) має стати основою державної політики відновлення та розвитку паливно-енергетичного сектору.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика стійкості енергетичних систем в умовах воєнних загроз набула особливої актуальності після початку війни в Україні. Упродовж останніх років у наукових виданнях сформувався окремий напрям досліджень, присвячений трансформації енергетичних систем, розвитку розподіленої генерації, забезпеченню стійкості критичної інфраструктури, інтеграції енергетичних ринків під час дії воєнного стану [1–9].

Серед вітчизняних досліджень важливе місце займають праці, присвячені теоретичним засадам енергетичної безпеки. Зокрема, А. Лісовий та О. Андрух [3–5] узагальнили сучасні підходи до оцінювання рівня енергетичної безпеки держави, розглянувши еволюцію наукових уявлень про неї. Автори наголошують на необхідності врахування безпекових загроз поряд з економічними показниками розвитку енергетичного сектору [1; 3–5].

Окремий напрям досліджень пов'язаний із розвитком розподіленої генерації. Зокрема, в праці І. Фролова [6] проаналізовано стан Об'єднаної енергетичної системи України після масованих атак на енергетичну інфраструктуру та обгрун-

товано доцільність розвитку локальних джерел генерації, мікромереж, систем накопичення енергії та режимів ізольованої роботи енергетичних вузлів. Автор розглядає розподілену генерацію як інструмент підвищення стійкості енергосистеми в умовах воєнних загроз.

Схожі висновки містяться у дослідженні Є. Боброва [7], де енергетична стійкість розглядається як складова економічної безпеки. Автор акцентує увагу на ролі мікромереж, накопичувачів енергії та локальних енергетичних комплексів у забезпеченні неперервності енергопостачання та зменшенні уразливості до зовнішніх впливів.

Важливе місце в літературі займають дослідження інституційних та правових аспектів енергетичної безпеки. Наприклад, у праці [8] Є. Бондаренко аналізує механізми забезпечення енергетичної стійкості, доводячи, що подальша гармонізація українського законодавства із правом ЄС є необхідною передумовою гарантування енергетичної безпеки.

У працях останніх років досліджуються й довгострокові тенденції. Зокрема, О. Куриленко розглядає перехід від централізованої до гібридної моделі, що поєднує великі потужності з розвинутою мережею локальної генерації та накопичувачів енергії [9]. На думку автора, така модель найбільшою мірою відповідає сучасним викликам.

Серед зарубіжних досліджень особливу увагу привертають праці, присвячені підвищенню стійкості енергетики через розвиток відновлюваних джерел і розосередженої потужності. Зокрема, дослідження [10] групи авторів щодо потенціалу фотоелектричних систем в Україні доводить, що децентралізоване живлення є важливим чинником підвищення стійкості системи в цілому, сприяючи декарбонізації.

У літературі помітно переосмислення самого поняття енергетичної стійкості [1; 2]. В оглядовому дослідженні [11] енергетична стійкість визначається як здатність енергетичної системи протидіяти як раптовим шокам (війни, аварії, кібератаки), так і довгостроковим кризовим процесам. Автори наголошують на необхідності інтеграції принципів стійкості в процеси стратегічного планування розвитку енергетичних систем.

Таким чином, аналіз останніх публікацій свідчить про поступове зміщення акцентів від розуміння енергетичної безпеки як енергетичної достатності до формулювання й дослідження енергетичної стійкості, що передбачає здатність енергетичної системи нормально функціонувати та швидко відновлюватися в умовах воєнних,

техногенних, кібернетичних та інших кризових впливів [1]. Більшість дослідників вважають, що ключовими напрямками гарантування енергетичної стійкості України є розвиток розподіленої генерації й систем зберігання енергії, цифровізація управління інфраструктурою, посилення кібернетичного та інженерно-технічного захисту й прискорена інтеграція до європейського енергетичного простору [1–2; 7].

Наукова прогалина, яку заповнює праця автора, полягає в дослідженні енергетичної стійкості України крізь призму досвіду функціонування енергетичної системи в умовах війни, з урахуванням впливу на її трансформацію швидко змінюваних і важко прогнозованих безпекових інституційних, фінансових, технологічних і геополітичних чинників.

Постановка завдання. Метою статті є узагальнення уроків гарантування енергетичної стійкості під час війни та обґрунтування пріоритетних напрямів трансформації енергетичної системи України на засадах децентралізації, безпеки та європейської інтеграції.

