



DOI 10.58423/2786-6742/2025-8-164-183

УДК 338.3: [621.31+347.43: 330.15]

### **Вікторія МИКИТЕНКО**

доктор економічних наук, професор,  
головний науковий співробітник,  
Інститут демографії та проблем якості життя НАН України,  
м. Київ, Україна

ORCID ID: [0000-0002-8212-9777](https://orcid.org/0000-0002-8212-9777)

Scopus Author ID: [55907299400](https://orcid.org/55907299400)

e-mail: [vmikitenko@ukr.net](mailto:vmikitenko@ukr.net)

(Corresponding author)

### **Маргарита ЧУПРИНА**

кандидат економічних наук, доцент,  
доцент кафедри менеджменту підприємств  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
м. Київ, Україна

ORCID ID: [0000-0002-3276-4473](https://orcid.org/0000-0002-3276-4473)

Scopus Author ID: [57214991800](https://orcid.org/57214991800)

## **ФОРМАЛІЗАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СОЦІО-ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ: МЕТОДОЛОГІЯ ТА ЕТАПИ ПОБУДОВИ**

**Анотація.** Розроблено інтегровану математичну модель соціо-еколого-економічної відповідальності у сфері розподіленої генерації, яка враховує комплекс ключових факторів впливу, включаючи екологічний вплив, економічний внесок у розвиток національної енергосистеми, соціальну взаємодію, нормативно-правову відповідність, рівень моніторингу та прозорості з передбаченням її адаптації до специфічних умов функціонування при суттєвій залежності від стаціонарних джерел у кризових ситуаціях. У рамках моделі, враховано різну природу ризиків і загроз, зокрема руйнування інфраструктури, залежність від централізованих джерел енергії та витрат на відновлення, що виникають внаслідок військової агресії РФ. Використання модельного вирішення дозволяє не лише оцінити виміри соціо-еколого-економічної відповідальності у стандартних умовах, але й забезпечити сценарне планування та стратегічне управління в умовах військових дій і повоєнного відновлення, а також виконувати процедури стратегування розвитку розподіленої генерації у критичних умовах. Науково обґрунтовано і деталізовано послідовність реалізації семи етапів розроблення і коригування моделі соціо-еколого-економічної відповідальності у сфері розподіленої генерації в умовах воєнного часу та повоєнного періоду, особливістю запропонованого підходу є його багаторівнева структура, яка включає: а) визначення ключових параметрів відповідальності; б) врахування ризиків і загроз воєнного часу (зокрема, руйнувань інфраструктури, економічних втрат і соціальних наслідків); в) сценарне планування процесів відновлення системи у повоєнному періоді. Кожен етап розробки модельного рішення, представлений із описом використовуваних економіко-статистичних методів і економетричних процедур, спрямований на поетапну адаптацію



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

енергосистеми розподіленої генерації до криз, забезпечення її стійкості у воєнний час та підготовку до виконання завдань із післявоєнного відновлення. Зазначене дозволяє об'єктивно оцінювати діяльність розподіленої генерації, планувати та визначати послідовність реалізації стратегії її розвитку у складних умовах зі синхронним урахуванням широкого спектру найбільш впливових факторів.

**Ключові слова:** соціо-еколого-економічна відповідальність, енергосистеми, розподілена генерація, етапи розроблення математичної моделі, воєнний та повоєнний період відбудови.

**JEL Classification:** A13, C62, M14, Q43, L94, R13

**Absztrakt.** Kifejlesztésre került egy integrált matematikai modell a szocio-ökológiai-gazdasági felelősség értékelésére az elosztott energiatermelés területén, amely figyelembe veszi a hatást gyakorló kulcsfontosságú tényezők komplexumát, beleértve az ökológiai hatást, a nemzeti energiarendszer fejlesztéséhez való gazdasági hozzájárulást, a társadalmi együttműködést, a jogszabályi megfelelést, a monitoring szintjét és az átláthatóságot, valamint a modell adaptációját a működés specifikus körülményeihez, különös tekintettel a stacionárius energiaforrásoktól való jelentős függőségre válsághelyzetekben. A modell különböző természetű kockázatokat és fenyegetéseket is figyelembe vesz, így az infrastruktúra pusztulását, a központosított energiaforrásoktól való függést és az újjáépítési költségeket, amelyek az Orosz Föderáció katonai agressziójából erednek. A modell alkalmazása lehetővé teszi nemcsak a szocio-ökológiai-gazdasági felelősség dimenzióinak értékelését normál körülmények között, hanem a hadviselés és a háború utáni újjáépítés körülményei közötti forgatókönyv-alapú tervezést és stratégiai irányítást is. Tudományosan megalapozott módon kerül bemutatásra a modell kifejlesztésének és korrekciójának hét lépésből álló szekvenciája háborús és posztháborús időszakban. A javasolt megközelítés egyik különlegessége a többszintű szerkezete, amely magában foglalja: a) a felelősségi kulcsparaméterek meghatározását; b) a háborús kockázatok és fenyegetések figyelembevételét (különösen az infrastruktúra pusztulása, gazdasági veszteségek és társadalmi következmények tekintetében); c) a rendszer helyreállításának forgatókönyv-alapú tervezését a háború utáni időszakban. Az egyes szakaszok részletes leírását tartalmazó modellgazdasági megoldások a statisztikai és ökonometriai módszerek alkalmazására épülnek, céljuk az elosztott energiatermelési rendszer lépcsőzetes alkalmazkodása válsághelyzetekhez, annak ellenálló képességének biztosítása háborús körülmények között, valamint a posztháborús helyreállításra való felkészülés. Mindez objektív értékelést tesz lehetővé az elosztott energiatermelés tevékenységéről, és támogatja annak fejlődési stratégiájának megtervezését és végrehajtási sorrendjének meghatározását bonyolult körülmények között, a legnagyobb hatással bíró tényezők széles körének szinkron figyelembevételével.

**Kulcsszavak:** szocio-ökológiai-gazdasági felelősség, energiarendszerek, elosztott energiatermelés, matematikai modellfejlesztés szakaszai, háborús és posztháborús újjáépítés.

**Abstract.** An integrated mathematical model of socio-ecological-economic responsibility in the field of distributed generation has been developed, which takes into account a complex of key influencing factors, including environmental impact, economic contribution to the development of the national energy system, social interaction, regulatory and legal compliance, the level of monitoring and transparency, with the provision of its adaptation to specific conditions of functioning with significant dependence on stationary sources in crisis situations. Within the framework of the model, the various nature of risks and threats are taken into account, in particular the destruction of infrastructure, dependence on centralized sources of energy and costs of restoration arising as a result of military aggression of the Russian Federation. The use of a model solution allows not only to evaluate the dimensions of socio-ecological and economic responsibility in standard conditions, but also to provide scenario planning and strategic management in the conditions of military operations and post-war reconstruction, as well as to carry out strategizing procedures for the development of distributed generation in critical conditions. The sequence of implementation of seven stages of development and adjustment of the socio-ecological-economic responsibility model in the field of distributed generation in the wartime and post-war period is scientifically substantiated and detailed. The feature of the

*proposed approach is its multi-level structure, which includes: a) definition of key parameters of responsibility; b) taking into account risks and threats of wartime (in particular, destruction of infrastructure, economic losses and social consequences); c) scenario planning of system restoration processes in the post-war period. Each stage of the development of the model solution, presented with a description of the economic and statistical methods and econometric procedures used, is aimed at the step-by-step adaptation of the distributed generation power system to crises, ensuring its stability in wartime, and preparing for the tasks of post-war reconstruction. This allows you to objectively assess the activity of distributed generation, plan and determine the sequence of implementation of its development strategy in difficult conditions with simultaneous consideration of a wide range of the most influential factors.*

**Keywords:** *socio-ecological-economic responsibility, energy systems, distributed generation, stages of developing a mathematical model, war and post-war period of reconstruction.*

