

# ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА УКРАЇНИ: ПЕРСПЕКТИВНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ

Центр безпекових досліджень  
*Center for Security Studies*

# ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА УКРАЇНИ: ПЕРСПЕКТИВНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ

Монографія

Київ 2023

Рекомендовано до друку Вченою радою НІСД  
(протокол № 3 від 26.04.2023 р.)

Електронну версію видання розміщено на: <http://www.niss.gov.ua>

*За повного або часткового відтворення матеріалів цієї публікації  
посилання на видання є обов'язковим*

**Авторський колектив:**

*О. М. Суходоля* – вступ, висновки, розділи 2, 3, 5, підрозділи 1.1, 1.3, 4.2–4.4;  
*Ю. М. Харазішвілі* – розділи 2, 5, підрозділи 1.2, 1.3, 3.1, 3.2, 4.4;  
*Г. Л. Рябцев* – підрозділи 1.3, 2.1, 4.1, 4.2.

**Рецензенти:**

*Я. А. Жаліло*, заступник директора – керівник центру економічних і соціальних досліджень НІСД, доктор економічних наук, старший науковий співробітник;  
*В. А. Пепеляєв*, завідувач відділу системного моделювання Інституту кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, доктор фізико-математичних наук;  
*Є. А. Бобров*, начальник відділу збору та обробки інформації ДП «НАЕК «Енергоатом», доктор економічних наук, доцент.

За редакцією *О. М. Суходолі*

# ЗМІСТ

Вступ .....	5
<b>1. Модель визначення рівня енергетичної безпеки .....</b>	<b>9</b>
1.1. Енергетична безпека як об'єкт управління .....	9
1.2. Наукове обґрунтування визначення меж безпечного існування ....	26
1.3. Методологія визначення рівня й стратегування енергетичної безпеки .....	32
<b>2. Оцінювання поточного рівня й стратегування енергетичної безпеки України .....</b>	<b>45</b>
2.1. Оцінювання поточного рівня енергетичної безпеки України .....	45
2.1.1. Складник інтегрального індексу «Ресурсна достатність» ....	46
2.1.2. Складник інтегрального індексу «Економічна доступність» .....	47
2.1.3. Складник інтегрального індексу «Економічна прийнятність» .....	49
2.1.4. Складник інтегрального індексу «Енергетична ефективність» .....	51
2.1.5. Складник інтегрального індексу «Екологічна прийнятність» .....	52
2.1.6. Складник інтегрального індексу «Стійкість енергетичного сектору» .....	54
2.1.7. Складник інтегрального індексу «Захищеність національних інтересів» .....	55
2.1.8. Інтегральний індекс енергетичної безпеки .....	57
2.2. Стратегування сталого розвитку у сфері енергетичної безпеки ...	59
2.2.1. Приклад розрахунку траєкторії досягнення стратегічних цілей .....	60
2.2.2. Приклад розрахунку траєкторії досягнення цільових значень індикаторів енергетичної безпеки .....	63
<b>3. Цілепокладання у сфері енергетичної безпеки .....</b>	<b>67</b>
3.1. Принципи цілепокладання у виробленні державної політики забезпечення енергетичної безпеки .....	67



3.1.1. Екстраполяція поточного стану в майбутнє .....	69
3.1.2. Вибір цільових еталонних показників .....	69
3.1.3. Проектування майбутнього .....	73
3.2. Проектування майбутнього стану енергетичної безпеки як об'єкта управління .....	74
3.2.1. Загальні підходи .....	74
3.2.2. Особливості функціонування систем енергозабезпечення ....	76
3.2.3. Вплив новітніх енергетичних технологій на функціонування системи .....	80
3.3. Визначення цільових і порогових значень параметрів енергетичної безпеки .....	87
<b>4. Оцінювання впливу загроз на рівень енергетичної безпеки .....</b>	<b>89</b>
4.1. Ідентифікація та опис загроз енергетичній безпеці .....	89
4.2. Оцінювання впливу загроз на рівень енергетичної безпеки .....	100
4.3. Прогнозування впливу загроз на рівень енергетичної безпеки ..	106
4.3.1. Експертне оцінювання впливу загроз на рівень енергетичної безпеки .....	106
4.3.2. Комбінований метод оцінювання впливу загроз на рівень енергетичної безпеки .....	109
4.4. Планування заходів із забезпечення цільового рівня енергетичної безпеки .....	119
<b>5. Оцінювання впливу періоду збройної агресії Росії на енергетичну безпеку України .....</b>	<b>121</b>
<b>Висновки .....</b>	<b>129</b>
<b>Список літератури .....</b>	<b>131</b>
<b>Додатки .....</b>	<b>135</b>
Додаток 1. Параметри індикаторів визначення рівня енергетичної безпеки України станом на 2020 рік .....	135
Додаток 2. Зміни моделей організації взаємодії у системах енергозабезпечення .....	141
<b>Відомості про авторів .....</b>	<b>149</b>

## ВСТУП

Забезпечення енергетичної безпеки країни – один із пріоритетних, але непростих для системи державного управління напрямів щодо забезпечення національної безпеки<sup>1</sup>, тому що управлінська діяльність у цій сфері потребує врахування різних аспектів життєдіяльності країни. Йдеться про ресурсні, технічні, економічні, екологічні, організаційно-адміністративні, управлінські, соціальні, інноваційні, політичні, геополітичні, безпекові, світоглядні та інші аспекти енергозабезпечення життєво важливих потреб людини, суспільства, суб'єктів господарювання та держави.

З плином часу навіть в одній і тій само країні потреби та принципи діяльності у сфері енергетичної безпеки можуть суттєво еволюювати залежно від динаміки соціально-економічного та науково-технологічного розвитку, трансформації моделей функціонування енергетичних ринків, розширення переліку нових загроз, котрі виникають у сфері енергозабезпечення життєдіяльності країни. Саме це зумовлює різноманітність теоретичних підходів та практики щодо виокремлення об'єкта дослідження (сфери управління), його опису, методів оцінки стану енергетичної безпеки країни.

У переважній більшості досліджень, що стосуються оцінювання стану енергетичної безпеки, застосовується комплексний підхід, який, однак, не позбавлений деяких проблем через переважно довільний вибір груп параметрів, котрі, на думку дослідника, є важливими для аналізу. Застосування комплексного підходу не дає змоги виробити універсальний метод добору параметрів оцінки енергетичної безпеки для різних країн та специфічних умов функціонування їхніх енергетичних ринків.

Динаміка процесів, що спостерігаються сьогодні на енергетичних ринках, вимагає застосування системних підходів. Сфера енер-

<sup>1</sup> Стратегія енергетичної безпеки (схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 04 серпня 2021 р. № 907-р) є складовою частиною системи стратегічних документів у сфері національної безпеки, що визначені у Стратегії національної безпеки України, яка затверджена Указом Президента України від 14 вересня 2020 р. № 392.

гетичної безпеки як об'єкт управління буде описуватися згідно із загальноприйнятим підходом щодо опису систем через виокремлення складників системи (або груп параметрів), а саме: *елементів, зв'язків, структури, функцій, процесів, матеріалів*. Це уможливить процес уніфікації визначення параметрів опису енергетичної безпеки для будь-яких об'єктів (країни, галузі, системи постачання тощо), їх функціонування й динаміки розвитку різноманітних чинників впливу.

Монографія складається з п'яти розділів.

У *першому розділі* подано огляд тенденцій розвитку теоретичних засад досліджень у сфері енергетичної безпеки, обґрунтовується застосування в цій сфері системного підходу. Здійснено формалізацію опису сфери енергетичної безпеки як об'єкта дослідження (управління). Представлено розроблену інтегровану багатофакторну модель енергетичної безпеки через визначення структурних елементів та їхніх індикаторів. Запропоновано підхід до визначення порогових значень індикаторів, інтегрального індексу енергетичної безпеки та його складових частин. Розроблено методологію стратегування стану енергетичної безпеки України.

У *другому розділі* вміщено результати моделювання оцінки рівня енергетичної безпеки України за період 2000–2020 рр. згідно зі сформованим на основі системного підходу набором індикаторів енергетичної безпеки. Продемонстровано ефективність застосування розробленої моделі для стратегування досягнення бажаного, цільового рівня енергетичної безпеки на перспективу. Зокрема, розраховано сценарії досягнення цільового стану енергетичної безпеки на період до десяти років. Результати розрахунків базуються на даних статистичних спостережень, галузевій аналітичній інформації та експертних оцінках інформації, що перебували у відкритому доступі станом на кінець 2021 р. Особливості застосування розробленої моделі та попередні результати оцінювання впливу воєнної агресії Росії на енергетичну безпеку України подано в окремому, п'ятому розділі.

*Третій розділ* присвячений аналізу принципів цілепокладання під час формування державної політики забезпечення енергетичної безпеки та визначення стратегічних цілей. Обґрунтовано необхідність застосування підходу, що базується на «зрілості» нових енергетичних технологій до широкого комерційного використання для здійснення енергетичного переходу до нових принципів організації роботи енергосистем. Проектний підхід застосовано для визначення цілей ор-

ганізаційної та функціональної трансформації взаємовідносин у сфері енергетичної безпеки.

У *четвертому розділі* представлено методичні підходи щодо ідентифікації загроз енергетичній безпеці та оцінювання їхнього впливу. Висвітлено розроблений метод формалізації опису загроз енергетичній безпеці, методологію оцінювання рівня критичності загроз, що дає змогу сформулювати перелік загроз пріоритетного реагування. Розроблено методологію оцінювання впливу загроз на поточний рівень енергетичної безпеки та адаптацію стратегії досягнення цільового стану у сфері енергетичної безпеки з урахуванням впливу загроз. Висвітлено результати оцінювання адаптації траєкторії досягнення стратегічних цілей для окремих загроз. Запропоновано рекомендації щодо формування системи стратегічного планування у сфері енергетичної безпеки та забезпечення досягнення цільового рівня енергетичної безпеки.

*П'ятий розділ* містить попередню оцінку впливу збройної агресії Росії на рівень енергетичної безпеки України. Проте обмеження доступу до інформації стосовно функціонування енергетичного сектору, що наразі існують через уведення в Україні воєнного стану, зумовило особливості застосування розробленої моделі визначення рівня енергетичної безпеки та оцінювання впливу загроз. Задля оцінювання рівня енергетичної безпеки України за період 2021–2022 рр. використовувалися відкриті джерела інформації, офіційна інформація державних органів, модельні розрахунки та експертний аналіз ситуації. Результати моделювання рівня енергетичної безпеки України в цей період наведено з урахуванням наслідків реалізації загроз воєнного характеру. Зважаючи на невизначеність термінів завершення війни та її наслідків, у демонстрації ефективності застосування розробленої моделі з метою адаптації стратегії досягнення бажаних цілей використано дані, сформовані на кінець 2021 р.

У монографії узагальнено цикл досліджень, спрямованих на розвиток і застосування системного підходу з реалізації державної політики у сфері енергетичної безпеки. Представлені у виданні методологія аналізу сфери енергетичної безпеки та модель управління ризиками можуть сприяти узгодженню на єдиній методологічній основі різних підходів до опису енергетичної безпеки, стануть інструментами визначення цілей державної політики у сфері енергетичної безпеки, а також допоможуть забезпечити адаптацію траєкторії досягнення стратегічних, бажаних цілей до впливу загроз енергетичній безпеці.

Системність підходу дозволяє подолати традиційну дихотомію підходів щодо енергетичної безпеки як до стану енергетичної системи й спроможності забезпечувати відповідні її параметри та функціональні завдання. Застосування такого підходу щодо оцінювання стану й стратегування дає змогу врахувати динаміку процесів, які відбуваються у внутрішньому та зовнішньому вимірах реалізації державної політики, запропонувати універсалізацію процесу визначення стратегічних цілей (цілепокладання) та розроблення стратегії забезпечення енергетичної безпеки (стратегування).

На думку авторів, проведене дослідження переконливо доводить теоретичну важливість і практичну цінність застосування системного підходу у сфері енергетичної безпеки. Інформація, висвітлена в монографії, стане в пригоді під час формування й реалізації енергетичної політики, стратегічного планування у сфері енергетичної безпеки та розроблення управлінських рішень, спрямованих на досягнення визначених цілей у різних сферах державного управління.

# 1. МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ

## 1.1. Енергетична безпека як об'єкт управління

Складність опису енергетичної безпеки полягає в тому, що виокремлення цієї сфери як об'єкта управління потребує врахування різних аспектів життєдіяльності країни. При цьому актуальність і важливість тих чи тих аспектів і характеристик визначає дослідник / управлінець з точки зору його поточних знань та політичних уподобань, рівня технологічного розвитку в цій сфері, безпекової ситуації, у якій країна перебуває. Це, поряд з іншим, і спричиняє те, що наразі не існує єдиного методологічного підходу до виокремлення та опису сфери енергетичної безпеки.

Загалом опис енергетичної безпеки як об'єкта управління здійснюється через набори параметрів, що характеризують основні його властивості. Набори можуть групуватись на основі усвідомленої суб'єктом управління практичної потреби. У такий спосіб найчастіше отримують групи параметрів опису енергетичної безпеки: ресурсні, економічні, технологічні, екологічні, соціальні, управлінські тощо [1–9].

Для уникнення помилкового вибору параметрів дослідник / управлінець спирається на узагальнення напрацювань інших дослідників у цій сфері. Найбільшого поширення щодо опису енергетичної безпеки набув підхід, який описує енергетичну безпеку через систему складових, які відображають наявність та прийнятність визначеного способу забезпечення потреб країни у енергії [8]. Пропонується виокремити чотири аспекти, які варто досліджувати з точки зору їхнього впливу на енергетичну безпеку, а саме: ресурсну достатність; технічну надійність; економічну вигідність; екологічну прийнятність. Цей підхід, відомий як 4 A's (*availability, accessibility, affordability, acceptability*), набув широкої популярності й став своєрідною моделлю формування набору з чотирьох груп параметрів для аналізу енергетичної безпеки. Згодом

у контексті описання енергетичної безпеки почали враховувати й інші параметри – викиди парникових газів і використання відновлюваних джерел енергії [6; 7].

Такий підхід з плином часу призводить до суттєвого розширення набору «важливих» параметрів. Зокрема, аналіз публікацій з питань енергетичної безпеки, що побачили світ протягом 1971–2016 рр. [9], переконує в тому, що при описуванні енергетичної безпеки доцільно виокремити 15 груп параметрів за напрямками: наявність; диверсифікованість; ціна; технологія та ефективність; локалізація; часовий проміжок; стійкість; навколишнє середовище; здоров'я; культура; доступ до інформації; зайнятість; державна політика; військовий вимір; кібербезпека.

Водночас постійне розширення набору параметрів для оцінювання енергетичної безпеки спричиняє виникнення протилежних тенденцій до звуження сфери уваги, обмеження предмета дослідження окремими підсистемами чи сферами забезпечення енергетичної безпеки. Це, своєю чергою, зумовлює необхідність скорочення та фіксації окремого набору параметрів, які беруться до уваги.

У країнах з високим рівнем зрілості ринкової економіки об'єкт дослідження (сфера енергетичної безпеки) обмежується сферою економічного регулювання процесів фізичної наявності первинних енергетичних ресурсів, надійності технологічного обладнання та ефективності економічних моделей організації енергетичних ринків. Саме таке розуміння відтворюється в багатьох визначеннях терміна «енергетична безпека». Класичним виявом цього є надане Міжнародним енергетичним агентством (МЕА) визначення енергетичної безпеки, що трактується як неперервна доступність джерел енергії за прийнятною ціною (*the uninterrupted availability of energy sources at an affordable price*)<sup>2</sup>. Цим визначенням МЕА акцентує увагу лише на окремих параметрах, як-от: фізична наявність ресурсів, безперервність їх постачання та економічна доступність.

Водночас таке звужене визначення межі об'єкта управління є досить специфічним, через що придатним переважно для застосування в країнах з усталеною моделлю демократичного врядування, зрілою ринковою економікою та лише в стабільній ситуації на енергетичних ринках. Окрім того, на наше переконання, такий підхід, хоча і є логічним,

---

<sup>2</sup> International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/areas-of-work/energy-security>

але не враховує впливу політичних рішень на функціонування енергетичних ринків, які не завжди відповідають економічній логіці [5].

Ще один підхід до обмеження набору параметрів, які необхідно брати до уваги, аналізуючи стан справ у сфері енергетичної безпеки, заснований на оцінці загроз / ризиків енергетичній безпеці. Так, пропонується розглядати лише процес забезпечення стабільності енергопостачання, через що відбувається звуження трактування енергетичної безпеки до «безперервності енергопостачання відповідно до потреб» [10]. Решту аспектів (наприклад, економічну, екологічну чи соціальну складові частини) пропонувалося віднести до категорії загроз та, відповідно, надалі оперувати ними в логіці управління ризиками, виокремлюючи джерела ризику (технічні, людські, природні загрози) та рівень їх передбачуваності (передбачувані, імовірні, важко передбачувані та невідомі).

З логікою звуження предмета аналізу у сфері енергетичної безпеки збігається й підхід щодо спрощення аналізу рівня енергетичної безпеки завдяки оцінюванню загроз і забезпеченню безпеки «важливих енергетичних систем» (*vital energy systems*), оскільки саме ці системи поєднані одним процесом «потоків енергії» (енергетичні ресурси, технології та споживачі) й забезпечують критичні функції суспільства (держави) [11; 12].

Проте тенденція до звуження сфери уваги чи предмета регулювання у сфері енергетичної безпеки не може вважатись аргументованою для країн з перехідною економікою. У таких країнах рішення щодо моделей функціонування енергетичних ринків, пріоритетів розвитку державних енергетичних компаній (зазвичай це значна частка ринку) та принципів забезпечення енергетичної безпеки приймають з огляду на пріоритет забезпечення електоральних симпатій. Через це енергетична політика таких країн часто базується на логіці популізму та спрямована як на досягнення короткострокових політичних цілей, так і на забезпечення можливостей для «рентної експлуатації» енергетики провладними групами впливу. Врешті цілі сектори енергетики стають джерелом підтримання «державного соціального патерналізму», примушуючи державні компанії працювати собі у збиток [5; 13].

Енергетична безпека є також важливим чинником забезпечення державного суверенітету та незалежності країни. Цей аспект став особливо актуальним для України ще з 2006 р. А з 2014 р. вплив на енергетичну політику країни, перешкоджання роботі систем енергозабезпечення і, як наслідок, порушення сталих умов життєдіяльності населення є од-



ними з найважливіших інструментів гібридної війни РФ проти України [14]. Цей вимір набув ще більшої актуальності та важливості для України на початку 2022 р. – саме тоді, 24 лютого, РФ розв’язала широкомасштабну війну проти України та вдалася до цілеспрямованого масового руйнування енергетичної інфраструктури нашої держави.

Нині постає завдання збалансувати об’єктивну змінність потрібного набору параметрів для адекватного оцінювання енергетичної безпеки відповідно до зміни зовнішнього середовища (технологічний та економічний розвиток, зміна геополітичних, кліматичних умов, специфіка функціонування енергетики країни тощо) із формуванням сталого методологічного підходу до їх добору, ураховуючи практичні потреби дослідника (країни, галузі тощо).

Беручи до уваги тенденції розвитку енергетичних ринків, глобалізації й теоретичних засад досліджень у цій сфері, можемо наголосити на необхідності зосереджувати увагу на *динаміці змін у системі*. З цією метою пропонуємо використовувати *системний підхід* для дослідження проблем енергетичної безпеки. Саме цей підхід буде наступним етапом історичного розвитку теоретичних досліджень у сфері енергетичної безпеки. Пропонуємо продовжити висвітлений у працях А. Черпа та Дж. Джуел підхід до етапів розвитку теорії [11], запровадивши методологію досліджень відкритих систем (екосистемність) для врахування вимог сьогодення (*табл. 1*) [15].

Застосування системного підходу дозволить суб’єкту управління (дослідження) сформувати набір інструментів оперування динамікою системи, виокремлювати процеси розвитку системи, формувати механізми адаптації системи до нових умов функціонування, пропонувати методологію цілепокладання розвитку системи.

*Системний підхід* дає змогу описати енергетичну безпеку як об’єкт управління через виокремлення в ньому таких блоків [15]:

- система як ціле, що визначає її ціннісні характеристики, роль у більшій системі (інтегрованість у неї, рівень суб’єктності);

- елементи та зв’язки системи, котрі характеризують інституційну та організаційну визначеність, а також забезпеченість ресурсами (правовими, фінансовими, матеріальними, інформаційними, людськими тощо);

- функції й ролі у системі, що регламентує завдання її елементів, їх відповідність установленим вимогам і спроможність надавати цільові послуги;

– процеси системи (виробничі, управлінські, сервісні, трансформаційні), які визначають її керованість, узгодженість дій, їх результативність та ефективність;

– матеріал системи, що визначає якісні характеристики системи, її елементів, зв'язків, процесів.

**Таблиця 1. Еволюція розвитку теоретичних засад досліджень проблем енергетичної безпеки**

Перспективи	Суверенітет	Надійність	Стойкість	Екосистемність*
Історичні передумови	Постачання нафти під час війни та нафтові кризи 1970-х років	Аварії систем електропостачання (знеструмлення територій), побоювання щодо обмеженості енергоресурсів	Лібералізація енергетичних систем	Глобалізація та зростання взаємозалежності й посилення впливу політичних, економічних, технічних, воєнних аспектів на енергозабезпечення
Ключові ризики для енергетичних систем	Цілеспрямовані дії зловмисників (країни, суб'єкти ринків)	Прогнозовані природні й технічні фактори	Різноманітні та частково непрогнозовані фактори	Нестабільність зовнішнього середовища, динамічне зростання кількості, рівня та різноманітності позасистемного впливу (дій держав і недержавних акторів, технологічних трансформацій, політичних та економічних моделей функціонування тощо)
Базові наукові дисципліни	Безпекові дослідження, міжнародні відносини, політичні науки	Інженерні та природничі науки	Економіка, аналіз комплексних систем	Стратегування, системний підхід, відкриті системи, кібернетика (штучний інтелект, <i>Big Data</i> )
Основні механізми захисту	Контроль над системами енерго-	Модернізація систем енергопостачання	Підвищення здатності витримувати	Формування спроможності адаптації

Закінчення табл. 1

Перспективи	Суверенітет	Надійність	Стійкість	Екосистемність*
й реагування на загрози	постачання. Інституційно-організаційні рішення щодо запобігання діям, спрямованим на порушення постачання	та перехід на енергоресурси, наявні у значних обсягах	негативні впливи та відновлюватися після руйнівних впливів	до нових умов функціонування (перебудови структури та елементів системи енергозабезпечення)
Інструменти забезпечення стійкості	Конкурентні ринки, диверсифікація учасників ринків, залучення учасників, котрі користуються довірою на ринках	Запаси ресурсів та обладнання на випадок кризи та дублювання, інфраструктурна різноманітність, резервні потужності ( <i>spare capacities</i> )	Диверсифікація енергетичних технологій, енерго-ефективність, готовність до кризового реагування, стимулювання новітніх розробок	Наявність та гнучкість змін технологій, конкуренція видів енергоресурсів та енергетичних технологій на ринках, саморегулювання виробництва / споживання енергії споживачами ( <i>prosumers</i> ), «розумні» мережі ( <i>Smart Grids</i> ), децентралізація енергосистем

Примітка: \* – доповнено автором.

Джерело: складено авторами за [11; 15].

Загалом під системою розуміють множину взаємопов'язаних елементів, які взаємодіють між собою та утворюють цілісність<sup>3</sup>. Пояснення системного підходу до опису об'єкта управління унаочнено на рис. 1.

<sup>3</sup> На доповнення до такого визначення інколи стверджують, що система має мету. Значимо, що спроби самозбереження живої системи, соціальної системи не вважаємо за мету, оскільки це здійснюється еволюційно через спроби пошуку «кращого» варіанта збереження свого місця у зовнішньому середовищі. Мету системі задає суб'єкт – управлінець, який цілеспрямовано намагається надати системі необхідні йому властивості (бажаний стан), або дослідник, який «будує» систему для визначених ним цілей. Саме тому розрізняємо еволюцію системи (адаптацію властивостей системи до змін зовнішнього середовища – система не має суб'єкта) та розвиток системи (зумовлені та керовані суб'єктом зміни у системі відповідно до поставленої ним мети). При цьому варто наголосити, що в соціальній системі суб'єкт (управління) іще має усвідомлювати свою роль і відмежовувати себе від об'єкта (перебувати в рефлексивній позиції), оскільки він одночасно є складовою частиною системи (рис. 1б).

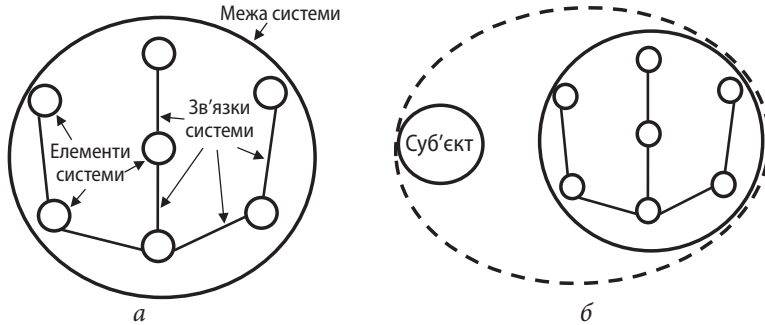


Рис. 1. Системний підхід до опису об'єкта управління: а – опис об'єкта як системи; б – опис суб'єкт-об'єктної системи

Джерело: складено автором за [5].

Виходимо з того, що сфера управлінської діяльності щодо забезпечення енергетичної безпеки (межі нашого об'єкта управління) визначається потребами національної безпеки. Тобто наш об'єкт управління охоплюватиме такі аспекти функціонування, які є важливими в сенсі національної безпеки (забезпечення реалізації національних інтересів) [5]. Тому приймаємо визначення енергетичної безпеки, яке задаватиме як межі, так і основні складники системного представлення об'єкта управління.

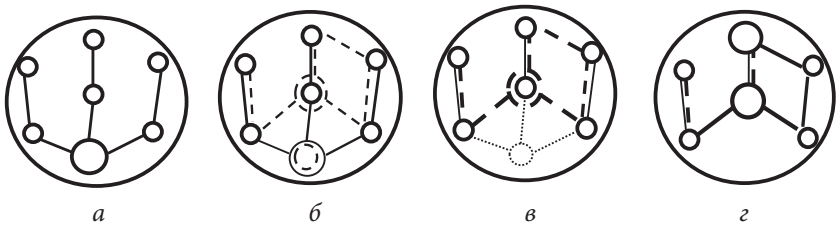
**Енергетична безпека** – спроможність країни технічно надійним та безпечним, економічно ефективним та екологічно прийнятним способом забезпечити: (i) задоволення потреб суспільства в енергоресурсах; (ii) стає функціонування національної економіки в нормальних і кризових умовах; (iii) незалежність країни у формуванні та здійсненні політики захисту національних інтересів [16].

Задавши через визначення загальний опис системи, отримуємо орієнтири щодо аспектів, які необхідно брати до уваги під час опису об'єкта управління. Щоб зняти наявні обмеження технічного підходу, будемо розкривати систему, виокремлюючи поряд із традиційними складниками (елементи, зв'язки, структура) також її процесуальний вимір функціонування [17].

Процесуальний вимір, а саме відображення змін структури зав'язків між елементами системи, функціональних призначень (ролей) елементів у системі та взаємодії між елементами системи, дозволяє ввести у аналіз **динаміку системного розвитку** (врахування внутрішнього розвитку системи та її взаємодії із зовнішнім середовищем (як складова частина більшої системи)).

*Процес* розумітимемо як перерозподіл визначеного ресурсу в системі відповідно до її організаційно-функціональної структури, що відображається у зміні структури зв'язків та/або властивостей елементів<sup>4</sup>. У цьому контексті важливим є не відображення зміни окремих параметричних характеристик системи в часі, що найчастіше фахівці розуміють як «динаміку системи», а зміни всередині системи, які визначають її властивості [17].

Зображеною на *рис. 2* послідовністю станів системи описано трансформаційний процес, що відбувається в системі, зумовлений внутрішніми закономірностями його життєдіяльності чи зовнішніми впливами. Залежно від «якості матеріалу» системи (міцності, опірності елементів і структури зв'язків, кваліфікації персоналу, адекватності прийнятих рішень тощо) цей трансформаційний процес може плунути з різною швидкістю та спричинити різні наслідки.



*Примітка:* товщина ліній і розмір фігур відображають вагу елементів та зв'язків системи у визначений момент часу (у процесі еволюції / розвитку системи).

*Рис. 2.* Опис плуну «трансформаційного» процесу в системі: *а* – системний опис об'єкта формалізованого (як має бути відповідно до законодавчих або технічних рішень); *б* – опис об'єкта під час ідентифікації неформалізованих зв'язків і взаємовідносин між елементами на початку трансформаційного процесу; *в* – опис об'єкта з урахуванням неформалізованих зв'язків і взаємовідносин між елементами на етапі суттєвого посилення трансформаційного процесу; *г* – опис об'єкта з урахуванням зміни раніше формалізованих та неформалізованих зв'язків і взаємовідносин у рамках нової трансформованої системи

*Джерело:* складено автором за [5].

<sup>4</sup> Для виділення процесу використовуватимемо метод структурного розщеплення, який розкриває об'єкт через його відображення в організаційному, функціональному та матеріальному аспектах. Синтез динаміки цих аспектів дозволяє ідентифікувати процес, що відбувається в системі, і зрозуміти закономірності його плуну, а також його ймовірний результат (кінцевий стан системи).

З часом важливість одних елементів та зв'язків може втрачатися (вони «відінуть»), інших, навпаки, – зростати (їхня вага збільшуватиметься). За подальшої еволюції буде отримано нову систему, яка взаємодіятиме із зовнішнім середовищем відповідно до її нових властивостей.

Застосування графічного методу опису змін у системі уможливило ідентифікувати процес «рентної експлуатації» енергетичного сектору України (рис. 3).

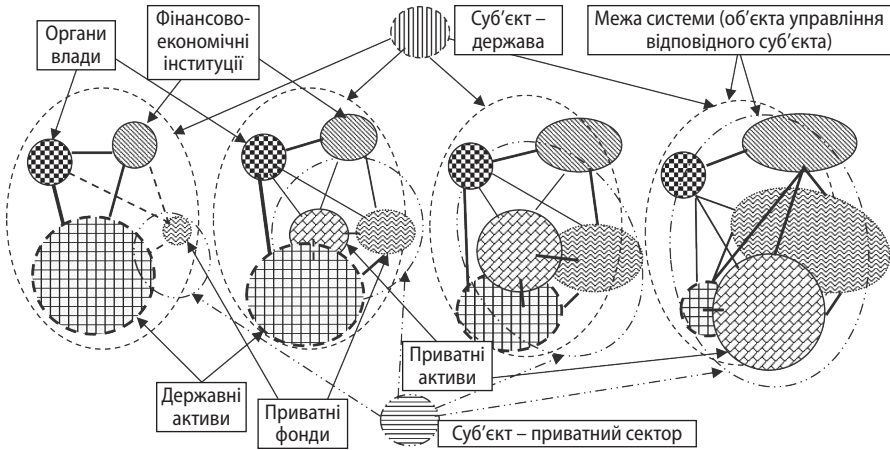


Рис. 3. Розкриття процесу рентної експлуатації енергетичного сектору України в 1992–2013 рр.

Джерело: складено автором за [15].

Через зображення зміни важливості окремих елементів та зв'язків удалося ідентифікувати процес перехоплення управління розподілом ресурсів в енергетичному секторі України протягом 1992–2013 рр. Зокрема, процес відобразився у «рентній експлуатації», а саме: поступовому переході права власності на активи енергетичного сектору України від держави до приватних власників, зростанні впливовості приватного сектору функціонування енергетики країни, виведенні частини управлінських повноважень та активів енергетики за межі системи (юрисдикції країни) [17].

Процес трансформації системи (втрата керованості системою формальним суб'єктом управління (держава) та перехід управління до неформального суб'єкта (приватний)), що відображений на рис. 3 у вигляді послідовності станів системи, проходив поетапно:

1. *Державний контроль і регулювання енергетичного сектору (1991–1994 рр.)*. Держава обмежує запровадження ринкових принципів господарювання та ціноутворення на енергоресурси. Фінансові потоки галузей енергетики контролюються органами виконавчої влади, які здійснюють видачу пільгових кредитів та емісійне покриття збитків суб'єктів господарювання державної форми власності. Запроваджується правова основа застосування «бартерних і давальницьких схем» господарювання та формування приватного сектору як вигодонабувача.

2. *Лібералізація відносин в енергетичній галузі (1995–2001 рр.)*. Широке використання «бартерних і давальницьких схем» (спочатку з природним газом, нафтою, а потім електроенергією) приватним сектором («посередниками»). «Посередники» розробляють нові схеми торгівлі енергоресурсами. Накопичення капіталів та початкова приватизація об'єктів енергетичного сектору відповідними «посередниками» та формування системи впливу на діяльність органів влади (поява конкурентних центрів управління). Прибутки «посередників» формуються завдяки інструментам переведення заборгованостей споживачів енергоресурсів у боргові зобов'язання держави та приватизовані активи енергетики.

3. *Стабілізація нової структури відносин (2002–2010 рр.)*. Формування інституційних засад функціонування енергетичного сектору з різними формами власності на активи сектору як тимчасової форми узгодження приватних і державних інтересів. Розширення інституційної бази рентної експлуатації через зростання державних зобов'язань за утримання низьких цін на енергоресурси для окремих категорій споживачів, формування механізмів державної підтримки окремих виробників та споживачів енергії (гарантії держави, кредитні ресурси, перехресне субсидування). Отримання недержавними суб'єктами прибуткових сфер діяльності в енергетичному секторі (постачання сировини, обладнання, послуг, отримання кращих активів) та використання державної підтримки окремими галузями у власних цілях. Зростання впливу приватних власників на рішення органів влади та контроль за фінансовими потоками галузі. Активізація приватизаційних процесів та розширення впливовості приватної власності в енергетиці України.