Для досягнення цієї мети передбачено вирішення таких завдань:

- визначити основні наслідки воєнних дій для енергетичної системи України і встановити ключові уразливості чинної моделі енергозабезпечення;
- обґрунтувати доцільність розвитку розподіленої генерації, локальних систем та установок зберігання енергії як основи енергетичної стійкості;
- визначити інституційні, регуляторні й кадрові передумови трансформації енергетичного сектору в умовах воєнних загроз.
- охарактеризувати роль у зміцненні енергетичної безпеки України газової інфраструктури, цифровізації, кібернетичної безпеки та інтеграції до енергетичного простору ЄС;
- сформулювати пріоритетні напрями державної політики розвитку енергетики України в умовах війни та післявоєнного відновлення.

Виклад основного матеріалу. *Уразливість централізованої моделі енергетики.* Історично українська енергосистема формувалася за принципами великої централізованої генерації. Основне навантаження покладалося на великі атомні (АЕС установленою потужністю до 6 ГВт), теплові та гідроелектростанції (ТЕС і ТЕЦ, ГЕС і ГАЕС – до 2...3 ГВт), об'єднані потужною системою повітряних ліній електропередачі напругою 750 і 330 кВ. Така модель забезпечувала високу економічну ефективність у мирний час, проте виявилася над-

звичайно уразливою до цілеспрямованих військових атак.

Досвід проходження опалювальних сезонів 2022–2026 років свідчить, що ураження кількох великих об'єктів призводило до значного дефіциту потужності, необхідності тривалих аварійних і стабілізаційних вимкнень великої кількості споживачів і суттєвих затрат на відновлення пошкодженого обладнання. Виведення з ладу вузлових підстанцій або магістральних ліній електропередачі здатне порушити постачання на великих територіях незалежно від наявності локальних джерел генерації. Точкові удари по відкритих розподільчих пристроях (ВРП) ізолюють потужні станції від вузлів споживання, створюючи дефіцит енергії навіть за наявності дев'яти робочих атомних блоків. Війна продемонструвала фундаментальний недолік централізованої моделі: чим більшою є концентрація потужності, тим привабливішою цілью вона стає для ворога. Тому питання енергетичної безпеки сьогодні нерозривно пов'язане з децентралізацією інфраструктури.

Децентралізація як основа енергетичної стійкості. Одним із ключових уроків воєнного часу стало усвідомлення необхідності переходу до нової для нашої держави моделі енергопостачання.

Традиційна для України атомна генерація, займаючи до 60% у структурі виробництва електричної енергії, тривалий час забезпечувала та гарантуватиме надалі стабільність функціонування системи в цілому й наявність у ній недорогої енергії. Однак АЕС мають жорсткий базовий режим – вони теплотехнічно інерційні й неспроможні забезпечити гнучке внутрішньодобове балансування. При цьому значну частину можливостей швидкого регулювання втрачено через пошкодження великих маневрових ТЕС, ТЕЦ і ГЕС, а стрімка інтеграція відновлюваних джерел енергії (сонячних і вітрових станцій), яка заохочується європейськими нормами, додатково навантажує систему внаслідок природної волатильності (залежності від наявності та інтенсивності сонячного випромінювання, наявності і швидкості вітру).

З огляду на це, перехід на нову модель – це не відмова від великих електростанцій, а створення багаторівневої системи, у якій промисловість отримує енергію цифрової якості 24/7, а більшу частину потреб територій задовольняють локальні джерела. Ними є газопоршневі, газотурбінні й когенераційні установки, біоенергетичні комплекси, сонячні та вітрові електростанції, системи зберігання енергії, а також малі модульні електростанції різних типів.

Така генерація має кілька принципових переваг. По-перше, вона зменшує залежність споживачів від великих енергетичних об'єктів. По-друге, ускладнює противнику завдання з виведення потужності з ладу. По-третє, забезпечує можливість автономної роботи окремих територій або критичних об'єктів у разі пошкодження магістральної інфраструктури.

Ідеться про створення «енергетичних островів» або «сот» – локальних систем енергозабезпечення, здатних функціонувати як у централізованому, так і в ізольованому режимах. Вони здатні підтримувати неперервну роботу лікарень, об'єктів водопостачання, систем зв'язку, інших елементів критичної інфраструктури навіть у випадку масштабних аварій.