**Постановка проблеми.** В умовах військово-економічної та енергетичної кризи Україна стикається з потребою організації реконструктивного просторового розвитку господарської системи за пріоритетом трансформації енергетичного сектору, зокрема за рахунок розбудови і реалізації проєктів енергосистем із елементами розподіленої генерації (РГ). Забезпечення стійкості функціонування національної енергосистеми безпосередньо пов'язане із розробленням нових моделей управління соціо-еколого-енергетичною відповідальністю (СЕЕВ), впровадженням соціо-екологічних інновацій та інклюзивних бізнес-екосистемних вирішень [1], враховуючи не лише економічні, технологічні й енергетичні, а й екологічні, інформаційні та соціальні аспекти сталого господарювання (СГ). Відмова від врахування бізнес-екосистемних підходів до СГ при розбудові сучасної структурно-функціональної основи енергетичного сектору держави та не розробленість суспільно-економічної системи, яка б базувалася на ненасильницькому залученні ресурсів, активів і трудового потенціалу інших суб'єктів (або країн чи державних утворень) [2] із метою досягнення стійкості, резилієнтності та просторового розвитку – суттєво гальмують процес реконструктивного відновлення України. Тому, постає потреба у системно-комплексному інноваційному підході до моделювання СЕЕВ суб'єктів управління РГ задля забезпечення сталого розвитку (СР) просторових утворень і СГ енергосистем в ресурсних обмеженнях при нарощенні загроз і ризиків стабільному функціонуванню національного господарства у воєнному та повоєнному періодах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Маємо визнати, що теоретичним, методологічним і науково-прикладним багатогранним аспектам управління соціо-еколого-енергетичною відповідальністю (СЕЕВ) у контексті забезпечення сталого розвитку і господарювання галузей, виробництв та просторових утворень присвячені праці багатьох вітчизняних та іноземних вчених. Дослідженню вищезгаданих проблем в останні десятиліття надається все більшої уваги, причому в різних ракурсах [1-10]: соціально-екологічної відповідальності у контексті забезпечення сталого господарювання та просторової реконструкції господарських систем, що знаходить своє відображення у працях: О.М. Алімова,



І.К. Бистрякова, Б.Г. Брінцевої, О.А. Грішнєвої, І.В. Драган, Д.В. Клинового, Н.В. Коржунової; енерго-економічного спрямування: О.І. Амоші, О.О. Амоші, Д.Ю. Череватського; корпоративного й соціально-економічного спрямування: О.О. Карпенко, Д.Л. Свонсона, В.В. Храпкіної та інших.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Віддаючи належне теоретичній і практичній цінності попередніх наукових розробок, визнаємо: у кризових умовах під час воєнної агресії РФ або ж на етапі повоєнного відновлення надактуальним науково-прикладним завданням – є побудова нових моделей соціо-еколого-економічної відповідальності суб'єктів управління РГ та виконання процедур зі стратегування розвитку національної енергосистеми у критичних умовах її функціонування.

**Формулювання цілей статті** (постановка завдання). Метою дослідження є розроблення інтегрованої математичної моделі соціо-еколого-економічної відповідальності у сфері розподіленої генерації, яка враховує комплекс ключових факторів впливу, ризиків і загроз сталому господарюванню задля забезпечення ефективності управління розвитком національних енергосистем у кризових ситуаціях.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Дослідниками визнано і підтверджено [11,12], що моделювання СЕЕВ суб'єктів управління РГ – є нагальним завданням, яке маємо розв'язати із урахуванням декількох важливих причин та вагомості впливу факторів різної природи на ефективність функціонування національних енергосистем.

По-перше – це необхідність забезпечення СР та екологічної безпеки. РГ - є ключовим елементом переходу країни до екологічно стійкої енергетики, проте енергосистеми РГ можуть мати різної вагомості вплив на навколишнє природне середовище (НПС) залежно від типу використовуваних технологій, масштабів впровадження і локальних умов. Процедури моделювання дозволяють ідентифікувати й оцінити екологічні наслідки за різних сценаріїв введення проєктів РГ, передбачити можливі ризики для довкілля та знизити негативний вплив на екосистеми. Завдяки моделюванню суб'єкти управління РГ можуть оптимізувати процеси впровадження технологій задля мінімізації обсягів викидів у НПС та вирішення інших екологічних проблем, що, відповідно, сприятиме досягненню цілей зниження вуглецевого сліду та відповідності міжнародним екологічним стандартам.

По-друге – визначення ефективності РГ та оптимізації й раціоналізації використання інвестицій у розбудову та розвиток розподільчих енергосистем. РГ - вимагає значних обсягів інвестицій у нові технології та інфраструктуру, тож, економічний внесок суб'єктів господарювання має забезпечувати створення нових робочих місць, підвищення рівня доходів регіонів і загальний економічний розвиток держави. Моделювання економічних наслідків як для РГ, так і просторових утворень, допомагає оптимізувати витрати та забезпечити ефективне використання різних за природою ресурсів, що, відповідно, дозволяє суб'єктам управління РГ оцінити вигоди від інвестицій та прогнозувати економічні ефекти у різних сценаріях розвитку національної господарської системи, зокрема, і у

контексті цілеорієнтованого розвитку й господарювання локальної економіки.

По-третє – підвищення рівня СЕЕВ та ущільнення взаємодії з громадськістю. Маємо признати, що РГ, зазвичай, позитивно впливає на розвиток місцевих громад, змінюючи їхні умови життя, економічну активність та екологічне оточення. Залучення громад до процесу прийняття рішень та забезпечення їхнього інтересу – є ключовим для уникнення соціальних конфліктів. З цього, визнаємо: моделювання СЕЕВ дозволяє спрогнозувати, як терміни введення нових проєктів із РГ, так їхній вплив на соціальні групи, а також дозволяє оцінити рівень задоволення громадськості. Зазначене дозволить і дасть можливість вчасно виявляти потенційні соціальні ризики та адаптувати стратегії управління енергозабезпеченням із метою повного врахування інтересів місцевих громад при підвищенні якості життя населення територій.

По-четверте – необхідність забезпечення нормативно-правової відповідності та прозорості введення господарювання. Енергетичний сектор – є одним із найбільш регульованих видів економічної діяльності, що вимагає постійного дотримання нормативних вимог, а недотримання національного законодавства призводить до санкцій або призупинення діяльності. Моделювання допомагає суб'єктам управління передбачати зміни у нормативній базі та відповідати вимогам регуляторів, що забезпечує підзвітність перед громадськістю й інвесторами через прозорість процесів.

По-п'яте – нагальність підвищення рівня надійності та стабільності енергосистеми. РГ може бути менш стабільною, у порівнянні з традиційними централізованими системами, через залежність від відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Її нестабільність призводить до ризиків для функціонування національної енергосистеми. Моделювання допомагає оцінювати ризики незбалансованості та планувати залучення механізмів компенсації за допомогою стаціонарних джерел або ж додаткових систем енерго-зберігання, що покращить надійність та зменшить залежність від зовнішніх факторів.

По-шосте – обов'язковість оптимізації й ущільнення взаємодії РГ із іншими учасниками енергетичного ринку. Адже, РГ є частиною складної національної енергосистеми, де задіяні різні учасники: регулятори, інвестори, корпорації, громадські організації, стейкхолдери, тощо. Ефективна взаємодія між ними впливає на загальний успіх проєктів – тож, моделювання дозволяє врахувати інтереси всіх зацікавлених сторін, сприяючи покращенню комунікації та координації дій між учасниками ринку, що допомагає досягти узгодженості й ефективності такого співробітництва.

По-сьоме – прогнозування ризиків і планування стратегії розвитку. Енергетичний сектор є надчутливим до технологічних змін, регуляторних новацій, соціальних і екологічних викликів. Тож, для забезпечення стійкості проєктів у довгостроковій перспективі необхідним є ефективне прогнозування ризиків. І цьому зараджує саме моделювання, дозволяючи ідентифікувати потенційні ризики, пов'язані з технічними, економічними чи екологічними факторами, у контексті розробки стратегічних планів задля їх мінімізації (робить суб'єктів управління більш адаптивними до змін).