4. *Нова структура суб'єкт-об'єктних відносин (2011–2013 рр.)*. Подальше розширення впливу приватної форми власності в енергетичному секторі та зниження впливовості органів виконавчої влади. Пе-

рехід ролі суб'єкта регулювання галузі до приватного сектору (вплив на органи влади, розроблення законодавчих актів, стратегії розвитку енергетики). Формування нової структури фінансово-економічних взаємовідносин в енергетичному секторі на користь нових суб'єктів (створення системи пільгового оподаткування для окремих галузей та проектів), збільшення видатків державного бюджету на підтримку державних компаній та збільшення обсягів державних закупівель через них. Використання прибуткових сфер ринку енергоресурсів приватними власниками та переведення збиткових сфер ведення бізнесу і зобов'язань щодо субсидування низьких цін для окремих категорій споживачів на державні активи<sup>5</sup>.

Після 2014 р. суттєвих змін не спостерігалось, що пояснюється завершенням процесу переходу основних активів енергетики під контроль приватного сектору та запровадженням нових взаємовідносин на енергетичних ринках<sup>6</sup>, що суттєво знизило можливості застосування «звичних» схем перехоплення контролю над фінансовими потоками<sup>7</sup>, та своєрідну формалізацію «нової» системи.

Отже, аналізуючи представлені етапи трансформації системи, можна вирізнити закономірності, що визначають процес рентної експлуатації:

- сталість цільової спрямованості та логічна цілісність протягом усього періоду існування процесу, зокрема формування механізмів отримання «енергетичної ренти» та переформатування структури взаємовідносин в енергетичному секторі на користь приватних активів;
- зміна в часі основного джерела ренти (вугільна, газова, нафтова, електроенергетична) та інституційної основи таких процесів (бартер, субсидії, державні кредити та гарантії, пільгова приватизація) залежно від соціально-політичної ситуації (зовнішнього середовища);

<sup>5</sup> Видатки державного бюджету на підтримку державної вугільної галузі зросли із 7 млрд грн – у 2010 р. до 13 млрд грн – у 2013 р., причому частка державних шахт зменшилась із 70 % – у 2010 р. до 36 % – у 2013 р. У 2011–2013 рр. обсяги компенсації НАК «Нафтогаз України» зросли до 14 млрд грн.

<sup>6</sup> Йдеться про прийняття законів України «Про ринок природного газу» (2015) та «Про ринок електричної енергії» (2017).

<sup>7</sup> Сповільнення описаного процесу рентної експлуатації у сфері енергетики тривало до моменту розв'язання Росією війни проти України, що створило умови до виникнення нових процесів перерозподілу активів, зокрема тих, які перебували у власності осіб, пов'язаних із країною-агресором.



- адаптивність інституційно-функціональної структури регулювання фінансових потоків енергетичного сектору відповідно до інтересів приватних акторів з використанням формальних структур влади для розширення механізмів «рентної експлуатації» в енергетичному секторі;
- прогнозованість наступних етапів перебігу процесу та його впливу на об'єкт (перехід суб'єктності від державних до недержавних суб'єктів).

Керований процес трансформації системи взаємовідносин в енергетичному секторі спрямовується в напрямі розширення ролі приватного сектору, що набуло втілення у новій організаційно-функціональній структурі взаємовідносин, нових інституцій та центрів формування управлінських рішень. Приватний сектор, який у своїй діяльності орієнтувався на власні інтереси, отримав вплив на більшу частку активів енергетики (енергетичні активи та фінансові ресурси). Держава значною мірою втратила контроль над фінансами енергетичної галузі, роль монополіста в управлінні та спроможність формувати й реалізовувати політику в довгостроковій перспективі [5; 17; 29]. Відображенням цього процесу на матеріалі системи стало прогресуюче зношення основних виробничих фондів енергетичного комплексу, накопичення боргових зобов'язань суб'єктів енергетичних ринків перед державою та іншими суб'єктами, зниження кваліфікації персоналу суб'єктів господарювання та органів влади<sup>8</sup>.

Наголосимо на важливому практичному аспекті системного опису сфери управління. Усвідомлюючи подібний процес еволюції системи, суб'єкт управління може керувати його перебігом – впливати на матеріал системи (робити «твердим», «м'яким», «розумним»), структуру зв'язків чи елементів (уводити нові, ліквідувати деякі, коректувати чинні). Здійснюючи такий вплив, суб'єкт виконує керування розвитком

<sup>8</sup> Розгляд критичного стану основних фондів нафтопереробної галузі та зниження рівня завантаженості підприємств до 7 % – у 2013 р. на слуханнях у Комітеті з питань паливно-енергетичного комплексу Верховної Ради України (7 жовтня 2013 р.) завершився тим, що була висловлена необхідність надання податкових пільг власникам нафтопереробних заводів (НПЗ), державної підтримки проектам реконструкції та модернізації об'єктів нафтопереробної галузі України, звільнення НПЗ від сплати податку на землю тощо. При цьому не було розкрито причин критичного стану, а саме існування цілеспрямованого штучного процесу виведення з експлуатації українських НПЗ, що фактично зумовлює неадекватність пропонованих реальній ситуації рішень [17].

системи, надаючи їй бажані властивості (досягнення цільового, безпечного стану) та формуючи стійкість до загроз.

Застосовуючи системний підхід, суб'єкт управління може виділити набір параметрів, що описують плин процесів у системі (як унаслідок формалізованого функціонування системи<sup>9</sup>, так і внаслідок дії раніше не визначених (неформалізованих) дестабілізуючих чинників впливу (загроз) чи уточнення цілей розвитку).

Отже, застосовуючи системний підхід до опису об'єкта управління (енергетичної безпеки), можемо виокремити декілька необхідних множин параметрів для подолання недоліків технічного підходу (*табл. 2*).

Запропонований підхід до опису об'єкта управління дає змогу узгодити різні підходи у сфері безпекових досліджень. Системний підхід дозволяє узгодити підходи до **розуміння енергетичної безпеки як спроможності й стану захищеності системи** [1; 15–18]. Так, стан системи відобразатиметься параметрами, що описують цілісне сприйняття системи «зовнішнім» (відносно системи) спостерігачем. У випадках, коли зовнішні суб'єкти не цікавляться процесами, які відбуваються всередині нашої системи<sup>10</sup>, система оцінюється за набором параметрів, що характеризуватимуть її у взаємозв'язках із зовнішнім середовищем. Фактично така група параметрів відтворюватиме традиційний підхід до оцінювання енергетичної безпеки як статичного об'єкта управління.

Спроможність системи відобразатиметься в групах параметрів, які описують функції та процеси системи. Ці групи параметрів описують взаємодію між елементами системи, динаміку реагування на ті чи ті чинники (внутрішні та зовнішні впливи) у рамках формальної структури системи, відповідність функцій / процесів завданням системи, котрі проектуються. Ці складові частини системи мають бути предметом особливої уваги суб'єкта управління, оскільки розкрива-

<sup>9</sup> Процесом формалізованого функціонування є перерозподіл ресурсів системи (поток інформації, енергоресурсів, знань тощо) відповідно до проектної структури системи (законодавчо визначених інституційної та функціональної структур системи). На відміну від формалізованого процесу, трансформаційний процес на початковому етапі не фіксується наявними правилами (тобто є неформалізованим). З часом система трансформується, а її зміни «узаконюються» (у матеріалі, законодавстві, світогляді управлінця тощо). Саме на ідентифікацію трансформаційних процесів і має бути налаштована система ідентифікації загроз та оцінки ризиків.

<sup>10</sup> Якщо метою зовнішніх суб'єктів не є руйнування системи чи перехоплення управління нею.

Таблиця 2. Застосування системного підходу до опису об'єкта управління

Системний зміст	Зміст параметрів	Опис орієнтовного набору параметрів енергетичної безпеки
<b>Цілісна система</b>		
Система як елемент більшої системи: – роль цієї системи у більшій; – пріоритет взаємодії (проблемність / вигідність) цієї системи для більшої. Ціннісні характеристики системи	Імпортна залежність (експортер – імпортер); диверсифікованість (ринків, джерел, технологій); інтегрованість (ресурсна, технологічна, економічна (корпоративна, ринкова), політична, транзитна). Суб'єктність (щодо позиціонування, прийняття рішень, виконання); політико-економічна (модель організації функціонування системи)	Обсяги загального енергоспоживання країною; обсяги виробництва енергоресурсів; частка енергетики у ВВП; вартість енергоресурсів для країн у ВВП; баланс експорту / імпорту енергоресурсів (енергії); вартість імпорту енергоресурсів; споживання електроенергії на людину; енергоємність ВВП; викиди парникових газів на обсяги споживання та людину; ресурсна залежність імпорту / експорту (за видами енергетичних ресурсів); технологічна залежність імпорту / експорту (за видами енергетичних технологій); участь у міжнародних угодах; інтегрованість до регіональних ринків (обсяги торгівлі), фізична наявність інтерконекторів (мережі); методи та інструменти держави у регулюванні цін на енергоресурси, енергію, послуги
<b>Елементи та зв'язки системи</b>		
Організаційна структура: – інституційна та організаційна урегульованість; – ресурсна забезпеченість елементів та зв'язків	Наявність: – фіксації політико-економічної моделі (модель організації життєдіяльності системи); – структури системи (інфраструктура інституційна (елементи, суб'єкти) та фізична). Забезпеченість: – ресурсна (енергоресурси, технології, інформація, кадри, знання); – законодавча (модель регулювання)	Модель регулювання енергетичних ринків; інституційна забезпеченість (законодавство; органи державного управління та регулювання); інфраструктурна забезпеченість за визначеними життєво важливими функціями / послугами (наявність, відповідність цілям); забезпеченість персоналом (кваліфікація, відповідність вимогам системи); наявність внутрішніх суб'єктів надання допоміжних послуг у цій сфері; структура енергоспоживання; структура енергетичного балансу; наявність власних паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) (відсоток від потреб; роки гарантованої наявності); структура державної та недержавної власності (інвестицій) в енергетиці;

Продовження табл. 2

Системний зміст	Зміст параметрів	Опис орієнтовного набору параметрів енергетичної безпеки
	функціонування системи)	частка внутрішніх / зовнішніх інвестицій в енергетиці; наявність неформалізованих зв'язків, інституцій у системі
<b>Функції та ролі</b>		
Функціональна структура: – регламентованість ролей (завдання елементів у системі); – наявність спроможності реалізації цільових функцій / послуг; – відповідність вимогам та цілям життя системи	Правова регламентація структури надання цільових функцій (ролей / інституцій); формалізація вимог щодо характеристик ролей / інституцій, їх роботи (результативності, надійності тощо); параметри цільових функцій / послуг (проектні, відхилення)	Відповідність ролей / інституцій функціональним призначенням та цілям розвитку системи; відповідність інфраструктурного та інституційного забезпечення цільовим вимогам за визначеними життєво важливими функціями / послугами (електро-, газо-, тепло-, водопостачання тощо); резервування / дублювання (інституцій, інфраструктури, ресурсів) на випадок криз – критерії (N-1 / N-2), місяці споживання; частота і тривалість перерв енергопостачання на одного споживача; час відновлення надання основних послуг / функцій; залежність імпорту / експорту з одного джерела (за видами енергетичних ресурсів); залежність імпорту / експорту з одного джерела (за видами енергетичних технологій); частка домінуючої країни (постачальника) у загальному обсязі імпорту; структура генеруючих потужностей (базових, маневрових, пікових) у структурі забезпечення енергетичних потреб; сервісне забезпечення (управлінське, обслуговуюче, економічне, технологічне); наявність неформалізованих суб'єктів (ролей, інституцій), що впливають на функціонування системи; відкритість та прозорість процесу прийняття управлінських рішень
<b>Процеси</b>		
Формальні (відповідно до структури системи): – виробничі (розподіл ресурсів за структурою); – управлінські (відповідність	Вагомість певного процесу для життєдіяльності системи (ресурсне забезпечення, залученість, наповненість, завантаженість);	Рівень забезпеченості потреб (за видами ресурсів, послуг); стійкість надання життєво важливих функцій / послуг; енергетична ефективність надання життєво важливих функцій / послуг; кінцева вуглецемність надання життєво важливих функцій / послуг;

Закінчення табл. 2

Системний зміст	Зміст параметрів	Опис орієнтовного набору параметрів енергетичної безпеки
<p>рішень потребам процесу та цілям системи);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– допоміжні (сервісні).</li> </ul> <p><i>Неформальні</i> (трансформаційні, які зумовлюють зміни в системі):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– внутрішньо-системні;</li> <li>– позасистемні</li> </ul>	<p>ефективність і результативність процесу (затратність, досягнення цілей, відновлюваність);</p> <p>керованість (система моніторингу та коригування, резерви, нарощування, адаптації стимулювання);</p> <p>приналежність системі (екстериторіальність інвестицій, право власності, управління);</p> <p>синергетичність (узгодженість процесів на засадах системних цінностей)</p>	<p>рівень витрат доходів домогосподарств на енергозабезпечення;</p> <p>прибутковість надання життєво важливих функцій / послуг;</p> <p>концентрація ринків (енергопостачання; постачання технологій; послуг);</p> <p>концентрація ринків (енергопостачання; постачання технологій; послуг) – індекс Герфіндала – Гіршмана;</p> <p>рівень тінзації паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) (частка неформалізованих процесів – рівень тінзації ПЕК, рівень тінгового споживання ПЕР, рівень тінгового завантаження капіталу, оплати праці);</p> <p>достатність інвестування в розвиток енергетики (рівень оновлення основних засобів ПЕК);</p> <p>рівень зовнішнього інвестування;</p> <p>ліквідність ринків;</p> <p>ризиковість ринків;</p> <p>динаміка коливань цін на ринках;</p> <p>втрати при передачі, перетворенні, споживанні енергоресурсів (енергії);</p> <p>рівень спроможності забезпечити імовірність зростання енергетичних потреб (<i>spare capacity</i>) – збільшення видобутку / генерування;</p> <p>відновлюваність запасів / резервів;</p> <p>ступінь зношеності основних фондів енергетики; <i>LOLE (Loss Of Load Expected), год</i> або <i>LOLP (Loss Of Load Probability), %</i> – критерій імовірності втрати навантаження або математичне очікування втрати навантаження; <i>EENS (Expected Energy Not Served), MВт·год</i> – критерій очікуваної непоставленої енергії або (імовірний) дефіцит електричної енергії</p>
<b>Матеріал системи</b>		
<p>Якісні параметри та вимоги до системи, елементів, структури, процесів</p>	<p>Фізичний вимір (якісні параметри техніки, ресурсів);</p> <p>управлінський вимір (кваліфікація персоналу);</p> <p>політичний вимір (відповідність суб'єкта)</p>	<p>Якість послуг (первинних ресурсів, продуктів та енергії);</p> <p>кваліфікованість кадрів (технічних та управлінських);</p> <p>відповідність політичних лідерів завданням, що постають перед системою;</p> <p>ефективність постановки цілей та їх імплементації</p>

Джерело: складено авторами за [15].

тимуть закономірності життєдіяльності системи та вказуватимуть на предмет його управлінських рішень та їх адекватність.

Варто зазначити, що визначення конкретного набору параметрів опису системи є творчим процесом, зумовленим практичними потребами, а отже, залежно від цілей суб'єкта управління (дослідника) результат може різнитися. У деяких випадках доцільно детальніше аналізувати окремі складові частини системи (елементи, зав'язки, функції, процеси). Зокрема, існує теоретична та практична необхідність аналізувати ризики життєво важливих енергетичних систем<sup>11</sup>, які забезпечують процес надання цільової функції / послуги<sup>12</sup>. При цьому системний підхід може бути застосований для акцентування уваги на будь-якому аспекті чи складовій системи.

Підсумовуючи, зазначимо, що будь-яка з країн, яка намагається реалізувати стратегію енергетичної безпеки, прагне розробити свій набір індикаторів безпеки для оцінки її рівня. Вибір дослідником сфери уваги визначатиме кількість індикаторів оцінки та їх зміст.

Окрім проблеми вибору межі дослідження, виникають інші питання. Зокрема, немає єдиної достовірної статистики, а дані щодо одних і тих самих індикаторів часто не збігаються. Те, що необхідні статистичні дані відсутні, ускладнює використання окремих індикаторів. Проте існує низка принципів формування системи індикаторів, якими доцільно користуватися, наприклад принцип *системності*, *комплексності*, *ієрархічності*, *адекватності*, *однозначності*, *безперервності*, *доступності*.

Отже, будь-який сформований перелік складників та індикаторів енергетичної безпеки відображає бачення автора та є обґрунтованим з його точки зору. Водночас жоден набір індикаторів не може бути до-

<sup>11</sup> Для спрощення (як перше наближення) оцінку безпеки системи можливо здійснювати через оцінку безпеки окремих процесів, які її характеризують та забезпечують реалізацію її основних цільових функцій / послуг (забезпечення електроенергією чи тепловою енергією, нафтопродуктами тощо). У деяких випадках оцінювання ризиків системи здійснюється саме через оцінку впливу загроз на основні цільові функції / послуги системи. Подібно формується оцінка короткотермінових загроз з огляду на вплив загроз на окремі інфраструктурні системи («важливі енергетичні системи») [11; 12].

<sup>12</sup> До важливих процесів у сфері енергетичної безпеки, на наш погляд, належать: електропостачання; газопостачання; тепlopостачання; постачання нафтопродуктів; ціноутворення; стратегування; управління; законодавче регулювання; технічне регулювання; модернізація фондів; диверсифікація; науково-технічні розробки; підготовка кадрів; регіональна інтеграція.

сконалим та остаточним. Крім того, набір індикаторів має змінюватися з урахуванням динаміки розвитку системи та зовнішнього щодо системи середовища, що потребуватиме постійного процесу уточнення набору індикаторів та вдосконалення методології їхнього аналізу, щоб відповідати конкретним країнам, пріоритетам і можливостям. Тому будь-які пропозиції з удосконалення індикаторів дослідник / управлінець затверджує або відхиляє відповідно до його практичних потреб.

## **1.2. Наукове обґрунтування визначення меж безпечного існування**

Системне дослідження проблеми сталого розвитку будь-якої системи має містити визначення меж безпечних умов життєдіяльності системи, без знання яких неможливо захистити життєво важливі інтереси об'єктів безпеки. Крім того, знання про безпечні умови існування системи допомагають виконувати важливіші функції, наприклад проводити моніторинг стану системи, яка досліджується, порівняно з граничними значеннями, а це, своєю чергою, дозволяє адекватно оцінювати поточний стан, здійснювати цілепокладання, стратегування та об'єктивно визначати ефективність дій суб'єкта управління.

У переважній кількості публікацій для визначення граничних значень при оцінюванні рівня безпеки застосовуються експертні оцінки [30], що вносить певну частку суб'єктивізму, не звільняє від принципових помилок та, безперечно, знижує наукову й практичну цінність отриманих результатів.

Багато авторів досліджень обмежуються розрахунком інтегрального індексу об'єкта безпеки без порівняння з вектором граничних значень та визначають лише їх збільшення / зменшення в окремі періоди, що може призвести до помилкового висновку щодо максимізації інтегрального індексу.

З огляду на це стає зрозуміло, наскільки важливим для управління безпекою є науково обґрунтоване визначення граничних значень індикаторів безпеки. Найбільш поширені в практиці визначення цих значень: аналоговий підхід, різноманітні експертні та бальні оцінки, цільові та законодавчо закріплені нормативні значення, а також рекомендації й постанови авторитетних міжнародних та європейських організацій. Формалізованих підходів науково обґрунтованого визначення граничних значень індикаторів безпеки поки що не існує.

Визначення граничних значень при інтегральному оцінюванні змінювалося від їх повного ігнорування до скалярного (*не більше або не менше*) та векторного [30] з п'ятьма діапазонами нижче від оптимальних значень, тобто перевищення оптимальних значень до верхніх порогових та критичних зовсім не враховується.

Загалом можна визначити потенційно можливі підходи до наукового обґрунтування граничних значень індикаторів безпеки [31], зокрема це три групи *методів*:

### 1. *Евристичні*:

- *метод снігової кулі* – модифікація соціометричного опитування, до якого залучаються знайомі експерти вузької спеціалізації. Під час їх опитування визначаються інші особи, яких теж опитують, і так доти, поки нові прізвища перестають з'являтися;
- *метод аналогій* – встановлює відповідність, подібність між двома системами індикаторів, що розглядаються, за деякими ознаками. Основою висновків є результати математичної обробки бази знань;
- *метод калібрування* – полягає в тому, що оцінки людей, яких навчили долати систематичні помилки та необ'єктивність, з часом стануть значно точнішими, а оцінка невизначеності – це навичка, якої можна досягти та вдосконалювати.

### 2. *Стохастичні*:

- *метод діагностування* – належить до класу кібернетичних методів розпізнавання образів, які уможливають визначення подібності характерних властивостей образів і тих класів, факт належності до яких встановлюється. Основними інструментами розв'язання зазначених задач є кластерний аналіз та метод теорії нечітких множин;
- *метод  $t$ -критерію* – дозволяє визначити довірчий інтервал за допомогою середнього значення та середньоквадратичного відхилення, помноженого на довірчий коефіцієнт  $t$ , яке береться з таблиць  $t$ -розподілу Стьюдента, для певного рівня довіри воно визначається не обсягом вибірки, а числом, яке відоме як ступінь свободи;
- *метод логістичної регресії* – дає змогу працювати з бінарною вихідною змінною, де кожне спостереження чи об'єкт мають бути віднесені до одного з двох класів (наприклад,  $A$  – сталий стан,  $B$  – несталий стан). Тоді з кожним результатом пов'язана подія:



об'єкт належить до класу А та об'єкт належить до класу В. У кінцевому підсумку – оцінка ймовірності відповідного результату.

### 3. Аналітичні:

- метод макроекономічного моделювання та функціональних залежностей, які змістовно відображають наслідки впливу дестабілізуючих факторів для умов конкретної країни в поточний період часу;
- метод Ахієзера – Гольца – заснований на відношенні соціально-економічних і демографічних показників, дає змогу порівнювати між собою і різні держави, і кожен окрему державу на різних етапах її розвитку, реально втілювати цінності життя;
- метод теорії інформації – заснований на існуванні деякого загального чинника, що створює перепони нормальному розвитку майже всіх без винятку соціальних систем та полягає в тому, що система має перейти через точку оптимального співвідношення реальної ентропії до структурної інформації системи (20 / 80). Тобто система, яка досягла цього рівня, може перейти на наступний ієрархічний рівень розвитку та розпочати утворювати між елементами попереднього рівня нові інформаційні зв'язки;
- метод правила «золотого перетину» – забезпечує системну стійкість та гармонію за рахунок дотримання заснованого на принципі «золотого перетину» співвідношення між основними показниками (0,618 і 0,382).

Отже, урахуовуючи подану вище інформацію, можна дійти певного висновку.

Евристичні методи орієнтовані переважно на експертні, суб'єктивні оцінки, що, безперечно, знижує їхню практичну й наукову цінність. Тому цю групу методів можна використовувати у випадку, якщо статистична інформація є недостовірною, відсутня або наявна в обмеженій кількості; лише частина інформації якісна; складність завдання і ресурсні обмеження не дозволяють експертам самостійно зібрати й узагальнити всю необхідну інформацію; інші методи з якихось причин застосувати неможливо.

Аналітичні методи та методи нелінійної динаміки є занадто загальними та потребують удосконалення в кожному практичному випадку, крім того, не йдеться про визначення вектора граничних значень.

Основні недоліки підходів, які розглядалися, зумовлені відсутністю:

- теоретичної основи визначення градацій безпеки;
- їхнього теоретичного кількісного обґрунтування.

На нашу думку, стохастичні методи (діагностування) мають міцну теоретичну основу й практичну значущість при обробленні статистичних даних, перспективу подальшого розвитку, вони найбільш придатні для формалізації та універсального застосування (зокрема, метод  $t$ -критерію).

Системне дослідження проблеми енергетичної безпеки також складається з вимірювання меж безпечних умов життєдіяльності системи. Тому для кожного індикатора треба визначити *вектор граничних значень*, який формує розширене «гомеостатичне плато», – нижнє критичне  $x_{кр}^H$ , нижнє порогове  $x_{пор}^H$ ; нижнє оптимальне  $x_{opt}^H$ , верхнє оптимальне  $x_{opt}^B$ , верхнє порогове  $x_{пор}^B$  і верхнє критичне  $x_{кр}^B$  (рис. 4) [19,

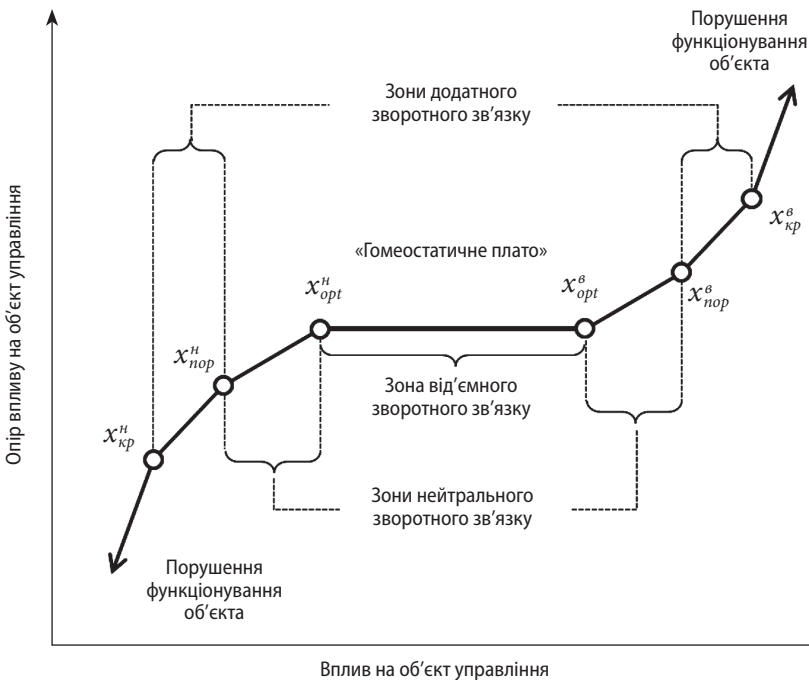


Рис. 4. Розширене гомеостатичне плато динамічної системи

Джерело: складено автором за [19].

с. 67–68; 20]. Пара оптимальних значень характеризує *гомеостатичне плато*, в межах якого існують найкращі умови функціонування системи та від’ємний зворотний зв’язок.

Визначення граничних значень досить щільно пов’язане з поняттям *динамічної стійкості системи* та окремих її складників або з механізмом *гомеостазу* – саморегуляції, здатності відкритої системи зберігати стійкість свого внутрішнього стану за допомогою скоординованих реакцій, спрямованих на підтримку динамічної рівноваги.

За відсутності макромоделі найбільш доступним зі стохастичних методів є метод *t*-критерію, який полягає у побудові для заданої вибірки функції щільності ймовірності та розрахунку статистичних характеристик: математичного очікування, середньоквадратичного відхилення та коефіцієнта асиметрії. З усього розмаїття видів функції щільності ймовірності для всіх індикаторів можна виділити типи з характерним законом розподілу:

- a* – нормальним;
- b* – логнормальним;
- v* – експоненціальним (рис. 5).

Для них визначено формули розрахунку вектора порогових значень [1; 16; 18] (табл. 3).

Дослідження та аналіз індикаторів енергетичної безпеки свідчать про необхідність удосконалення формалізованого опису вектора порогових значень для логнормального та експоненціального типів розподілу, а саме: «хвіст вправо», «хвіст вліво» (табл. 3).

Таблиця 3. **Формалізовані граничні значення\***

Тип функції щільності ймовірності індикатора	Нижній поріг	Нижнє оптимальне	Верхнє оптимальне	Верхній поріг
Нормальний	$\mu - t\sigma$	$\mu - \sigma$	$\mu + \sigma$	$\mu + t\sigma$
Логнормальний (хвіст вправо)	$\mu - t\sigma/k_{as}$	$\mu - \sigma/k_{as}$	$\mu + \sigma$	$\mu + t\sigma$
Логнормальний (хвіст вліво)	$\mu - t\sigma$	$\mu - \sigma$	$\mu + \sigma/k_{as}$	$\mu + t\sigma/k_{as}$
Експоненціальний (хвіст вправо)	$\mu - t\sigma/k_{as}$	$\mu$	$\mu + \sigma$	$\mu + t\sigma$
Експоненціальний (хвіст вліво)	$\mu - t\sigma$	$\mu - \sigma$	$\mu$	$\mu + t\sigma/k_{as}$

Примітка: \* – для критичних значень замість *t* застосовують  $\pm 3\sigma$  або більше для коротких вибірок відповідно до таблиць розподілу Стьюдента.

Джерело: [1; 16–18].

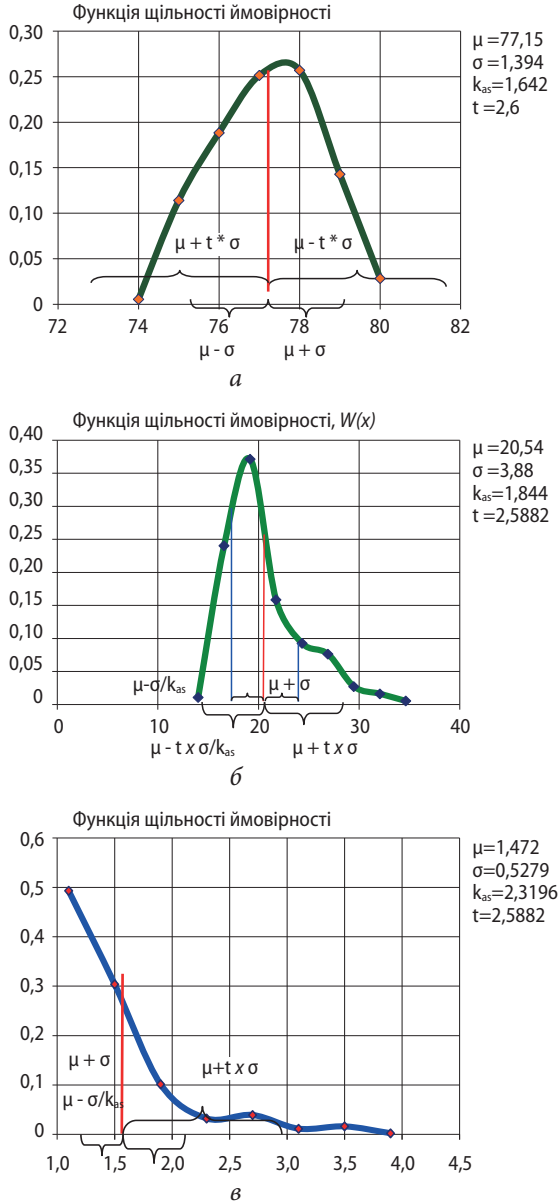


Рис. 5. Характерні типи функцій щільності ймовірності індикаторів: а – нормальний; б – логнормальний; в – експоненціальний

Джерело: складено авторами за [19–20].

У цьому дослідженні, на відміну від попередніх [1; 16; 18], ураховується повний вектор граничних значень (нижнє та верхнє: критичне, порогове, оптимальне). Причому для розрахунку скороченого вектора граничних значень (нижнє та верхнє: порогове, оптимальне) можна використовувати для  $t$  рівень довіри 0,98 або 0,99 з таблиць  $t$ -розподілу Стьюдента, а для розрахунку критичних значень індикаторів (нижнє критичне, верхнє критичне) – рівень довіри 0,998 або 0,999 [20]. Для експоненціального типу розподілу при відсутності параметра  $t$  для деяких граничних значень за критичне обирається мінімальне значення індикатора (хвіст вправо) або максимальне (хвіст ліво) зі взірцевої вибірки.

### 1.3. Методологія визначення рівня й стратегування енергетичної безпеки

Енергетичну безпеку, на наше переконання, варто віднести до сфер, які безпосередньо реалізують один із фундаментальних національних інтересів – сталий розвиток національної економіки, суспільства і держави для зростання рівня та якості життя населення.

Водночас енергетична безпека також бере участь у забезпеченні інших національних інтересів – державного суверенітету та незалежності, інтеграції України у європейський енергетичний простір тощо [1; 16; 18; 19].

Отже, з огляду на авторський підхід, вважаємо, що енергетичну безпеку варто визначати як окреслення межі об'єкта управління (сфери дослідження), як *«спроможності технічно надійним, економічно ефективним та екологічно прийнятним способом задовольняти потреби суспільства в енергоресурсах, забезпечувати стає функціонування національної економіки у нормальних і кризових умовах, захищати суверенітет держави у формуванні та здійсненні політики захисту національних інтересів»* [1, с. 47].

Відповідно до цього визначення здійснювався подальший аналіз рівня енергетичної безпеки, описаного низкою складників, кожен з яких, своєю чергою, характеризується сукупністю властивостей (показників). Щоб оцінити прогрес у досягненні встановлених цілей, використовують **індикатори** – показники досягнення цільового стану. Такі показники можуть бути наскрізними та одночасно стосуватися різних особливостей системи.

Для вирішення завдання інтегрального визначення рівня енергетичної безпеки України застосовується універсальна методологія ідентифікації та стратегування, яка порівнює стан різних сфер та обґрунтовує стратегічні сценарії безпекового розвитку [1].

Ідентифікація рівня безпеки передбачає інтегральне оцінювання порівняно з пороговими значеннями завдяки: науковому обґрунтуванню вектора граничних значень індикаторів, добору форми інтегрального індексу (*мультиплікативна*), нормуванню індикаторів та порогових значень (*комбінований метод нормування*), визначенню вагових коефіцієнтів (*динамічні за методами головних компонент та ковзної матриці*).