Фінансові механізми енергетичної трансформації. Одним із головних бар'єрів для розвитку описаної вище моделі є нестача монетарного ресурсу. Більшість територіальних громад не мають достатніх коштів для реалізації енергетичних проєктів. За цих умов особливого значення набувають механізми публічно-приватного партнерства. Перспективною є модель Energy as a Service (EaaS), за якої приватний інвестор фінансує створення та експлуатацію потужності, а громада або державна установа гарантує довгострокове споживання виробленої енергії. Доцільним є створення державного або міжнародного револьверного фонду стійкості. Він здатний забезпечити пільгове кредитування громад, що створюють автономні й резервні системи живлення, підвищують енергоефективність. Більшу роль можуть відігравати міжнародні фінансові організації, донорські програми та механізми післявоєнного відновлення. Однак для ефективного використання зовнішньої допомоги потрібні прозорі процедури відбору проєктів та належний моніторинг результатів їхньої реалізації з урахуванням безпекових вимог воєнного часу.

Інституційні та регуляторні виклики. Успішність енергетичного переходу значною мірою залежить від спроможності державних інституцій адаптувати регуляторне середовище до нових умов. Потребує перегляду система погоджень і дозвільних процедур. У воєнний час тривале отримання дозволів є неприйнятним. Для об'єктів, внесених до комплексних планів енергетичної стійкості регіонів та окремих міст, доцільно запровадити спеціальний режим погодження за принципом «єдиного вікна». Проте заради прискореної реалізації проєктів не варто нехтувати вимогами технічних регламентів. Відсутність державного

нагляду (контролю) може призвести до появи нових ризиків. Уваги потребує й координування дій центральних і місцевих органів влади, операторів систем передачі й розподілу, інвесторів та активних споживачів. Відсутність чітких механізмів взаємодії між ними може істотно уповільнити реалізацію навіть добре підготовлених проєктів.

Люди як елемент енергетичної безпеки. Не менш важливим викликом є кадрове забезпечення трансформації. Зведення та експлуатація сучасних установок і цифрових платформ потребує великої кількості кваліфікованих фахівців. Проте частина професійних кадрів залучені до сектору безпеки та оборони, інші виїхали за кордон або змінили сферу діяльності. Тому доцільним є організація короткострокових програм підготовки та сертифікації персоналу на базі закладів вищої й професійної освіти, профільних навчальних центрів, а також створення мережі регіональних центрів технічної компетенції, що забезпечуватимуть консультаційну підтримку громад.

Кібернетична безпека та інженерно-технічний захист. Сучасна енергетична система дедалі більше залежить від цифрових технологій. Автоматизовані системи диспетчерського управління, дистанційного моніторингу та комерційного обліку створюють нові можливості для підвищення ефективності, але водночас формують нові уразливості. Кібератаки на енергетичну інфраструктуру можуть мати наслідки, співставні з фізичним руйнуванням об'єктів. Тому гарантування кібернетичної безпеки має стати невід'ємною складовою безпеки енергетичної.

Варто також забезпечити фізичне розосередження генеруючих потужностей, захист ключових вузлів управління, ВРП, іншого особливо вразливого обладнання та обмежити доступ до інформації про розташування критично важливих об'єктів.

Роль газової інфраструктури в забезпеченні енергетичної стійкості. Не менш важливим елементом гарантування енергетичної стійкості є належне функціонування газової інфраструктури. Природний газ виконує функцію резервного палива у виробництві електричної й теплової енергії, забезпечує роботу значної частини промислових підприємств і комунального господарства. В умовах війни роль газової інфраструктури суттєво зросла. Зведення газопоршневих і газотурбінних електростанцій є найбільш оперативним способом нарощування розподіленої генерації. Термін їхнього введення в експлуатацію вимірюється місяцями, що особливо важливо в умовах нестачі генерації. Однак розвиток нової потуж-

ності не має створювати нової залежності, адже можливості України у видобутку природного газу не безмежні. Державна політика має передбачати поступове збільшення частки біометану, синтетичних газів та інших відновлюваних видів палива. Це дозволить поєднати завдання забезпечення енергетичної безпеки з довгостроковими цілями декарбонізації економіки та виконанням міжнародних зобов'язань України.