З огляду на приведенне, маємо передбачити розроблення математичної моделі, яка б об'єктивно описувала СЕЕВ суб'єктів управління РГ через сукупність ключових факторів її формування, які впливають на екологічну, економічну та соціальну площини у будь-яких умовах функціонування енергосистем. Тож, репрезентуємо деталізоване математичне представлення декількох моделей із використанням математичних символів і поясненнями до формату їх ключових компонентів – математичне представлення модельного рішення СЕЕВ у сфері РГ за виглядом формули (1) базується на:

SR - позначає загальний рівень соціальної СЕЕВ: відображає загальний показник СЕЕВ суб'єкта управління або компанії у сфері розподіленої генерації. Це інтегральний показник, який залежить від декількох основних факторів, зокрема екологічного впливу, економічного внеску та соціальної взаємодії;

E<sub>e</sub> - екологічний вплив: включає показники негативного впливу на НПС, такі як викиди вуглекислого газу, забруднення, використання природних ресурсів та інші екологічні аспекти. Чим менше значення показника екологічного навантаження, тим вищий рівень СЕЕВ. Внесок цього фактору обернено пропорційний, оскільки менший вплив на НПС підвищує виміри СЕЕВ. Параметри, які враховано у модельному вирішенні: обсяги викидів парникових газів, викиди забруднюючих речовин, зниження біорізноманіття, використання енергії з ВДЕ, тощо;

E<sub>f</sub> - економічна ефективність: враховує показники, які характеризують вплив на розвиток місцевої економіки (створення робочих місць, інвестиції у інфраструктуру, підтримка малого і середнього бізнесу). Чим більшим є кількісне значення – тим вищий рівень СЕЕВ. Параметри, які використано у моделі: кількість створених робочих місць, обсяг інвестицій у регіон, економічний розвиток місцевих громад, тощо;

S<sub>s</sub> - соціальна взаємодія: використано показники взаємодії з місцевими громадами, їх задоволеність результатами проєктів РГ і участь громад у їх плануванні та реалізації, мінімізація соціальних конфліктів, тощо. Активна взаємодія з громадкістю просторових утворень підвищує рівень СЕЕВ. Використані параметри: задоволеність місцевих жителів, залучення громад до прийняття рішень, вплив проєктів РГ на місцеві громади, тощо;

A<sub>r</sub> - нормативно-правова відповідність: за цим показником оцінюємо, наскільки діяльність суб'єктів господарювання РГ відповідає чинним законодавчим вимогам і нормативно-правовим стандартам. Зазначене включає дотримання екологічних норм, стандартів безпеки, енергетичних регламентів, міжнародних і національних правових актів (які регулюють діяльність у сфері енергетики та охорони НПС). Виміри нормативно-правової відповідності характеризують законність діяльності компаній і мінімізують ризики конфліктів, штрафів або зупинок виробництва через порушення нормативних вимог. Дотримання правил створює прозору і надійну систему управління РГ, що сприяє стабільності її функціонування (суб'єкти, які відповідають стандартам мають вищий рівень СЕЕВ). Використано показники: дотримання екологічних стандартів (викиди, утилізація відходів) та норм безпеки праці і захисту прав

працівників; виконання регуляторних вимог енергетичного сектору (ліцензії, сертифікація). Виміри нормативно-правової відповідності є важливими для забезпечення легітимності дій суб'єктів у сфері енергетики, адже їх недотримання призводить до санкцій або припинення діяльності;

$M_t$  - рівень моніторингу та прозорості: значення цього показника відтворює виміри відкритості діяльності суб'єктів господарювання, їхню здатність проводити якісний моніторинг і надавати прозору звітність про свої результати. Моніторинг передбачає постійне відстеження екологічних, економічних та соціальних показників у режимі реального часу або на регулярній основі, тоді як прозорість відображає готовність компаній РГ звітувати про свої дії перед громадськістю, інвесторами та державними органами. Прозорість і якісний моніторинг є ключовими елементами довіри з боку громадськості та інвесторів, що дозволяє запобігати порушенням, швидко виявляти проблеми і коригувати їх. Високий рівень моніторингу та звітності мінімізує корупційні ризики й підвищує ефективність управління РГ. Показники, які використовуються для розрахунків, це, зокрема: чіткість та повнота звітності (фінансової, екологічної, соціальної); відкритість до громадських обговорень та участь громадськості у прийнятті рішень; наявність інструментів моніторингу, таких як системи збору та аналізу даних у реальному часі (смарт-мережі, автоматизовані системи контролю); публікація екологічних та соціальних звітів (зокрема, на відповідність стандартам GRI або ж ESG). Обчислення вимірів моніторингу та прозорості гарантує і свідчить про те, що всі процеси відбуваються відкрито (сприяє підвищенню довіри до компаній та проектів із РГ), що є важливим для забезпечення підзвітності і своєчасної реакції на проблеми або порушення. Вища прозорість і ефективний моніторинг підвищують, відповідно, і рівень СЕЕВ.

З цього, модель СЕЕВ можна формалізувати за виглядом формули (1):

$$SR = (w_1 \times \frac{1}{E_e}) + (w_2 \times E_f) + (w_3 \times C_s) + (w_4 \times A_r) + (w_5 \times M_t) \quad (1)$$

Де,  $w_1, w_2, w_3, w_4, w_5$  – вагові коефіцієнти, які відображають й відтворюють відносну важливість кожного компонента у контексті забезпечення СЕЕВ у сфері РГ.

Засвідчимо, що метою модельного рішення (формула 1) – є оптимізація вимірів РГ при максимізації рівня СЕЕВ (SR). Для досягнення і вирішення завдання необхідним, з огляду на модель, мінімізувати екологічний вплив ( $E_e$ ), підвищуючи економічний внесок ( $E_f$ ), соціальну взаємодію ( $C_s$ ), нормативно-правову відповідність ( $A_r$ ) та відкритість й безперервність проведення моніторингу ( $M_t$ ) ключових показників. Ця модель допомагає кількісно оцінювати вагомість впливу кожного чинника на загальний рівень СЕЕВ, що й дозволяє оптимізувати управлінські рішення у сфері РГ для її СР та СГ.

У разі, якщо вагові коефіцієнти будуть дорівнювати «1», тобто,  $w_1 = w_2 = w_3 = w_4 = w_5 = 1$ , то модельне вирішення (формула 1) набуватиме вигляду (формула 2):

$$SR = (\frac{1}{E_e} + E_f) + (C_s + A_r + M_t) \quad (2)$$

Проте, маємо передбачити й доцільність побудови моделі за математичним

форматом СЕЕВ РГ із урахуванням такого аспекту: суб'єкти господарювання РГ мають потенційну залежність (у площині забезпечення стабільного функціонування) від стаціонарних джерел генерації (у випадку незбалансованості функціонування РГ або ж певних технічних порушень, фізичних руйнувань та ін.). Зазначена модель може бути представлена через сукупність основних параметрів і додаткових факторів, які описують взаємодію між РГ і стаціонарними джерелами генерування енергії. Тож, основними параметрами при моделюванні визнано наступні: 1) загальний рівень СЕЕВ (SR) – як загальний інтегральний показник, що відображає відповідальність певного суб'єкта управління у розподіленій генерації; 2) екологічний вплив ( $E_e$ ) – показник вагомості негативного впливу на довкілля, включаючи викиди  $\text{CO}_2$  та інші забруднення; 3) економічний внесок ( $E_f$ ) – значення показника економічної активності, що включає інвестиції, створення робочих місць і підтримку місцевої економіки; 4) соціальна взаємодія ( $C_s$ ) – виміри задоволеності місцевої громади та рівень взаємодії з нею у контексті вирішення соціо-еколого-економічних проблем; 5) нормативно-правова відповідність ( $A_r$ ) – виміри й параметри дотримання вимог законодавства та стандартів; 6) моніторинг та прозорість ( $M_t$ ) – показник вимірів безперервної звітності та участі громадськості. При цьому, інкорпоровали до моделі й додатковий параметр для оцінки резервних потужностей – тобто, виміри залежності від стаціонарних джерел ( $D_s$ ) в якості показника, що відображає частку генерації, яку енергосистема РГ бере у резервних стаціонарних джерел при незбалансованості або імовірних технічних порушеннях. Зазначимо, що формалізація моделі задля відображення залежності РГ від стаціонарних джерел у випадку певного виду незбалансованості за введеним параметром  $D_s$  дозволяє також модифікувати її соціо-екологічний вплив і економічний внесок, оскільки стаціонарні джерела, зазвичай, мають більший еко-деструктивний вплив на НПС території, але, відповідно, вищу економічну стабільність функціонування.