Для інтегрального оцінювання переважна кількість дослідників використовує «адитивну функцію корисності» (лінійна згортка) у спосіб утворення суми окремих критеріїв, помножених на свої вагові коефіцієнти – «метод зважених сум»:

$$I_t = \sum_{i=1}^n a_i z_{i,t}, \quad a_i \geq 0 \quad i \quad \sum_{i=1}^n a_i = 1. \quad (1.1)$$

Проте цей підхід має суттєвий недолік, що полягає в можливості компенсувати рівень інтегрального показника деяких індикаторів за рахунок інших. Така форма допускає ситуацію значущості інтегрального показника при нульовому значенні одного або кількох індикаторів (завдяки застосуванню методу нормування за «розмахом варіації»), унеможливаючи тим самим дослідження впливу таких індикаторів на рівень безпеки. При значному відхиленні мінімальних значень індикаторів від нуля динаміка нормованого індикатора дедалі більше відхиляється від відображення динаміки вхідного індикатора, показуючи не динаміку самого індикатора, а динаміку зміни його діапазону.

З урахуванням нелінійності процесів у об'єкті дослідження найбільш адекватним вбачається використання мультиплікативної форми інтегрального індексу, пов'язаної з адитивною через логарифмічну функцію:

$$I_t = \prod_{i=1}^n z_{i,t}^{a_i}; \quad \sum a_i = 1; \quad a_i \geq 0. \quad (1.2)$$

Для моделювання складники інтегрального показника енергетичної безпеки повинні бути безрозмірними величинами, тоді як вихідні

показники (індикатори), за якими здійснюється оцінка рівня енергетичної безпеки, можуть мати різні розмірності. Тому всі вибрані індикатори приводять до *нормованої безрозмірної величини*, отриманої одним із методів нормування.

Процедура нормування індикаторів та їхніх порогових значень є необхідним етапом розрахунку, оскільки різні індикатори мають різну розмірність. Понад те, вони можуть бути різноспрямованими: є індикатори, збільшення яких бажане ( $S$  – стимулятори), інші – зменшення яких бажане ( $D$  – дестимулятори).

Процедура нормування виконує дві основні функції:

- 1) переводить індикатори різних розмірностей у безрозмірні величини до діапазону  $[0, 1]$ ;
- 2) уможливорює зіставлення різноспрямованих індикаторів через специфічне нормування.

Після нормування динаміка нормованих індикаторів має точно відтворювати динаміку вихідних індикаторів у певному масштабі.

Найчастіше застосовують такі методи нормування:

– «за еталонними значеннями»:

$$S: z_i = \frac{x_i}{k_{\text{норм}}}, \quad k_{\text{норм}} \geq x_{\text{max}}; \quad D: z_i = \frac{k_{\text{норм}}}{x_i}, \quad k_{\text{норм}} \leq x_{\text{min}}; \quad (1.3)$$

– «за розмахом варіації» з деякими модифікаціями:

$$S: z_i = \frac{x_i - x_{\text{min}}}{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}}; \quad D: z_i = \frac{x_{\text{max}} - x_i}{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}}. \quad (1.4)$$

де  $x_i$  – поточне значення індикатора;  $k_{\text{норм}}$  – нормуючий коефіцієнт;  $x_{\text{min}}$  – мінімальне значення індикатора;  $x_{\text{max}}$  – максимальне значення індикатора.

Пропонуємо застосовувати *комбінований метод нормування*, заснований на модифікації методу нормування «за розмахом варіації», що передбачає прирівнювання до нуля  $x_{\text{min}} = 0$  у формулі нормування (фактично виключення нормування щодо діапазону зміни індикаторів) [19, с. 74–77].

$$S: z_i = \frac{x_i}{k_{\text{норм}}}, \quad D: z_i = \frac{k_{\text{норм}} - x_i}{k_{\text{норм}}}, \quad k_{\text{норм}} \geq x_{\text{max}}. \quad (1.5)$$

Нормуючий коефіцієнт для індикаторів-стимуляторів обирається рівним максимальному значенню з діапазону індикаторів та їхніх

порогових значень; для індикаторів-дестимуляторів він має бути більшим за максимальне значення з того самого діапазону на 5...10 %.

При цьому в процесі формування набору індикаторів та їх нормалізації необхідно визначитись щодо їх внеску в оцінку інтегрального індикатора або інтегральних граничних значень (вагові коефіцієнти). Більшість дослідників для визначення вагових коефіцієнтів застосовує експертні оцінки, які, однак, значною мірою є суб'єктивними, не дають можливості запобігання принциповим помилкам, а тому суттєво знижують наукову та практичну цінність одержаних результатів. Для відповідності наявному стану мінливої ситуації необхідно частіше проводити експертні оцінювання, що пов'язано з деякими труднощами і щодо складу експертів, і щодо частоти опитування.

Бажано користуватися формалізованими методами, які дають змогу уникнути суб'єктивізму та забезпечують адекватний науковий результат оцінювання. Можливе застосовування таких підходів до визначення вагових коефіцієнтів, розташованих за їх важливістю: моделювання, ігрові методи, метод головних компонент. Найбільш доступним із переліченого є метод головних компонент, якій реалізується за допомогою стандартного пакета «Статистика» через визначення вектор-стовпчика дисперсій, матриці абсолютних величин факторних навантажень, їх добутку та розрахунку вагових коефіцієнтів. Ураховуючи те, що для визначення інтегральних граничних значень їх матриця є недовизначеною (кількість рядків – часових періодів переважно менша від кількості головних компонент – кількості індикаторів), застосовується процедура обертання *Varimax*, а для інтегральної згортки індикаторів – процедура обертання *Kvartimax*. У такий спосіб формалізованим методом отримуємо *постійні* у визначений період вагові коефіцієнти.

Постійність значень вагових коефіцієнтів притаманна всім підходам до визначення інтегральних оцінок, які існують, що, однак, зовсім не відповідає реальності. Суттєві зміни у безпековій, політичній, технологічній чи економічній сферах можуть призводити до радикальних змін взаємозв'язків у системі (зміни вагомості тих чи тих елементів, процесів, функцій), а це, своєю чергою, спричиняє зміни вагових коефіцієнтів.

З метою врахування цього аспекта оцінювання рівня енергетичної безпеки для визначення динамічних вагових коефіцієнтів автори пропонують метод *ковзної матриці*, заснований на використанні методу головних компонент, який полягає в послідовному зсуві матриці міні-



мально необхідного розміру вздовж періоду часу та визначенні вагових коефіцієнтів за певний часовий період [21].

Мінімально необхідний розмір матриці (кількість рядків  $n$  – періодів часу) визначається з умови рівності кількості індикаторів (кількості стовпців  $m$  – головних компонент) кількості додатних власних значень цієї матриці. Вагові коефіцієнти, визначені для індикаторів із застосуванням первинної мінімальної матриці, будуть постійними тільки для цього початкового (розгінного) періоду часу ( $t_1 - t_{n+1}$ ). Постійне зміщення визначеної мінімальної матриці впродовж періоду часу (рядків матриці) на рядок (зазвичай рік) дозволяє визначити поточні динамічні вагові коефіцієнти ( $t_i - t_{i+n}$ ), які враховуватимуть реальні політичні й економічні зміни в країні в різні періоди часу.

Інтегральне згортання індикаторів  $I$  та їхніх граничних значень  $P$  дозволяє отримати ієрархічну багатofакторну математичну модель енергетичної безпеки у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{I-VII} = \prod_{k=1}^7 I_{k,t}; \quad P_{ij} = \prod_{j=1}^6 P_{ij}^{b_{ij}}; \quad P_{ij} = [P_{кр,ij}^H; P_{пор,ij}^H; P_{opt,ij}^H; P_{opt,ij}^B; P_{пор,ij}^B; P_{кр,ij}^B]; \\ I_{I,t} = \prod_{i=1}^9 z_{i,t}^{a_i}; \quad I_{II,t} = \prod_{i=1}^5 z_{i,t}^{a_i}; \quad I_{III,t} = \prod_{i=1}^6 z_{i,t}^{a_i}; \quad I_{IV,t} = \prod_{i=1}^7 z_{i,t}^{a_i}; \\ I_{V,t} = \prod_{i=1}^5 z_{i,t}^{a_i}; \quad I_{VI,t} = \prod_{i=1}^5 z_{i,t}^{a_i}; \quad I_{VII,t} = \prod_{i=1}^{11} z_{i,t}^{a_i}; \end{array} \right. \quad (1.6)$$

де  $k$  – кількість складників;  $I$  – кількість індикаторів;  $j$  – кількість градацій безпеки.

Свою чергою, застосування системного підходу до опису сфери енергетичної безпеки як об'єкта управління дає можливість сформувати набір індикаторів, який, порівняно з підходами, що існують, уможливить точніше оцінювати поточний та перспективний рівні енергетичної безпеки, зважаючи на внутрішню динаміку трансформації системи та динаміку зовнішнього середовища. Запропонований підхід [1; 16; 18] максимально широко охоплює всі елементи / процеси / явища, що впливають на систему забезпечення енергетичної безпеки з урахуванням її місця в системі забезпечення національної безпеки та стійкості суспільства і держави.

Зазначимо, що спосіб групування індикаторів залежить від практичних цілей дослідника. У публікації [1] використано можливе групування параметрів для двох основних випадків відповідно до:

– розширення сфери управління (складності управлінських рішень) щодо об’єкта управління<sup>13</sup>: ресурсна забезпеченість; економічна доступність; економічна прийнятність; екологічна прийнятність; модель стійкості; якість управління;

– системного опису об’єкта управління: цілісний опис системи (система енергетичної безпеки як елемент більших систем); інституційно-організаційна структура системи (елементи та зв’язки системи); функціональна структура системи (функції та ролі); процесне відтворення системи (виробничі, управлінські, сервісні процеси та процеси з підтримки на всіх етапах життєвого циклу; трансформаційні процеси, які зумовлюють зміни в системі); якість матеріалу системи.

У цій праці, на відміну від [1; 16; 18], щоб продемонструвати ефективність застосування методології оцінки рівня енергетичної безпеки як інструмента стратегічного управління, групи індикаторів згруповано за сімома стратегічними цілями, установленими в Стратегії енергетичної безпеки України [22]: ресурсна достатність (I); економічна доступність (II); економічна прийнятність (III); енергетична ефективність (IV); екологічна прийнятність (V); стійкість енергетичного сектору (VI); захищеність національних інтересів (VII) (табл. 4).

Таблиця 4. Зміст стратегічних цілей, установлених у Стратегії енергетичної безпеки України

Стратегічна ціль	Зміст
I. Ресурсна достатність ( <i>energy availability, accessibility</i> )	Надана державою можливість для всіх споживачів отримувати необхідну кількість енергетичних ресурсів потрібної якості; відображає ресурсно-технологічний вимір, тобто фізичну наявність енергозабезпечення, енергетичних ресурсів і технологій
II. Економічна доступність ( <i>energy affordability</i> )	Надана державою можливість для всіх споживачів отримувати необхідну кількість енергетичних ресурсів потрібної якості за прийнятною ціною; поєднує ресурсно-технологічний вимір з економічним складником
III. Економічна прийнятність	Надана державою можливість для всіх споживачів отримувати необхідну кількість енергетичних ресурсів потрібної якості

<sup>13</sup> Фактично цей підхід відповідає відомому й поширеному сьогодні у світі підходу 4 A's (*availability, accessibility, affordability, acceptability*) та адаптованому для потреб України: ресурсна достатність; технічна надійність; економічна вигідність; екологічна прийнятність.

Закінчення табл. 4

Стратегічна ціль	Зміст
<i>(energy (economy) acceptability)</i>	за прийнятною ціною, коли мета, способи й принципи використання енергії відповідають поняттю соціальної справедливості; поєднує ресурсно-технологічний та економічний виміри з ціннісною складовою (передусім відображеною в засадничих нормативно-правових актах)
IV. Енергетична ефективність <i>(energy efficiency)</i>	Спроможність держави забезпечити зменшення кількості енергії, яка потрібна, щоб забезпечити всіх споживачів товарами й послугами; поєднує ресурсно-технологічний вимір з економічним складником
V. Екологічна прийнятність <i>(energy (ecology) acceptability)</i>	Надана державою можливість для всіх споживачів отримувати необхідну кількість енергетичних ресурсів потрібної якості за прийнятною ціною, коли мета, способи й принципи використання енергії відповідають світоглядним установкам суспільства в екологічній сфері; поєднує ресурсно-технологічний та економічний виміри з ціннісною складовою (передусім відображеною в засадничих нормативно-правових актах)
VI. Стійкість енергетичного сектору <i>(energy resilience)</i>	Спроможність держави запобігати виникненню кризової ситуації в короткостроковому періоді завдяки механізмам нейтралізації негативного впливу загроз енергетичній безпеці будь-якого типу, адаптування до умов, що постійно змінюються, та швидкого відновлення після кризи; відображається в політиці енергетичної безпеки <i>(energy security policy)</i>
VII. Захищеність національних інтересів (в енергетиці)	Спроможність держави забезпечити надійне, доступне і прийнятне енергозабезпечення, що не завдає шкоди національним інтересам і збереженню національних цінностей; поєднує ресурсно-технологічний, економічний і ціннісний виміри з безпековим складником; відображається в політиці енергетичної безпеки <i>(energy security policy)</i>

Джерело: складено авторами.

Вибрану сукупність індикаторів наведено в табл. 5.

Таблиця 5. Індикатори енергетичної безпеки України

Номер	Індикатор (I)	Тип	Розмірність
<b>I. Ресурсна достатність</b>			
1	Задоволення потреб власними ПЕР	S	% споживання
2	Вартість імпорту енергетичних ресурсів	D	% ВВП
3	Частка ресурсу в енергетичному балансі: нафта та нафтопродукти	D	% у балансі
4	природний газ	D	-- » -- » -- » --
5	енергетичне вугілля	D	-- » -- » -- » --
6	ядерна й термоядерна енергія	S	-- » -- » -- » --
7	гідроенергетика	S	-- » -- » -- » --

Продовження табл. 5

Номер	Індикатор (I)	Тип	Розмірність
8	сонячна й вітрова енергетика	S	% у балансі
9	енергія біомаси	S	--- » --- » --- » ---
<b>II. Економічна доступність</b>			
10	Вартість спожитих енергоресурсів для держави	D	% ВВП
11	Річне споживання електроенергії в розрахунку на одну особу	S	MВт·год
12	Річне енергоспоживання в розрахунку на одну особу	S	т н.е.
13	Частка сукупного доходу домогосподарства, що спрямовується на оплату житлово-комунальних послуг	D	%
14	Якість постачання первинних ресурсів, палива та енергії	S	% (експертна оцінка)
<b>III. Економічна прийнятність</b>			
15	Валовий внутрішній продукт (ВВП) у розрахунку на одну особу	S	тис. дол. США
16	Рівень інвестування підприємств ПЕК	S	% випуску ПЕК
17	Рівень оновлення основних засобів ПЕК	S	% інвестицій до ОЗ ПЕК
18	Тінізація ПЕК	D	% ВДВ ПЕК
19	Оплата праці в ПЕК	S	% випуску ПЕК
20	Концентрація енергетичних ринків за індексом Герфіндала – Гіршмана	D	індекс (за постачальниками)
<b>IV. Енергетична ефективність</b>			
21	Енергоємність валового внутрішнього продукту	D	т н. е./1000 дол. США
22	Частка енергетики у валовому внутрішньому продукті	D	% ВДВ ПЕК у ВВП
23	Тіньове споживання ПЕР	D	% ВВП
24	Загальні втрати енергетичних ресурсів (баланс)	D	%, загал. постачання
25	Частка споживання на енергетичні потреби	D	--- » --- » --- » ---
26	Втрати в мережах теплопостачання	D	%, обсягу передачі
27	Втрати в електромережах	D	--- » --- » --- » ---
<b>V. Екологічна прийнятність</b>			
28	Рівень викидів CO <sub>2</sub> на TPES	D	т CO <sub>2</sub> /т н. е.
29	Рівень викидів CO <sub>2</sub> на одиницю ВВП	D	кг/дол. США

Продовження табл. 5

Номер	Індикатор (I)	Тип	Розмірність
30	Кінцева вуглецеємність енергії	D	г CO <sub>2</sub> /МДж
31	Частка викидів CO <sub>2</sub> від електро- й теплогенеруючих установок	D	%, загал. викидів
32	Частка енергії відновлюваних джерел у кінцевому споживанні	S	%, кінц. споживання
<b>VI. Стійкість енергетичного сектору<sup>14</sup></b>			
33	Частка найбільшого постачальника в імпорті (за видами ПЕР)	D	%
34	Рівень технологічної залежності імпорту / експорту з одного джерела (за видами енергетичних технологій)	D	% (експертна оцінка)
35	Обсяг запасів / резервів за видами ПЕР	S	діб споживання % від завдань
36	Індекс тривалості довгих перерв в електропостачанні на одного споживача (SAIDI)	D	хв/рік
37	Ефективність і результативність реагування на кризові ситуації	S	% (експертна оцінка)
<b>VII. Захищеність національних інтересів</b>			
38	Прогнозованість і послідовність політики	S	% (експертна оцінка)
39	Процесна забезпеченість: виробничі процеси та інфраструктура	S	% (експертна оцінка)
40	управлінські процеси та інфраструктура	S	— » — » — » —
41	допоміжні та сервісні процеси та інфраструктура	S	— » — » — » —
42	процеси та інфраструктура з підтримання об'єктів на всіх етапах життєвого циклу	S	— » — » — » —
43	інформаційно-комунікаційні процеси та інфраструктура	S	— » — » — » —
44	Рівень залученості до енергетичних ринків ЄС	S	— » — » — » —
45	Рівень тіньового навантаження капіталу в ПЕК (видобувна промисловість, виробництво електроенергії, газу, пару та кондиціонованого повітря)	D	% офіційного

<sup>14</sup> У перспективі, у випадку дослідження окремих аспектів функціонування системи енергозабезпечення (наприклад, системи електропостачання) доцільно розглянути також додаткові індикатори, наприклад *LOLE – Loss Of Load Expected, год* (або *LOLP – Loss Of Load Probability, %*) – імовірність втрати навантаження (або математичне очікування втрати навантаження); – *Expected Energy Not Served, MBm-год* – очікувана неподачена енергія (або ймовірний дефіцит електричної енергії).

Закінчення табл. 5

Номер	Індикатор (I)	Тип	Розмірність
46	Якість державної політики	S	% (експертна оцінка)
47	Якість кадрів (технічних та управлінських)	S	-- » -- » -- » --
48	Відповідність політичних лідерів завданням, що постають перед системою	S	-- » -- » -- » --

Джерело: складено авторами.

Значення індикаторів (табл. 5) установлювали: за офіційними джерелами інформації (28 індикаторів); модельними розрахунками (7 індикаторів); експертними оцінками (13 індикаторів). Визначений набір цільових, порогових та критичних значень індикаторів, станом на 2020 р., застосований для рівня енергетичної безпеки, наведено в додатку 1.

Надалі моделювання оцінок рівня енергетичної безпеки здійснюється відповідно до вищеописаної методології: *обґрунтування вектора граничних значень; нормування індикаторів; обґрунтування динамічних вагових коефіцієнтів; інтегральна згортка індикаторів і граничних значень.*

При цьому можливе коригування тих чи тих складових частин, індикаторів системи та їхніх граничних значень або введення до системи додаткових індикаторів (складових частин) за умови надходження нових даних та розроблення нових методів розрахунку нових важливіших індикаторів, які до цього часу не публікувались органами державної статистики.

Формування стратегії дій із досягнення цільового, безпечного стану також є складною методологічною проблемою. У підходах щодо стратегічного планування застосовують переважно методи прогнозування інтегральних індексів – *«минуле визначає майбутнє»*. Цілком очевидно, що класичні методи прогнозування тут недоречні. По-перше, прогнозування дає продовження існуючих тенденцій (соціально-економічного розвитку, моделей управління, технологій) на майбутнє. По-друге, прогнозування завжди містить помилку. По-третє, необхідно знати, як повинні змінюватися складові частини системи та вибрані з метою її опису індикатори для досягнення бажаного стану. Отже, потрібні зовсім інші підходи. Саме такий підхід пропонується в цій монографії. Він базується на принципі *«майбутнє визначається траєкторією в майбутнє»* (досягнення стратегічних проектних цілей).

Стратегічне бачення сталого розвитку передбачає спочатку визначення стратегічних цілей, які зумовлюють бажані сценарії сталого розвитку та оцінки відхилення інтегрального індексу рівня енергетичної безпеки (та/або його складників) від траєкторії сталого розвитку, а потім – застосовування теоретичних підходів до обґрунтування стратегічних орієнтирів досягнення сценаріїв сталого розвитку.

Після одержання динаміки інтегрального індексу стану системи необхідно вибрати сценарії досягнення стратегічних цілей (реалістичний, оптимістичний, сценарій збалансованого сталого розвитку) залежно від співвідношення значення інтегрального індексу з інтегральними пороговими значеннями, які характеризують оптимальний, передкризовий, кризовий або критичний стан системи. Відповідно, дослідник (управлінець) зможе формувати політику в певній сфері та оцінити необхідні затрати й механізми усунення відхилення динаміки вибраних індикаторів від цільової траєкторії.

Розв'язання декомпозиційної задачі для інтегрального індексу енергетичної безпеки  $I_b$ , коли його «еталонне» значення  $I_t^e$  є відомим (або заданим), дозволяє з урахуванням чутливості його складників та їхніх динамічних вагових коефіцієнтів установити значення кожного складника для кожного року періоду прогнозування. При цьому декомпозиція інтегрального індексу відбувається послідовно – спочатку для його складників, а потім – для кожного з об'єднаних у них індикаторів енергетичної безпеки.

Проміжними розв'язками задачі є щорічні сукупності семи складників  $I_{k,t}$  інтегрального індексу енергетичної безпеки  $I_b$ , що відповідають  $k = 7$  стратегічним цілям, визначеним у Стратегії енергетичної безпеки України [22] (табл. 5). Кінцевими розв'язками – сукупності значень індикаторів, досягнення яких протягом періоду прогнозування  $t$  відповідатиме бажаній траєкторії сталого розвитку у відповідній сфері управління.

Схему адаптивної системи регулювання рівня енергетичної безпеки з еталонною моделлю зображено на рис. 6.

Входом цієї системи є сукупність індикаторів моделі енергетичної безпеки, скомпонованих за визначеною процедурою в інтегральний індекс  $I_b$ , та їхні значення, що є статистичними показниками, результатами експертних опитувань чи макроекономічного моделювання. Адаптивність системи забезпечується наявністю у її складі еталонної моделі (входом якої є «еталонні» значення індикаторів, що відповідають ок-

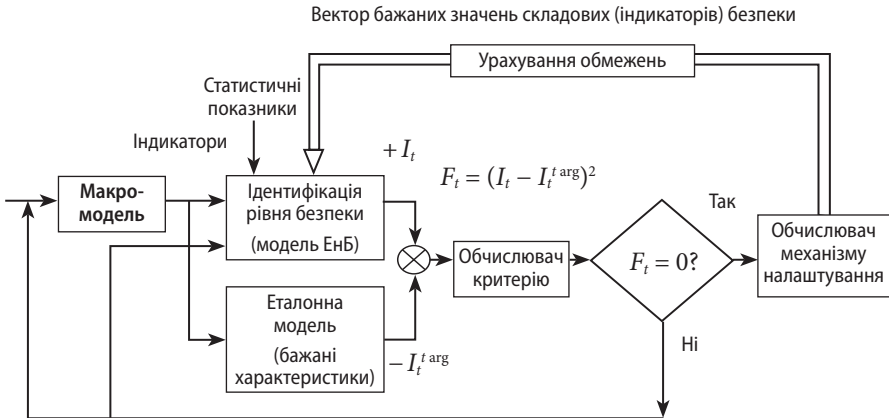


Рис. 6. Схема адаптивної системи регулювання енергетичної безпеки з еталонною моделлю

Джерело: розроблено авторами за [19, с. 85].

ресленим стратегічним цілям) і механізму налаштування параметрів моделі з урахуванням наявних обмежень (максимально й мінімально можливих значень індикаторів).

До блоку «Ідентифікування стану (рівня) безпеки» послідовно закладають рівняння інтегральної згортки складників енергетичної безпеки (ЕНБ) з моделі (3) зі своїми ваговими коефіцієнтами (2) і значення індикаторів моделі енергетичної безпеки.

Постановка задачі системі керування полягає у встановленні такої зміни нормованих значень  $X_i$  індикаторів енергетичної безпеки – складників інтегрального індексу  $I_t$ , які дозволять зменшити критерій регулювання (сигнал похибки)  $F_t$  до нуля. Це є можливим, коли поточне  $I_t$  дорівнюватиме заданому («еталонному»)  $I_t^e$ .

Тому основним принципом роботи механізму налаштування є мінімізація функції квадрату похибки  $F_t = (I_t - I_t^e)^2$  та її похідних. При цьому вважається, що всі функції є неперервними та, щонайменше, двічі диференційованими.

Функція  $F_t$  є звичайною функцією значень індикаторів  $x_i$ , тому її часткові похідні за всіма змінними мають дорівнювати нулю:  $grad F_t = (\partial F_t / \partial x_i) = 0$ . Але, оскільки на параметри регулювання  $x_i$  накладені обмеження, що визначають фізичні межі їхньої можливої зміни, в разі досягнення одним чи декількома з них граничних (максимальних або мінімальних) значень, що відповідають знаку градієнта за цією змін-



ною, їм присвоюють ці граничні значення. При цьому мінімум функції  $F_i$  шукають за іншими змінними, поки знак градієнта не зміниться.

Оскільки через наявність обмежень деякі складники вектора градієнта можуть не дорівнювати нулю, розв'язок такої задачі є субоптимальним, і вона належить до задач нелінійної параметричної оптимізації.

Задля мінімізації критерію регулювання (сигналу похибки) мовою програмування C++ написано процедуру, яка реалізує адаптивний метод регулювання з коротким циклом зворотного зв'язку [19]:

$$F_{min} = strategy(P, f, n_1, n_2, x, f_{zad}, P_{max}, P_{min}, eps, func) \quad (1.7)$$

де  $F_{min}$  – результуюча похибка;  $P$  – вектор нормованих значень індикаторів інтегрального індексу, з якого розпочинається стратегування (початковий вектор шуканих значень індикаторів, що відповідають заданому значенню інтегрального індексу енергетичної безпеки);  $I_i$  і  $I_i^e$  – початкове та задане значення інтегрального індексу;  $n_1$  і  $n_2$  – початковий і кінцевий номери індикаторів;  $P_{min}$  і  $P_{max}$  – вектори мінімальних і максимальних нормованих значень індикаторів, що потребують налаштування;  $eps$  – задана похибка розв'язку;  $func$  – покажчик на функцію, що викликається для обчислення критерію оптимізації.

Початковий вектор нормованих значень індикаторів, вихідний вектор нормованих шуканих значень індикаторів, а також вихідний вектор шуканих значень індикаторів у фізичних (натуральних) одиницях виміру через застосування зворотної процедури нормування використовують і в розрахунках для кожного наступного року періоду прогнозування.

Далі поступово цей крок зменшується щоразу вдвічі, поки не буде знайдений мінімум  $F$  (оптимальний градієнтний метод). Коли знайдено наближене положення мінімуму, бажано визначити мінімум точніше. Один із можливих способів розв'язку – визначення кроку зміни вектора параметрів через квадратичну апроксимацію з використанням трьох останніх значень  $F$  [19, с. 88]:

$$x_{min} = \frac{3x_i}{4} \cdot \frac{F_2 - 5F_0 + 4F_1}{F_2 - 3F_0 + 2F_1} \quad (1.8)$$

Інтерполяційна формула наведеного типу є найбільш придатною при чисельному розв'язку задачі пошуку градієнта, оскільки дозволяє уникнути труднощів, що виникають за наявності безперервних функцій, коли при наближенні до мінімуму швидкість наближення прямує до нуля.

## 2. ОЦІНЮВАННЯ ПОТОЧНОГО РІВНЯ Й СТРАТЕГУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ

### 2.1. Оцінювання поточного рівня енергетичної безпеки України

Оцінювання рівня енергетичної безпеки України у період 2000–2022 рр. здійснювалось за інтегральним індексом, який об'єднує 48 індикаторів (табл. 5), і сімома його складниками, що відповідають семи стратегічним цілям, котрі містяться у Стратегії енергетичної безпеки України [22; 28] – ресурсна достатність (I); економічна доступність (II); економічна прийнятність (III); енергетична ефективність (IV); екологічна прийнятність (V); стійкість енергетичного сектору (VI); захищеність національних інтересів (VII).

У цьому розділі висвітлено результати розрахунків лише для інтегрального індексу енергетичної безпеки та його складників за період 2000–2020 рр.<sup>14</sup>. Детальний опис та моделювання динаміки всіх вибраних індикаторів енергетичної безпеки, обґрунтування їхніх порогових і цільових значень, а також джерела інформації для проведення розрахунків подано в аналітичній доповіді «Визначення рівня енергетичної безпеки України» [28].

<sup>14</sup> У цьому розділі вміщено розрахунки станом на 2020 р., що зумовлено наявністю офіційних даних із відкритих джерел для здійснення розрахунків та демонстрації методології використання цих даних для цілей дослідження. Уряд України на період дії воєнного стану, який було введено через широкомасштабну воєнну агресію Росії, обмежив поширення у відкритих джерелах інформації щодо показників роботи енергетики України (на момент публікації цієї праці обмеження ще тривали). Оцінювання динаміки інтегрального індексу енергетичної безпеки України в період 2021–2022 рр., проведене на основі доступної інформації, модельних розрахунків та експертного аналізу, подано далі, в розділі 5. Варто враховувати, що праця має методологічний характер, тому після поновлення оприлюднення відкритих даних потенційні корегування розрахунків не впливатимуть на запропоновані теоретичні засади й методи оцінювання рівня енергетичної безпеки та аналіз впливу загроз.

### 2.1.1. Складник інтегрального індексу «Ресурсна достатність»

Складник інтегрального індексу «Ресурсна достатність» (*energy availability, accessibility*) відображає ресурсно-технологічний вимір, тобто фізичну наявність енергозабезпечення, енергетичних ресурсів і технологій, оцінюючи надану всім споживачам можливість отримувати необхідну кількість енергетичних ресурсів потрібної якості з точки зору відповідності цієї забезпеченості визначеним державою стратегічним цілям.

Динаміку складника «Ресурсна достатність» формують дев'ять індикаторів енергетичної безпеки: задоволення потреб власними ПЕР, % споживання (1 – у табл. 5); вартість імпорту енергоресурсів, % ВВП (2); енергетичний баланс, % у балансі: нафта та нафтопродукти (3); природний газ (4); енергетичне вугілля (5); ядерна енергія (6); гідроенергія (7); сонячна та вітрова енергія (8); енергія біомаси (9).

Як свідчать результати інтегральної згортки станом на 1 січня 2021 р. (рис. 7), протягом 2000–2018 рр. значення складника «Ресурсна достатність» перебували в критичній («червоний») зоні – нижче або на межі нижнього критичного та порогового значення; у 2019–2020 рр. – у кризисній (помаранчевий) зоні – вище від нижнього порогового значення.

Це пояснюється незбалансованістю структури паливно-енергетичного комплексу України, нормальне функціонування якого потребувало

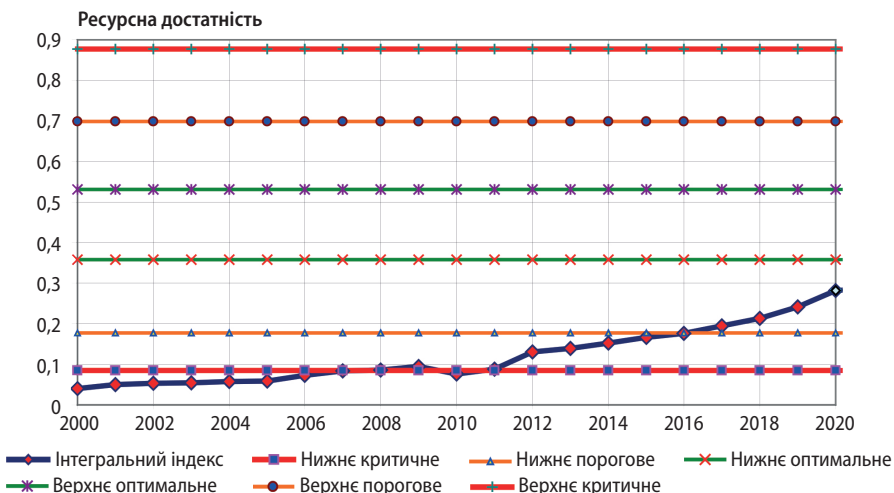


Рис. 7. Значення складника «Ресурсна достатність» протягом 2000–2020 рр.

Джерело: розрахунки авторів [28].

надходження російських паливних збірок (АЕС), природного газу (ТЕС і газотранспортні, у т. ч. розподільні мережі), нафти й нафтопродуктів (НПЗ і нафтотранспортна система). Це спричинило суттєву ресурсну залежність держави, що в окремі роки перевищувала 75 % споживання.

Проте завдяки реалізації державних цільових програм, інших документів програмного й прогнозного спрямування, стратегічними цілями яких є збільшення видобутку власних енергоносіїв (насамперед природного газу), диверсифікація джерел і маршрутів постачання природного газу, нафтопродуктів, свіжого ядерного палива, значення складника зазвичай збільшувалися. Єдиним винятком став 2009 р., коли внаслідок світової економічної кризи та чергового раунду «газової війни» з РФ ВВП України скоротився, а вартість імпорту енергетичних ресурсів суттєво зросла.