Окремим фактором стійкості залишаються українські підземні сховища газу. Їхній потенціал може використовуватися не лише для забезпечення внутрішніх потреб, а й як важливий елемент гарантування енергетичної безпеки Центральної та Східної Європи. Після завершення війни цей ресурс може збільшити економічну й геополітичну вагу України в енергетичному просторі ЄС.

Системи зберігання енергії як ключовий елемент нової архітектури. Однією з особливостей сучасних енергетичних систем є стрімке зростання ролі установок зберігання енергії (УЗЕ). В умовах розвитку розподіленої генерації та збільшення частки відновлюваних джерел вони перетворюються на критично важливий елемент забезпечення стабільності постачання енергії. По-перше, УЗЕ дозволяють компенсувати дефіцит маневрової потужності, який загострився після пошкодження теплової і гідрогенерації. По-друге, вони забезпечують підтримання частоти та напруги в мережі під час аварійних ситуацій. По-третє, дають можливість формувати локальні резерви електричної енергії для живлення критичної інфраструктури. У перспективі накопичувачі можуть стати основою для створення автономних енергетичних кластерів та «енергетичних островів». Їхнє поєднання із сонячними електростанціями, когенераційними установками, іншими локальними джерелами дозволить підвищити стійкість громад. Однак розвиток цього сектору потребує створення нормативних передумов. Необхідно запустити повноцінні ринкові механізми, які дозволять власникам УЗЕ стати учасниками ринку допоміжних послуг, надавати послуги з балансування й регулювання частоти.

Інтеграція до європейського енергетичного простору. Одним із найважливіших досягнень воєнного періоду стала синхронізація української енергетичної системи з континентальною європейською мережею ENTSO-E. Це рішення підвищило стійкість обидвох систем і надало додаткові інструменти для подолання кризових ситуацій. Подальша інтеграція має розглядатися не лише як економічне завдання, а як складова гарантування

національної безпеки. Чим тіснішим буде зв'язок України з європейськими енергетичними механізмами, тим складніше ворогові його розірвати. Тому в післявоєнний період особливого значення набуде збільшення пропускної здатності транскордонних перетинів із Польщею, Словаччиною, Угорщиною, Румунією, гармонізація національного законодавства із правом ЄС у сфері енергетики, зокрема Третім енергетичним пакетом. Проте при цьому варто врахувати, що імпорт електричної енергії не може розглядатися як альтернатива власній генерації. Він має виконувати допоміжну страхову функцію, забезпечуючи додаткову гнучкість системи.

Міжнародний досвід забезпечення енергетичної стійкості. Досвід держав, що тривалий час перебувають під загрозою зовнішніх атак, також може бути корисним для України. Зокрема, Ізраїль протягом багатьох років реалізує політику максимального резервування критичної інфраструктури, послідовно реалізуючи комплекс заходів, спрямованих на створення дублюючих потужностей, запасів обладнання та альтернативних шляхів постачання (енергії, води, зв'язку). Її головна мета – гарантувати безперебійну роботу стратегічних об'єктів у разі надзвичайних ситуацій, аварій, кібератак чи воєнних дій. Майже всі стратегічні об'єкти держави Ізраїль мають декілька незалежних джерел автономного живлення, а елементи системи управління є територіально розосередженими. У свою чергу, держави Балтії після початку російської агресії проти України значно прискорили реалізацію програм гарантування власної енергетичної незалежності. Особливий акцент зроблений на зведенні автономної потужності, локалізації управління мережами та забезпеченні кібернетичної безпеки. Фінляндія демонструє приклад комплексного підходу до безпеки критичної інфраструктури, коли питання енергетики розглядають у взаємозв'язку з обороною, цивільним захистом і територіальною стійкістю. Особливо корисним із цього досвіду для України вбачається принцип, згідно з яким готовність до ризиків має формуватися заздалегідь, а не після виникнення кризової ситуації.

Вірогідні сценарії розвитку ситуації в енергетиці в умовах війни. Оскільки трансформація енергетичної системи під час війни відбувається під впливом швидко змінюваних і важко прогнозованих безпекових інституційних, фінансових, технологічних і геополітичних невизначеностей, особливої ваги набуває сценарне прогнозування. Саме воно дозволяє завчасно розробити детальні плани дій у випадку реалізації різних варіантів

майбутнього (зазвичай оптимістичного, базового й кризового). Застосування цього інструменту управління невизначеністю перетворює форс-мажорне реагування на превентивну політику.