З цього, модель СЕЕВ може бути репрезентована за форматом формули вигляду (3):

$$SR = (w_1 \times \frac{1}{E_e + \alpha D_s}) + [w_2 \times E_f \times (1 - \beta D_s)] + (w_3 \times C_s) + (w_4 \times A_r) + (w_5 \times M_t) \quad (3)$$

Де, -  $E_e + \alpha D_s$  - показник вагомості екологічного впливу на НПС, модифікований у разі виникнення залежності РГ від стаціонарних джерел. Коефіцієнт « $\alpha$ » враховує й відтворює збільшення екологічного навантаження на НПС від стаціонарних джерел (наприклад, збільшення викидів парникових газів чи пилю, тощо);

-  $E_f \times (1 - \beta D_s)$  – вагомість економічного внеску РГ, модифікований із урахуванням її потенційної залежності від стаціонарних джерел. Коефіцієнт « $\beta$ » відображає зниження економічної ефективності функціонування РГ у випадку збільшення її залежності від стаціонарних джерел (наприклад, збільшення витрат на паливо при нарощенні залежності від стаціонарних джерел або ж зменшення локального економічного внеску, тощо);

- " $w_3 \times C_s$ "; " $w_4 \times A_r$ "; " $w_5 \times M_t$ " – ці параметри залишаються без змін

(відповідно, вигляду, приведеного за формулою (1)). Але їхнє значення, само собою, також буде залежати від того – як часто енергосистема РГ переходитиме до інкорпорації й звертатиметься до використання стаціонарних джерел.

Примітка, якщо " $D_s$ ":

1) наближається до «0», це свідчить про те, що енергосистема РГ працює стабільно і не залежить від стаціонарних джерел, що знижує виміри екологічного навантаження на НПС та підвищує рівні економічної ефективності функціонування енергосистеми РГ;

2) поступово зростає – це свідчить про те, що енергосистема РГ все частіше звертається до резервних потужностей стаціонарних джерел, що обумовлює збільшення негативного екологічного впливу на НПС і зниження локальних економічних вигід.

Моделльне вирішення вигляду (формула 3) – враховує можливість мінімізації залежності енергосистем РГ від стаціонарних джерел " $D_s$ " та перспективи кількісної максимізації загального рівня СЕЕВ (" $SR$ ") шляхом зменшення вагомості деструктивного екологічного впливу (" $E_e$ ") на НПС і підвищення економічної ефективності " $E_f$ ". Пропонована модель (див., модель вигляду (формула 3)) дозволяє кількісно оцінювати вагомість впливу залежності енергосистем із елементами РГ від резервних стаціонарних джерел на загальну СЕЕВ у сфері РГ. Відповідно, запропонована модель може використовуватися суб'єктами задля прийняття рішень при оптимізації процесів за проєктами РГ у різних сценаріях енергозабезпечення регіонів і просторових утворень.

Зазначимо, що моделювання СЕЕВ у РГ є невідкладним завданням, ініціюючи можливість: а) стратегування у контексті забезпечення СР і СГ; б) оптимізації економічних та екологічних процесів; в) мінімізації ризиків у внутрішньому середовищі функціонування РГ і покращення взаємодії з місцевими громадами. Зазначене дозволить суб'єктам управління не лише адекватно відповідати сучасним викликам, але й підвищувати конкурентоспроможність і стійкість енергосистем РГ у довгостроковій перспективі. У контексті приведеного, маємо обґрунтувати й розробити модельне рішення СЕЕВ із метою врахування загроз і ризиків, пов'язаних із руйнуваннями та знищенням національних енергосистем через масштабну агресію РФ проти України. Тому, до пропонованої математичної моделі СЕЕВ (див., формула вигляду (3)) – рекомендуємо інкорпорувати кілька нових параметрів, які відображатимуть вплив загрозливих факторів на енергосистему РГ. Зазначене дозволить змоделювати стійкість системи РГ до зовнішніх кризових умов, включаючи військові дії, та визначати, як ці потенційно-факторні детермінанти впливають на соціальну, екологічну та економічну відповідальність, разом. Задля розв'язання цього завдання інтегруємо до моделі додаткові параметри:

1)  $R_s$  – рівень руйнувань інфраструктури: цей параметр відображатиме рівень фізичних руйнувань енергетичної інфраструктури, таких як знищення підстанцій, ліній електропередач, генеруючих об'єктів, тощо. Військові дії можуть призвести до втрати потужностей і пошкодження ключових компонентів енергосистем РГ,

що суттєво вплине на роботу РГ та національної енергосистеми. Збільшення значення « $R_s$ » вказує на зростання рівнів загрози стабільності функціонування, що збільшуватиме екологічний і економічний втрати та знижуватиме ефективність функціонування РГ;

2)  $S_f$  – стабільність функціонування системи: параметр описує рівень здатності енергосистеми зберігати стабільність функціонування в умовах нарощення військово-економічних загроз. Він може включати наявність резервних потужностей, можливість переключення на інші джерела енергії, а також, загалом, ефективність функціонування систем аварійного управління. Вплив на об'єктивність моделі: врахування « $S_f$ » дозволить знизити вагомість впливу негативних чинників у випадку збоїв і руйнувань. При цьому, вищий рівень стабільності енергосистеми дозволяє швидко реагувати на кризи, забезпечуючи енергопостачання навіть у випадку часткових руйнувань інфраструктури;

3)  $D_s$  – виміри залежності РГ від централізованих джерел у кризових умовах функціонування: маємо визнати, що у випадку масштабних руйнувань, РГ дійсно може мати ще більшу залежність від централізованих (стаціонарних) джерел енергії задля забезпечення безперебійного постачання. Цей параметр відображає наскільки збільшується частка централізованих джерел під. Збільшення кількісного значення « $D_s$ » свідчить про зниження ефективності функціонування РГ із підвищенням вагомості деструктивного екологічного впливу на НПС та зменшенням економічної ефективності (централізовані джерела є менш ефективними і більш забруднюючими);

4)  $C_r$  – обсяги витрат на відновлення інфраструктури: параметр враховує витрати на відновлення енергетичної інфраструктури після руйнувань. Його кількісне значення впливає на економічну ефективність РГ та включає витрати на реконструкцію генераційних потужностей, підстанцій, ліній електропередач та інших елементів. Зростання кількісного значення « $C_r$ » призводить до зниження економічної ефективності (зростають фінансові витрати на відновлення), що впливає на загальний рівень СЕЕВ.

Тож, при моделюванні, за урахування приведених вище додаткових параметрів, математична модель СЕЕВ може бути представлена у вигляді формули (4):

$$SR = [w_1 \times \frac{1}{E_e + \alpha D_s + \square R_s}] + [w_2 \times E_f \times (1 - \beta D_s) \times (1 - \delta C_r)] + (w_3 \times C_s) + (w_4 \times A_r) + (w_5 \times M_t \times S_f) \quad (4)$$

Де, -  $\square R_s$  – свідчить про збільшення деструктивного екологічного впливу на НПС у випадку руйнувань (чим більшим є його значення – тобто, рівень руйнувань, тим вищий негативний екологічний ефект);

-  $\delta C_r$  – свідчить про зменшення рівня економічної ефективності за рахунок зростання витрат на відновлення інфраструктури;

-  $S_f$  – репрезентує виміри підвищення ефективності моніторингу та його прозорості в умовах кризи – тобто, вищий рівень стабільності дозволяє швидше відновлювати контроль за енергосистемою;

-  $D_s$ - виміри залежності від централізованих джерел у кризових умовах. Значення цього параметру інкорпоровано до загальної моделі через вагоме значення його впливу на економічні та екологічні фактори.

При цьому, маємо враховувати наступні умови:

1) якщо маємо високі кількісні значення " $R_s$ " та " $C_r$ " це означає: енергосистема зазнала серйозних руйнувань, відповідно, будуть знижуватися показники загальної ефективності функціонування РГ через збільшення обсягів її негативного екологічного впливу на НПС та зростання економічних витрат на відновлення;

2) кількісні значення показника " $S_f$ " допомагають врахувати можливості РГ щодо компенсації ризиків за рахунок швидкої реакції та відновлення енергосистеми;

3) кількісні значення показника " $D_s$ " відображають збільшення залежності РГ від централізованих джерел як під час військово-економічної кризи, так і у разі виникнення загрозливих пост кризових умов функціонування, що відповідно, свідчить про суттєве зниження ефективності РГ в умовах військових загроз і у повоєнному періоді.