Після 2010 р. значення складника відновило своє зростання та збільшилося з 0,0778 до 0,2935. У 2019 р., уперше від початку дослідження, воно вийшло з «червоної зони». Проте цьому сприяли не лише позитивні чинники. До негативних варто, наприклад, віднести скорочення промислового виробництва, зокрема такого, що використовує природний газ як сировину (передусім після тимчасової окупації РФ частини української території), і спричинене цим зменшення вартості енергетичного імпорту до 5 % ВВП. Натомість позитивним є зростання до 62 % споживання частки енергетичних ресурсів, що видобуваються чи виробляються з власних джерел, а також поступова оптимізація енергетичного балансу України зі зростанням у ньому частки електричної енергії та енергії відновлюваних джерел та одночасним зменшенням частки енергетичного вугілля й природного газу. Такі зміни сприяють збалансованості споживання різних енергетичних ресурсів і зменшують негативні наслідки, що можуть виникнути внаслідок раптового припинення постачання одного з видів палива.

### 2.1.2. Складник інтегрального індексу «Економічна доступність»

Складник «Економічна доступність» (*energy affordability*) поєднує ресурсно-технологічний вимір з економічною складовою частиною, надає змогу оцінити надану державою можливість для всіх споживачів отримувати необхідну кількість енергетичних ресурсів потрібної якості за прийнятною ціною.

Динаміку складника «Економічна доступність» формують п'ять індикаторів енергетичної безпеки: вартість спожитих енергоресурсів для держави, % ВВП (10 – у табл. 5); річне споживання електроенергії в розрахунку на одну особу, МВт·год (11); річне енергоспоживання в розрахунку на одну особу, т н. е. (12); частка сукупного доходу домогосподарства, що спрямовується на оплату житлово-комунальних послуг, % (13); якість постачання первинних ресурсів, палива та енергії, % (експертна оцінка відповідності вимогам якості) (14).

Як свідчать результати інтегральної згортки станом на 1 січня 2021 р. (рис. 8), протягом усього періоду дослідження значення складника «Економічна доступність» були меншими, ніж нижнє оптимальне (0,4422), а в 2020 р. дорівнювало 0,35.

Попри деяку позитивну динаміку, яка спостерігалася в період зростання ВВП у 2000–2007 рр., і відносну стабільність у 2007–2010 рр., у 2010–2020 рр. значення складника зменшилося з 0,4055 до 0,35 і майже не змінювалося в наступні роки.

Описані зміни можна пояснити відмовою держави від патерналістської політики в енергетиці й поступовою лібералізацією цін і тарифів, яка прискорилося після ухвалення в 2015 і 2017 рр. законів про ринки природного газу, електричної енергії та житлово-комунальні послуги. Із 2006 р., за незмінно високого рівня затрат на енергетичні ресурси й технології, спостерігається скорочення питомого рівня енергоспожи-

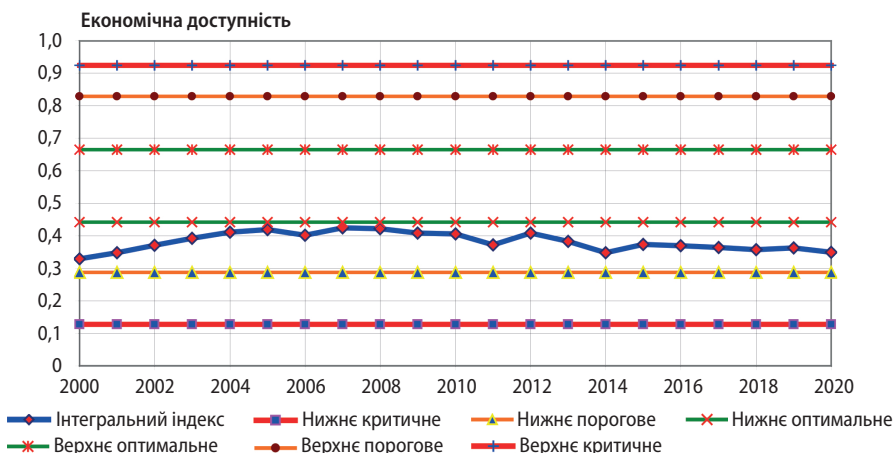


Рис. 8. Значення складника «Економічна доступність» протягом 2000–2020 рр.

Джерело: розрахунки авторів [28].

вання, що свідчить про загальну неефективність системи планування розвитку економіки та енергетики. Так, річне споживання електроенергії та енергії в цілому скоротилося до 3 МВт·год і 1,9 т н. е. в розрахунку на одну особу. При цьому з 2014 р. суттєво, до 11,4 %, зростає частка сукупного доходу домогосподарства, що спрямовується на оплату житлово-комунальних послуг. Це призвело до появи й поглиблення в Україні «енергетичної бідності», негативними чинниками впливу якої на суспільство є формування «енергетичних ринків постачальника»; неврахування інтересів споживача; штучна підміна «забезпечення доступу до недорогих, надійних, стійких і сучасних джерел енергії для всіх» розвитком відновлюваних джерел. Спостерігається також погіршення якості постачання первинних ресурсів, палива та енергії, оцінене в 2020 р. у 72 % відповідності, що також негативно впливає на цей складник інтегрального індексу.

### 2.1.3. Складник інтегрального індексу «Економічна прийнятність»

Складник «Економічна прийнятність» (*energy (economy) acceptability*) поєднує ресурсно-технологічний та економічний виміри з ціннісною складовою частиною (передусім вони відображені в засадничих нормативно-правових актах), оцінюючи надану державою можливість забезпечити сталий розвиток енергетичного сектору із принципами соціальної відповідальності. За цим складником можна оцінити привабливість інвестування в розвиток паливно-енергетичного комплексу держави.

Динаміку складника «Економічна прийнятність» формують шість індикаторів енергетичної безпеки: валовий внутрішній продукт у розрахунку на одну особу, тис. дол. США (15 – у табл. 5); рівень інвестування підприємств паливно-енергетичного комплексу, % випуску ПЕК (16); темпи оновлення основних засобів ПЕК, % (експертна оцінка) (17); тінізація паливно-енергетичного комплексу, % валової доданої вартості ПЕК (18); оплата праці в паливно-енергетичному комплексі, % випуску ПЕК (19); концентрація енергетичних ринків за індексом Герфіндаля – Гіршмана, значення індексу (за постачальниками) (20).

Як свідчать результати інтегральної згортки станом на 1 січня 2021 р. (рис. 9), значення складника «Економічна прийнятність» протягом усього періоду дослідження були меншими, ніж нижнє оптимальне значення. Попри зростання з 0,1003 до 0,3555 у 2000–2008 рр., у

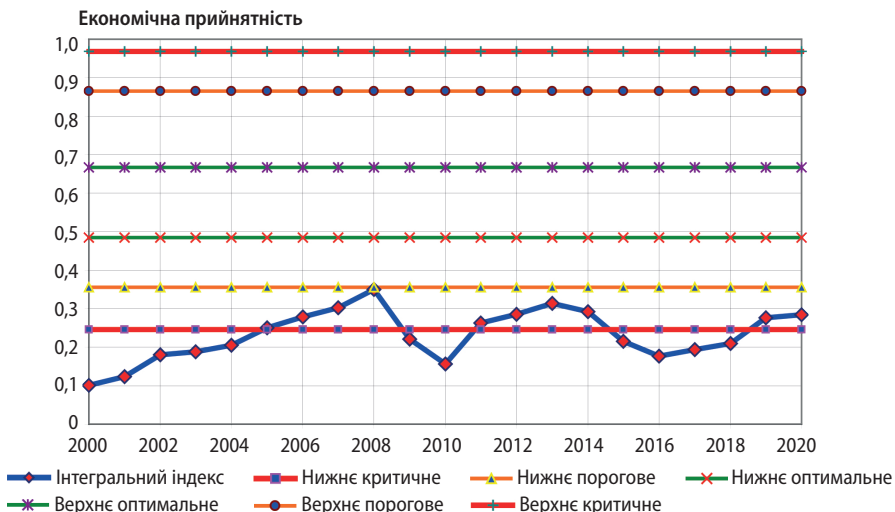


Рис. 9. Значення складника «Економічна прийнятність» у 2000–2020 рр.

Джерело: розрахунки авторів [28].

період відновлення основних фондів паливно-енергетичного комплексу, збільшення прямих іноземних інвестицій, і, як наслідок, зростання ВВП, спочатку світова економічна криза 2008–2010 рр., а потім тимчасова окупація РФ частини території України, послідовно зменшували значення цього складника до 0,1568 – у 2010 р. і 0,1769 – у 2016 р.

Хоча в 2016–2020 рр. значення складника зросло до 0,2839, воно залишається суттєво меншим від нижнього порогового значення (0,3555). Основною причиною цього є недостатній рівень інвестування в об'єкти паливно-енергетичного комплексу, оцінений у 2020 р. у 10,9 % випуску ПЕК. Оскільки частка щорічно відновлюваних основних засобів ПЕК, за експертною оцінкою, не перевищує 1,6 %, це призводить до їхнього швидкого морального й фізичного старіння.

Динаміка складника демонструє, що рівень інвестування в оновлення основних фондів паливно-енергетичного комплексу країни залишається недостатнім, а рівень оновлення основних фондів падає, особливо починаючи з 2008 р. Неефективна економічна політика держави спричиняє збереження високого рівня тіньової діяльності в енергетичній сфері (в 2020 р. становила 33 %). При цьому на енергетичних ринках зберігається висока концентрація (за усередненого індексу Герфіндаля – Гіршмана 2950). Водночас наслідком низької ефективності

роботи енергетичних підприємств є нижчий, ніж у сусідніх державах, рівень оплати праці в галузі (20,9 % випуску ПЕК). Усе це зумовлює низький рівень не тільки інвестицій у розвиток енергетичної інфраструктури, але й оплати праці в галузі порівняно з іншими країнами.

#### 2.1.4. Складник інтегрального індексу «Енергетична ефективність»

Складник «Енергетична ефективність» (*energy efficiency*) поєднує ресурсно-технологічний вимір з економічною складовою частиною, оцінюючи спроможність держави гарантувати зменшення кількості енергії, яка потрібна, щоб забезпечити всіх споживачів товарами й послугами. За цим складником можна також оцінити рівень добробуту населення та його спроможність до накопичення.

Динаміку складника «Енергетична ефективність» формують сім індикаторів енергетичної безпеки: енергоємність валового внутрішнього продукту, т н. е./1000 дол. США (21 – у табл. 5); частка енергетики у валовому внутрішньому продукті, % ВДВ ПЕК у ВВП (22); тіньове споживання паливно-енергетичних ресурсів, % ВВП (23); загальні втрати енергетичних ресурсів (баланс), % від загального постачання (24); частка споживання на енергетичні потреби, % від загального постачання (25); втрати в мережах теплопостачання, % обсягу передачі (26); втрати в мережах електропостачання, % обсягу передачі (27).

Як свідчать результати інтегральної згортки станом на 1 січня 2021 р. (рис. 10), значення складника «Енергетична ефективність» (у 2020 р. – 0,3977) протягом усього періоду дослідження були меншими, ніж нижнє оптимальне (0,5246), а в 2000–2004 рр. – меншими за нижнє порогове значення (0,3488).

Позитивна динаміка значень складника, що спостерігалася в 2000–2007 рр., спочатку змінилася на нейтральну (з провалом у 2011 р.), а з 2014 р. є негативною. Такі зміни пояснюються економічним зростанням, завантаженням виробничих потужностей і наближенням роботи обладнання до номінальних параметрів у першій половині 2000-х, впливом світової економічної кризи 2008–2010 рр. і наступним зменшенням обсягів виробництва, моральним і фізичним старінням основних фондів, спричиненим скороченням інвестування в них до 10,9 % випуску ПЕК у 2020 р.

Через переважно незадовільний стан технологічного обладнання зростає частка споживання на енергетичні потреби, а також втрати



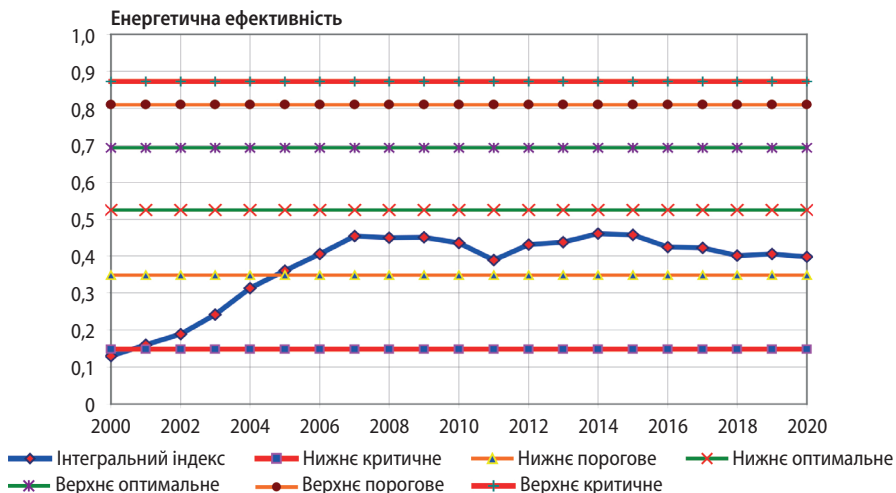


Рис. 10. Значення складника «Енергетична ефективність» у 2000–2020 рр.

Джерело: розрахунки авторів [28].

в теплових та електричних мережах. У 2020 р. вони становили 44, 11 і 23 % відповідно. При цьому залишається високою частка витрат на енергетичні потреби (використання первинних енергоресурсів для їх перетворення на кінцеві форми енергії для споживання). Через це енергоемність валового внутрішнього продукту України в тому ж році становила 0,24 т н. е./1000 дол. США, що майже вдвічі більше від нижнього оптимального значення (0,13 т н. е./1000 дол. США).

### 2.1.5. Складник інтегрального індексу «Екологічна прийнятність»

Складник «Екологічна прийнятність» (*energy (ecology) acceptability*) поєднує ресурсно-технологічний та економічний виміри з ціннісною складовою частиною (передусім відображеною у засадничих нормативно-правових актах), оцінюючи надану державою можливість для всіх споживачів отримувати необхідну кількість енергетичних ресурсів потрібної якості за прийнятною ціною, коли мета, способи й принципи використання енергії відповідають світоглядним установкам суспільства в екологічній сфері.

Динаміку складника «Екологічна прийнятність» формують п'ять індикаторів енергетичної безпеки: рівень викидів CO<sub>2</sub> на первинне

постачання (TPES), т CO<sub>2</sub>/т н. е. (28 – у табл. 5); рівень викидів CO<sub>2</sub> на одиницю валового внутрішнього продукту, кг CO<sub>2</sub>/дол. США (29); кінцева вуглецеємність енергії, г CO<sub>2</sub>/МДж (30); частка викидів CO<sub>2</sub> від електро- та теплогенеруючих установок, % від загальних викидів (31); частка енергії відновлюваних джерел у кінцевому споживанні, % кінцевого споживання (32).

Як свідчать результати інтегральної згортки станом на 1 січня 2021 р. (рис. 11), значення складника «Екологічна прийнятність», що в 2020 р. становило 0,2952, протягом усього періоду дослідження не перевищували нижнього оптимального значення (0,4505), причому в 2000–2014 рр. вони були меншими, ніж нижнє порогове (0,2775), а в 2015–2019 рр. майже не відрізнялися від нього.

Загалом така позитивна динаміка пояснюється зменшенням вуглецеємності енергії (у 2020 р. – 84,4 г CO<sub>2</sub>/МДж) завдяки поступовому зменшенню частки енергетичного вугілля й природного газу в енергетичному балансі (до 27 і 28 % відповідно) з одночасним зростанням у ньому частки електричної енергії та енергії відновлюваних джерел (до 10 % кінцевого споживання). Збільшення значення складника «Екологічна прийнятність» до 0,2618 у 2020 р., передусім у частині скорочення викидів парникових газів до 1,87 т CO<sub>2</sub>/т н. е. (1,80 т CO<sub>2</sub>/1000 дол. США), спричинене й низкою негативних тенденцій у національній економіці, зокрема зменшенням промислового виробництва, яке прискорилося після 2014 р.

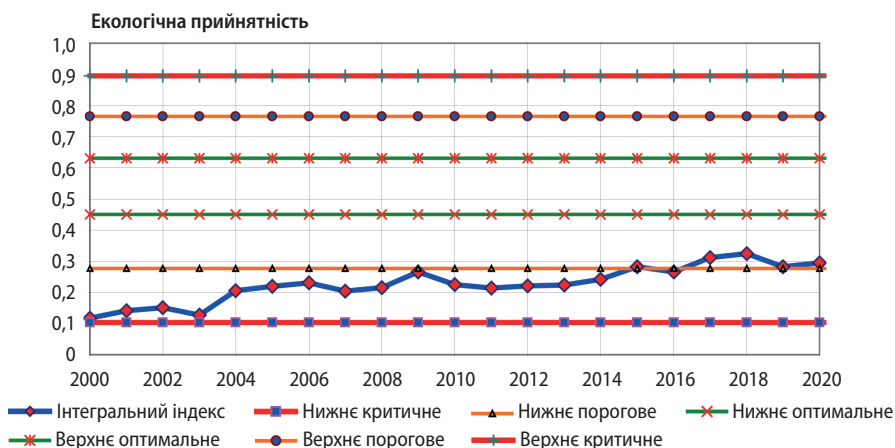


Рис. 11. Значення складника «Екологічна прийнятність» у 2000–2020 рр.

Джерело: розрахунки авторів [28].

Водночас спостерігається збереження та зростання рівня викидів від електро- та теплогенеруючих установок (через фізичне старіння генеруючого обладнання, на яке в 2020 р. припадало 54,3 % загальних викидів двооксиду вуглецю), що може надалі суттєво обмежити позитивну динаміку цього складника інтегрального індексу.

### 2.1.6. Складник інтегрального індексу «Стійкість енергетичного сектору»

Складник «Стійкість енергетичного сектору» (*energy resilience*) відображається в політиці енергетичної безпеки (*energy security policy*) та дає змогу оцінювати спроможність держави запобігати виникненню кризової ситуації в короткостроковому періоді завдяки механізмам нейтралізації негативного впливу загроз енергетичній безпеці будь-якого типу, адаптуванню до умов, що постійно змінюються, й швидкому відновленню після кризи.

Динаміку складника «Стійкість енергетичного сектору» формують п'ять індикаторів енергетичної безпеки: частка найбільшого постачальника в імпорті (за видами ПЕР), % (33 – у табл. 5); рівень технологічної залежності імпорту / експорту з одного джерела (за видами енергетичних технологій), % (експертна оцінка) (34); обсяг запасів / резервів (за видами ПЕР), днів споживання (35); індекс тривалості довгих перерв в електропостачанні (*SAIDI*), хв/рік (36); ефективність і результативність реагування на кризові ситуації, % (експертна оцінка) (37).

Як свідчать результати інтегральної згортки станом на 1 січня 2021 р. (рис. 12), значення складника «Стійкість енергетичного сектору» (у 2020 р. – 0,3887) протягом усього періоду дослідження не перевищували нижнього порогового значення (0,3887), хоча й демонстрували переважно позитивну динаміку (за винятком 2015–2017 рр.).

Тривале перебування значень складника у «червоній зоні» можна пояснити критичною залежністю України від імпорту енергетичних ресурсів і технологій, передусім свіжого ядерного палива та паливних збірок (АЕС); автомобільного бензину, дизельного палива і скрапленого нафтового газу (транспорт); природного газу та енергетичного вугілля (ТЕС, хімічна промисловість). При цьому частка найбільшого постачальника в імпорті доходила до 100 % (ТВЕЛ, РФ, до 2011 р.) за мінімальних обсягів стратегічних запасів енергоносіїв і резервів потужності.



Рис. 12. Значення складника «Стійкість енергетичного сектору» в 2000–2020 рр.  
Джерело: розрахунки авторів [28].

І хоча в 2000–2020 рр. залежність національної економіки від постачань, зокрема російських енергетичних ресурсів і технологій, удалося скоротити з 80 і 84 % до 40 і 59 % відповідно, значення складника «Стійкість енергетичного сектору» лише наблизилося до нижнього порогового (у 2020 р. – 0,3887).

Активнішим змінам заважають недостатнє оновлення основних засобів в енергетичному секторі (за експертною оцінкою, не більше як 1,6 % у 2020 р.), що зумовлює збереження на рівні 680 хв/рік індексу тривалості довгих перерв в електропостачанні на одного споживача (SAIDI), а також незадовільні темпи формування запасів енергоресурсів і резервів потужності на випадок виникнення кризової ситуації (у 2020 р. вони оцінювалися в 56 діб споживання за нижнього оптимального значення у 80 діб). Система кризового реагування не розвинена, що в сукупності з іншими чинниками впливу може негативно позначитися на стійкості функціонування енергетичного сектору країни.

### 2.1.7. Складник інтегрального індексу «Захищеність національних інтересів»

Складник «Захищеність національних інтересів» (в енергетиці) поєднує ресурсно-технологічний, економічний і ціннісний виміри

з безпековою складовою частиною, відображається в політиці енергетичної безпеки (*energy security policy*), оцінюючи спроможність держави гарантувати надійне, доступне і прийнятне енергозабезпечення, що не завдає шкоди національним інтересам і збереженню національних цінностей. Цей складник визначає також спроможність суб'єктів гарантування енергетичної безпеки визначати пріоритети та виробляти внутрішню й зовнішню безпекову політику.

Динаміку складника «Захищеність національних інтересів» формують 11 індикаторів енергетичної безпеки:

1) блок «Інституційно-організаційне забезпечення»: прогнозованість і послідовність політики, % (експертна оцінка) (38 – у табл. 5); процесна забезпеченість, % (експертна оцінка): виробничі процеси та інфраструктура (39), управлінські процеси та інфраструктура (40), допоміжні та сервісні процеси та інфраструктура (41), процеси та інфраструктура з підтримання об'єктів на всіх етапах життєвого циклу (42);

2) блок «Якість політики»: інформаційно-комунікаційні процеси та інфраструктура (43); рівень залученості до енергетичних ринків ЄС, % (експертна оцінка) (44); рівень тіншового навантаження капіталу в ПЕК (видобувна промисловість, виробництво електроенергії, газу і води), % від офіційного (45); якість державної політики, % (експертна оцінка) (46); якість кадрів (технічних та управлінських), % (експертна оцінка) (47); відповідність політичних лідерів завданням, що постають перед системою, % (експертна оцінка) (48).

Як свідчать результати інтегральної згортки станом на 1 січня 2021 р. (рис. 13), значення складника «Захищеність національних інтересів» протягом усього періоду дослідження не перевищувало нижнього оптимального значення (0,6662), з 2015 р. воно різко знизилося до критичного рівня та вийшло за межі нижнього порогового значення (у 2020 р. – 0,4392).

Така динаміка пояснюється непослідовністю управлінських рішень щодо реформування системи управління енергетикою, що супроводжувалось, з одного боку, руйнуванням старої організаційно-інституційної структури системи управління, а з іншого – затримками із запровадженням нових інституцій. Через це виникали ситуації з постійними змінами правового поля, функцій і повноважень органів влади з вироблення політики; розмивалася відповідальність за реалізацію ухвалених рішень; спостерігалися прогресуюче падін-

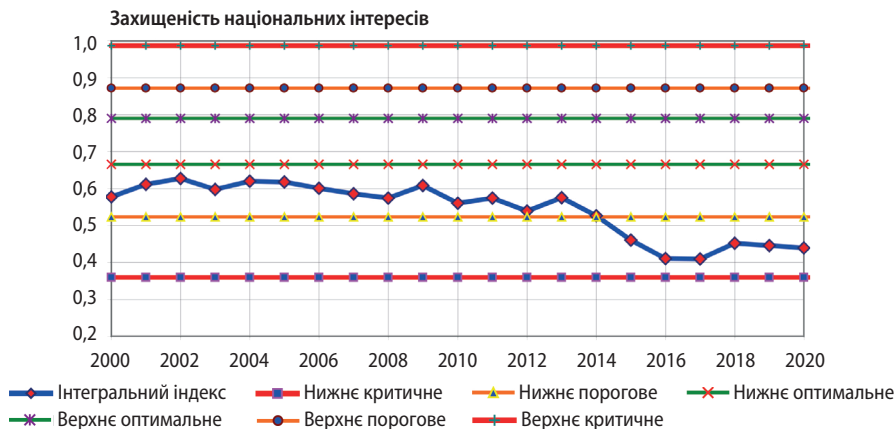


Рис. 13. Значення складника «Захищеність національних інтересів» протягом 2000–2020 рр.

Джерело: розрахунки авторів [28].

ня кваліфікації, нестача узгоджених дій і недостатнє координування діяльності; існувала тенденція до регулярного та багаторазового пропонування політики, програм і проектів за повної неспроможності їх реалізувати.

Із 2014 р. значення складника є меншими за нижнє порогове значення (0,5236). Таке різке погіршення спричинене наслідками російської агресії, надмірної політизації владних рішень в енергетичній сфері та незавершеності переходу на нові моделі функціонування енергетичних ринків і формування нових інституційних основ їхнього регулювання, що створили потенційну загрозу втрати координованості дій суб'єктів політики в досягненні загальних цілей.

За експертною оцінкою, найбільш критичними є невідповідність цільовим значенням рівнів інституційно-організаційного забезпечення виробничих процесів та інфраструктури (у 2020 р. – 28 в. п.), якості політики (55) і кадрів (42), а також відповідності політичних лідерів завданням, що постають перед системою (64 в. п.).

### 2.1.8. Інтегральний індекс енергетичної безпеки

Як свідчать результати інтегральної згортки станом на 1 січня 2021 р. (рис. 14), значення інтегрального індексу енергетичної безпеки протягом усього періоду дослідження не перевищували нижнього

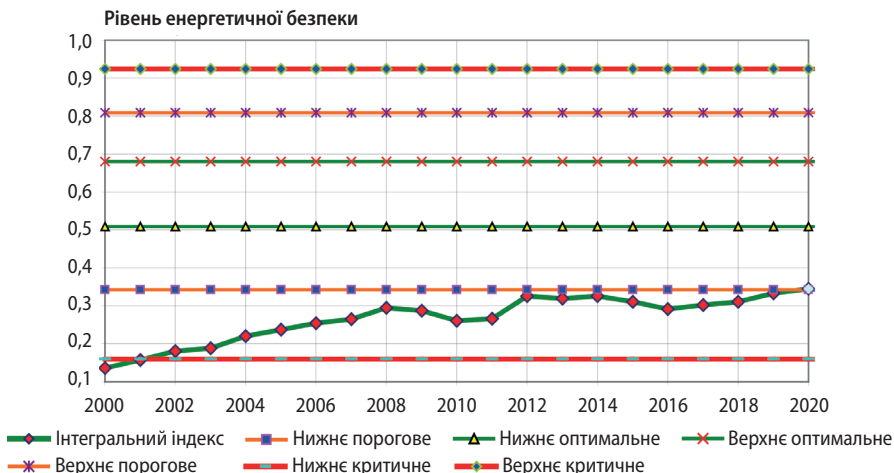


Рис. 14. Рівень енергетичної безпеки України в 2000–2020 рр.

Джерело: розрахунки авторів [28].

порогового значення (0,3425), хоча й демонстрували переважно незначну позитивну динаміку (у 2020 р. – 0,3425).

При цьому в 2000–2008 рр. індекс зріс із 0,1361 до 0,2948 завдяки відновленню основних фондів паливно-енергетичного комплексу й реалізації державних цільових програм, стратегічними цілями яких були збільшення видобутку власних, диверсифікації джерел і маршрутів постачання імпортованих енергоносіїв. У 2009–2011 рр. під впливом світової економічної кризи і чергової «газової війни» з РФ, які спричинили зростання вартості імпорту енергетичних ресурсів і скорочення ВВП України, значення індексу (у 2010 р. – 0,2609) знову стало меншим від нижнього порогового (0,3425). У подальшому відчутних змін рівня енергетичної безпеки не відбувалося. Значення індексу завжди було нижчим від нижнього порогового, окрім 2020 р.

Загалом результати порівняння поточних і порогових значень інтегрального індексу енергетичної безпеки наочно демонструють, наскільки ефективною й результативною є політика у відповідній сфері. Тому метою державних інституцій – суб'єктів забезпечення енергетичної безпеки – має бути переведення значення інтегрального індексу спочатку в ризикову («помаранчеву») зону – між нижнім пороговим та нижнім оптимальним значеннями, а потім – в оптимальну («зелену») зону сталого розвитку. Для цього необхідно здійснити низку заходів,

спрямованих на таке змінення кожного із 48 індикаторів енергетичної безпеки (табл. 5), яке б у комплексі сприяло збільшенню значень як окремих складників інтегрального індексу (тобто досягненню цілей, визначених Стратегією енергетичної безпеки [22]), так і самого індексу в цілому (тобто підвищенню рівня енергетичної безпеки держави). Відповідно до конкретних практичних завдань чи після змінення цілей у сфері енергетичної безпеки (внаслідок ухвалення нових редакцій Енергетичної стратегії України та/чи Стратегії енергетичної безпеки) сукупність індикаторів, а також їхні порогові й цільові значення можуть бути уточнені.

*Проведене моделювання демонструє використання системного підходу та стратегічного планування з метою оцінювання рівня енергетичної безпеки.* Запропонована методологія дає змогу адаптуватись до нових вимог суб'єкта управління та, за деякого спрощення, сформувати методичний інструмент самостійного оцінювання органами державної влади стану справ у відповідній сфері, оцінювати необхідні йому характеристики системи та здійснювати планування своїх дій.

## 2.2. Стратегування сталого розвитку у сфері енергетичної безпеки

Розроблена методологія дозволяє розрахувати траєкторію переходу системи із поточного стану у цільовий, проектний стан енергетичної безпеки, за принципом стратегування «майбутнє визначається траєкторією в майбутнє» та має широке застосування [16; 18; 26–27]. Такий принцип дає змогу здійснити декомпозицію інтегрального індексу енергетичної безпеки з метою синтезу його складників (та окремих індикаторів) енергетичної безпеки, що відповідають бажаній траєкторії сталого розвитку.

Цільовий рівень параметрів енергетичної безпеки (майбутні цільові значення індикаторів) можуть бути зафіксовані у вигляді Додатку до Стратегії енергетичної безпеки, стати вихідними завданнями для моделювання траєкторії розвитку системи для досягнення майбутнього цільового стану.

Загальні засади проектування цільових параметрів системи у майбутньому (цільових значень індикаторів) детальніше викладено в розділі 3.



### 2.2.1. Приклад розрахунку траєкторії досягнення стратегічних цілей

Щоб продемонструвати, як може застосовуватися розроблена методологія стратегування дій із забезпечення енергетичної безпеки, застосуємо дані розрахунків, отримані під час оцінювання поточного рівня енергетичної безпеки України, а також цільові значення інтегрального індексу та його складників (табл. 6).

Очікувана траєкторія розвитку системи для досягнення стратегічних цілей до визначеного терміну (прийємо до 2030 р.) будується за цільовими значеннями інтегрального індексу (додаток 1). За модел-

Таблиця 6. Вектор граничних значень і поточні значення інтегрального індексу енергетичної безпеки України та його складників у 2020 р.

Група індикаторів	Вектор граничних значень груп індикаторів							Поточні значення індексу та його складників
	$X_{кр}^н$	$X_{пор}^н$	$X_{opt}^н$	$X_{ц}$	$X_{opt}^в$	$X_{пор}^в$	$X_{кр}^в$	
Загальна сукупність, у т. ч. за складниками:	0,1600	0,3425	0,5085	0,5945	0,6805	0,8097	0,9239	0,3448
I. Ресурсна достатність	0,0778	0,2537	0,3853	0,4557	0,5261	0,6451	0,8826	0,2936
II. Економічна доступність	0,1280	0,2877	0,4422	0,5536	0,6649	0,8299	0,9251	0,3501
III. Економічна ефективність	0,2455	0,3555	0,4846	0,5761	0,6675	0,8652	0,9683	0,2839
IV. Енергетична ефективність	0,1484	0,3488	0,5246	0,6087	0,6928	0,8098	0,8725	0,3977
V. Екологічна прийнятність	0,1037	0,2774	0,4505	0,5410	0,6314	0,7649	0,8945	0,2952
VI. Стійкість енергетики	0,1817	0,3887	0,6173	0,7004	0,7834	0,8808	0,9435	0,3814
VII. Захищеність національних інтересів	0,3596	0,5236	0,6662	0,7286	0,7909	0,8719	0,9868	0,4392

Джерело: розрахунки авторів.

лю (1.6) та з урахуванням динамічних вагових коефіцієнтів здійснюємо розрахунок прогностичних значень для кожного складника інтегрального індексу енергетичної безпеки.

У загальному випадку можливо розрахувати динаміку зміни інтегрального індексу енергетичної безпеки за окремими сценаріями, наприклад для досягнення до 2030 р. таких значень:

- середнього між нижнім пороговим і нижнім оптимальним (реалістичний сценарій; сценарій 1);
- нижнього оптимального (оптимістичний сценарій; сценарій 2);
- середнього арифметичного між верхнім і нижнім оптимальними (сценарій сталого розвитку; сценарій 3) (рис. 15).

Для кожного з визначених сценаріїв можна побудувати бажану траєкторію досягнення цілей як для інтегрального індексу, так і його складових (табл. 7). Так само для окремих індикаторів енергетичної безпеки можна отримати їхні динамічні ряди, дотримання яких забезпечить реалізацію поставлених стратегічних цілей.