За умови продовження війни найбільш вірогідними вбачаються такі сценарії розвитку ситуації в енергетиці.

1. Оптимістичний сценарій. Передбачає обмежену інтенсивність російських атак на енергетичну інфраструктуру, успішні ремонтно-відновлювальні кампанії та введення в експлуатацію запланованої кількості нових об'єктів розподіленої генерації. За такого сценарію обмеження енергоспоживання матимуть локальний і короткостроковий характер. Переважатимуть загрози помірно низької ймовірності з обмеженими негативними наслідками. Енергетична система працюватиме з невеликим резервом потужності, але залишатиметься чутливою до локальних атак на регіональні мережі. Основними уразливостями виступатимуть інфраструктура середньої напруги та енергетичний баланс у години пікових вечірніх навантажень. Ключовими рекомендаціями органам влади в разі реалізації оптимістичного сценарію можуть бути: прискорення переходу від кризового управління до планового реформування; надання пріоритету накопиченню запасів і резервів та розвитку «розумних» мережевих рішень (smart-grid); стимулювання приватних інвестицій у розвиток розподіленої генерації і системи зберігання енергії.

2. Базовий сценарій. Передбачає продовження систематичних атак на великі енергетичні об'єкти, відновлення більшої частини пошкодженої потужності та введення нової генерації із затримкою не більше трьох місяців від запланованого. У цьому випадку можливі нетривалі обмеження енергоспоживання в більшості регіонів, переважно в пікові години. Домінуватимуть загрози помірно ймовірності, реалізація яких може негативно вплинути на стан економіки. Необхідність тривалого відновлення мереж створюватиме «вузькі місця» (bottlenecks) в перетоках. Зростатиме навантаження на розподільні мережі. Енергетична система функціонуватиме в умовах невеликого, але постійного дефіциту. Основні проблеми – нестача маневрової генерації та «вузькі місця» (bottlenecks) мереж передачі й розподілу. Ключовими рекомендаціями органам влади є: запровадження централізованого управління попиту (demand response); пріоритетне фінансування відновлення мереж, а не лише генерації; стимулювання енергетичної автономності на рівні громад, суб'єктів господарювання і побутових споживачів.

3. Кризовий сценарій. Передбачає суттєве погіршення безпекового середовища з масованими й систематичними атаками на потужності генерації, передачі й розподілу за обмежених можливостей їхнього швидкого й повного відновлення через нестачу фінансових і матеріальних ресурсів. Імовірні тривалі вимкнення електричної енергії для побутових споживачів і промисловості та жорстка економія енергетичних ресурсів. Вірогідною є тимчасова фрагментація Об'єднаної енергетичної системи України на ізольовані «енергетичні острови». Переважатимуть істотні ризики помірно високої ймовірності, що можуть підсилювати один одного (каскадні ефекти). Ключовими рекомендаціями органам влади в разі реалізації оптимістичного сценарію можуть бути: перехід до жорсткого нормування енергетичних ресурсів; створення «зелених» енергетичних коридорів; мобілізація ресурсів на рівні держави для аварійного відновлення пошкодженої потужності; прискорене розгортання автономної генерації як ключового елемента забезпечення стійкості системи.

На думку автора, найбільш уразливими об'єктами енергетичної системи є мережі високої (330...750 кВ) та, особливо, середньої напруги (110 кВ). Тому реалізація ключових загроз відносно до базового й кризового сценаріїв матиме каскадний ефект (постачання електричної енергії → водопостачання → постачання теплової енергії → соціальна стабільність). У кризовому сценарії ключовим ризиком вбачається не стільки баланс, скільки фізична фрагментація енергетичної системи. Наявність розподіленої генерації зменшить вірогідність реалізації кризового сценарію, проте не компенсує можливу втрату магістральних і розподільних мереж.

Шляхи запобігання кризовому сценарію. Щоб уникнути реалізації кризового сценарію, органам державної влади необхідно перейти від реактивної моделі постійного відновлення пошкоджених об'єктів до проактивної політики гарантування живучості та стійкості енергетичної системи в цілому.