Узагальнюючи результати моделювання СЕЕВ у РГ, з урахуванням сучасних і майбутніх умов її функціонування, засвідчимо – модель (див., формула вигляду (4)) дозволяє: а) врахувати загрози та різної природи ризику; б) оцінювати вагомість впливу кризових умов функціонування РГ на рівень СЕЕВ; в) розробити сценарії реалізації стратегії забезпечення СГ при мінімізації ризиків, підвищуючи стійкість енергосистем до зовнішніх викликів і загроз у контексті забезпечення СР просторових утворень. З огляду на зазначене, пропонуємо суб'єктам управління РГ послідовність виконання економіко-статистичних і організаційно-економічних процедур із формалізації математичної моделі СЕЕВ у РГ в умовах воєнного часу і повоєнного періоду (табл. 1 та рис. 1).

**Таблиця 1.**

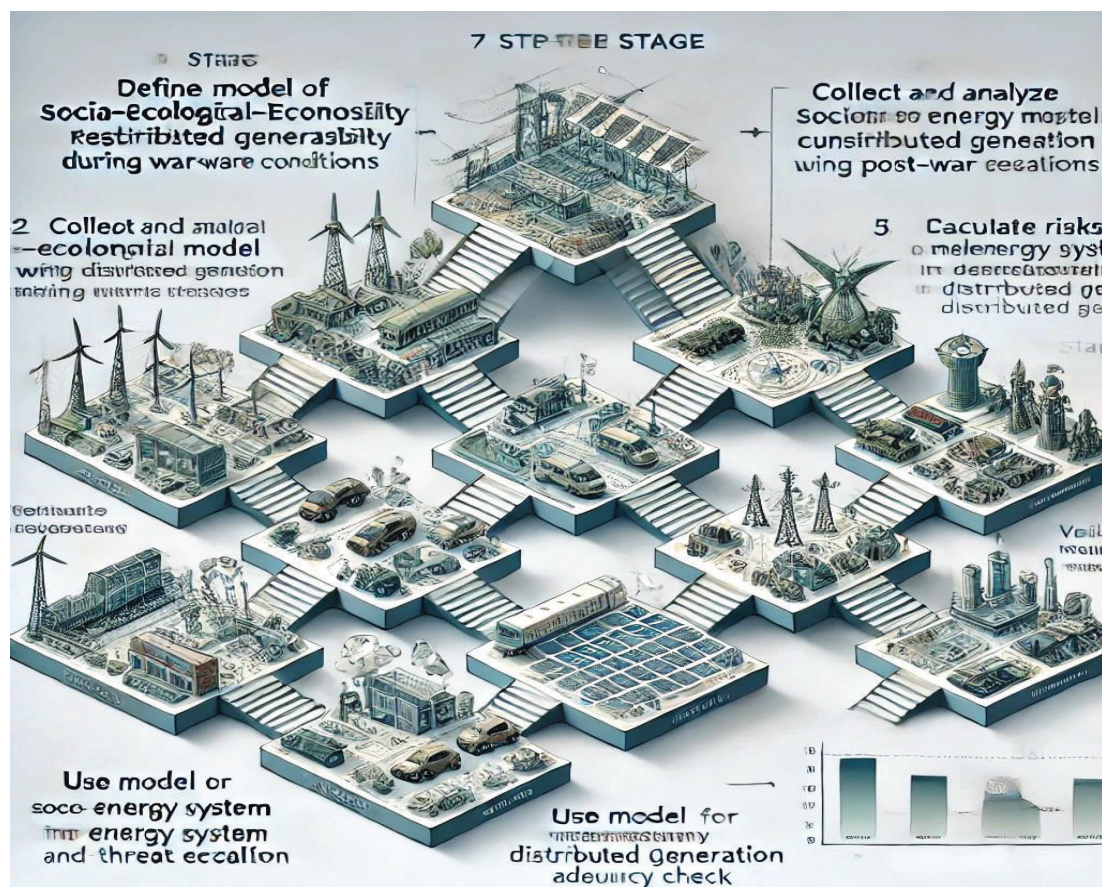
**Етапи розроблення моделі СЕЕВ у РГ в умовах воєнного і повоєнного періоду \***

| Етап                                                               | Опис етапу                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Методи і процедури                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I. Визначення параметрів моделі СЕЕВ в умовах воєнного часу        | Визначення: а) параметрів оцінки СЕЕВ у РГ: руйнування інфраструктури, ризику і загрози стабільності енергосистеми; б) параметрів моделі з урахуванням впливу: екологічного та економічного; соціальної взаємодії; нормативно-правової відповідності; рівня моніторингу та прозорості; залежності від стаціонарних джерел. | Системний та факторний аналіз із врахуванням воєнних і військово-економічних загроз, а також з метою визначення ключових параметрів моделі СЕЕВ.  |
| II. Збір та аналіз даних про вагомість впливу загрозливих факторів | Збір даних про: а) масштаби руйнувань та економічні наслідки, витрати на відновлення, втрати виробничих потужностей, соціальні й екологічні наслідки, реакцію місцевих громад на кризові ситуації; б) викиди CO <sub>2</sub> , інвестиції, економічні та соціальні показники, відповідність нормативам; в) стан            | Методи збору даних: моніторинг масштабів руйнувань, оцінка витрат на відновлення, статистичний аналіз впливу військових дій на СЕЕВ; статистичний |



| Етап                                                                                  | Опис етапу                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Методи і процедури                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                       | інфраструктури в умовах загроз і суспільно-політичних ризиків.                                                                                                                                                                                                                                                                                 | аналіз, експертні оцінки, опитування.                                                                                                                                                         |
| III. Побудова матмоделі з урахуванням військово-економічних загроз.                   | Формалізація математичної моделі із врахуванням змін, спричинених війною: додавання параметрів руйнувань і обсягів витрат на відновлення, залежності від централізованих джерел у кризових умовах, тощо. Використання рівнянь задля оцінки взаємозалежності та взаємодії між параметрами.                                                      | Математичне моделювання (лінійні та нелінійні залежності) за урахування: загроз і руйнувань, витрат на відновлення і стабілізацію; взаємозалежностей, зв'язків.                               |
| IV. Оцінка ризиків і загроз різної природи для енергосистеми з елементами РГ.         | Аналіз рівня загроз і ризиків для стабільності енергосистеми: оцінка ступеню руйнувань, визначення стабільності функціонування РГ і залежності від стаціонарних джерел. Включення додаткових параметрів, що враховують ризики, витрат на відновлення, стабільність РГ.                                                                         | Сценарний і ймовірнісний аналіз ризиків, стійкості енергосистеми до загроз, оптимізаційні методи оцінки вагомості впливу загроз і різної природи ризиків.                                     |
| V. Розрахунок показників СЕЕВ в умовах кризи і постійного нарощення загроз            | Розрахунок абсолютних та інтегральних показників СЕЕВ для різних сценаріїв воєнного часу: а) оцінка вагомості впливу кожного фактора на загальний рівень СЕЕВ (за використання методу логічного проєктування [13]); б) узагальненого інтегрального показника СЕЕВ для різних сценаріїв просторового відновлення і регенерації енергосистем РГ. | Економіко-математичні й економетричні методи, сценарний аналіз, оптимізація, порівняльний аналіз для оцінки результатів і ефективності різних сценаріїв в умовах воєнного та повоєнного часу. |
| VI. Валідація моделі у воєнному і повоєнному періодах та її перевірка на адекватність | Перевірка точності моделі та реальних даних, які відображають вплив військових дій і посткризових умов. Оцінка адекватності моделі для різних умов функціонування РГ, її стійкості до зовнішніх загроз і внутрішніх ризиків. Виявлення можливих корекцій у моделі.                                                                             | Методи моделювання і симуляцій, перевірка моделі на реальних даних із урахуванням масштабу руйнувань та імовірного сценарію відновлення (на валідність і надійність).                         |
| VII. Використання моделі для планування відновлення та прогнозування стійкості РГ     | Використання моделі для стратегічного планування процесів відновлення енергосистеми та підвищення її стійкості до майбутніх загроз. Прогнозування сценаріїв відновлення після кризи та вагомості впливу РГ на економіку, екологію і соціальні процеси в різних умовах.                                                                         | Методи прогнозування і планування відновлення, оцінки стійкості, сценарний підхід до оцінки кризових ситуацій, аналіз потенційних і реальних викликів.                                        |