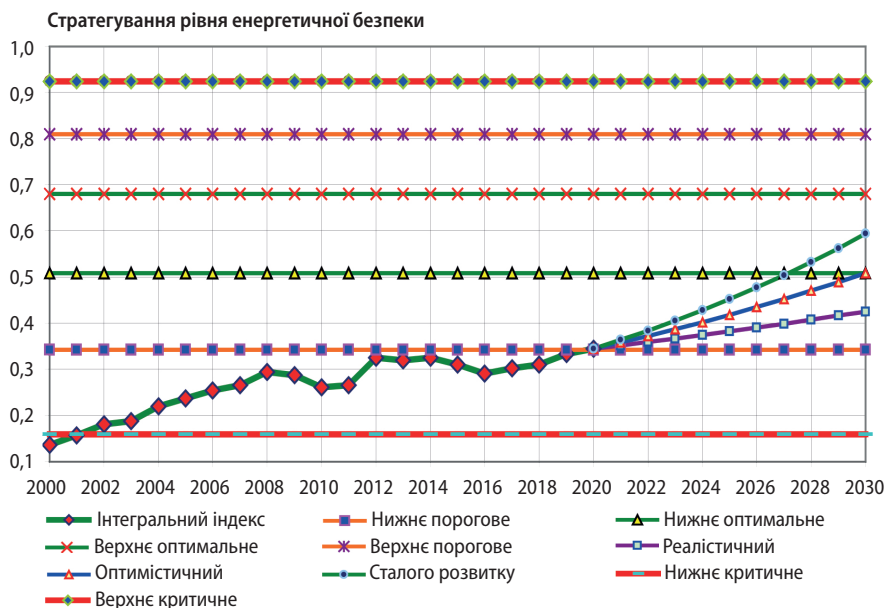


Рис. 15. Прогностичний рівень енергетичної безпеки в період 2000–2030 рр. відповідно до трьох сценаріїв розвитку

Джерело: розрахунки авторів.

**Таблиця 7. Оцінка складників енергетичної безпеки України в 2030 р. відповідно до трьох сценаріїв розвитку, нормовані значення**

Складники та сценарії розвитку	Роки					
	2020	2022	2024	2026	2028	2030
<b>1. Ресурсна достатність:</b>						
– реалістичний	0,2936	0,3132	0,3328	0,3553	0,3775	0,4005
– оптимістичний	0,2936	0,3309	0,3707	0,4133	0,4589	0,5076
– сталий розвиток	0,2936	0,3465	0,4047	0,4686	0,5388	0,6165
<b>2. Економічна доступність:</b>						
– реалістичний	0,3501	0,3646	0,3802	0,3966	0,4139	0,4319
– оптимістичний	0,3501	0,3781	0,4086	0,4421	0,4785	0,5182
– сталий розвиток	0,3501	0,3899	0,4352	0,4864	0,5439	0,6085
<b>3. Економічна прийнятність:</b>						
– реалістичний	0,2839	0,2936	0,3039	0,3149	0,3264	0,3386
– оптимістичний	0,2839	0,3025	0,3229	0,3454	0,3701	0,3972
– сталий розвиток	0,2839	0,3104	0,3408	0,3755	0,4148	0,4594
<b>4. Енергетична ефективність:</b>						
– реалістичний	0,3977	0,4114	0,4261	0,4337	0,4579	0,4752
– оптимістичний	0,3977	0,4240	0,4529	0,4848	0,5199	0,5582
– сталий розвиток	0,3977	0,4352	0,4783	0,5275	0,5832	0,6463
<b>5. Екологічна прийнятність:</b>						
– реалістичний	0,2952	0,3124	0,3306	0,3496	0,3693	0,3899
– оптимістичний	0,2952	0,3280	0,3633	0,4014	0,4423	0,4863
– сталий розвиток	0,2952	0,3418	0,3936	0,4510	0,5145	0,5849
<b>6. Стійкість енергетичного сектору:</b>						
– реалістичний	0,3814	0,3883	0,3959	0,4039	0,4126	0,4217
– оптимістичний	0,3814	0,3948	0,4099	0,4269	0,4459	0,4672
– сталий розвиток	0,3814	0,4006	0,4234	0,4501	0,4812	0,5172
<b>7. Захищеність національних інтересів:</b>						
– реалістичний	0,4392	0,4499	0,4616	0,4739	0,4871	0,5011
– оптимістичний	0,4392	0,4599	0,4831	0,5089	0,5375	0,5693
– сталий розвиток	0,4392	0,4689	0,5036	0,5438	0,5900	0,6431

*Джерело: розрахунки авторів.*

Таким чином, стратегічні орієнтири сталого розвитку сфери енергетичної безпеки, визначені з урахуванням чутливості впливу кожного окремого складника на інтегральний індекс, є метою стратегічного планування на середньо- або довгострокову перспективу.

Фактором наближення складників та індикаторів енергетичної безпеки до рівня сталого розвитку є їхнє відхилення від їхніх середніх оптимальних значень (гомеостатичного плато), які можна вважати **критеріями забезпечення сталого розвитку** [19]. Водночас ці відхилення ілюструють, які складники та відповідні індикатори найбільше відстають від рівня безпечного сталого розвитку та, відповідно, становлять загрозу безпеці стратегії розвитку. Найважливіше завдання сталого розвитку – усунути дисбаланси, тобто зменшити до нуля відхилення кожного складника інтегрального індексу, наприклад до кінця 2030 р. Вирівнювання диспропорційності та зведення до нуля відхилень від критерію сталого розвитку забезпечуватиме збалансований сталий розвиток.

Нижче графічно відображено поступове наближення відхилень складників енергетичної безпеки до нуля (до сталого розвитку при включенні обмежень або до верхнього оптимального значення) для трьох сценаріїв розвитку (*рис. 16*).

### 2.2.2. Приклад розрахунку траєкторії досягнення цільових значень індикаторів енергетичної безпеки

На основі моделювання розраховується також траєкторія цільового розвитку кожного окремого індикатора. Такий розрахунок може стати орієнтиром для розроблення окремої програми розвитку у визначеній сфері чи галузі. Приклад розрахунку показано на *рис. 17*, де наведено цільову траєкторію наближення індикатора «Енергоємність ВВП» до визначеного цільового значення.

Енергоємність ВВП є узагальнюючим макроекономічним показником, що характеризує рівень витрат паливно-енергетичних ресурсів на одиницю виробленого валового внутрішнього продукту та є однією з фундаментальних характеристик для економіки кожної країни. Цей індикатор характеризує ефективність перетворення залучених енергоресурсів у добробут країни, що є відображенням взаємовідносин між елементами системи економічних відносин, виробничих процесів та процесу енергозабезпечення.

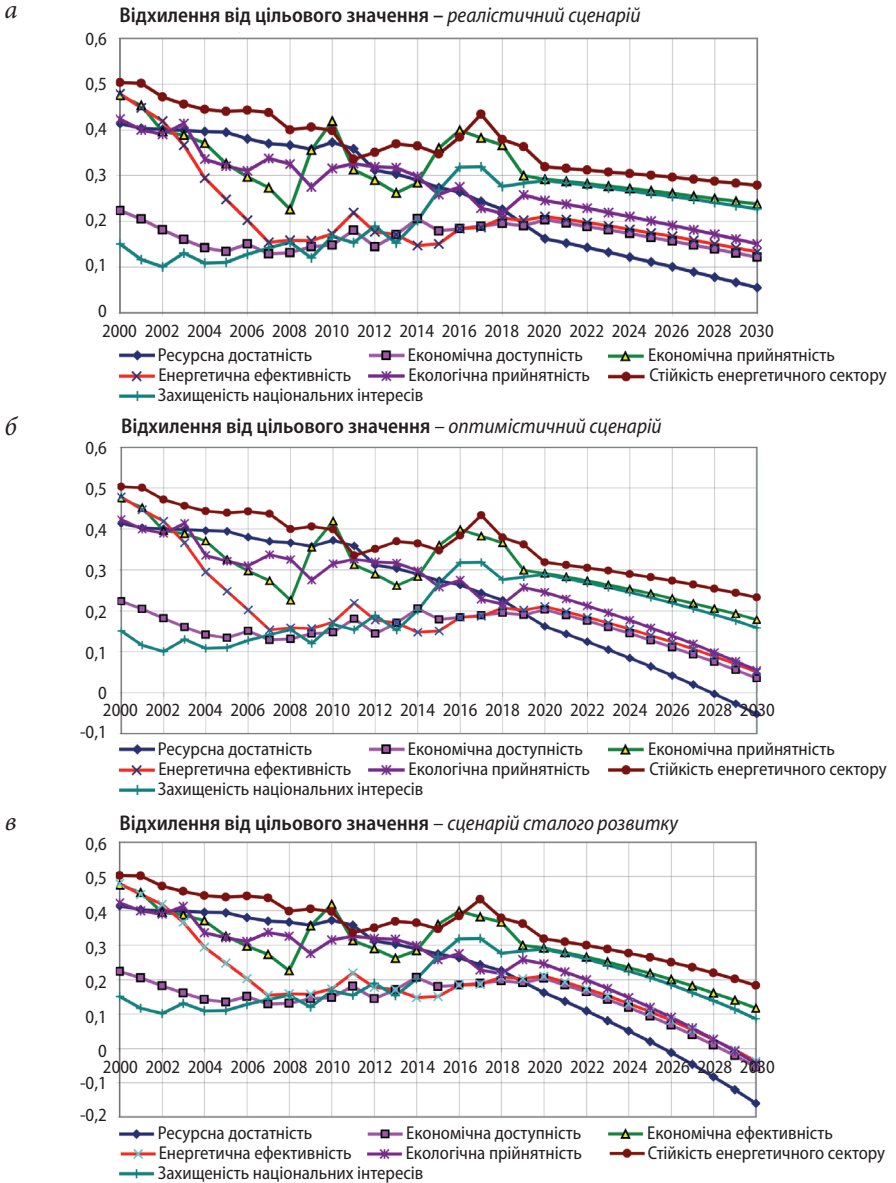


Рис. 16. Динаміка відхилень складників енергетичної безпеки від цільового значення за трьома сценаріями: *а* – реалістичним; *б* – оптимістичним; *в* – сталого розвитку

Джерело: модельні розрахунки авторів.

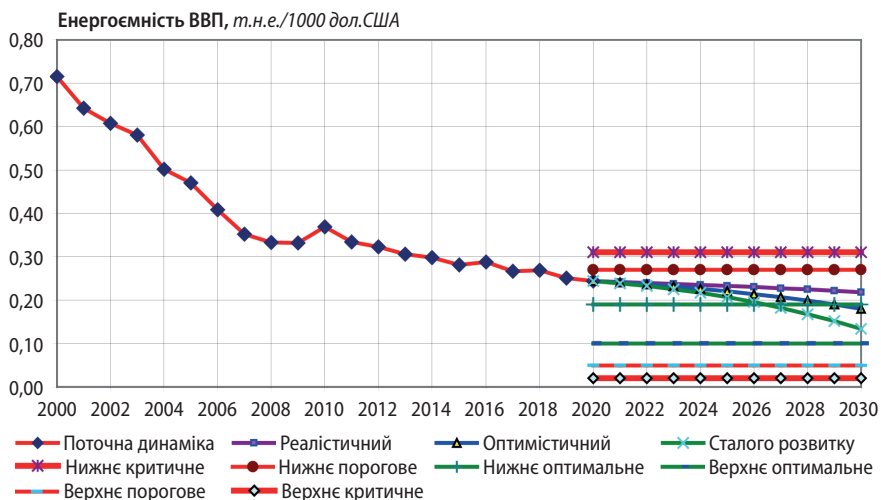


Рис. 17. Прогнозний рівень індикатора «Енергоємність ВВП» у 2020–2030 рр. відповідно до трьох сценаріїв розвитку

Джерело: модельні розрахунки авторів.

Поточне значення індикатора станом на 2020 р. – 0,269 т.н. е./1000 дол. США. Цільове значення індикатора (0,145 т.н. е./1000 дол. США) визначене з урахуванням значень індикаторів подібних за рівнем розвитку країн і проектного бачення бажаної структури економіки країни, воно відповідає середині гомеостатичного плато (оптимального діапазону).

Розроблена модель дозволяє також провести розрахунки стратегування розвитку не тільки макроекономічних індикаторів і складників індексу енергетичної безпеки, але й бажану траєкторію зміни окремих специфічних індикаторів. Прикладом є прогнозована траєкторія розвитку частки ВДЕ у кінцевому споживанні та викидів CO<sub>2</sub> від електро- й теплогенеруючих установок (рис. 18–19).

Розраховані за розробленою моделлю стратегічні орієнтири інтегрального індексу енергетичної безпеки, складники та їхні індикатори можна вважати науково обґрунтованим стратегічним планом забезпечення енергетичної безпеки та сталого розвитку країни.

Моніторинг індикаторів фактичного стану енергетичної безпеки зі стратегічними орієнтирами визначених сценаріїв дозволить об'єктивно визначати поточний стан і траєкторію рівня енергетичної безпеки країни та, відповідно, ефективність державної політики.

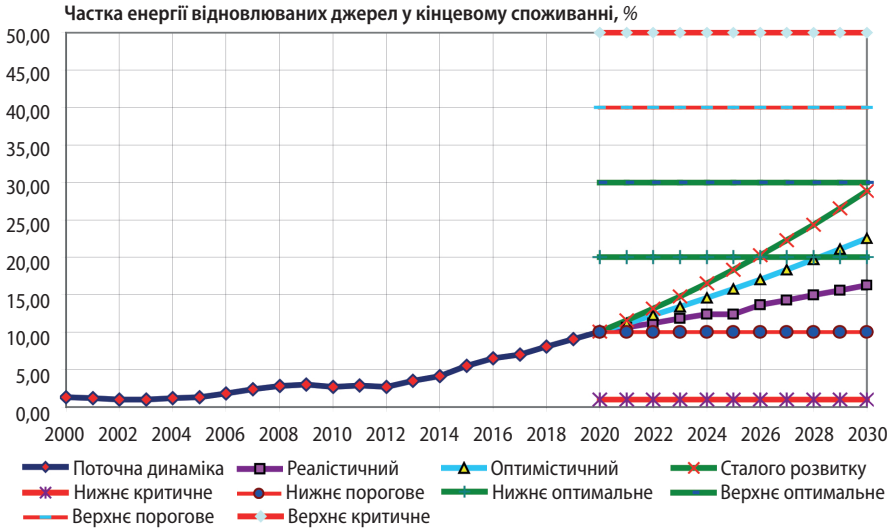


Рис. 18. Прогнозний рівень індикатора «Частка енергії відновлюваних джерел у кінцевому споживанні» в 2020–2030 рр. відповідно до трьох сценаріїв розвитку

Джерело: модельні розрахунки авторів.

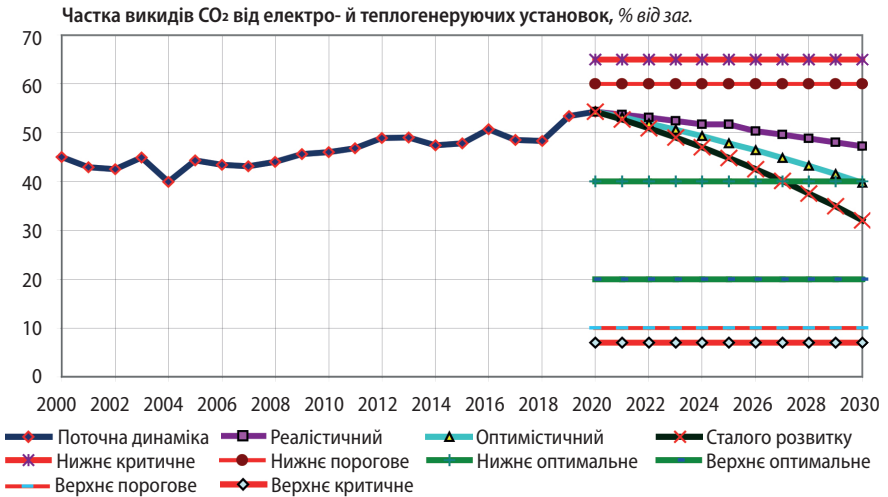


Рис. 19. Прогнозний рівень індикатора «Частка викидів CO<sub>2</sub> від електро- й теплогенеруючих установок» у 2020–2030 рр. відповідно до трьох сценаріїв розвитку

Джерело: модельні розрахунки авторів.

## 3. ЦІЛЕПОКЛАДАННЯ У СФЕРІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ

### 3.1. Принципи цілепокладання у виробленні державної політики забезпечення енергетичної безпеки

Визначення цілей діяльності у сфері енергетичної безпеки – завдання неоднозначне, адже потребує не тільки спроможності екстраполювати поточні тенденції розвитку енергетичного сектору і вибраних параметрів опису енергетичної безпеки у майбутнє. Ця відносно проста задача ускладнюється необхідністю «проектування» майбутнього стану за наявних невизначеностей щодо відомих параметрів і навіть передбачення невідомих параметрів та їхніх бажаних значень. Крім того, свою роль починають відігравати світоглядні установки щодо мети існування об'єкта управління та мети дій суб'єкта стосовно цього об'єкта.

Наголосимо: не йдеться про надання бажаних значень окремим вибраним параметрам, що може бути здійснено доступними суб'єкту інструментами. Йдеться про принципову необхідність аналізування суб'єктом власних інтересів та цілей, а також їх потенційну сумісність / несумісність з інтересами об'єкта [17]. З точки зору державного управління – це «політичний» вибір цілей у сфері енергетичної безпеки, наприклад «адміністративна» чи «ринкова» модель управління; структура енергобалансу; синхронізація енергосистеми України з мережами країн ЄС (*ENTSO-E*) чи з мережами країн СНД (*IPS/UPS* – фактично російською мережею) тощо.

Конче важливо звернути увагу на відсутність в українському законодавстві задачі «цілепокладання» (проблем і методології визначення цілей діяльності суб'єкта управління) та фактичної відсутності цієї проблематики в практичній діяльності системи державного управління [29].

Ми визначаємо енергетичну безпеку як окрему складову частину (підсистему) в системі національної безпеки, інституційній структурі,



функціональних призначеннях та організації взаємодії між суб'єктами забезпечення національної безпеки.

Отже, застосування системного підходу дає змогу знизити рівень суб'єктивізму при цілепокладанні. Цілі визначатимуться вимогами більшої системи, елементом якої є певна менша система<sup>15</sup> [1; 5; 15]. Також у розгляд уводиться аспект оцінки «якості» суб'єкта, зокрема його заінтересованість у безпеці об'єкта<sup>16</sup>, спроможність розуміти вимоги більшої системи та приймати адекватні управлінські рішення.

Іншим аспектом застосування системного підходу є планування досягнення «цільового безпечного» стану. Одразу зауважимо, що формування цілей, за якого орієнтуються на збереження поточного стану системи незмінним (стан «як є»), не відповідає сучасним вимогам. Система має розвиватися, відображаючи у своєму розвитку зміни зовнішнього середовища. При цьому процес розвитку системи має бути стійким<sup>17</sup>. Суб'єкт визначає майбутній «цільовий» стан<sup>18</sup> та планує застосування визначеного набору владних рішень<sup>19</sup>.

Варто зазначити, що визначення цільового стану є найважливішим етапом визначення рівня безпеки. Неможливо здійснити системне дослідження проблеми сталого розвитку в безпековому вимірі без визначення меж безпечних умов життєдіяльності системи. Тому визначення граничних значень індикаторів безпеки щільно пов'язано з поняттям динамічної стійкості системи.

<sup>15</sup> Формальним інструментом формування вимог до системи енергетичної безпеки може бути Стратегія національної безпеки [22].

<sup>16</sup> Виходимо з припущення, що при здійсненні цілепокладання суб'єкт управління життєво зацікавлений у забезпеченні життєдіяльності та розвитку об'єкта управління (реагування на чинники, що загрожуватимуть життю об'єкта). Суб'єкт живе на матеріалі об'єкта, і загибель об'єкта призведе до загибелі суб'єкта.

<sup>17</sup> Наше трактування стійкості системи до загроз передбачає можливість зміни параметрів та властивостей системи, включно й можливу трансформацію структури системи, при збереженні її ідентичності.

<sup>18</sup> Визначення цільового стану системи здійснюється на основі формування стратегічної ідеї або через «проектування» майбутніх параметрів системи, визначення її функціонального призначення відповідно до бачення (візії) більшої системи.

<sup>19</sup> Владні рішення визначають залежно від оцінки поточного стану системи, її процесів та наявних ресурсів відповідно до припущень щодо еволюції системи (без застосування суб'єктом управлінських рішень), тобто на основі сценарного прогнозування. Наголосимо на важливому моменті: прогнозування є інструментом порівняльного вибору суб'єктом можливих і необхідних рішень задля забезпечення розвитку системи для переведення системи в «цільовий» стан, а не інструментом визначення цілей.

Для управління безпекою є важливим науково обґрунтоване визначення цільових значень та меж можливого відхилення параметрів системи від граничних значень індикаторів безпеки.

З точки зору стратегічного цілепокладання можливі різні методологічні підходи, з-поміж них найчастіше застосовують ті, про які йдеться нижче.

### **3.1.1. Екстраполяція поточного стану в майбутнє**

Екстраполяція поточного стану в майбутнє – формування цілей та механізмів розвитку системи, що ґрунтується на перенесенні в майбутнє поточних характеристик системи (соціально-економічного розвитку на основі наявних низки технологій, вартості капіталу, світоглядних установок тощо).

Хоча автори монографії вважають, що цей підхід є застарілим, однак він теж має право на застосування, якщо інші недоступні.

Зокрема, екстраполяція може застосовуватись у випадку очікування тривалого збереження системи в статичному стані. Тоді робиться припущення, що динаміка системи (зовнішня та внутрішня) є низькою і параметри, вибрані для опису системи, мало змінюються (особливо ті, що характеризують взаємодію між елементами системи). У цьому випадку, беручи за основу зміну у часі одного параметра, наприклад зростання обсягу виробництва продукту системою, можна обчислити необхідні значення інших параметрів.

Екстраполяція також може застосовуватись у випадку «примусового» визначення динаміки окремих параметрів системи на визначеному періоді часу, з огляду на вимоги більшої системи. Наприклад, політичне визначення розвитку атомної енергетики як безумовного імперативу (наприклад, як складника системи атомного комплексу країни в цілях національної безпеки та ядерного стримування).

### **3.1.2. Вибір цільових еталонних показників**

Вибір цільових еталонних показників – це формування цілей з акцентом на досягненні конкурентного рівня з подібними системами (вибір значень параметрів, подібних до цільової групи країн – конкурентів України).

Цей підхід є ефективним методом цілепокладання, він досить поширений під назвою *benchmarking*. Основними проблемами його застосування є збереження деякого рівня суб'єктивізму дослідника в частині вибору референтної «цільової групи країн» та визначення граничних значень параметрів для аналізування.

Для цілей дослідження проблем енергетичної безпеки скористаємося критерієм вибору «цільова група країн» з таким визначенням – це країни, що випереджають Україну за вибраними цілями (вибраними бажаними параметрами) та **«подібні за кліматичними, географічними, політичним, соціальними особливостями, а також близькою структурою економіки та чисельністю населення»**.

Зрозуміло, що дібрані «цільові країни» мають свої унікальні особливості, а Україна не може повністю повторити їхній розвиток (досягнення значень вибраних параметрів). У цьому випадку автори пропонують використовувати стохастичні методи моделювання, а саме **методологію *t*-критерію Стьюдента**, яка набула свого розвитку у праці [19].

Розвиток методу *t*-критерію для визначення граничних значень індикаторів безпеки полягає в тому, що, по-перше, кількість градацій безпеки (критичний, пороговий, оптимальний) в обидва боки гомеостатичного плато пов'язуємо з поняттям розширеного гомеостатичного плато та сферами додатного, нейтрального і від'ємного зворотного зв'язку (рис. 4). По-друге, кількісні значення градацій безпеки пов'язуємо з розширенням методу *t*-критерію через побудову функції щільності ймовірності, визначення приналежності до типу розподілу з розрахунком статистичних характеристик «зразкової» вибірки (математичного очікування  $\mu$ , середньоквадратичного відхилення  $\sigma$  і коефіцієнта асиметрії  $k_{as}$ ) та формалізованого визначення градацій безпеки для характерних типів розподілу (табл. 3).

Наведемо приклад розрахунку граничних значень індикаторів енергетичної безпеки:

- **енергоємність ВВП,  $t$  н.е./1000 дол. США (дестимулятор)** (рис. 20). Для «зразкової» вибірки обрана низка країн: Польща (0,27; 0,26; 0,25; 0,24; 0,22; 0,2; 0,18; 0,17), Німеччина (0,11; 0,12; 0,1; 0,09; 0,08), Франція (0,11; 0,1; 0,09; 0,08), США (0,18; 0,17; 0,16; 0,15; 0,14; 0,123; 0,12) та світ загалом (0,2; 0,19; 0,18; 0,17).

З найбільшою правдоподібністю цю функцію (рис. 20) можна віднести до логнормального типу розподілу (хвіст вправо). Зважаючи на це, розрахуємо вектор граничних значень згідно з формулами в табл. 3,

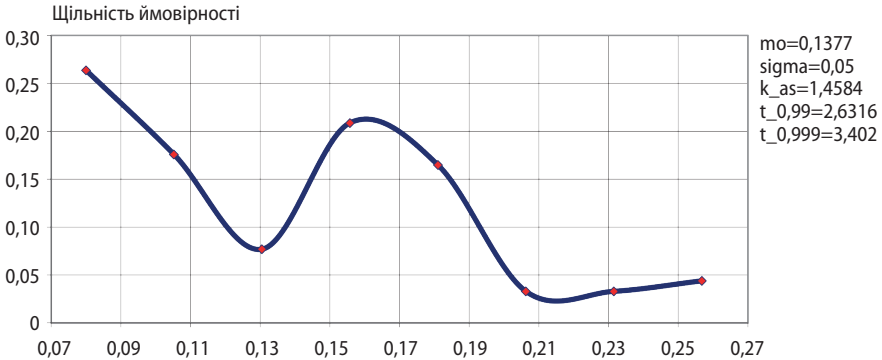


Рис. 20. Функція щільності ймовірності індикатора «Енергоємність ВВП»  
Джерело: розрахунки авторів.

причому для скороченого вектора застосовуємо значення  $t$  з таблиць розподілу Стюдента для ймовірності  $P = 0,99$ , а для критичних значень –  $P = 0,999$ :

– нижнє критичне:

$$\mu - t\sigma / k_{as} = 0,1377 - 3,402 \cdot 0,05 / 1,4584 = 0,0209 \approx 0,02;$$

– нижнє порогове:

$$\mu - t\sigma / k_{as} = 0,1377 - 2,6316 \cdot 0,05 / 1,4584 = 0,0475 \approx 0,05;$$

– нижнє оптимальне:

$$\mu - \sigma / k_{as} = 0,1377 - 0,05 / 1,4584 = 0,0944 \approx 0,1;$$

– верхнє оптимальне:

$$\mu + \sigma = 0,1377 + 0,05 = 0,1877 \approx 0,19;$$

– верхнє порогове:

$$\mu + t\sigma = 0,1377 + 2,6316 \cdot 0,05 = 0,2693 \approx 0,27;$$

– верхнє критичне:

$$\mu + t\sigma = 0,1377 + 3,402 \cdot 0,05 = 0,3078 \approx 0,31;$$

Таке визначення вектора граничних значень характерно для індикаторів-стимуляторів, але для індикаторів-дестимуляторів порядок значень складників вектора змінюється навпаки:

– нижнє критичне: 0,31;

– нижнє порогове: 0,27;

– нижнє оптимальне: 0,19;

– верхнє оптимальне: 0,1;

– верхнє порогове: 0,05;

– верхнє критичне: 0,02;

- ВВП на одну особу, тис. дол. США за поточним обмінним курсом (стимулятор) (рис. 21): у якості «зразкової» вибірки використані дані МВФ для 68 країн світу, як-от: США (69,375), Швеція (58,74), Фінляндія (53,52), Німеччина (50,78), Велика Британія (46,2), Іспанія (30,54) та ін.

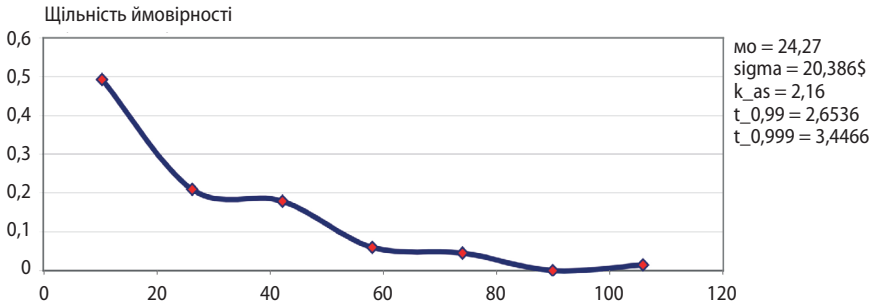


Рис. 21. Функція щільності ймовірності індикатора «ВВП на одну особу»  
Джерело: розрахунки авторів.

З найбільшою правдоподібністю цю функцію (рис. 21) можна віднести до експоненційного типу розподілу (хвіст вправо). Зважаючи на це, розрахуємо вектор граничних значень згідно з формулами в табл. 3, причому для скороченого вектора застосовуємо значення  $t$  з таблиць розподілу Стюдента для ймовірності  $P = 0,99$ , а для критичних значень –  $P = 0,999$ . Для експоненційного типу розподілу в разі відсутності параметра  $t$  за критичне обирається мінімальне значення індикатора у випадку (хвіст вправо) або максимальне при випадку (хвіст вліво):

- нижнє критичне:  $\min(\text{вибірки}) = 10,7$ ;
- нижнє порогове:  
 $\mu - \sigma / k_{as} = 24,27 - 20,3866 / 2,16 = 14,83 \approx 15,0$ ;
- нижнє оптимальне:  
 $\mu = 24,27 \approx 25$ ;
- верхнє оптимальне:  
 $\mu + \sigma = 24,27 + 20,3866 = 44,65 \approx 45$ ;
- верхнє порогове:  
 $\mu + t\sigma = 24,27 + 2,6536 \cdot 20,3866 = 78,36 \approx 80$ ;
- верхнє критичне:  
 $\mu + t\sigma = 24,27 + 3,4466 \cdot 20,3866 = 94,5 \approx 95$ .

Запропонований метод дозволяє суттєво знизити рівень суб'єктивізму при визначенні цільових та граничних значень параметрів системи, а також формалізувати визначення меж безпечного функціонування системи та впливу загроз енергетичній безпеці за критерієм відхилення параметрів системи (індикаторів енергетичної безпеки) від розрахованих цільових та граничних значень.

Особливістю розробленого методу формалізованого визначення граничних значень індикаторів безпеки є повна математична формалізація, що суттєво підвищує швидкість і достовірність отриманих результатів під час оцінювання рівня сталого розвитку, національної безпеки або національної стійкості.

### 3.1.3. Проєктування майбутнього

Проєктування майбутнього – це формування цілей з огляду на місце та роль системи у більших системах з урахуванням траєкторії розвитку соціально-економічних, технологічних та інших аспектів, важливих для функціонування системи (очікування зміни технологій, знань тощо).

Цей підхід є найбільш перспективним щодо застосування в сучасному динамічному світі. Водночас він є найменш формалізованим і методологічно розвиненим для застосування в соціальних системах. Особливістю цього підходу є те, що він потребує від дослідника (управлінця) спроможності сформувати візію майбутнього системи, розуміння ролі та місця цієї системи у більшій системі та усвідомлення тих параметрів елементів системи та процесів, котрі відбуватимуться у більшій системі в майбутньому. Тобто йдеться про розуміння суб'єктом управління «контексту функціонування» його системи (об'єкта управління) у рамках більшої системи за майбутніх параметрів більшої системи. Також цей підхід вимагає від суб'єкта спроможності сформувати візію екосистеми та формалізувати її параметри у стратегуванні, що потребує високої якості суб'єкта (професійного рівня дослідника / управлінця).

## 3.2. Проєктування майбутнього стану енергетичної безпеки як об'єкта управління

### 3.2.1. Загальні підходи

У випадку планування розвитку системи цілі визначаються з огляду на необхідність формування таких характеристик і властивостей системи, які гарантуватимуть виконання нею свого функціонального призначення у більшій системі та стійкість системи до впливу загроз.

Стосовно стратегічного планування на значний період, то, зважаючи на складності й тривалості перетворень у системі для надання їй необхідних властивостей (відповідно до візії системи), необхідно враховувати майбутні зміни щодо функціонального призначення та матеріалу елементів системи.

Наприклад, зміна моделі ринку електроенергії (від централізованої та регульованої моделі до моделі ліберальної та конкурентної) *потребує формування нових функціональних призначень елементів системи, а також створення цілком нових елементів і відповідних змін у структурі зв'язків між ними* (створення операторів різних сегментів ринку, біржі, регулятора ринків; нових механізмів регулювання ринку), *зміни «якості» елементів системи, її матеріалу* (рівень знань та кваліфікації персоналу, наявних технологій освіти).

Таким чином, при формуванні візійного бачення на основі системного підходу (об'єкт управління як елемент у більшій системі) фактично окреслюється перелік сфер, аспектів, проблем, які мають бути враховані під час стратегування досягнення цілей розвитку системи.

Розглянемо завдання, що постають перед суб'єктом управління під час виконання цього завдання (рис. 22–23).

Суб'єкт управління в час  $t_1$  порівнює поточний стан із цільовим станом системи. Оцінюючи відхилення значень параметрів поточного стану від індикативних цільових значень, суб'єкт формує набір управлінських рішень.

Задля збереження системи в поточному незмінному стані (стан «як є») формується досить обмежене коло управлінських рішень. Загрози поточному стану, як і відповідні управлінські рішення, беруться до уваги лише у випадку наявності ризику припинення існування системи. Діяльність у цьому разі не має горизонту планування і фактично є реактивним реагуванням на недосконалі управлінські рішення, здійснені раніше.