Першочерговим завданням є посилення фізичної та інженерної захищеності критичної електроенергетичної інфраструктури. Насамперед ідеться про вузлові об'єкти високої й середньої напруги, нормальне функціонування яких гарантує цілісність об'єднаної енергетичної системи (автотрансформатори, ВРП, вузлові підстанції, релейне обладнання). Необхідно прискорити активне та інженерно-технічне прикриття таких об'єктів, резервування елементів керування ними,

створення мобільних підстанцій, здатних оперативно замінювати втрачені вузли. Окремим завданням є формування й підтримання національного резерву критичного обладнання, передусім трансформаторів та автотрансформаторів, із укладанням із виробниками довгострокових контрактів на їхнє постачання. Варто прискорити створення резервних регіональних диспетчерських центрів і забезпечити можливість ізольованої роботи енергетичних кластерів у разі порушення міжрегіональних зв'язків. Це дозволить зменшити ризик каскадної фрагментації системи у разі пошкодження магистральних мереж.

Другим ключовим напрямом є балансування системи завдяки розвитку розподіленої генерації та управлінню попитом. Ідеться про прискорене впровадження когенераційних установок у містах і громадах, зведення газопоршневих і газотурбінних станцій малої й середньої потужності, інтеграцію фотоелектричних електростанцій із системами збереження енергії, створення цифрових мікромереж у промислових і муніципальних системах. Варто дотримуватися єдиних вимог приєднання таких об'єктів до мереж, щоб уникнути додаткових навантажень на операторів систем передачі та розподілу. При цьому розподілена генерація має розглядатися не як додатковий ресурс, а структурний елемент гарантування енергетичної безпеки. Має бути запроваджена повноцінна система управління попитом (demand response), яка передбачає обов'язкову участь великих споживачів у програмах зменшення або перенесення пікового навантаження. Для цього потрібні економічні стимули, цифрові платформи управління споживанням і регуляторні механізми, що дозволять швидко активувати обмеження у кризовій ситуації. Особливу увагу варто приділити адаптації енергоємних підприємств до змінених умов роботи, зокрема переходу на нічні графіки, використання власної генерації, комбінованих режимів енергоспоживання.

Третім блоком є забезпечення паливної безпеки, насамперед газового балансу, оскільки дефіцит цього ресурсу в зимовий період здатний суттєво обмежити маневрові можливості теплової генерації. Варто сформувати постійно підтримуваний страховий запас газу в обсязі не менше 3 млрд куб. м, забезпечити диверсифікацію імпорту, а також визначити пріоритетність використання газу для теплоелектроцентралей, критичної інфраструктури та населення. Додатково потрібно забезпечити технічну готовність ТЕС і ТЕЦ до роботи на резервному паливі там, де це можливо, зокрема в dual-

fuel режимі. Необхідно гарантувати автономне (не лише резервне) живлення для об'єктів критичної інфраструктури, зокрема лікарень, систем зв'язку, водо- й теплопостачання, транспортних вузлів, шляхом створення енергетичних систем на основі генераторів, накопичувачів енергії та локальних мікромереж. У великих містах доцільним є формування «енергетичних сот» – автономних кластерів, які можуть забезпечувати роботу критичних об'єктів навіть у разі часткової втрати централізованого електропостачання. Це дозволить зменшити соціальні ризики в разі масштабних аварій. У цьому плані важливим є вдосконалення протоколів взаємодії між операторами систем передачі й розподілу та власниками енергетичних установок. Доцільно створити регіональні центри технічної підтримки громад з питань розвитку локальної генерації та енергетичного менеджменту, сформувати мобільні інженерні групи для супроводу реалізації проєктів енергетичної стійкості й забезпечити координацію між громадами у проведенні спільних закупівель обладнання та обміні технічними рішеннями.

Потрібно замінити всі діючі в енергетичній сфері консультативно-дорадчі органи об'єднаним енергетичним штабом, що має функціонувати, застосовуючи динамічне сценарне управління, і мати можливість оперативно запроваджувати режими обмеження та відновлення споживання залежно від поточної ситуації. Робота такого штабу має спиратися на систему раннього попередження з чітко визначеними індикаторами переходу між нормальним, обмеженим і кризовим режимами функціонування енергетичної системи.

Важливою складовою при цьому є забезпечення належної комунікації з населенням і бізнесом. Прозорість графіків вимкнень, зрозумілі правила їхнього застосування та передбачуваність рішень є критично важливими для запобігання панічним реакціям і загостренню соціальної напруги.