Сформульовано, деталізовано і систематизовано авторами за урахування [4,5,12-14]



**Рис. 1. Алгоритм розроблення моделі СЕЕВ у РГ в умовах воєнного часу і повоєнного періоду (авторська розробка з візуалізацією за цільовою програмою «Dnepr. Strategy Development v.1.0» [15])**

Визнаємо, що прикметою особливістю запропонованої до використання семи етапної послідовності розроблення моделі СЕЕВ у РГ – є кілька ключових аспектів:

1) адаптація до умов кризи та непередбачуваних загроз. Побудована за алгоритмом модель не є статичною, вона розроблена з урахуванням впливу непередбачуваних і екстремальних умов функціонування РГ (руйнування енергетичної інфраструктури через військові дії, тощо). Зазначене дозволяє гнучко адаптувати управлінські й економічні рішення, зменшуючи ризики та забезпечуючи стабільність енергосистеми РГ. Інкorporація додаткових параметрів (військові загрози, рівень руйнувань, витрати на відновлення та залежність від централізованих джерел під час кризових ситуацій) робить модель унікальною і пристосованою до реалій війни та повоєнного періоду;

2) комплексний підхід до оцінки ризиків і загроз. У модель інтегровано не лише стандартні показники СЕЕВ, але й виміри ризиків, пов'язаних із воєнними діями та наслідками від руйнувань. Ускладнення моделі додатковими параметрами, які включають імовірні сценарії кризової залежності від централізованих джерел енергії, рівня стабільності функціонування енергосистеми і витрат на відновлення, робить її більш підготовленою для використання у стресових й посткризових ситуаціях;

3) поєднання факторів воєнного часу з підготовкою до реконструктивного відновлення. Модель передбачає оцінку поточних загроз і розробку стратегій відновлення енергосистеми після кризи, що дозволяє поетапно переходити від стратегії виживання до стратегії СР і СГ. Більшість моделей зосереджуються або на поточних кризах, або на плануванні відновлення, а авторська модель (див., модель вигляду (4)) об'єднує ці два етапи, дозволяючи планувати відновлення з реагуванням на військово-економічні кризи;

4) застосування інноваційних методів для аналізу стійкості енергосистем РГ. Модель (див., модель вигляду (4)) використовує інноваційні методи (ймовірнісний аналіз ризиків, сценарний аналіз і оптимізація витрат, метод логічного проектування) для комплексності оцінки стійкості енергосистем та їх здатності до відновлення. Інтеграція такого інструментарію при моделюванні у контексті забезпечення і стабілізації діяльності у РГ під час війни та після неї – є унікальним підходом, адже більшість модельних рішень сфокусовані лише на врахуванні стабільних умов функціонування національної РГ;

5) врахування соціальних аспектів в умовах кризи. У моделі приділено увагу взаємодії з громадськістю та визначенню соціальних наслідків від руйнувань внаслідок військових дій РФ, оцінюючи вплив на місцеві громади і враховуючи соціальну взаємодію у кризових умовах. Інкorporація соціальних параметрів до моделі, яка детально розглядає військово-економічні та суспільно-політичні умови й воєнні загрози, є важливим для довгострокового прогнозування процесів відновлення і підтримки стабільності в громадах, які зазнали руйнувань та деградацію;

6) можливість сценарного планування у процесах відновлення енергосистеми. Побудована модель дозволяє аналізувати різні сценарії відновлення РГ із урахуванням варіативності ризиків і ресурсних обмежень, що забезпечує можливість прогнозування сценаріїв повоєнного відновлення, де ключові параметри адаптуються до змін (економічна ситуація, підтримка міжнародних партнерів, відбудова інфраструктури).

З огляду на алгоритмізовану послідовність розроблення оригінальної моделі соціо-еколого-економічної відповідальності у розподіленій генерації в умовах воєнного та повоєнного періоду (див., рис. 1), маємо підкреслити й вказати на визначальну ознаку цього алгоритму – а, саме: замкнений цикл реалізації процедур та економіко-математичного моделювання. Розроблення моделі СЕЕВ у РГ запропоновано дослідниками здійснюватися у замкненому циклі, що забезпечить безперервну адаптацію та коригування оригінального модельного вирішення на всіх етапах алгоритмізації. Запропонований підхід гарантує врахування непередбачуваних ризиків і загроз, змін у середовищі функціонування певної енергосистем та авторську вимогу щодо постійного вдосконалення моделі відповідно до нових викликів і трансформацій у суспільно-політичній та військово-економічній сфері життєдіяльності в країні. Адже, розроблення моделі у замкненому циклі дозволяє:

а) оперативно реагувати на зміни умов у воєнний і повоєнний періоди;

б) виявляти та усувати помилки на ранніх етапах моделювання без потреби у повному перезапуску організаційно-економічного й економетричного процесу;

в) коригувати модель відповідно до динаміки загроз, зокрема, змін у рівні руйнувань чи деструктивних соціально-економічних наслідків або ж екологічних ризиків, тощо;

г) оптимізувати процес розроблення модельного рішення, щоб запобігти критичним відхиленням у параметрах моделі СЕЕВ, які можуть призвести до некоректних прогнозів.

Тож, замкнений цикл і забезпечить гнучкість і адаптивність, що є критично важливим для стабільної роботи РГ у складних умовах. При цьому, повернення до попередніх або первинних етапів у разі виникнення порушень при моделюванні чи помилок при апробації моделі пропонується виконувати за урахування ідентифікації трьох логічних груп. Оскільки, модель СЕЕВ будуємо за сімома етапами, то їх, умовно, розмежуємо наступним чином:

I група – підготовчі етапи (I–III) – визначення параметрів, аналіз даних, побудова моделі;

II група – формалізаційно-аналітичні етапи (IV–V) – оцінка ризиків та розрахунок показників;

III група – валідаційно-адаптивні етапи (VI–VII) – перевірка, прогнозування та впровадження.

Тоді, повернення до попередніх етапів, при розробленні моделі СЕЕВ, рекомендуємо у замкненому циклі виконувати з урахуванням послідовності, яку приведено у табл. 2, де кожен етап, у разі виявлення значних помилок, відхилень або невідповідностей, може повертатися на попередній рівень або й, навіть, до початкових етапів (підготовчих етапів із групи I), якщо проблема стане системною.

Маємо запропонувати суб'єктам управління РГ певний комплекс рекомендації у площині алгоритмічного розроблення моделі СЕЕВ у замкненому циклі з метою забезпечення ефективності її реалізації й використання.

По-перше, суб'єкти управління мають забезпечити безперервний (перманентний) моніторинг даних, що є критично важливим для перевірки змін вхідних параметрів моделі (щоб вчасно виявляти відхилення).

По-друге, користувачі мають використовувати гнучку методологію оцінки ризиків – оскільки, до моделі СЕЕВ мають бути інкорпоровані механізми адаптації до динамічних загроз.

По-третє, суб'єкти управління мають перевіряти модель СЕЕВ на кожному з семи етапів її розроблення (зادля уникнення накопичення помилок доцільно вводити контрольні точки валідації). І, останнє, на підприємствах РГ слід запровадити систему зворотного (алармового) зв'язку між етапами – тобто, кожен наступний етап має оцінювати якість попереднього і, відповідно, можливість необхідних коригувань.

Підкреслимо очевидний факт: розроблення моделі СЕЕВ у РГ в умовах воєнного та повоєнного періоду не може бути лінійним процесом через динамічність загроз і високий рівень невизначеності функціонування



національної соціально-економічної системи. Тож, на авторське переконання, саме замкнений цикл моделювання й забезпечить: адаптивність до змін у воєнному та повоєнному періодах; гнучкість у коригуванні моделі через механізми повернення до попередніх етапів; підвищення точності прогнозів (ключове для забезпечення стійкості РГ); мінімізацію впливу невизначеностей та непередбачуваних загроз через інтеграцію оцінки ризиків. Тож, запропонований підхід дозволить побудувати ефективну й життєздатну модель СЕЕВ, яка забезпечуватиме стійкість певної енергетичної системи, навіть, у найскладніших посткризових умовах.