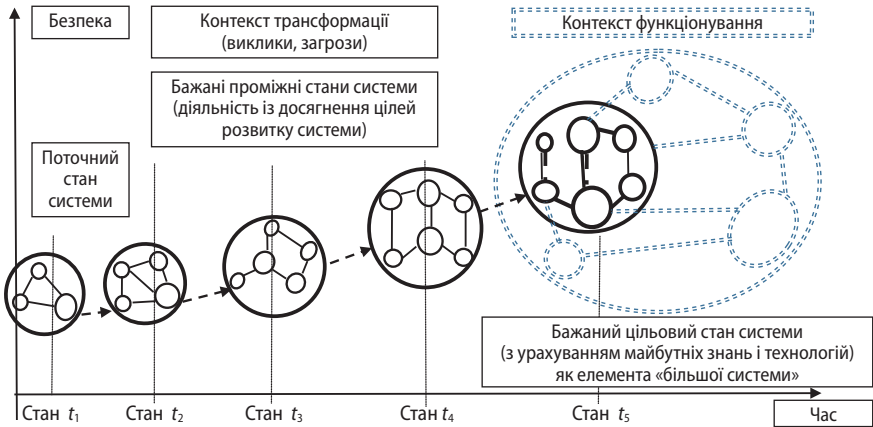


Рис. 22. Стратегування розвитку системи під час стратегічного планування досягнення цільового стану системи

Джерело: складено авторами за [15].

Для забезпечення розвитку системи виходимо з того, що суб'єкт має управляти трансформацією системи при існуванні набору викликів та загроз, які постають перед суб'єктом та самою системою (контекст трансформації). Суб'єкт, ідентифікувавши загрози енергетичній безпеці, планує свою діяльність для того, щоб привести систему до цільового, безпечного стану у майбутньому.

У випадку стратегічного планування на значний період (очікується досягнення цілей у момент часу  $t_5$ ), зважаючи на складності й тривалості перетворень у системі для надання їй необхідних властивостей (відповідно до візії системи), доцільно передбачити етапність трансформації (бажані стани розвитку системи у моменти часу  $t_2 - t_4$ ).

Однак зауважимо, що горизонт планування (у часі) визначатиме вибір параметрів та взятих до уваги аспектів стратегічного планування, урахуовуючи концепції їхнього життєвого циклу (рис. 21).

Здійснюючи стратегування розвитку системи, суб'єкт управління поряд з управлінськими рішеннями, спрямованими на зміну системи, має враховувати динаміку та пропонувати рішення щодо впливу на більші системи (рис. 22). Такі цикли описані в різних наукових дисциплінах, і суб'єкт управління (дослідження) має їх урахувати під час проектування майбутнього бажаного стану системи, зокрема це: термін придатності матеріалу (дерева, бетону, металу тощо); період професійної підготовки; період каденції влади (політично-виборчий цикл); еко-



номічні цикли (цикли Кітчена, Жюглара, Кузнеця, Кондратьєва та ін.); цикли технологічних змін; цикли зміни світоглядних установок (зміна парадигм) тощо.

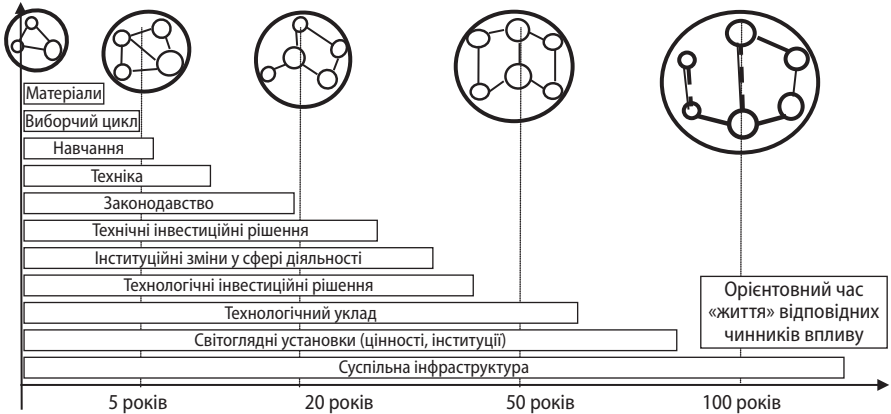


Рис. 23. Чинники впливу на розвиток системи, що мають бути враховані під час стратегічного планування досягнення цільового стану системи  
Джерело: складено авторами за [15].

У цьому дослідженні висвітлюємо лише один аспект проектування: аналізуватимемо, яким чином розвиток енергетичних технологій формуватиме вимоги до системи електропостачання споживачів.

### 3.2.2. Особливості функціонування систем енергозабезпечення

Існуючі системи енергозабезпечення, зокрема система електропостачання (Об'єднана енергетична система (ОЕС) України), характеризуються централізованістю виробництва та односпрямованістю потоку енергії: від великого виробника енергії до кінцевого споживача. Мережі передачі (магістральні лінії високої напруги; оператор – НЕК «Укренерго») та регіонального розподілу (розподільні лінії низької напруги; оператори – обленерго) розвивались відповідно до цього ж принципу. Наявну в Україні енергосистему розроблено для з'єднання відносно невеликої кількості великих електростанцій з великою кількістю споживачів.

При цьому особливістю функціонування такої енергосистеми є: нерівномірність графіків навантаження; технологічна відповідність структури генеруючих потужностей, зокрема базових, напівпікових та пікових

потужностей, графікові навантаження. Така нерівномірність потребує застосування окремих організаційно-технічних рішень для балансування попиту – пропозиції енергопостачання в режимі реального часу.

Нерівномірність споживання електроенергії протягом року зумовлюється змінами температури довкілля, у загальному випадку її можна розділити на три характерні зони: зона інтенсивного обігріву (від  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  до приблизно  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), коли споживання енергії є найбільшим та практично лінійно залежить від температури повітря); зона комфорту (від  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), коли споживання є мінімальним; зона інтенсивного охолодження (від  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) – споживання енергії знову збільшується із зростанням температури повітря<sup>20</sup>.

Нерівномірність споживання протягом тижня також зумовлена робочими днями, коли в понеділок – п'ятницю спостерігається максимальне споживання зі значною часткою промислового споживання. Водночас у вихідні дні спостерігається знижений рівень споживання з високою часткою споживання населенням та комунально-побутовими споживачами.

Нерівномірність профіля споживання в робочу добу зумовлюється виробничими процесами, а також задоволенням потреб споживачів у період, коли вони перебувають у житлових помешканнях. У літній період денний пік навіть перевищує вечірній, що пояснюється зростанням потреб електроенергії на кондиціонування. При цьому відмінність між споживаною потужністю в пікові години у зимовий та літній періоди становить 5...6 МВт [32].

Така структура системи енергозабезпечення створювалася для роботи за принципово інших умов, аніж ті, в яких вона функціонує тепер. Серед нових тенденцій, що впливають на функціонування систем енергозабезпечення України сьогодні, є зміна структури споживання енергії, зокрема збільшення частки споживання побутовими та іншими непромисловими споживачами за відповідного зменшення частки решти груп споживачів (наприклад, промисловості). Частка споживання промисловістю, у загальному обсязі споживання в Україні, має стійку тенденцію до зниження (для прикладу: у 2012 р. вона становила 47 %, у 2017 р. – 43 %, у 2019 р. – 39 %), що зумовлюється падінням промислового виробництва, зокрема через руйнування промисловості внаслідок воєнних дій. У той само період частка споживання населенням зростає

<sup>20</sup> НЕК «Укренерго». Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей. Київ, 2018. URL: [https://ua.energy/wp-content/uploads/2019/04/ZvitAdekvatnostiGenPotuzhnostej\\_31\\_03\\_2019.pdf](https://ua.energy/wp-content/uploads/2019/04/ZvitAdekvatnostiGenPotuzhnostej_31_03_2019.pdf)

(у 2012 р. вона становила 26,7 %, у 2017 р. – 29,5 %, у 2020 р. – 31,3 %), що зумовлено поступовим насиченням домогосподарств побутовими електричними приладами. Така зміна структури споживання призводить до подальшого збільшення нерівномірності графіка електричних навантажень та зменшення базового (постійного) навантаження.

Інша тенденція, на яку треба реагувати, – це зростання частки «негарантованої» генеруючої потужності в енергосистемі, передусім вітрових та сонячних електростанцій (ВЕС та СЕС відповідно). Протягом останніх 20 років суттєвого розвитку набули відновлювані джерела енергії (ВДЕ). На початок 2021 р. обсяг потужностей відновлюваної енергетики в Україні становив 7737 МВт<sup>21</sup>. Швидке зростання частки відновлюваних джерел енергії, висока залежність від погодних умов, низька маневреність такого виду виробництва ускладнюють прогнозування попиту та балансування роботи системи, створюють труднощі у її сталій роботі. Одночасно Енергетична стратегія України ставить за мету досягти подальшого зростання частки ВДЕ у структурі генерування електроенергії до рівня понад 11 % до 2035 р. [22].

Сучасні умови диктують нові вимоги, за яких має бути забезпечена надійна та безпечна робота енергетичної системи України. Для цього щонайменше необхідне введення в експлуатацію високоманеврових потужностей з можливістю швидкого запуску (включення з нуля та вихід на номінальну потужність за 10–15 хв) та швидкодійних резервів на базі систем накопичення електричної енергії, котрі надаватимуть можливість забезпечити Об'єднану енергетичну систему України необхідними резервами регулювання. Однак підвищення гнучкості енергосистеми в такий спосіб не вирішує проблеми тривалих профіцитів потужності, зокрема через сезонність навантаження. Її вирішення потребує впровадження систем перенесення потужності з періодів графіку електричного навантаження, де є профіцит енергії, до періодів, де наявний її дефіцит.

Ще однією важливою тенденцією, яка формує майбутнє енергетики загалом і систем енергозабезпечення зокрема, є розвиток цифрових технологій та їх застосування в енергетиці [33]. Автоматизація технологічних процесів, розвиток «розумних» мереж (*Smart Grids*), штучний інтелект (*Artificial intelligence, AI*) допоможуть ефективно керувати режимами постачання та споживання енергії. Цифровізація сприяє

<sup>21</sup> Стратегія енергетичної безпеки, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 04.08.2021 № 907-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/907-2021-%D1%80#Text>

децентралізації системи енергозабезпечення та розширенню використання ВДЕ, підвищенню гнучкості реагування на потреби споживачів, суттєво впливає на функціонування існуючих централізованих систем енергозабезпечення.

Удосконалення технологій виробництва енергії на основі ВДЕ, поява стійкої тенденції до розширення частки ВДЕ в енергетичному балансі країни та зростаюча цифровізація в енергетиці потребуватимуть ухвалення стратегічних рішень щодо пріоритетів розвитку енергетики країни [34–37].

Збереження таких тенденції потребує передусім вирішення питання щодо забезпечення балансу попиту та пропозиції енергії в системі у реальному часі. Зазначимо, що за структури системи електрозабезпечення та принципів її функціонування, що існують, завдання щодо «вирівнювання» графіків (балансування системи) покладалося на операторів системи (передачі та розподілу).

Водночас тенденції розвитку сучасних енергетичних технологій уможливають принципово інший підхід до організації процесу забезпечення потреб споживачів у енергії. Йдеться про перетворення «центральної та односпрямованої» системи на «децентралізовану та різноспрямовану» систему, де енергія може передаватись у різних напрямках та обсягах.

Споживачі, постачальники енергії та виробники все частіше використовують розосереджені локальні системи (*Distributed Energy Resources, DER*)<sup>22</sup> для доповнення або заміни енергії, що надається центральною системою. Завдяки набору новітніх технологічних варіантів, управлінських рішень та політичних стимулів, наявності вибору постачальників у сфері технологій та послуг роль децентралізованих систем, імовірно, ще більше зростатиме у майбутньому.

Інтегрована розосереджена система енергозабезпечення складатиметься з більшої кількості учасників, з точки зору їх функціонального призначення (виробники, споживачі), матиме більше точок генерації та/або споживання. Особливістю такої системи є різноспрямовані потоки енергії та інформації (даних) між виробниками, постачальниками й споживачами, а також набір передових технологій «розумної» мере-

<sup>22</sup> Децентралізовані системи (*DER*) – це локальні мережі, що можуть мати окрему систему управління виробництва та споживання, живляться невеликими генеруючими потужностями; невеликі генератори (на природному газі, біомасі чи інших видах палива); комбіновані тепло- та електростанції; накопичувачі електроенергії та сонячні фотоелектричні пристрої на дахах чи на окремих майданчиках окремих споживачів; вітрові електрогенератори тощо.

жі (*Smart Grid*) та алгоритми AI, які забезпечать ефективне керування цими потоками [33–35; 38; 39].

Загалом такий різноспрямований потік енергії уможливорює отримання користі від використання технологій розосередженої генерації, особливо з огляду на акумулювання (накопичення) надлишкової енергії для вирівнювання графіка навантаження. А якщо зважити на наявну тенденцію до зростання обсягів використання «розумних» енергоспоживальних пристроїв (побутова техніка, офісне обладнання, електромобілі тощо), то можливості щодо балансування виробництва й споживання електроенергії в системі суттєво зростають.

Отже, під час проектування системи «майбутнього» (перспектива у 30–50 років) постає стратегічне завдання спроектувати такий набір технологічних рішень, який би забезпечував комплексний підхід щодо: задоволення потреб споживачів; забезпечення операційної надійності функціонування енергосистеми; відповідності вимогам більшої системи (вимоги економіки національної безпеки) та світовим трендам технологічного розвитку.

### **3.2.3. Вплив новітніх енергетичних технологій на функціонування системи**

Аналіз відомих на сьогодні рішень у сфері виробництва, передачі, розподілу та споживання електроенергії дає змогу дійти висновку про необхідність переглянути базові вимоги до проектування та функціонування системи енергозабезпечення [35].

За такого проектування необхідно враховувати прогнозований майбутній стан матеріалів, техніки, технології та організаційно-технічних управлінських рішень, які на сьогодні розробляються або проходять етап масштабування для підготовки до комерційного використання.

Для цілей цього дослідження проаналізовано перспективні технології у системі електропостачання. Цей вибір здійснено на основі таких міркувань: по-перше, система електропостачання є досить складною, вона суттєво взаємозв'язана з іншими сферами регулювання енергетичної безпеки, а отже, подібний аналіз може застосовуватися до інших сфер управління; по-друге, система електропостачання нині є лідером щодо появи та практичного застосування новітніх технологічних рішень, тому такий аналіз виявить, як новітні технологічні рішення зумовлюють зміни в організаційно-інституційній та функціональній структурах.

Сьогодні у світі існує низка технологій, що уможливають вирішення проблеми забезпечення гнучкості (зокрема, балансування попиту й пропозиції) енергосистеми та водночас поліпшують технічну можливість подальшої інтеграції ВДЕ до складу енергосистем. До них, зокрема, належать [35–40]:

- високоманеврова тепла генерація, яка має швидкий запуск та широкі можливості регулювання потужності, а також пусків – зупинок протягом доби, сезону, року;

- системи накопичення електричної енергії (СНЕ) для підтримання й регулювання частоти;

- споживачі-регулятори на основі технологій акумулювання теплової енергії;

- малі модульні ядерні реактори (*Small modular reactors, SMR*);

- технології утилізації профіцитів електричної енергії в енергосистемі (*Power to X*), наприклад для використання при виробництві водню чи метану із застосуванням технології електролізу (*Power to Gas*);

- системи накопичення електричної енергії для перенесення потужності з періодів, де наявний її профіцит, до періодів, де наявний її дефіцит (*Power to Power*), які по суті є електроакумульовальними електростанціями (ГАЕС та ГЕС);

- механічні накопичувачі електричної енергії, які використовують сили гравітації,

та низка інших методів накопичення енергії.

При цьому в багатьох випадках одні технологічні рішення (проекти) поєднуються з іншими у комплексну пропозицію як для споживачів, так і виробників енергії задля зниження загальної вартості й витрат усіх учасників, підвищення рівня безпеки функціонування системи електропостачання.

Проведений огляд розвитку новітніх енергетичних технологій дозволяє сформулювати й оцінити готовності наявних та перспективних технологій до широкого застосування (*табл. 8*) [35; 41].

Технології штучного інтелекту (ШІ) не лише забезпечують запровадження нових можливостей в організацію процесу енергозабезпечення потреб споживачів, вони стають ефективним інструментом задоволення сталого розвитку та операційної безпеки систем енергозабезпечення. Цифровізація та застосування технологій штучного інтелекту сприяють децентралізації системи енергозабезпечення й розширенню використання ВДЕ, підвищенню гнучкості реагування на зміну навантажен-

**Таблиця 8. Перспективні новітні енергетичні технології для систем електропостачання та рівні їх технологічної готовності**

Категорії технологій	Рівень технологічної готовності <sup>24</sup>								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Технології відновлюваної енергетики</b>									
Акумуляторні технології		X	X	X	X	X	X	X	X
Гідро та гідрокінетичні технології				X	X				X
Сонячна фотоелектрична технологія (панелі PV)					X	X			
Сонячні концентраційні електростанції						X	X	X	X
Сонячні технології опалення					X	X	X	X	
Технології використання біомаси				X	X			X	X
Геотермальні технології			X	X		X			
Удосконалені вітроелектростанції		X			X	X			
<b>Прогресивні технології традиційної генерації</b>									
Технології уловлювання, транспортування та зберігання CO <sub>2</sub>							X	X	X
Газові електростанції та комбіноване виробництво електроенергії та тепла				X	X	X	X	X	X
Удосконалення водопостачання та відведення води				X	X				X
<b>Технології атомної енергетики</b>									
Удосконалені атомні блоки	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Малі атомні реактори (SMR)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Продовження терміну експлуатації традиційних атомних блоків	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Технології транспортування та розподілу електроенергії</b>									
Передові високовольтні технології постійного струму						X			
Зменшення втрат в мережах									X
Технології <i>Smart Grid</i>				X	X	X	X	X	X
Збільшення передачі потужності в мережах			X	X	X	X	X	X	X
Удосконалена силова електроніка для інтеграції децентралізованих систем						X	X		

<sup>24</sup> У табл. 8 градація рівнів технологічної готовності визначається діапазоном від 1 (початкова стадія дослідження / розробки) до 9 (комерційно приваблива та використовується).

Закінчення табл. 8

Категорії технологій	Рівень технологічної готовності								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Передові технології інтеграції розподілених ресурсів						X	X	X	X
<b>Енергоефективні технології</b>									
Технології використання електроенергії в будівлях та промисловості	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Джерело: складено авторами за [41].

ня в системі, створюють можливість для кінцевих споживачів брати безпосередню участь у торгівлі електроенергією, що запроваджує нові бізнес-моделі організації ринку електроенергії (додаток 2) [35].

При цьому в багатьох випадках одні технологічні рішення (проекти) поєднуються з іншими у комплексну пропозицію як для споживачів, так і виробників енергії для зниження загальної вартості й витрат всіх учасників, підвищення рівня безпеки функціонування системи електропостачання.

Проведений аналіз наочно демонструє реальність здійснення «енергетичного переходу» з використанням нової технологічної бази у середньостроковій перспективі.

Тому при визначенні цілей розвитку системи енергозабезпечення необхідно враховувати «термін життя» відповідних технологій, нові параметри та властивості цих технологій, те, як вони впливають на функціонування енергосистеми (табл. 9). Так, поява технологій малих модульних атомних реакторів вимагає розгляду питання щодо заміни блоків атомної енергетики (блоки потужністю 1000...1500 МВт), які використовуються нині, на нові блоки малої потужності (50...250 МВт) та наближення їх до центрів споживання.

Таблиця 9. Типовий «термін життя» енергетичних технологій

Енергетичні технології, техніка, устаткування	Діапазон життя, років	Очікуваний середній термін життя, років
<b>Виробництво й транспортування</b>		
Великі гідроелектростанції	60...160	70
Атомні електростанції	40...100	50
Вугільні теплові електростанції	35...80	45



Закінчення табл. 9

Енергетичні технології, техніка, устаткування	Діапазон життя, років	Очікуваний середній термін життя, років
Лінії електропередачі	30...100	35
Трубопроводи	30...80	35
Газотурбінні електростанції	25...65	30
Нафтопереробні установки	20...50	25
Вітрові електростанції (на морі)	20...50	25
Вітрові електростанції (на суходолі)	15...35	20
Сонячні електростанції	15...40	20
<b>Споживання</b>		
Міська інфраструктура	40...230	120
Будівлі	50...200	80
Літаки	25...60	30
Промислове обладнання	8...50	25
Побутове обладнання кондиціювання	5...35	20
Комерційне обладнання кондиціювання	8...30	18
Приватні автомобілі	5...25	15
Побутове обладнання	5...25	15
Бойлери	5...20	14
Електронні побутові пристрої	4...20	12
Офісне обладнання	2...6	4
Лампи освітлення	1...6	4

*Джерело:* складено авторами за [41].

Усебічний огляд енергетичних технологій дозволяє сформувавши загальні риси контексту майбутнього та уявлення про можливу трансформацію взаємовідносин у процесі енергозабезпечення споживачів [35]:

– майбутня система енергозабезпечення кінцевих споживачів буде більш децентралізованою, ніж та, що існує зараз;

– джерела енергії (генеруючі потужності) матимуть меншу одиничну встановлену потужність та будуть розміщуватися ближче до центрів споживання;

– сформується нова категорія учасників енергоринку – просьюмери<sup>24</sup>, які займуть значну частку ринку та потребуватимуть окремих механізмів взаємодії з іншими учасниками;

– зростатиме рівень вирівнювання графіків навантаження за рахунок розвитку технологій управління енерговикористанням (збереження енергії, акумулювання енергії, зміщення піків / провалів енергії, сезонне переміщення потужності);

– посиляться рівень цифровізації управління енерговикористанням, що балансуватиме виробництво відповідно до споживання, зменшуватиме втрати при передачі, скорочуватиме потреби виробництва енергії;

– знижуватиметься завантаженість розподільчих мереж, що буде формувати готовність «віддалених» центрів споживання до формування локальних децентралізованих центрів виробництва / споживання з метою зменшення втрат при розподілі енергії.

Новітні енергетичні технології спричинять виникнення нових викликів функціонування систем енергозабезпечення. Для адекватного реагування на виклики необхідно буде вжити низку технічних, організаційних та управлінських рішень з боку всіх учасників системи: оператора системи передачі, системи розподілу, споживача та виробника тощо.

Загалом через використання новітніх технологій виникне потреба трансформування завдань та відповідальності учасників системи. Відповідно до нових умов та можливостей зміняться функції, які виконують:

– оператор системи передачі забезпечуватиме: операційну безпеку функціонування енергосистеми, балансування виробництва / споживання, мінімально необхідний рівень зв'язаності (мережі високої напруги) території країни для гарантованого централізованого забезпечення життєво важливих функцій та послуг, що визначають рівень національної безпеки, підтримання транскордонних перетоків;

– оператор системи розподілу зосередить увагу на: підвищенні продуктивності та надійності системи, зокрема у місцевостях, де зростає частка децентралізованих систем, розвитку планів та ресурсно-технічних спроможностей забезпечення життєво важливих функцій та послуг, що визначають на рівні регіонів;

– децентралізовані системи, мікромережі, компанії-агрегатори, інтегровані рішення (віртуальні) сприятимуть: забезпеченню координації

<sup>24</sup> *Просьюмер* – учасник ринку, який одночасно може бути споживачем і виробником енергії. За наявності надлишку доступної енергії просьюмер може спрямовувати її надлишок назад у мережу для використання іншим споживачем в іншому місці системи.

між споживачами, виробниками, просьмерами, операторами систем передачі / розподілу та «власником» децентралізованої системи для взаємодії, обміну інформацією та розрахунків, підтримці надійної роботи системи;

– «власник» децентралізованої системи реалізовуватиме заходи, які можуть бути використані на стороні споживача (за лічильником) завдяки упровадженню технологій або заходів оперативного реагування для балансування виробництва та споживання.

– оператори системи обміну інформацією та взаєморозрахунків забезпечуватимуть взаємодію між учасниками системи відповідно до нових моделей ринку;

– оператори сервісного обслуговування технологій, розробники та виробники енергетичних технологій, інвестори розроблятимуть технологічні та маркетингові рішення, надаватимуть сервісну підтримку щодо функціонування системи;

– державні інституції та регулятори втілюватимуть заходи щодо забезпечення безпеки та стійкості функціонування системи енергозабезпечення (наприклад, розроблятимуть стандарти операційної безпеки, кібербезпеки, захисту інформації).

Отже, під час проектування майбутнього системи необхідно переглянути підходи щодо пріоритетів функціонування систем енергозабезпечення, зокрема за такими аспектами:

– «фізичний» вимір системи як набору ресурсно-технічного забезпечення, зокрема структури генеруючих потужностей, необхідних видів палива та їх обсягів;

– «структурний» вимір системи як нової структури елементів та їх взаємодії, зокрема ліній електропередачі (магістральних та розподільчих), підстанцій тощо, їх географічне розташування з урахуванням децентралізації, обсягів передачі (можливість розширення децентралізованих систем), системи зв'язку та обміну інформацією;

– «функціонально-процесуальний» вимір як системи правил та процедур взаємодії елементів учасників системи для забезпечення потреб споживачів, гарантування операційної безпеки системи, забезпечення вимог національної безпеки.

Водночас уточнені пріоритети розвитку енергетики країни, нові підходи та вимоги щодо функціонування систем енергозабезпечення мають бути внесені у законодавство країни.

Найважливішою особливістю є подальше вдосконалення та впровадження нормативно-правової бази та бізнес-моделей, які узгоджу-

ють стимули для виробників електроенергії, системних операторів та комунальних підприємств усіх типів із ключовими цілями зменшення або усунення шкоди для навколишнього середовища, забезпечення надійності системи, захисту фізичних та віртуальних активів від зловмисної чи випадкової шкоди, покращення та оновлення мережевої інфраструктури та захист споживачів від несправедливого ціноутворення.

### 3.3. Визначення цільових і порогових значень параметрів енергетичної безпеки

Метою управлінської діяльності суб'єкта є формування такої системи забезпечення енергетичних потреб, що ефективно функціонує у найбільш ефективний спосіб, за якого відбувається найнижче навантаження на суспільство та навколишнє середовище у певних політичних, економічних, технологічних, кліматичних, соціальних умовах на визначеному історичному етапі. При цьому суб'єкт формує свої інтереси й цілі діяльності залежно від свого розуміння місця та функціональної ролі свого об'єкта у більшій системі.

Так, наприклад, країни-споживачі енергоресурсів та енергоємна промисловість зацікавлені в доступних цінах, недопущенні переривання постачання та диверсифікації постачання. Країни-виробники енергоресурсів, своєю чергою, зацікавлені в ринках збуту та безпеці доходів від експорту енергоресурсів і монополізації ринку постачання. Для країн, що перебувають на етапі інтенсивного економічного зростання, пріоритетом є забезпечення мінімального цінового навантаження на споживачів та реалізації власних планів соціально-економічного розвитку.

З точки зору формування державної політики саме різне позиціонування суб'єктів формує різноманітність інтересів, цілей та методів забезпечення енергетичної безпеки різними країнами.

Проте сьогодні на світовій арені можна чітко відзначити відмінність підходів до розуміння об'єкта енергетичної безпеки та цілей суб'єкта енергетичної безпеки різними країнами. Висвітливо найбільш проблемні питання, які порушуються в зарубіжних публікаціях та, відповідно, визначають «сферу енергетичної безпеки» й цілі суб'єкта [42]. Це, зокрема:

- *забезпеченість власними ресурсами*, тобто належність країни до табору нетто «виробників» чи «споживачів» енергоресурсів;
- *організація взаємовідносин між елементами системи енергозабезпечення* «держава – виробник / постачальник – споживач», що відобра-

жається у пріоритетності використання «ринкових» чи «адміністративних» механізмів регулювання енергетики;

– *амбіції країни на світових ринках* та позиції щодо використання енергії як «енергетичної зброї» чи «ринкового товару».

Зазначені чинники суттєво впливають на формальні цілі та завдання енергетичної політики країни та формування системи забезпечення енергетичної безпеки, визначають методологію та принципи управлінських дій суб'єкта.

У цьому дослідженні автори виходять з позиції, що потенціал енергетики України не дозволяє виступати в ролі великого гравця на ринку постачальників енергії для інших країн. Україна належить до країн, які є імпортерами енергоресурсів. Це й зумовлює раціональний вибір стратегічних цілей, а саме: енергетична політика України, цілі та механізми її реалізації мають забезпечувати конкурентну спроможність енергетичного сектору країни у боротьбі за доступні на світовому ринку енергетичні ресурси та технології. Україна має забезпечити імпорт необхідних обсягів енергоресурсів і технологій зі світових ринків, виграючи цінову конкуренцію в інших країн-споживачів, що можливо лише при високій конкурентоспроможності національної економіки на світових ринках (додана вартість якої є ресурсом для купівлі енергоресурсів).

Україна не може ставити надмірні вимоги до енергетичного сектору в частині нехтування динамікою світових ринків (тобто ігнорувати коливання цін на світових ринках), цінового дотування інших галузей економіки країни чи здійснення тиску на інші країни або надмірного фіскального навантаження на енергетичний сектор (для забезпечення надходжень до бюджету). Український енергетичний сектор, на відміну від, наприклад, російського, має виступати в ролі сервісу для потреб і пріоритетів розвитку національної економіки, а не гальмувати її конкурентоспроможність.

Отже, мета енергетичної політики України має полягати в досягненні такого стану функціонування системи енергозабезпечення життєдіяльності суспільства, який забезпечуватиме спроможність країни в умовах конкурентної боротьби залучати енергетичні ресурси та ефективно їх перетворювати для задоволення потреб суспільства.

Критерієм безпечного стану буде досягнення найнижчих витрат суспільства на енергозабезпечення за визначених умов (політичних, економічних, технологічних, кліматичних, соціальних, екологічних).

На основі прийнятих методологічних підходів щодо цілепокладання та мети цього дослідження було визначено набір цільових, порогових і критичних значень індикаторів рівня енергетичної безпеки (*додаток 1*).

## 4. ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗАГРОЗ НА РІВЕНЬ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ

### 4.1. Ідентифікація та опис загроз енергетичній безпеці

Здійснюючи стратегування та переведення об'єкта з поточного у «безпечний» стан, суб'єкт налаштовуватиме систему управління реагування на загрози сталому розвиткові системи та досягненню цільового стану.

Проектована система управління має забезпечити спроможність до: ідентифікації загроз, запобігання загрозам, реагування на загрози; ліквідації наслідків реалізації загроз; відновлення бажаної траєкторії руху до «цільового стану». У свою чергу, суб'єкт має ідентифікувати загрози та пропонувати адекватні управлінські рішення.

Один із основних підходів щодо ідентифікації загроз полягає у порівнянні «поточних» і «цільових» значень обраних параметрів опису системи. Множина загроз формується із набору параметрів, що мають найбільше (критичне) відхилення від «цільового» індикативного значення.<sup>25</sup>

У рамках цього методологічного підходу будується система індикаторів, де формується діапазон індикативних значень із трьох (низький, нормальний, високий) або п'яти (незначний, негативний, допустимий, високий, критичний) складових частин для оцінювання рівня «критичності» загрози.

Зокрема, за таким підходом здійснювалось визначення критичних загроз енергетичній безпеці України у праці [1, с. 111–114]. Використовуючи наявну динаміку індикаторів, інтегральних індексів сталого розвитку та інтегральні порогові значення, можна обчислити відхи-

<sup>25</sup> Такий підхід (метод дисбалансів) уможливорює ідентифікувати не загрози в узвичаєному розумінні (тобто дестабілізуючі чинники), а наслідки реалізації низки загроз, які впливають на значення індикаторів енергетичної безпеки.

лення інтегральних індексів складових частин та індикаторів енергетичної безпеки від їх середніх оптимальних значень (гомеостатичного плато), які можна вважати критеріями досягнення безпечного сталого розвитку [19].

Отже, визначивши індикатори, фактичні значення яких знаходяться якнайдалі від оптимальних значень, можна сформуванати набір загроз цільовому безпечному стану системи. Водночас такий підхід оперує із параметрами, вибраними для оцінки стану системи (набором індикаторів), і не досліджує власне причин, чому система має саме такий стан. Іншими словами, такий підхід не дає відповіді, а що саме призвело до того, що система не знаходиться у такому стані, та які управлінські рішення мають бути прийняті, щоб перевести систему у безпеку.

Інший підхід базується на застосуванні концепції «ризик» та дозволяє оперувати саме причинами виникнення небажаних станів системи [43–45]. Загрози визначаються через ідентифікацію дестабілізуючих чинників, що зумовлюють відхилення параметрів від «безпечного стану» або потенційно можуть призвести до відхилення. За цього підходу загрози енергетичній безпеці не обов'язково пов'язуються із вибраним набором індикаторів, що використовується у моделі оцінки рівня енергетичної безпеки [1, с. 114–126; 46].

Надалі оцінюється ймовірність виникнення таких загроз і наслідків їх впливу на систему (ризик завдання системі шкоди). Множина загроз формується з ідентифікованих чинників, що зумовлюють найбільший ризик для системи (найбільш критичний вплив на систему).

Детальніше продемонструємо застосування цього підходу. Щонайперше треба вирізнити поняття «загроза» з-поміж подібних за змістом термінів «виклик» і «ризик», що іноді вживають як взаємозамінні. Ці терміни будемо використовувати в такому трактуванні.

*Виклик (challenge)* – сукупність обставин, що формують особливі вимоги до умов функціонування об'єкта управління. Наприклад, викликом для України є здійснення енергетичного переходу. Реагування суб'єктів управління на виклик або бездіяльність стосовно нього може мати як позитивні, так і негативні результати, зокрема призвести до появи та/чи загострення загроз енергетичній безпеці.

Зважаючи на це, виклики енергетичній безпеці – сукупність обставин і чинників, що формують особливі вимоги до умов функціонування й розвитку енергетичного сектору та потенційно здатні призвести до появи загроз енергетичній безпеці.