Висновки. Функціонування енергетичного сектору України в умовах війни підтвердило критичну уразливість моделі енергозабезпечення, заснованої на високій концентрації потужності та централізованому управлінні енергетичними потоками. Масовані атаки на об'єкти генерації та мережеву інфраструктуру продемонстрували необхідність переходу до нової архітектури енергетичної системи, побудованої на принципах стійкості, гнучкості та децентралізації.

Розвиток розподіленої генерації має розглядатися не лише як інструмент підвищення енергетичної ефективності, а як складова національної без-

пеки. Формування мережі локальної потужності, здатної функціонувати не в централізованому та ізольованому режимах, створює додаткові можливості для гарантування життєдіяльності та функціонування критичної інфраструктури в умовах воєнних загроз.

Подальша трансформація енергетичного сектору потребує збалансованого поєднання централізованих і розподілених джерел. Розвиток локальних енергетичних комплексів не має супроводжуватися порушенням принципів технологічної цілісності Об'єднаної енергетичної системи України, погіршенням її надійності або керованості.

За збереження воєнних ризиків особливого значення набуває створення багаторівневої системи резервування енергопостачання об'єктів критичної інфраструктури. Така система має передбачати поєднання мережевого резервування, автономних джерел живлення, установок зберігання енергії та локальної генерації.

Визначальним фактором успішності енергетичної трансформації залишатиметься здатність держави забезпечити належні монетарні механізми підтримки громад і приватних інвесторів. За відсутності доступних джерел фінансування темпи розвитку розподіленої генерації можуть виявитися

недостатніми для компенсації ризиків, пов'язаних із руйнуванням великих енергетичних об'єктів.

Важливою умовою гарантування енергетичної стійкості є прискорення цифрової трансформації енергетичного сектору. Впровадження сучасних систем енергетичного менеджменту, автоматизованого обліку та дистанційного управління мережами дозволить підвищити ефективність використання ресурсів, забезпечити балансування попиту й пропонування та скоротити час реагування на кризові ситуації.

Інтеграція української енергосистеми до європейського енергетичного простору має розглядатися як один із ключових чинників зміцнення енергетичної безпеки. Поглиблення співпраці з ЄС створює додаткові механізми протидії зовнішнім загрозам.

Сучасні виклики вимагають розглядати енергетичну стійкість як невід'ємну складову національної безпеки держави. Тому планування розвитку енергетичного сектору має здійснюватися з урахуванням не лише економічних показників, але й безпекових критеріїв, включаючи захищеність інфраструктури, резервування потужності генерації, передачі й розподілу та спроможність системи функціонувати в умовах тривалих негативних впливів.

Список літератури:

1. Енергетична безпека України: перспективна модель управління ризиками : монографія / [О. М. Суходоля, Ю. М. Харазішвілі, Г. Л. Рябцев] ; за ред. О. М. Суходолі. Київ : НІСД, 2023. 152 с. DOI: <https://doi.org/10.53679/NISS-book.2023.01>
2. Рябцев Г. Л. Забезпечення енергетичної безпеки держави під час дії воєнного стану і в повоєнній Україні. *Турбулентність глобальних геополітичних процесів і проблеми національної безпеки* : монографія / [О. М. Кириленко, М. А. Козловець, Г. Л. Рябцев та ін.] ; Аналіт. центр сучас. гуманітаристики. Харків : Право, 2025. С. 228–244. DOI: <https://doi.org/10.31359/9786178518905>
3. Лісовий А. Теоретико-методологічні підходи до визначення рівня енергетичної безпеки України. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Економічні науки*. 2024. Т. 328, № 2. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2024-328-26>
4. Лісовий А., Андрух О. Енергетична безпека України: виклики війни та перспективи відновлення економічного потенціалу. *Український економічний часопис*. 2025. № 8. С. 40–43. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-8273/2025-8-7>
5. Лісовий А. Енергетична безпека України: другий рік війни. *Modeling the Development of the Economic Systems*. 2024. № 1. С. 124–129 DOI: <https://doi.org/10.31891/mdes/2024-11-17>
6. Фролов І. В. Аналіз поточного стану енергосистеми та стратегії розвитку розосередженої генерації в Україні. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. 2024. Вип. 67. С. 48–53. DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2024.67.048>
7. Бобров Є. Енергетична стійкість як складова економічної безпеки України: можливості розподіленої генерації в умовах війни. *Вчені записки Університету «КРОК»*. 2026. № 1 (81). С. 15–30. DOI: <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2026-81-15-30>
8. Бондаренко Є. Енергетична безпека як чинник національної стійкості: європейський та міжнародний правовий контекст. *Аналітично-порівняльне правознавство*. 2025. № 2. С. 1142–1147. DOI: <https://doi.org/10.24144/2788-6018.2025.02.171>
9. Куриленко О. Трансформація енергосистеми незалежної України: від атомної домінанти до гібридної моделі. *Науковий вісник Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Серія: Економіка*. 2025. № 3. С. 40–45. DOI: <https://doi.org/10.32782/ecovis/2025-3-6>