**Таблиця 2.**

**Алгоритм повернення до попередніх етапів при розробленні моделі СЕЕВ у РГ в умовах воєнного і повоєнного періоду \***

| Поточний етап                                      | Імовірні проблеми чи помилки                                                                                                   | Повернення до попередніх етапів                                                                    |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I. Визначення параметрів моделі                    | Виявлено невраховані фактори впливу або недосконалість виконаних процедур із параметризації                                    | Повернення до початку (перегляд визначених параметрів)                                             |
| II. Збір та аналіз даних                           | Дані неповні, неточні або ж об'єктивно не відображають поточну динаміку змін чи трансформації у кризових (посткризових) умовах | Повернення до I етапу (уточнення параметрів моделі)                                                |
| III. Побудова математичної моделі                  | Виявлено невідповідність між розрахунковими залежностями та реальними процесами                                                | Повернення до II етапу (доопрацювання даних) або I етапу (зміна параметрів моделі)                 |
| IV. Оцінка ризиків і загроз                        | Низька точність прогнозування загроз або ж не враховано певної природи ризику                                                  | Повернення до III етапу (коригування моделі) або II етапу (аналіз даних)                           |
| V. Розрахунок показників                           | Виявлено значні відхилення між реальними і прогнозними показниками, обчисленими на певний період упередження                   | Повернення до IV етапу (уточнення оцінки ризиків) або повернення до III етапу (модифікація моделі) |
| VI. Валідація моделі                               | Недостатня адекватність моделі СЕЕВ для воєнного або повоєнного періоду                                                        | Повернення до V етапу (уточнення показників) та до IV етапу (перегляд ризиків)                     |
| VII. Використання моделі для планування і прогнозу | Низька точність прогнозів щодо відновлення та стійкості розподіленої генерації у певний період часу                            | Повернення до VI етапу (валідація) або ж, ще раніше, до V етапу (розрахунок показників)            |

*Сформульовано, обґрунтовано, деталізовано і систематизовано авторами*

Оригінальність алгоритму розроблення моделі СЕЕВ у РГ під час війни та у повоєнному періоді полягає у комплексному використанні адаптивного підходу до врахування особливостей умов нестабільності та довготривалого відновлення. За обґрунтуванням [12,14], у алгоритмі (див., табл. 1 та рис. 1) передбачено:

1) адаптацію до воєнних і повоєнних умов (алгоритм враховує не лише економічні та екологічні параметри, але й специфічні ризики і загрози військового часу, включаючи руйнування та виклики), що його унікальним, оскільки

визначено умови нестабільності, які, зазвичай, не охоплюються традиційними економічними моделями;

2) включення соціо-еколого-економічних показників: у алгоритмі інтегровано соціальні, екологічні та економічні аспекти відповідальності, забезпечуючи комплексний підхід до відновлення, спрямований не лише на технічну стабільність енергосистеми, але й на СР громад і охорону НПС;

3) формалізацію моделі виконано з урахуванням впливу військово-економічних загроз, що є інноваційним, включаючи специфічні фактори ризику для національної енергосистеми (критичні для РГ під час війни);

4) моделювання стійкості в умовах ескалації загроз – за алгоритмом оцінюється стійкість і відповідність енергосистеми в умовах трансформацій, що дозволяє підвищувати її адаптивність і гнучкість у відповідь на зміни;

5) валідацію в кризових умовах: інкорпорація до алгоритму етапу валідації моделі під час і після війни – додає цінності, оскільки дозволяє перевірити її адекватність у реальних умовах функціонування енергосистеми РГ;

6) прогнозування та планування стійкості під час повоєнного відновлення (забезпечує використання моделі при стратегуванні та прогнозі стійкості систем, що важливо при тривалому відновленні по завершенню військових дій).

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Вбачаємо, що семи етапний алгоритм (див., табл. 1 і рис. 1) розроблення моделі СЕЕВ в умовах воєнного часу і повоєнного періоду є унікальним засобом моделювання-прогнозування завдяки поєднанню вимог до адаптивності, багатофакторного аналізу та орієнтації на виклики і потреби просторового відновлення енергосистем задля забезпечення СГ. Це дозволяє ідентифікувати пропонований алгоритм в якості цінного інструментарію комплексного управління енергосистемою в екстремальних умовах при ресурсних обмеженнях.

Передбачаємо, що науково-прикладні дослідження у площині забезпечення СЕЕВ мають бути поглиблені за напрямками:

1) розробка адаптивних моделей ризик-менеджменту (з інструментами моделювання впливу зовнішніх факторів, таких як кліматичні катастрофи або конфлікти, та формування адаптивних стратегій для мінімізації ризиків) та визначення порогових рівнів загроз, за яких РГ може функціонувати з достатнім рівнем СЕЕВ;

2) інтеграція технологій відновлюваної енергетики та декарбонізації (з моделями оптимізації використання ВДЕ з урахуванням соціальних і екологічних стандартів);

3) СЕЕВ у рамках енергетичної справедливості (з методиками поділу/перерозподілу енергетичних ресурсів між різними регіонами і групами населення);

4) розробка цифрових платформ та інструментів моніторингу;

5) стимулювання інновацій у технологіях РГ;

6) підвищення енергетичної резилієнтності розподілених енергосистем у кризових ситуаціях та їх інтеграції з іншими видами економічної діяльності;

7) розроблення сценаріїв реконструктивного просторового розвитку і



регенерації енергетичного сектору держави. Поглиблюючи науково-прикладні напрацювання, зосередивши увагу на стійкості, інноваційності та соціо-еколого-економічній справедливості в РГ, матимемо можливість забезпечити потужне наукове підґрунтя для сталого розвитку і господарювання енергосистеми України у повоєнному періоді.

### Список використаних джерел

1. Бистряков І.К., Клиновий Д.В. Бізнес-екосистемний концепт забезпечення сталого господарювання. *Економіка природокористування і сталий розвиток*. 2020. № 8 (27). С. 21–27.
2. Череватський Д.Ю. Про економіку кооптування в енергетиці. *Економіка промисловості*. 2024, №2 (106), С. 42–51. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry2024.02.042>.
3. Алимов О.М., Драган І.В., Демешок О.О., Микитенко В.В. Каскади регіональних соціально-економічних систем: формування та розвиток. Київ: ДУ «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку НАН України», 2016. 278 с.
4. Амоша О.О., Микитенко В.В. Соціальна відповідальність суб'єктів господарювання при розбудові та реалізації проєктів енергосистем із елементами розподіленої генерації. *Україна та світ: виміри сьогодення: колективна монографія*. Харків: СГ НТМ «Новий курс», 2024. С. 107–117.
5. Амоша О.І., Микитенко В.В. Методичний підхід до оцінювання стійкості енергосистем за композитним показником. *Економічний вісник Донбасу: науково-практичний журнал*. 2023. № 2(72). С. 4 – 13. DOI: [https://doi.org/10.12958/1817-3772-2023-2\(72\)-4-13](https://doi.org/10.12958/1817-3772-2023-2(72)-4-13).
6. Swanson D.L. (1995) Addressing a theoretical problem by reorienting the corporate social performance model. *Academy of Management Review*. Vol. 20(1). P.43–64.
7. Бистряков І.К., Клиновий Д.В., Коржунова Н.В. Форсайт-підхід до організації та фінансування сталого господарювання. *Економіка України*. 2022. № 4. С. 3–27. DOI: <https://doi.org/10.15407/economyukr.2022.04.003>.
8. Карпенко О.О. Соціальна відповідальність як чинник економічного розвитку вітчизняних підприємств. *Ефективна економіка*. 2018. №4. URL: [http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/4\\_2018/7.pdf](http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/4_2018/7.pdf) (дата звернення: 10.10.2024).
9. Грішнова О.А. Брінцева О.Г. Впровадження екологічної відповідальності в практику менеджменту вітчизняних підприємств. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Економіка*. 2013. Вип. 10. С. 12–18.
10. Храпкіна В.В., Тиран О.В. Розвиток корпоративної соціальної відповідальності у діяльності сучасної української компанії. *Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво*, 2022. № 2(125). С. 119 –124. DOI: <https://doi.org/10.32840/1814-1161/2022-2-19>.
11. Амоша О.О., Микитенко В.В. Управління забезпеченням соціальної відповідальності в системі розподіленої генерації. *Управління економікою: теорія та практика. Чумаченківські читання / НАН України, Ін-т економіки промисловості; редкол.: О.О. Хандій (голов. ред.), В.І. Ляшенко (відп. ред.), В.Є. Куриляк та ін. Київ, 2023. С.32–48. DOI: <https://doi.org/10.37405/2221-1187.2023.32-48>*
12. Амоша О.О., Микитенко В.В. Соціальна відповідальність у сфері енергетики в інтересах розвитку розподіленої генерації та суспільної стабільності. *Економічний вісник Донбасу*. 2024. №1-2 (75-76). С. 73-83. DOI: [https://doi.org/10.12958/1817-3772-2024-1-2\(75-76\)-73-83](https://doi.org/10.12958/1817-3772-2024-1-2(75-76)-73-83).
13. Микитенко В.В. Формування комплексної системи управління енергоефективністю в галузях промисловості. Київ: Об'єднаний ін-т економіки НАН України, Вид-во «Екс'Об.», 2005. 337 с.
14. Mykytenko V.V. Synthesis of societal opportunities: experience of reconstructive strategizing in the energy sector. *Trends, Issues, and Challenges in Modern Science: Proceedings of the International*