*Загроза (threat, risk source)* – явище, сукупність подій, що відбуваються стихійно чи внаслідок цілеспрямованих дій, зокрема зловмих, або необґрунтована бездіяльність суб'єкта управління, які здатні спричинити негативні наслідки. Наприклад, весняна повінь, пожежа на трансформаторній підстанції або кібератака на систему управління магістральним газопроводом.

Якщо загроза виникла в неконтрольованій суб'єктом управління сфері, її вважають зовнішньою щодо системи (об'єкта управління). Наприклад, блокада іншими державами постачання товарів стратегічного імпорту (ядерного палива чи нафтопродуктів). Якщо загроза стала наслідком дій чи необґрунтованої бездіяльності суб'єкта управління, її вважають внутрішньою щодо системи (об'єкта управління). Наприклад, недотримання норм обслуговування захисної дамби водосховища є загрозою її здатності убезпечувати низовини від затоплення.

Тобто загрози енергетичній безпеці – короточасні або тривалі, реальні або потенційні обставини, явища, чинники або події, що можуть порушити безпеку та стійкість функціонування енергетичного сектору країни, обмежити або порушити енергозабезпечення споживачів, призвести до аварій та інших негативних наслідків.

Загроза впливає на об'єкт управління (систему) через його уразливість.

*Уразливість (vulnerability)* – чутливість об'єкта управління до впливів, слабе місце в його захисті від загроз, відсутність «запобіжників» від них. Наприклад, для об'єкта «захисна дамба водосховища» загроза «недотримання норм обслуговування», що може спричинити порушення сталості захисної дамби (деградація опірних спроможностей), реалізується через уразливість «відсутність системи контролю за дотримання норм обслуговування захисної дамби». Подібно до цього уразливістю є «незахищений інтерфейс системи управління трубопроводом» для загрози «кібератака на систему управління».

Якщо об'єкт є вразливим до впливів, реалізація загрози зазвичай має негативні наслідки.

*Наслідок (consequence)* – результат впливу загрози на цілі функціонування об'єкта управління. Часто вимірюється через оцінку величини втрат від такого впливу, зокрема: заподіяння фізичної шкоди, майнових чи грошових збитків; погіршення рівня енергоефективності внутрішнього валового продукту; зростання вартості витрат на оплату житлово-комунальних послуг тощо. Наприклад, для об'єкта «за-



хисна дамба водосховища» наслідком впливу загрози «недотримання норм обслуговування» є «порушення сталості захисної дамби (деградація опірної спроможності)», яке може бути виражено або через оцінку втрат, спричинених руйнуванням дамби, або у відсотках зменшення опірності порівняно з проектним рівнем. Відповідно, для «системи управління трубопроводом» наслідком впливу загрози «кібератака на систему управління» є збитки, спричинені зупинкою функціонування трубопроводу.

Утім, загроза реалізується не завжди, об'єкти управління вразливі не до всіх загроз і не всі загрози призводять до негативних наслідків (зокрема, через застосування заходів із запобігання реалізації загроз). Відповідну ймовірність наслідків впливу загрози визначають, оцінюючи ризики.

*Ризик (risk)* – вплив невизначеностей на цілі об'єкта управління, або загальна можливість (імовірність) того, що загроза реалізується, порушить функціонування вразливого об'єкта управління та спричинить негативні наслідки [44–46].

Ризик зростає, якщо підвищується ймовірність реалізації загрози та посилюються спричинені нею наслідки. Таким чином, за величиною ризику можна визначати рівень загрози, щоб встановити значущість її впливу на цілі об'єкта управління, а також ранжувати загрози за цією значущістю.

Отже, ризик у сфері енергетичної безпеки – це можливість переростання викликів енергетичній безпеці у загрози, реалізація загроз енергетичній безпеці й настання інших обставин, здатних негативно вплинути на стан енергетичної безпеки.

*Оцінювання загроз енергетичній безпеці* полягає в їхньому ідентифікуванні, аналізуванні і, власне, оцінюванні їхнього рівня у спосіб визначення сумарної величини ризику [46].

*Ідентифікування загрози* передбачає її виявлення, усвідомлення й реєстрування з метою оцінювання сукупного негативного наслідку у випадку її реалізації. Після того як загрозу ідентифіковано, суб'єкт управління має визначити перелік дій, що унеможливають її реалізацію (*prepare, protect, mitigate / absorb*) чи зменшать можливі негативні наслідки (*respond, adapt, recover*).

Оскільки обмежені ресурси політики не дозволяють одночасно займатися нейтралізацією всіх виявлених загроз, необхідним є виокремлення із загального реєстру найбільш значущих (ранжування загроз).

*Аналізування загрози* полягає у встановленні уразливості об'єкта управління й можливих наслідків впливу реалізації загрози з урахуванням наявності чи відсутності дій суб'єкта управління, спрямованих на її нейтралізацію. Загальна послідовність аналізування загрози є такою: «чинник впливу» внаслідок існування «вразливості» здатний спричинити «наслідки».

Наприклад, загроза «деградація систем електропостачання» (ідентифікація) полягає у «фізичній зношеності й технологічній застаріло-сті систем електропостачання» (чинник впливу), унаслідок «непроведення оновлення й модернізації інфраструктури» (уразливість) здатна спричинити «аварійне зупинення потужностей, збільшення кількості відмов, вихід обладнання з ладу, переривання електропостачання споживачів, економічні збитки суб'єктів господарювання» (наслідки).

Викладені вище підходи дозволили авторам ідентифікувати та проаналізувати внутрішні й зовнішні загрози енергетичній безпеці, які були запропоновані для експертного аналізу групі експертів у вересні 2021 р. (табл. 10, 11).

Варто зазначити, що сама формула опису загрози (чинник впливу – уразливість – наслідки) є методом зниження рівня суб'єктивності експертних оцінок, оскільки спрямовує увагу експертів на окресленій предметній сфері. Цей формат опису та ідентифікації загрози дозволяє одразу поєднати процес оцінювання впливу з окремими чинниками (як-от усвідомленням особливостей функціонування об'єкта управління / дослідження (уразливість об'єкта)) та цілями суб'єкта управління (цільовим станом параметрів об'єкта)). Саме вплив окремих чинників на цільові параметри «стан системи енергетичної безпеки» будуть наслідками для енергетичної безпеки (або ж ризиками енергетичної безпеки).

Отже, завдяки формуванню вимоги до експертів оцінювати вплив окремих чинників на цільові параметри енергетичної безпеки, що визначається вищими стратегічними документами<sup>26</sup>, формується система стратегічного планування та управління ризиками енергетичної безпеки.

<sup>26</sup> Стратегією енергетичної безпеки України визначені такі стратегічні цілі [22]: ресурсна достатність (I); економічна доступність (II); економічна прийнятність (III); енергетична ефективність (IV); екологічна прийнятність (V); стійкість енергетичного сектору (VI); захищеність національних інтересів (VII).

Таблиця 10. Опис внутрішніх загроз енергетичній безпеці

Загроза	Чинники впливу	Уразливість	Наслідки
1. Деградація енергетичних систем і мереж	Відсутність та/чи недостатні темпи оновлення й модернізації обладнання; нестача внутрішніх і зовнішніх інвестицій; відсутність єдиної технічної політики й системи технічного контролю	Фізична зношеність, технологічна застарілість енергетичних систем і мереж постачання енергії; недостатній рівень автоматизації; відмова від дублювання й резервування в системах надійності та безпеки	Нестійке функціонування енергетичного сектору; збільшення кількості аварій; зростання втрат у системах і мережах; низька ефективність використання енергоресурсів; низька енергетична рентабельність енергетичного сектору; економічні збитки для суб'єктів господарювання та суспільства; збереження високого рівня негативного впливу на довкілля
2. Непрофесіоналізм у виробленні політики	Неефективні й нерезультативні владні рішення; неспроможність до стратегічного управління та кризового реагування; нескоординовані дії державних інституцій; відсутність наступності в діях	Відсутність механізмів політичної відповідальності; утрата зв'язку між рівнем професіоналізму й посадою; відсутність механізмів контролю над відповідністю ухвалених рішень компетенціям осіб, які їх приймають	Незахищеність національних інтересів; непрогнозованість політики; вироблення політики в інтересах ФПП; економічні збитки для суб'єктів господарювання та суспільства; зменшення бюджетних надходжень; недовіра до влади
3. Втручання держави у функціонування ринків	Адміністративне встановлення цін і тарифів; покладення надмірних обов'язків для забезпечення загальносуспільних інтересів; свідоме урізання прав окремих суб'єктів на продаж енергетичних товарів і послуг; надання вказівок щодо постачання товарів і послуг окремим споживачам; надмірна державна підтримка окремих галузей	Незавершеність переходу від адміністративної до ринкової моделі державного регулювання в енергетиці; неформованість енергетичних ринків; непрозорість підготовки та ухвалення владних рішень; невизначеність основних засад державної політики у сфері енергетичної безпеки	Низька економічна привабливість енергетичного сектору; економічні збитки для суб'єктів господарювання та суспільства; брак інвестицій в оновлення фондів, погіршення умов забезпечення технічної надійності та безпеки інфраструктури; ухиляння від сплати податків і зборів; скорочення обсягів відновлення ресурсної бази енергетичного сектору

Продовження табл. 10

Загроза	Чинники впливу	Уразливість	Наслідки
4. Висока енергоємність економіки	Відсутність та/чи недостатні темпи оновлення й модернізації обладнання; нестача внутрішніх і зовнішніх інвестицій; штучна підміна підвищення рівня енергоефективності фрагментарним енергозаощадженням	Зношеність і застарілість інфраструктури; недостатній рівень автоматизації виробництва та обліку; збереження політики, що дозволяє отримувати «вигоду» від великих втрат енергоресурсів (тарифоутворення «витрати плюс»)	Низька ефективність функціонування енергетичного сектору; низька ефективність використання енергетичних ресурсів; низька енергетична рентабельність; зменшення бюджетних надходжень; високий рівень негативного впливу енерговикористання на довкілля; зниження спроможності відстоювати національні інтереси
5. Ресурсна й технологічна залежність	Неможливість повного забезпечення потреб в енергетичних ресурсах і технологіях; неспроможність швидко скоротити імпорту, збільшити видобуток енергетичних ресурсів, забезпечити випереджальний розвиток енергетичних технологій	Залежність від постачання газу, вугілля, нафтопродуктів, ядерного палива; відсутність власного виробництва сучасних енергетичних систем; технологічна застарілість інфраструктури; брак спеціалістів	Залежність від постачальників енергетичних товарів і сучасних технологій; економічна недоступність енергетичних ресурсів для більшості споживачів; зниження технічної надійності та стійкості роботи енергетичного сектору; зниження спроможності відстоювати національні інтереси; високий рівень негативного впливу енерговикористання на довкілля
6. Недосконала конкуренція	Наявність неоднакових для всіх, нестабільних та непрозорих умов господарювання; зловживання ринковою владою як наслідок формування в Україні «енергетичних ринків постачальника»; надання державної підтримки окремим суб'єктам господарювання; наявність бар'єрів для виходу на енергетичні ринки; утрата впливу держави на діяльність зовнішніх інвесторів	Негарантоване право власності; провал судової реформи; наявність високої концентрації на енергетичних ринках; асиметрія ринкової інформації; відсутність моніторингу рівня економічної конкуренції; відсутність відкритих баз даних конкурентоспроможності неконкурентоспроможності корпоративного менеджменту; недосконалість законодавства	Низька економічна ефективність функціонування енергетичного сектору; зростання енергетичної бідності (зловживання при встановленні цін і тарифів); економічна недоступність енергетичних ресурсів для більшості споживачів; зменшення бюджетних надходжень; зниження спроможності відстоювати національні інтереси

Закінчення табл. 10

Загроза	Чинники впливу	Уразливість	Наслідки
7. Енергетична бідність	Формування в Україні «енергетичних ринків постачальника»; неврахування інтересів споживача; штучна підміна «забезпечення доступу до недорогих, надійних, стійких і сучасних джерел енергії для всіх»; розвитком відновлюваних джерел	Низький рівень доходів; субсидування у вигляді обмеження обсягу платежів на оплату ЖКП у відсотках сукупного доходу; застаріла інфраструктура; збереження політики, що дозволяє отримувати «вигоду» від втрат енергоресурсів («витрати плюс»)	Економічна недоступність енергетичних ресурсів для більшості споживачів; погіршення добробуту; зменшення бюджетних надходжень; зниження спроможності відстоювати національні інтереси
8. Кліматичні зміни	Зміщення піків споживання енергії в розрізі сезонів та часу доби; нестабільність погодних умов; непроектні режими роботи інфраструктури; зменшення гідроенергетичного потенціалу	Нестача маневрових потужностей; надмірне навантаження на технологічно застарілу енергетичну інфраструктуру; нерівномірність графіку роботи устаткування	Нестійке функціонування енергетичного сектору; зупинення підприємств через нестачу води чи руйнування інфраструктури; прискорення зношення інфраструктури; зростання вартості ресурсів / енергії для споживачів

Джерело: складено авторами.

Таблиця 11. Опис зовнішніх загроз енергетичній безпеці

Загроза	Чинники впливу	Уразливість	Наслідки
1. Кібератаки	Шкідливі (програмні коди, скрипти, активний контент тощо) і зловмисні (віруси, рекламне програмне забезпечення, хробаки, троянці, руткіти, клавіатурні логери, дозвоновачі, шпигунські програмні засоби, здирницькі програми, шкідливі плагіні тощо) програмні засоби	Незахисені інтерфейси автоматизованих систем управління енергетичними об'єктами; недосконалі організації управління технологічними процесами; некваліфікований персонал	Нестійке функціонування енергетичного сектору; порушення конфіденційності, цілісності, доступності інформаційних ресурсів суб'єктів енергетичного сектору; порушення функціонування систем управління (аварійне заповнення потужностей, переривання енергопостачання); економічні збитки суб'єктів енергетичного сектору та споживачів; зниження захищеності національних інтересів
2. Вмивання професійних кадрів	Вимушена міграція; привабливі умови працевлаштування вітчизняних фахівців в інших державах; недосконалі система підготовки й підвищення кваліфікації	Нижчі, порівняно із сусідніми державами, заробітні плати; відсутність можливостей для професійного розвитку й гарантування власного добробуту; наявність внутрішнього конфлікту на об'єктах енергетики	Низька ефективність і нестійке функціонування енергетичного сектору; зниження стабільності роботи енергетичних підприємств; погіршення економічної привабливості енергетичного сектору; економічні збитки суб'єктів енергетичного сектору та споживачів; зниження захищеності національних інтересів
3. Воєнні дії	Фізичний вплив на об'єкти енергетики та персонал (руйнування та блокування)	Недосконалість фізичного захисту критичної енергетичної інфраструктури; неврахування загроз воєнних дій при проєктуванні енергетичної інфраструктури	Незахисеність національних інтересів; нестійке функціонування енергетичного сектору; небезпека для життя ти/чи здоров'я людини; порушення функціонування технологічних систем; погіршення економічної привабливості енергетичного сектору; економічні збитки суб'єктів енергетичного сектору та споживачів; зниження доступності енергії для більшості споживачів;

Продовження табл. 11

Загроза	Чинники впливу	Уразливість	Наслідки
4. Зовнішній вплив на вироблення політики	Нааявність суб'єктів з центром управління за межами юрисдикції уряду, заінтересованих у зміні політики з метою: надання переваг окремим підприємствам, енергоресурсам, технологіям, видам генерації; припинення діяльності окремих підприємств, розвитку технологій, підготовки кадрів; зменшення частки суспільного сектору; приватизації стратегічних підприємств та об'єктів критичної енергетичної інфраструктури	Незавершеність переходу від адміністративної до ринкової моделі державного регулювання в енергетиці; непрофесіоналізм у виробленні політики	Незахищеність національних інтересів; вироблення політики в інтересах зовнішніх суб'єктів управління; погіршення економічної привабливості енергетичного сектору; невиконання стратегічних цілей розвитку; зниження захищеності національних інтересів
5. Теракти	Застосування зброї, вчинення вибуху, підпалу чи інших дій, знищення персоналу та/чи руйнування об'єктів енергетики	Недосконалість фізичного захисту критичної енергетичної інфраструктури	Нестійке функціонування енергетичного сектору; порушення функціонування технологічних систем; погіршення економічної привабливості енергетичного сектору; економічні збитки суб'єктів енергетичного сектору та споживачів; зниження доступності енергії для більшості споживачів
6. Блокування постачань	Штучне й цілеспрямоване припинення чи припинення постачання енергоресурсів і технологій; запровадження іншими державами необґрунтованих обмежень і заборон на постачання енергоресурсів; затягування ремонтів і профілактичних робіт на підприємствах, орієнтованих	Відсутність стратегічного енергетичного резерву і стабілізаційних запасів енергетичних ресурсів; надмірна залежність від зовнішніх постачальників; високоманевривої потужності; відсутність власного виробництва сучасних енергетичних	Нестійке функціонування енергетичного сектору; різке зростання цін та ажіотажний попит; економічні збитки суб'єктів енергетичного сектору та споживачів; зниження доступності енергії для більшості споживачів; порушення нормального функціонування національної економіки; зниження захищеності національних інтересів

Закінчення табл. 11

Загроза	Чинники впливу	Уразливість	Наслідки
7. Блокування інтеграційних процесів	Політичне, законодавче, організаційне гальмування переходу на європейські правила функціонування енергетичних ринків; політичні та організаційні рішення щодо перешкодження об'єднанню систем і мереж України та ЄС	Незавершеність переходу адміністративної до ринкової моделі регулювання; нескорюваність ринків; залежність від постачання російських енергоресурсів і технологій; непрофесіоналізм у виробленні політики	Незахищеність національних інтересів; втрата привабності енергетичного сектору з точки зору трансферу кращих практик; неринкові (завищені та/чи занижені) ціни й тарифи; погіршення ефективності енерговикористання та зростання негативного впливу на довкілля
8. Епідемії та пандемії	Поширення вірусів, паразитів, грибків або бактерій, які спричиняють неконтрольоване зараження інфекційними захворюваннями	Відсутність системи оцінки стану здоров'я й допуску персоналу до роботи; недосконалість профілактика захворювань; відсутність санітарно-епідеміологічного нагляду	Збитки для суб'єктів господарювання та енергетики загалом; падіння обсягів виробництва та економічної привабливості суб'єктів енергетичного сектору; зниження доступності енергії для споживачів; зниження податкових надходжень та зростання соціальних витрат

*Джерело: складено авторами.*



## 4.2. Оцінювання впливу загроз на рівень енергетичної безпеки

Зважаючи на концепцію аналізу ризиків, оцінювання кожної загрози  $t$  із переліку ідентифікованих загроз  $t = 1 \dots k$  для кожного об'єкта управління полягає у встановленні сумарного ризику  $R_t$  її реалізації через поєднання сукупних негативних наслідків  $C_i$  реалізації загрози, спричинених загальною уразливістю  $V_t$  об'єкта управління, з відповідними ймовірностями [46]:

$$R_t = L_t \sum_{j=1}^m V_j L_j \sum_{i=1}^n C_i L_i, \quad (4.1)$$

де  $L_t$  – імовірність реалізації загрози  $t$  з переліку ідентифікованих загроз  $t = 1 \dots k$ ;  $V_j$  – уразливість  $j$  з переліку вразливостей об'єкта управління  $j = 1 \dots m$ ;  $L_j$  – імовірність реалізації уразливості  $j$ ;  $C_i$  – негативний наслідок (*consequence*) і реалізації загрози із сукупності можливих наслідків  $i = 1 \dots n$ ;  $L_i$  – імовірність настання наслідку  $i$  й реалізації загрози.

Вибір методу оцінювання залежить від конкретного випадку застосування, наявності вихідних даних і потреб суб'єкта управління. Утім, повне кількісне оцінювання загроз зазвичай є неможливим через відсутність чіткої математичної моделі, що пов'язує сукупності ризиків, уразливостей і наслідків, високу вартість та/чи нестачу інформації про систему. Але й за наявності цих умов варто визнати, що обчислені рівні є лише оцінками, їм не можна надавати надмірної ваги чи приписувати точність, вищу, ніж у даних і методів, котрі використовуються.

Ефективним може бути ранжування загроз із залученням *експертів* – фахівців, здатних, спираючись на власні знання, досвід та інтуїцію, сформулювати обґрунтовану й незалежну оцінку об'єкта, процесу, явища та/чи рекомендувати особі, яка ухвалює рішення, найкращий із варіантів нейтралізації загрози, обраний на підставі попередньо обумовлених критеріїв.

*Експертне оцінювання загроз* енергетичній безпеці полягає в їх ранжуванні за ризиками (наслідками, ймовірностями) з виокремленням найзначніших та/чи вилученням із подальшого аналізу менш значних. Основною метою такого ранжування є зосередження ресурсів суб'єкта управління на нейтралізації найбільш значущих і найбільш імовірних загроз.

Експертне оцінювання з використанням якісного методу передбачає встановлення рівня кожної сформульованої загрози у спосіб поєднання її наслідків і ймовірностей їх настання.

Для цілей цього дослідження часто вважають, що всі складники об'єкта управління, на які може вплинути загроза  $t$  із переліку ідентифікованих загроз  $t = 1 \dots k$ , є максимально уразливими, тобто в позначеннях формули (4.1):

$$\sum_{j=1}^m V_j L_j = 1,$$

а наслідком реалізації загрози є

$$C_t = \sum_{i=1}^n C_i L_i.$$

Під час оцінювання загроз не враховують дії суб'єктів, спрямовані на зменшення вразливості об'єктів управління. Доцільність, результативність та ефективність таких дій установлюють, здійснюючи управління ризиками (розробляючи програми із запобігання появі уразливості).

Отже, *ранжування загроз* здійснюють за спрощеним варіантом, порівнюючи добутки усереднених експертних оцінок загальної ймовірності  $L_t$  й сукупних негативних наслідків  $C_t$  реалізації кожної загрози з наперед встановленого переліку  $t = 1 \dots k$ :

$$R_t = L_t C_t. \quad (4.2)$$

Для ранжування доцільно встановити такі показники термінів значущості:

- а) для загальних імовірностей: низька (1 бал), помірно низька (2 бали), середня (3 бали), помірно висока (4 бали), висока (5 балів);
- б) для сукупних негативних наслідків: незначні (1 бал), неістотні (2 бали), помірні (3 бали), істотні (4 бали), катастрофічні (5 балів).

Подібні шкали застосовують у матрицях впливу (*Relative Impact*) для оцінювання ризиків (*Risk Assessment*) у державах – членах ЄС [45].

Однак, на відміну від загальних імовірностей, для термінів значущості яких встановлені конкретні числові значення (табл. 12), визначення термінів значущості сукупних негативних наслідків є виключно суб'єктивним.

Таблиця 12. Показники термінів значущості для ранжування загальної імовірності

Показники					
Термін значущості	Низька	Помірно низька	Середня	Помірно висока	Висока
Величина імовірності	від 1/20 000 до 1/2000	від 1/2000 до 1/200	від 1/200 до 1/20	від 1/20 до 1/2	понад 1/2

Джерело: складено авторами за [40].

Щоб зменшити суб'єктивність оцінювання, потрібно визначити терміни «незначний», «помірний», «істотний», «великий», «катастрофічний» і формалізувати оцінку сукупних негативних наслідків впливу загрози.

Скористаємося для цього підходом до оцінювання рівня енергетичної безпеки [1], а саме: порівнюємо фактичні та цільові значення *індикаторів енергетичної безпеки I* (на основі порогових значень гомеостатичного плато).

Оскільки встановити вплив кожної з ідентифікованих загроз на кожний з індикаторів енергетичної безпеки, наведених у *табл. 4*, надзвичайно складно, загрози оцінювали, аналізуючи їхній вплив на нормовані значення інтегрального індексу енергетичної безпеки та його складових частин.

Для кожної із семи складових частин індексу енергетичної безпеки були встановлені:

- межі, у яких зміни значення  $x$  складової інтегрального індексу не загрожували нормальному функціонуванню об'єкта управління (гомеостатичне плато між нижнім і верхнім оптимальним значеннями);
- цільове значення  $x_{ц}$ , розташоване посередині гомеостатичного плато;
- вектор граничних значень, який формує розширене гомеостатичне плато, нижнє критичне  $x_{кр}^H$ , нижнє порогове  $x_{пор}^H$ ; нижнє оптимальне  $x_{opt}^H$ , верхнє оптимальне  $x_{opt}^B$ , верхнє порогове  $x_{пор}^B$  і верхнє критичне  $x_{кр}^B$  (*рис. 24*).

Значення нормованих порогових, цільових і фактичних (XI) значень складових частин інтегрального індексу енергетичної безпеки наведено в *додатку 1*.

Критичність впливу загрози оцінюється за очікуваним експертом відхиленням значення складової частини інтегрального індексу енер-

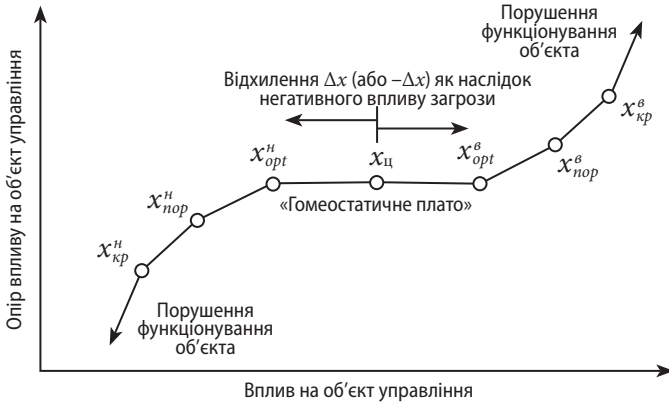


Рис. 24. Розширене гомеостатичне плато динамічної системи

Джерело: складено авторами за [46].

гетичної безпеки відносно її нормованих цільового й порогових значень (рис. 24). Це дозволяє узгодити запропонований авторами підхід із прийнятим під час оцінювання ризиків (*National Risk Assessment*) у державах – членах ЄС [45].

Таблиця 13. Показники термінів значущості для сукупних негативних наслідків при відхиленні нормованого значення інтегрального індексу енергетичної безпеки

Термін значущості	Показники				
	Незначна	Неістотна	Помірна	Істотна	Катастрофічна
Відхилення нормованого значення інтегрального індексу (або його складової частини) перебуває в межах	від $X_{ц}$ до 0,5 ( $X_{ц} - X_{орт}$ )	від 0,5 ( $X_{ц} - X_{орт}$ ) до $X_{орт}$	від $X_{орт}$ до $X_{пор}$	від $X_{пор}$ до $X_{кр}$	понад $X_{кр}$

Джерело: складено авторами за [46].

Отже, наведені в табл. 13 показники нормованих значень дозволяють формалізувати оцінку сукупних наслідків впливу загрози, що можна визначити через її вплив на інтегральний індекс енергетичної безпеки або його складові частини, розбивши гомеостатичне плато на такі зони (від 1 до 5):

– «незначна» (відповідає усередненій експертній оцінці від 0 до 1 бала), коли нормоване значення інтегрального індексу енергетичної безпеки або

його складової частини змінюється в межах від цільового до  $\frac{1}{2}$  різниці між цільовим та оптимальним (половина гомеостатичного плато);

– «неістотна» (від 1 до 2 балів), якщо значення інтегрального індексу або його складової частини змінюється в межах гомеостатичного плато від  $\frac{1}{2}$  різниці між цільовим та оптимальним до оптимального значення;

– «помірна» (від 2 до 3 балів) – у межах від оптимального до порогового;

– «істотна» (від 3 до 4 балів) – у межах від оптимального до критичного;

– «катастрофічна» (від 4 до 5 балів), коли нормоване значення інтегрального індексу або його складової виходить за межі верхнього (нижнього) критичних значень.

Розрахувавши зміщення під впливом загрози фактичного нормованого значення інтегрального індексу енергетичної безпеки або його складової частини відносно цільового й порогових значень, можна встановити сукупні негативні наслідки, а отже, значущість кожної загрози та її місце в рейтингу.

Скориставшись таким підходом та залучивши експертів, можна було оцінити сукупні негативні наслідки реалізації загроз, ідентифікованих у *табл. 10 і 11* у визначених вище термінах значущості (*табл. 14*).

**Таблиця 14. Усереднені оцінки сукупних негативних наслідків реалізації загроз енергетичній безпеці, балів**

Загроза енергетичній безпеці	Усереднена оцінка для складових частин інтегрального індексу енергетичної безпеки						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
<b>Внутрішні загрози</b>							
Деградація енергетичних систем і мереж	3,5	3,8	4	3,89	3,33	3,89	3,37
Непрофесіоналізм у виробленні політики	3	3,5	3,33	3	2,89	3,78	4,05
Втручання держави у функціонування ринків	3	3,2	3,25	3,32	2,85	3,22	3,65
Висока енергоємність економіки	2,9	3,2	3,78	4,11	3,11	3	3,16
Ресурсна й технологічна залежність	4	3,4	3,44	3,22	3	3,33	3,11
Недосконала конкуренція	3,1	3,6	3,89	3,11	2,89	3	3,42
Енергетична бідність	2,7	3,2	3,11	3,33	2,56	2,89	2,74

Закінчення табл. 14

Загроза енергетичній безпеці	Усереднена оцінка для складових частин інтегрального індексу енергетичної безпеки						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Кліматичні зміни	2,2	2,44	2,44	2,44	3,11	2,33	2
<b>Зовнішні загрози</b>							
Кібератаки	3,2	3,44	3,22	2,78	3	3,56	3,84
Вимивання професійних кадрів	3,2	3	3,22	3,33	3,11	3,78	4,21
Воєнні дії	3,7	4,11	3,78	3,44	3,44	4,22	3,84
Зовнішній вплив на вироблення політики	2,9	3,22	2,78	3,11	3	3,89	3,63
Терористичні акти	2,9	3,33	2,78	2,56	2,78	3,44	3,37
Блокування постачань	3,2	3,78	3,22	2,44	2,11	3,67	3,05
Блокування інтеграційних процесів	2,7	3	2,89	2,67	2,78	3,33	3,32
Епідемії та пандемії	2,4	2,33	2,44	2,33	2,11	2,67	2,89

Джерело: складено авторами за [41].

Усереднивши наведені в табл. 14 оцінки, встановивши експертним шляхом імовірність реалізації кожної із загроз енергетичній безпеці в термінах значущості, наведених у табл. 13, і скориставшись формулою (2), здійснимо ранжування загроз за загальною оцінкою сукупних негативних наслідків (табл. 15).

Таблиця 15. Рейтинг загроз енергетичній безпеці України

Загроза енергетичній безпеці	Сукупні негативні наслідки	Загальна імовірність	Ризик
<b>Внутрішні загрози</b>			
Деградація енергетичних систем і мереж	3,68	3,9	14,36
Непрофесіоналізм у виробленні політики	3,36	4	13,46
Висока енергоємність економіки	3,32	3,9	12,96
Недосконала конкуренція	3,29	3,7	12,16
Втручання держави у функціонування ринків	3,21	3,6	11,55
Ресурсна й технологічна залежність	3,36	3,3	10,08
Енергетична бідність	2,93	3,7	10,85
Кліматичні зміни	2,42	2,33	5,65

Закінчення табл. 15

Загроза енергетичній безпеці	Сукупні негативні наслідки	Загальна імовірність	Ризик
<b>Зовнішні загрози</b>			
Кібератаки	3,79	4,1	15,54
Вимивання професійних кадрів	3,41	3,8	12,95
Воєнні дії	3,22	3,5	11,27
Зовнішній вплив на вироблення політики	3,29	3,3	10,86
Терористичні акти	3,02	3	9,07
Блокування постачань	3,07	3,1	9,51
Блокування інтеграційних процесів	2,96	2,8	8,28
Епідемії та пандемії	2,45	2,8	6,87

*Джерело:* складено авторами за [41].

Отримані результати оцінювання можна також представити у формі матриці ризиків загроз, як це практикується під час оцінювання ризиків [45].

Так було сформовано рейтинг загроз енергетичній безпеці України станом на 1 вересня 2021 р. Найбільш значущими для України, з точки зору ризику для енергетичної безпеки країни, були такі загрози енергетичній безпеці: деградація енергетичних систем і мереж, непрофесіоналізм у виробленні політики, висока енергоємність економіки; кібератаки, вимивання професійних кадрів, воєнні дії (зовнішні).

### 4.3. Прогнозування впливу загроз на рівень енергетичної безпеки

#### 4.3.1. Експертне оцінювання впливу загроз на рівень енергетичної безпеки

Описаний вище методологічний підхід також дає змогу здійснювати прогнозне оцінювання впливу на рівень енергетичної безпеки ухвалених чи запланованих владних рішень [47].

Ступінь впливу встановлюють за сукупними негативними наслідками реалізації загрози, які визначають за спричиненим владним рі-

шенням зміщенням нормованого значення інтегрального індексу енергетичної безпеки відносно його поточного (фактичного) значення.

Як приклад, виконаємо таке прогнозування, оцінивши вплив проекту владного рішення, що посилює втручання держави у функціонування енергетичних ринків (загроза «втручання держави у функціонування ринків» у групі внутрішніх загроз; *див. табл. 15*). Визначимо, наскільки під впливом такого рішення зміститься нормоване значення інтегрального індексу енергетичної безпеки відносно поточного (фактичного)  $X_I = 0,345$  (це та інші нормовані значення наведені в першому рядку таблиці *додатка 1*).

За усередненою експертною оцінкою, ухвалення проекту рішення призведе до «істотних» сукупних негативних наслідків (3,21 бала; *див. табл. 15*). Такі наслідки відповідають зоні, розташованій у межах від порогового  $X_{пор}^n = 0,342$  до критичного  $X_{кр}^n = 0,160$  значень інтегрального індексу (*додаток 1*).