10. High-Resolution Rooftop-PV Potential Assessment for a Resilient Energy System in Ukraine / C. Winkler, K. Dabrock, S. Kapustyan et al. *Energy Conversion and Management*. 2025. T. X, vol. 28. P. 101242. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.101242>

11. Energy Security and Resilience: Reviewing Concepts and Advancing Planning Perspectives for Transforming Integrated Energy Systems / R. Schmitz, F. Flachsbarth, L. S. Plaga et al. *Energy Policy*. 2025. Vol. 207. P. 114796. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2025.114796>

Riabtsev G. L. UKRAINE'S ENERGY RESILIENCE IN THE CONTEXT OF WAR: LESSONS AND PRIORITIES FOR ENERGY SYSTEM TRANSFORMATION

The article provides a comprehensive analysis of Russia's full-scale military aggression's impact on Ukraine's energy sector and identifies key directions for transforming the national energy system under conditions of persistent military threats and post-war recovery. It demonstrates that the inherited, decades-old centralized model of energy supply has revealed critical vulnerabilities when subjected to targeted attacks on generation facilities and transmission infrastructure. The study argues for a systemic transition toward decentralized, multi-level energy architecture that combines large-scale generation, distributed energy resources, and energy storage systems. The research synthesizes contemporary academic approaches to energy security and energy resilience, emphasizing the increasing importance of distributed generation, cybersecurity, digitalization, and integration into the European energy space. It highlights a conceptual shift in the understanding of energy security – from ensuring a sufficient energy supply to ensuring the operational resilience of energy systems under hybrid threats, including military, cyber, and technological disruptions. The article develops a scenario-based framework for assessing the future evolution of Ukraine's energy system under wartime conditions, distinguishing optimistic, baseline, and crisis scenarios. Across all scenarios, the most critical vulnerabilities are associated with high-voltage transmission networks and system-wide balancing constraints. Special attention is given to the role of gas infrastructure as a strategic flexibility resource, particularly in supporting fast-deployable generation capacities such as gas piston and gas turbine plants. The paper also emphasizes the growing importance of energy storage systems as a key enabling technology for grid stability, frequency regulation, and the formation of autonomous energy clusters. In addition, demand-side management is identified as a crucial mechanism for reducing peak load pressures and improving system resilience. The institutional and regulatory dimensions of energy transformation are examined, with particular focus on streamlining permitting procedures, strengthening stakeholder coordination, and ensuring transparent mechanisms for public-private partnerships. The paper highlights that financial constraints remain a major barrier to scaling distributed generation and therefore proposes enhanced roles for international financial institutions, revolving energy resilience funds, and innovative business models such as Energy-as-a-Service. Human capital development is identified as a critical prerequisite for successful energy transition, requiring the establishment of regional competence centres, accelerated training programs, and systematic workforce reskilling in engineering, energy management, and digital system operations. The study underscores the need to combine cyber resilience with the physical protection of key nodes in transmission and distribution networks. The article further explores the strategic role of Ukraine's gas storage infrastructure in enhancing regional energy security and strengthening the country's position within the European energy market. It also examines the benefits of synchronization with the continental European grid (ENTSO-E), which has already demonstrated its importance for emergency support and system stability. Finally, the paper proposes a set of policy recommendations aimed at strengthening energy system resilience, including accelerated development of distributed generation, deployment of energy storage systems, implementation of demand response programs, reinforcement of high-voltage infrastructure protection, creation of emergency energy reserves, and deepened integration into the European energy market.

Keywords: energy security, energy resilience, public policy, policy making, policy analysis, strategic management, neutralization of security threats, change and risk management.

Дата першого надходження статті до видання: 29.06.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.07.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 12.08.2026