Scientific Conference (2024, September 13). Cambridge, UK: Bookmundo. International Education Development Center, 2024, Research Europe, 2024. 134 p. P. 25-28.

15. Микитенко В.В., Капінос М.С., Надоша О.В., Порохнявий Ю.Б. А.С. України № 66068 Програмний продукт «Цільове програмне забезпечення: Функціональний, загально-конкурентний і потенційно-факторний набір стратегій сталого розвитку регіону: формування та оцінка-прогнозування результативності «Dnepr.Strategy.Development v.1.0». Заявлено: 13.04.2016 року за № 66428. Офіційний бюлетень авторське право і суміжне право, 2016. № 41. С. 508; 672.

## References

1. Bystryakov, I.K, Klynovyy, D.V. (2020). Biznes-ekosystemnyy kontsept zabezpechennya staloho hospodaryuvannya. *Ekonomika pryrodokorystuvannya i stalyy rozvytok - Economics of nature use and sustainable development*, 8 (27), 21-27 [in Ukrainian].
2. Cherevat-s'kyu, D.YU. (2024) Pro ekonomiku kooptuvannya v enerhetytsi. *Ekonomika promyslovosti- Economy of industry*, 2 (106) 42-5. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2024.02.042> [in Ukrainian].
3. Alymov, O.M, Drahan, I.V., Demeshok, O.O. et al. (2016). Kaskady rehional'nykh sotsial'no-ekonomichnykh system: formuvannya ta rozvytok. Kyiv [in Ukrainian].
4. Amosha, O.O., Mykytenko, V.V. (2024). Sotsial'na vidpovidal'nist' sub'yektiv hospodaryuvannya pry rozbudovi ta realizatsiyi proyektiv enerhosystem iz elementamy rozpodilenoyi heneratsiyi. *Ukrayina ta svit: vymiry s'ohodennya*. Kharkiv; SH NTM «Novyy kurs» [in Ukrainian].
5. Amosha, O.O, Mykytenko, V.V. (2023). Metodychnyy pidkhid do otsynuvannya stiykosti enerhosystem za kompozytnym pokaznykom. *Ekonomichnyy visnyk Donbasu: naukovopraktychnyy zhurnal- Economic Herald of Donbass: a scientific and practical journal*, 2 (72), 4-13. doi: [https://doi.org/10.12958/1817-3772-2023-2\(72\)-4-13](https://doi.org/10.12958/1817-3772-2023-2(72)-4-13) [in Ukrainian].
6. Swanson, D.L. (1995). Addressing a theoretical problem by reorienting the corporate social performance model. *Academy of Management Review*. Vol. 20(1). 43–64. [in English].
7. Bystryakov, I.K, Klynovyy D.V., Korzhunova, N.V. (2022). Forsayt-pidkhid do orhanizatsiyi ta finansuvannya staloho hospodaryuvannya. *Ekonomika Ukrayiny-Economy of Ukraine*, 4. 3–27. doi: <https://doi.org/10.15407/economyukr.2022.04.003> [in Ukrainian].
8. Karpenko, O.O. (2018). Sotsial'na vidpovidal'nist' yak chynnyk ekonomichnoho rozvytku vitchyznyanykh pidpryyemstv. *Efektivna ekonomika-Efficient economy*. URL: [http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/4\\_2018/7.pdf](http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/4_2018/7.pdf) [in Ukrainian].
9. Hrishnova, O.A. Brintseva, O.H. (2013)/ Vprovadzhennya ekolohichnoyi vidpovidal'nosti v praktyku menedzhmentu vitchyznyanykh pidpryyemstv. *Visnyk Kyivskoho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Ekonomika- Bulletin of Taras Shevchenko Kyiv National University*, 10, 12–18 [in Ukrainian].
10. Khrapkina, V.V., Tyran, O.V. (2022). Rozvytok korporatyvnoyi sotsial'noyi vidpovidal'nosti u diyal'nosti suchasnoyi ukrayins'koyi kompaniyi. *Derzhava ta rehiony. Seriya: Ekonomika ta pidpryyemnytstvo- State and regions. Series: Economy and entrepreneurship*, 2 (125), 119-124. doi: <https://doi.org/10.32840/1814-1161/2022-2-19> [in Ukrainian].
11. Amosha, O.O, Mykytenko, V.V. (2023). Upravlinnya zabezpechenniam sotsial'noyi vidpovidal'nosti v systemi rozpodilenoyi heneratsiyi. *Upravlinnya ekonomikoyu: teoriya ta praktyka. Chumachenkivs'ki chytannya -Economic management: theory and practice. Chumachenko readings*, 32-48. doi: <https://doi.org/10.37405/2221-1187.2023.32-48> [in Ukrainian].
12. Amosha, O.O, Mykytenko, V.V. (2024). Sotsial'na vidpovidal'nist' u sferi enerhetyky v interesakh rozvytku rozpodilenoyi heneratsiyi ta suspil'noyi stabil'nosti. *Ekonomichnyy visnyk Donbasu - Economic Herald of Donbass*, 1-2 (75-76), 73-83. doi: [https://doi.org/10.12958/1817-3772-2024-1-2\(75-76\)-73-83](https://doi.org/10.12958/1817-3772-2024-1-2(75-76)-73-83) [in Ukrainian].
13. Mykytenko, V.V. (2005). Formuvannya kompleksnoyi systemy upravlinnya enerhoefektyvnisty v haluzyakh promyslovosti. Kyiv: Vyd-vo «Eks"Ob.» [in Ukrainian].



14. Mykytenko, V.V. (2024). Synthesis of societal opportunities: experience of reconstructive strategizing in the energy sector. *Trends, Issues, and Challenges in Modern Science: proceedings of the International Scientific Conference*. Cambridge: Bookmundo, 25-28 [in UK]. [in English].
15. Mykytenko, V.V., Kapinos, M.S., Nadosha, O.V., Porokhnyavyy, YU.B. (2016). A.S. Ukrayiny № 66068 Prohramnyy produkt «Tsil'ove prohramne zabezpechennya: Funktsional'nyy, zahal'no-konkurentnyy i potentsiyno-faktorny nabir stratehiy staloho rozvytku rehionu: formuvannya ta otsinka-prohnozuvannya rezul'tatyvnosti «Dnepr.Strategy.Development v.1.0». *Ofitsiynyy byuleten' avtors'ke pravo i sumizhne pravo-Official bulletin copyright and related law*, 41, 508, 672. [in Ukrainian].

|                    |            |             |            |            |            |
|--------------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| Отримано:          | 11.11.2024 | Beérkezett: | 2024.11.11 | Received:  | 11.11.2024 |
| Прийнято до друку: | 06.03.2025 | Elfogadva:  | 2025.03.06 | Accepted:  | 06.03.2025 |
| Опубліковано:      | 12.05.2025 | Megjelent:  | 2025.05.12 | Published: | 12.05.2025 |