Усереднена оцінка 3,21 бала відповідає оціночному значенню інтегрального індексу  $X_{оц}$ , яке має бути на 21 % меншим, ніж  $X_{пор}^n$  на гомеостатичному плато. Тобто  $X_{оц} = 0,342 - (0,342 - 0,160) \cdot 21/100 = 0,304$ . Тому нормоване значення інтегрального індексу енергетичної безпеки  $X_I = 0,345$  зміститься на  $C_I = 0,345 - 0,304 = 0,041$ . Оскільки ситуація після ухвалення рішення погіршиться, ще більше віддаливши нормоване значення інтегрального індексу від цільового  $X_{ц} = 0,595$ , зміщення відбуватиметься ліворуч.

Отже, ухвалення рішення, що посилює втручання держави у функціонування енергетичних ринків, змістить поточне значення  $X_I = 0,345$  інтегрального індексу енергетичної безпеки до  $X_{оц} = 0,304$  (*рис. 25*).

Такий підхід дозволяє суб'єктові управління спрогнозувати вплив ухваленого владного рішення (або його проекту) на динаміку інтегрального індексу оцінки рівня безпеки об'єкта управління (рівня енергетичної безпеки). У наведеному прикладі суб'єкт управління інформує, що запропоноване рішення призведе до погіршення рівня енергетичної безпеки держави.

Утім, оцінка впливу конкретної загрози на інтегральний індикатор енергетичної безпеки може бути достатньо суб'єктивною, оскільки залежить від кваліфікації експертів і предмету їхньої професійної уваги. Щоб зменшити суб'єктивність, оцінювання варто доповнювати оцінюванням впливу кожної загрози на досягнення кожної «вихідної» цілі, наприклад за складниками визначення рівня енергетичної безпеки.



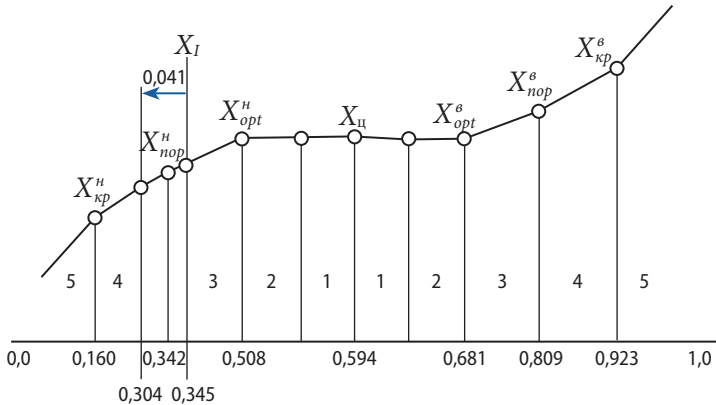


Рис. 25. Зміщення фактичного нормованого значення інтегрального індексу енергетичної безпеки внаслідок втручання держави у функціонування ринків

Джерело: складено авторами за [47].

Реалізація кожної із загроз впливатиме на складові частини інтегрального індексу енергетичної безпеки по-різному, через відмінність впливу на складові частини інтегрального індексу (чи окремі індикатори) та спричинення відмінних наслідків. Такий підхід додатково стимулюватиме експертів урахувати більше аспектів під час оцінювання.

Для подальшого зниження рівня суб'єктивності пропонованого методу оцінювання впливу загроз на рівень енергетичної безпеки необхідно виявити та кількісно описати закономірності зв'язку між «загрозою» та «енергетичною безпекою» (вибрані індикатори енергетичної безпеки), а також мати верифіковані, надійні й доступні для широкого загалу бази даних, що дозволить застосувати кількісні методи аналізу. Водночас виявлення такої закономірності фактично означитиме формалізацію закономірності впливу загроз, а тому можливість безпосереднього внесення такої загрози як індикатора для оцінювання рівня енергетичної безпеки в розроблену математичну модель.

Зазначимо, що переведення загроз в індикатори має стати однією із основних задач удосконалення методології визначення рівня енергетичної безпеки та здійснюватися на постійній основі з одночасним урахуванням соціально-економічного і технологічного розвитку об'єкта дослідження.

### 4.3.2. Комбінований метод оцінювання впливу загроз на рівень енергетичної безпеки

Задля розвитку попереднього підходу пропонується вдосконалений метод оцінювання впливу загроз на стан енергетичної безпеки.

Застосування математичної моделі інтегральної згортки (3) дозволяє частково вирішити проблему суб'єктивізму оцінок через використання поетапної згортки всіх складових частин в інтегральний індекс (4) та подальшим стратегуванням траєкторії сталого розвитку на задану перспективу за допомогою адаптивних методів регулювання (рис. 6), також і на рівні окремих індикаторів енергетичної безпеки.

*Для цього послідовно у блоках «Ідентифікація рівня безпеки» та «Еталонна модель» задаються формули згортки складників із (3) та значення експертно визначених змін відповідних складників. По-перше, це дає можливість оцінити вплив загроз на індикатори та інтегральний індекс загалом; по-друге, запобігає поширенню можливої похибки експертних оцінок.*

Так була розроблена методологія кількісного оцінювання впливу зовнішніх і внутрішніх загроз на рівень енергетичної безпеки держави, яка об'єднує експертні оцінки щодо зміни складових частин інтегрального індексу та формалізовані математичні розрахунки їх впливу на інтегральний індекс загалом через модель енергетичної безпеки та на індикатори безпеки у спосіб декомпозиції складових інтегрального індексу через застосування методу адаптивного регулювання.

У свою чергу, оцінка впливу загроз на динаміку інтегрального індексу чи його складових дозволяє перейти до визначення нової траєкторії для досягнення раніше визначених цілей сталого розвитку (адаптування систем до нових умов). Це здійснюється через реалізацію таких дій:

- для кожної наперед визначеної загрози у спосіб експертного опитування визначаємо зміщення поточних значень кожної зі складових частин інтегрального індексу енергетичної безпеки відносно їхніх граничних значень, отримуючи при цьому прогнозні значення складових частин інтегрального індексу;
- за моделлю (3) здійснюємо інтегральну згортку прогнозних значень складників з урахуванням динамічних вагових коефіцієнтів (2), одержуючи прогнозне значення інтегрального індексу енергетичної безпеки (1);

- використовуючи нові значення інтегрального індексу під впливом загроз, будемо з нової точки бажані траєкторії розвитку системи для досягнення раніше встановлених цілей сталого розвитку;
- здійснюємо декомпозицію нових значень траєкторії інтегрального індексу, послідовно визначаючи нові траєкторії його складових частин, а через їх декомпозицію – траєкторії змінення окремих індикаторів енергетичної безпеки;
- визначаємо заходи державного регулювання, спроможні змінити індикатори енергетичної безпеки так, щоб реалізувати чи відновити бажану траєкторію сталого розвитку.

Тобто пропонується методологія адаптивного реагування на загрози у спосіб побудови нової траєкторії досягнення заданих стратегічних цілей після впливу загрози та послідовної декомпозиції нової динаміки інтегрального індексу на складники, інтегральних індексів складників – на окремі індикатори енергетичної безпеки за допомогою методу адаптивного регулювання та отримання науково обґрунтованої динаміки змін складників та індикаторів досягнення поставленої мети.

Передумовою оцінювання впливу загроз на рівень енергетичної безпеки є ідентифікація рівня безпеки та розроблення стратегії розвитку у звичайних умовах. Рівень енергетичної безпеки України розрахований за викладеною методологією інтегрального оцінювання, а стратегічні сценарії сталого розвитку (реалістичний, оптимістичний, збалансованого сталого розвитку) – за новітньою методологією стратегування (*рис. 15*).

Для кожного з визначених сценаріїв будується траєкторія досягнення цілей та для кожної точки траєкторії розраховуються необхідні значення складників та їхніх індикаторів за допомогою автоматичної процедури адаптивного регулювання. Динаміка отриманих складників та індикаторів є по суті стратегічним планом досягнення заданих цілей.

Після цього можемо перейти до визначення впливу загроз на рівень енергетичної безпеки та розробляти адаптивні стратегії досягнення визначених цілей.

Для демонстрації методу оцінювання впливу загроз на рівень енергетичної безпеки обрано такі внутрішні та зовнішні загрози для України: «втручання держави у функціонування ринків»; «непрофесіоналізм у виробленні політики»; «воєнні дії»; «терористичні акти».

Шляхом експертного опитування 20 українських експертів було встановлено, як, на їхню думку, може змінитися поточне значення  $I$ , складових частин інтегрального індексу протягом року під впливом кожної з 20 загроз енергетичній безпеці, які, за підсумками оцінювання, проведеного у січні 2022 р., були визначені найбільш значущими (докладний опис цих загроз наведений у праці [28]). Результати опитування узагальнили, визначивши середнє арифметичне, за винятком максимальної та мінімальної експертних оцінок, та склали рейтинг внутрішніх і зовнішніх загроз за їхніми можливими відносними наслідками (табл. 16).

Таблиця 16. **Усереднені експертні оцінки сукупних негативних наслідків реалізації загроз енергетичній безпеці, балів**

Загроза енергетичній безпеці	Усереднена оцінка для складових частин інтегрального індексу енергетичної безпеки						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
<b>Внутрішні загрози</b>							
Непрофесіоналізм у виробленні політики	0,2735	0,2458	0,2183	0,381	0,267	0,3462	0,4181
Втручання держави у функціонування ринків	0,2849	0,2576	0,2403	0,3678	0,2571	0,3561	0,4155
<b>Зовнішні загрози</b>							
Воєнні дії	0,2852	0,333	0,2357	0,3892	0,2585	0,3662	0,4258
Терористичні акти	0,2877	0,3434	0,2388	0,392	0,2533	0,3746	0,4315

Джерело: складено авторами за [48].

Припускаємо, що загрози почали свою дію в 2021 р. Виконуючи інтегральну згортку змінених під дією загроз складників, отримаємо зміни інтегрального індексу в 2021 р. Порівняння впливу загроз на рівень енергетичної безпеки будемо здійснювати відносно реалістичного сценарію розвитку після побудови траєкторії сталого розвитку (рис. 26).

Як свідчать результати математичного моделювання впливу загроз, виконаного на основі експертних оцінок, найбільший вплив на рівень енергетичної безпеки з тих, котрі було вибрано для проведення аналі-

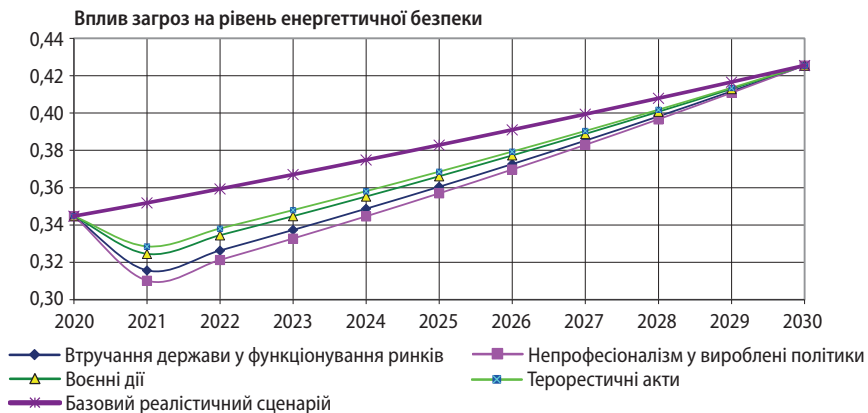


Рис. 26. Адаптивна реакція на стійкість траєкторії сталого розвитку через загрози за реалістичним сценарієм

Джерело: модельні розрахунки авторів.

зу, мають загрози в такій послідовності: непрофесіоналізм у виробленні політики, втручання держави у функціонування ринків, воєнні дії та терористичні акти.

Дієвість пропонованого підходу щодо можливості адаптування на вплив загроз покажемо на прикладі загрози – «непрофесіоналізм у виробленні політики».

Після визначення впливу загроз на інтегральний індекс у 2021 р. будемо експоненційну траєкторію розвитку до заданої цілі на визначеному проміжку часу 2021–2030 рр. за базовим реалістичним сценарієм (рис. 26). Наступний крок – це декомпозиція точок нової траєкторії інтегрального індексу спочатку для синтезу нових траєкторій його складників (рис. 27) за автоматичною процедурою «Strategy», що реалізує метод адаптивного регулювання (рис. 6).

Задаючи в моделі адаптивного регулювання (рис. 6) значення адаптованого інтегрального індексу як еталонні, отримуємо для кожного року значення складників інтегрального індексу з урахуванням визначених вагових коефіцієнтів, досягнення яких свідчатиме про усунення впливу загрози на досягнення стратегічних цілей і повернення на траєкторію сталого розвитку інтегрального індексу енергетичної безпеки. Владні рішення, спрямовані на змінення окремих індексів цих складників, можуть бути вибрані з урахуванням оцінки адекватності реагування на загрози порушення енергетичної стійкості.

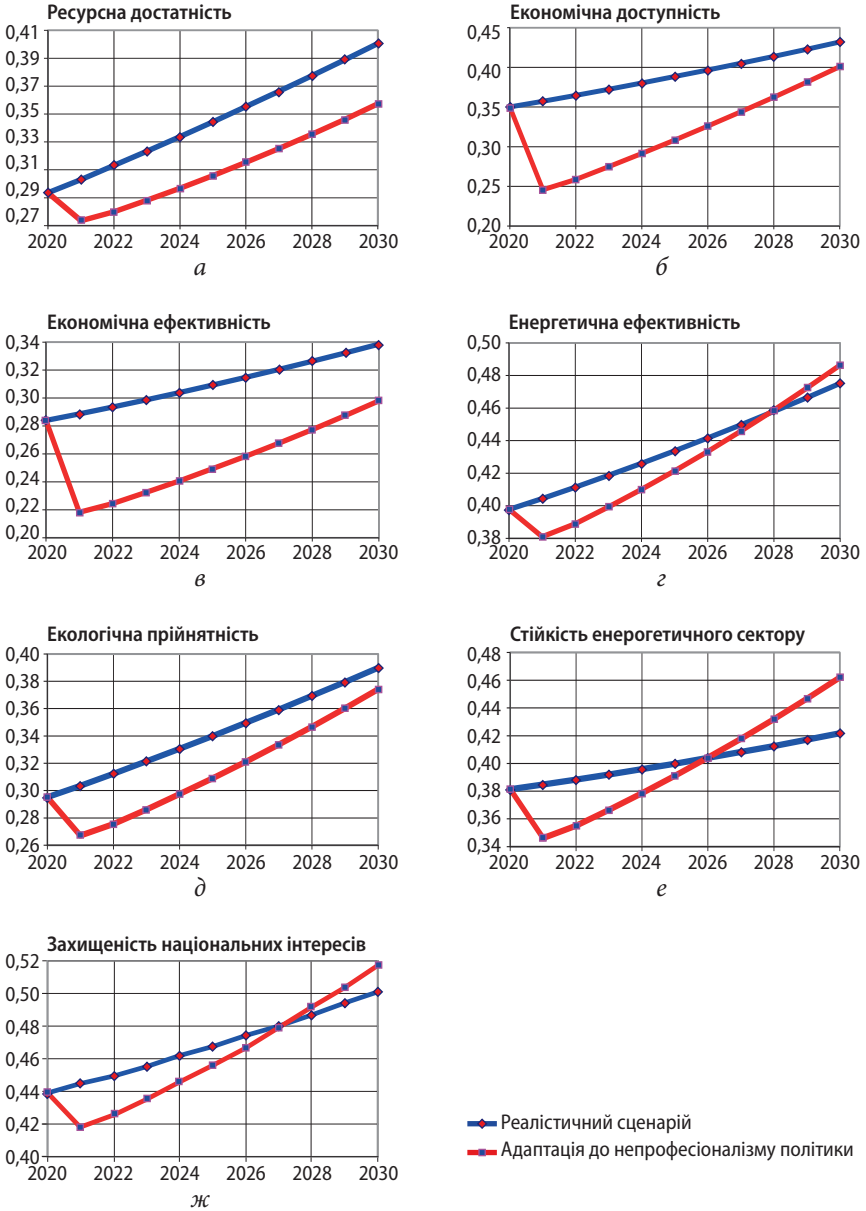


Рис. 27. Стратегія адаптації до впливу загрози «непрофесіоналізм у виробленні політики»

Джерело: модельні розрахунки авторів.

Наприклад, для цього дослідження визначається пріоритетність реагування за складниками та часові параметри таких дій з точки зору досягнення цілей у визначений стратегічним планом час. Так, моделювання визначає:

- пріоритетність заходів із запобігання, недопущення, пом'якшення чи ліквідації впливу певної загрози, передусім у таких складниках енергетичної безпеки, як-от: *економічна ефективність* функціонування енергетичного сектору, *економічна доступність* для споживачів, *стійкість енергетичного сектору*. Саме за цими складниками вибрана загроза спричиняє найбільше відхилення від бажаної траєкторії досягнення стратегічних цілей;
- пріоритетність забезпечення ліквідації впливу загрози за складником *стійкість енергетичного сектору* з метою відновлення бажаної траєкторії досягнення стратегічних цілей не пізніше 2026 р. (рис. 27e);
- визначення ваги заходів реагування та необхідних ресурсів за складниками з метою відновлення бажаної траєкторії досягнення стратегічних цілей.

Так забезпечується формування обґрунтованих заходів реагування на загрози та адаптації траєкторії сталого розвитку для досягнення стратегічно визначених цілей. Однак варто зауважити, що окремі складники інтегрального індексу будуть відставати або випереджати початкову траєкторію сталого розвитку кожної із них, що пояснюється реальними взаємозв'язками між складниками через динамічні вагові коефіцієнти впливу на загальний інтегральний індекс.

Розроблена методологія дозволяє здійснити точніший аналіз впливу загрози на окремі індикатори енергетичної безпеки, що дозволить сформулювати конкретні заходи реагування у визначених сферах підвищеної пріоритетності. На другому етапі здійснюється декомпозиція точок нової траєкторії складників інтегрального індексу для синтезу нових траєкторій індикаторів відповідних складників. Покажемо це на прикладі складника *стійкість енергетичного сектору* (рис. 28).

Отримана динаміка складників (рис. 28) та індикаторів є стратегічним планом адаптування траєкторії сталого розвитку внаслідок дії загроз.

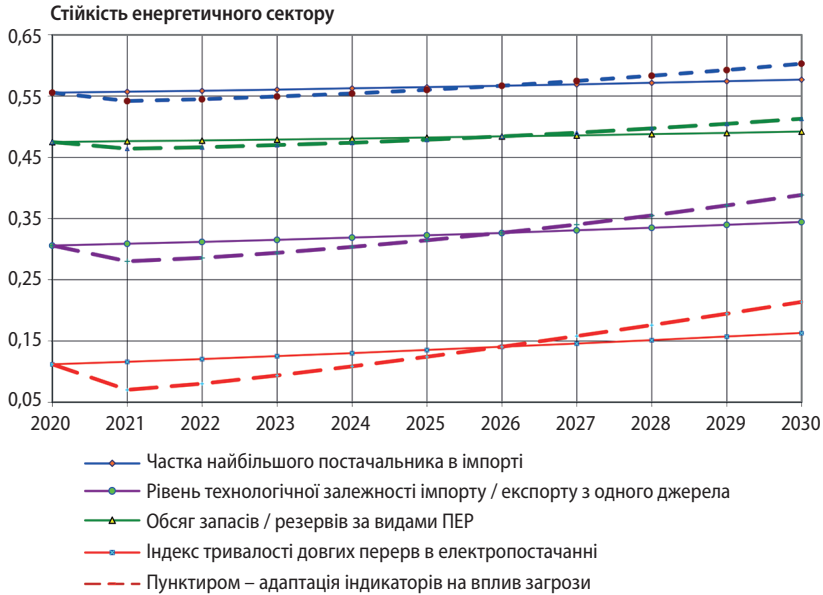


Рис. 28. Адаптація індикаторів складника інтегрального індексу «Стійкість енергетичного сектору» до загрози «непрофесіоналізм у виробленні політики»

Джерело: модельні розрахунки авторів.

Можна також отримати адаптовані до загроз зміни індикаторів, які забезпечують стійкість траєкторії сталого розвитку та становлять стратегічний план досягнення стратегічних цілей. Це допоможе розробити плани реагування на загрози вже на технічному рівні організації функціонування систем енергозабезпечення.

Покажемо стратегічні сценарії індикаторів енергетичної безпеки та адаптовані до впливу загроз їхні траєкторії сталого розвитку (реалістичний сценарій) до визначених цілей на прикладі таких індикаторів:

- енергоємність ВВП (рис. 29–30);
- частка енергії відновлюваних джерел у кінцевому споживанні (рис. 31–32);
- частка викидів CO<sub>2</sub> від електро- й теплогенеруючих установок (рис. 33–34).

У загальному випадку реалізація адаптованих траєкторій складників та індикаторів за визначеними сценаріями забезпечує досягнення тих самих цілей, які було визначено за сценаріями до впливу загроз.



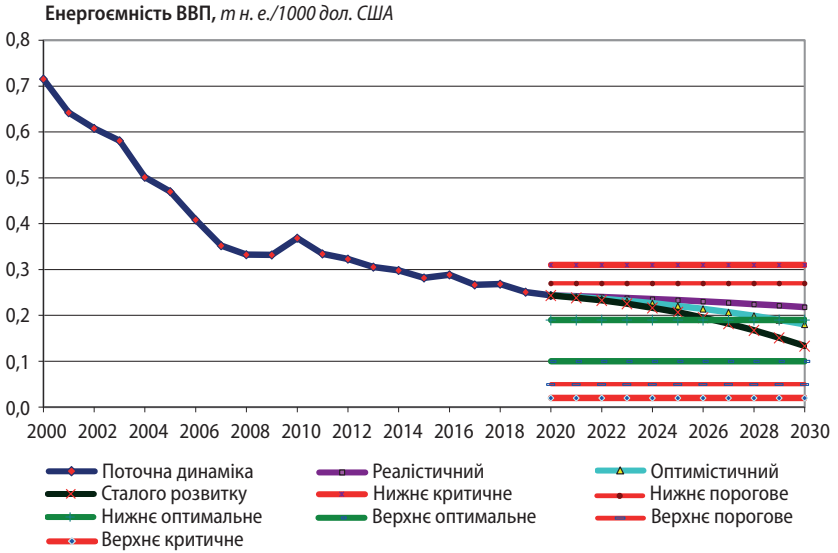


Рис. 29. Стратегічні сценарії сталого розвитку індикатора «Енергоємність ВВП» у 2000–2030 рр.

Джерело: модельні розрахунки авторів.

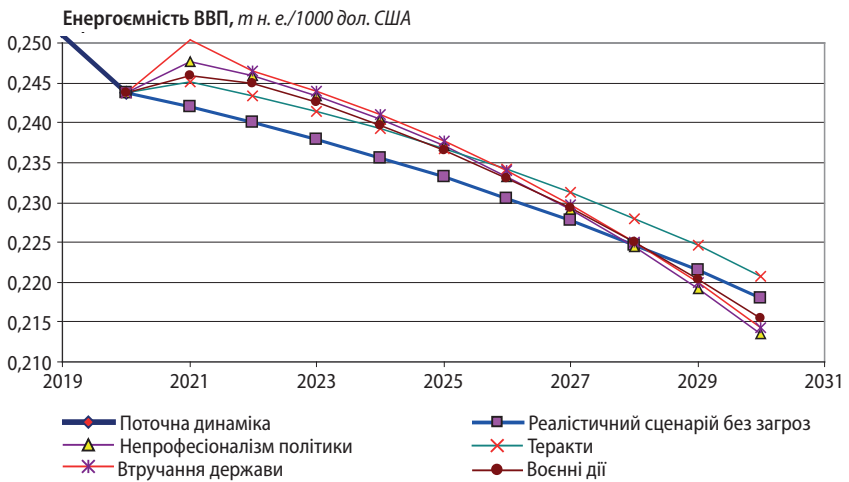


Рис. 30. Адаптовані траєкторії до впливу загроз індикатора «Енергоємність ВВП»

Джерело: модельні розрахунки авторів.

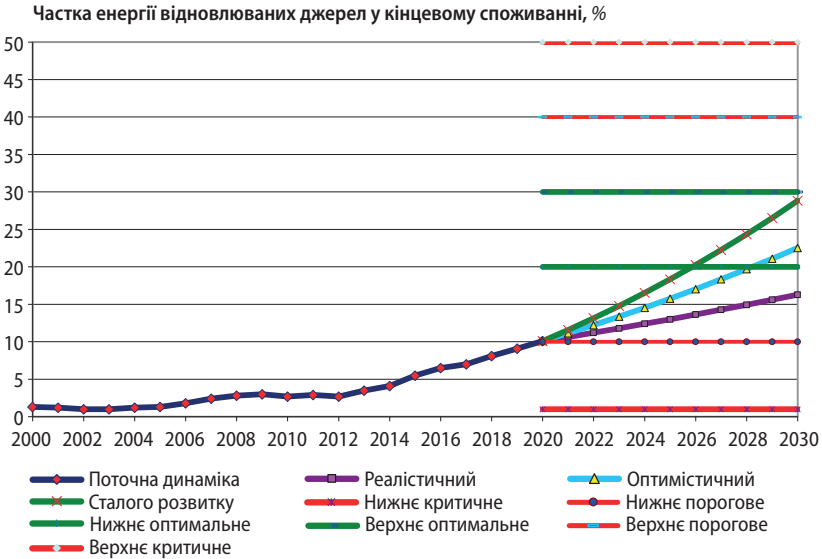


Рис. 31. Стратегічні сценарії сталого розвитку індикатора «Частка енергії відновлюваних джерел у кінцевому споживанні» протягом 2000–2030 рр.

Джерело: розроблено авторами.

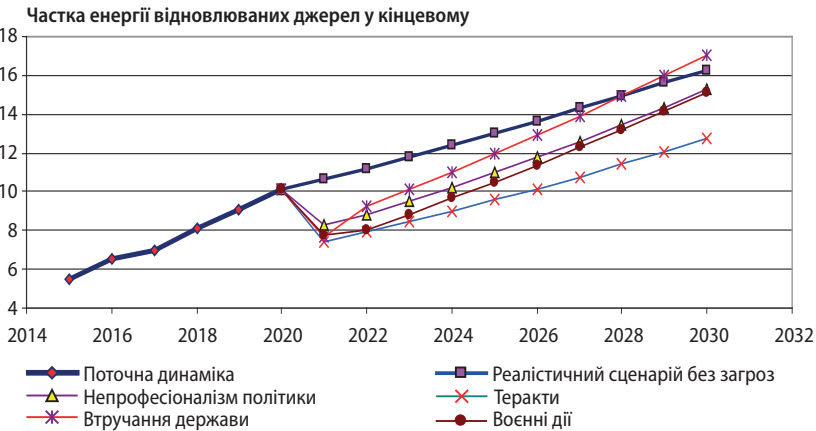


Рис. 32. Адаптовані траєкторії до впливу загроз індикатора «Частка енергії відновлюваних джерел у кінцевому споживанні»

Джерело: модельні розрахунки авторів.

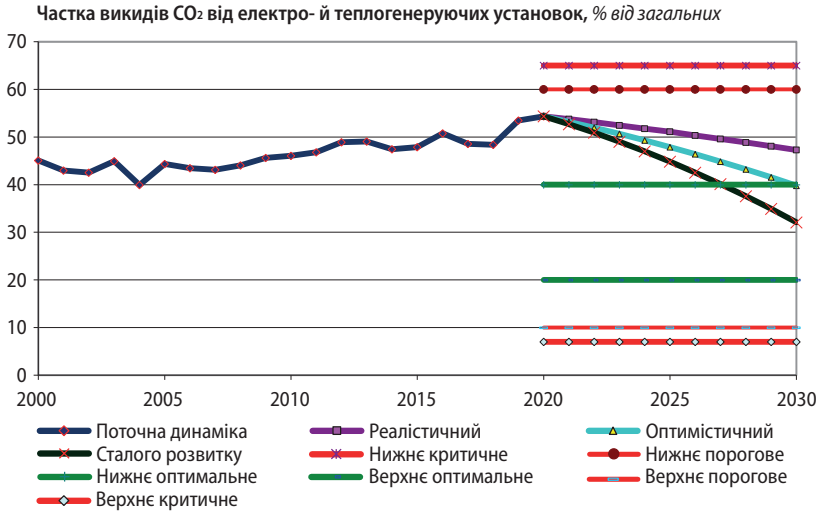


Рис. 33. Стратегічні сценарії сталого розвитку індикатора «Частка викидів CO<sub>2</sub> від електро- й теплогенеруючих установок»

Джерело: модельні розрахунки авторів.

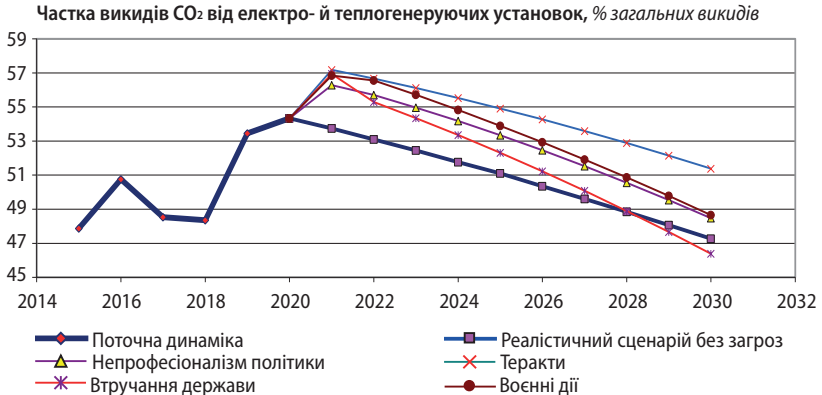


Рис. 34. Адаптовані траєкторії до впливу загроз індикатора «Частка викидів CO<sub>2</sub> від електро- й теплогенеруючих установок»

Джерело: модельні розрахунки авторів.

#### 4.4. Планування заходів із забезпечення цільового рівня енергетичної безпеки

Щоб гарантувати результативність та ефективність державної політики у сфері енергетичної безпеки, необхідно забезпечити систематичне оцінювання її рівня, комплексність, послідовність і узгодженість дій органів влади та суб'єктів господарювання із нейтралізації загроз та/чи зменшення їхніх сукупних негативних наслідків.

Варто запровадити періодичне аналізування стану енергетичної безпеки, зокрема формування реєстру, ідентифікування та аналізування загроз для встановлення цілей і завдань суб'єктам гарантування енергетичної безпеки й визначення заходів пріоритетного реагування [43–44].

Із цією метою головний орган у системі центральних органів виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику в паливно-енергетичному комплексі, має регулярно подавати урядові Звіт про стан енергетичної безпеки України за останні п'ять років. За результатами розгляду цього документа має бути затверджено Реєстр загроз енергетичній безпеці [46; 49].

Головний орган у системі центральних органів виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику в паливно-енергетичному комплексі, урахувавши дані з цього Реєстру, має розробляти та вносити на затвердження Кабінетові Міністрів Стратегію енергетичної безпеки України. Вона повинна визначати мету, стратегічні цілі й пріоритетні завдання у сфері забезпечення енергетичної безпеки. Згадані цілі можуть бути подані як сукупність складників інтегрального індексу енергетичної безпеки, кожному з яких відповідає своя множина індикаторів енергетичної безпеки. В обов'язковому додатку до Стратегії енергетичної безпеки мають бути наведені перелік і цільові значення таких індикаторів.

Варто також забезпечити послідовність у реалізації державної політики та дотримання траєкторії стратегічного розвитку (досягнення цільових індикаторів), гарантованості надання життєво важливих послуг, реалізації функцій держави з енергозабезпечення [46; 49; 50].

Перешкоджати цьому можуть загрози енергетичній безпеці. Оцінка впливу будь-яких загроз чи прийнятих управлінських рішень на досягнення визначених стратегічних цілей повинна стати окремим елементом системи забезпечення енергетичної безпеки.

Загрози енергетичній безпеці України має щорічно оцінювати головний орган у системі центральних органів виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику в паливно-енергетичному комплексі. Доцільним є затвердження Переліку загроз енергетичній безпеці, щодо яких будуть формуватися управлінські рішення із запобігання їх реалізації чи пом'якшення наслідків впливу цих загроз.

Відповідні плани реагування на місцевому, регіональному, національному рівні можуть бути формалізовані у єдиному документі – Плані енергетичної стійкості країни [50].

Він має розроблятися з метою визначення необхідних ресурсів та порядку взаємодії суб'єктів забезпечення енергетичної безпеки під час реалізації заходів реагування на загрози з метою уникнення кризової ситуації в енергетиці.

Систематичне оцінювання загроз і звітування про стан енергетичної безпеки України забезпечить можливість [1; 29; 45]:

- розробляти заходи, спрямовані на підвищення рівня національної безпеки та/чи нейтралізації загроз;
- порівнювати рівні загроз у різні періоди часу для визначення тенденцій і наближеності поточного рівня енергетичної безпеки до цільового, оцінювання впливу дестабілізуючих чинників, результатів і наслідків ужитих заходів;
- вибирати владні рішення, найкращі з точки зору гарантування енергетичної безпеки;
- прогнозувати стан енергетичної безпеки за різних сценаріїв розвитку паливно-енергетичного комплексу та національної економіки загалом;
- вибирати варіанти розвитку держави з урахуванням гарантування енергетичної безпеки.

## 5. ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ПЕРІОДУ ЗБРОЙНОЇ АГРЕСІЇ РОСІЇ НА ЕНЕРГЕТИЧНУ БЕЗПЕКУ УКРАЇНИ

Результати моделювання рівня оцінки енергетичної безпеки України за період 2000–2020 рр., наведені в другому розділі, не враховують суттєвої зміни умов функціонування енергетики України з моменту збройного вторгнення Росії на територію України.

З одного боку, на роботу енергетики України впливали руйнування критичної енергетичної інфраструктури та інфраструктури споживачів, блокування постачання енергетичних ресурсів та обладнання і руйнування шляхів їх постачання, блокування роботи підприємств енергетичного сектору та інші зловмисні дії агресора. З другого боку, диверсифікованість розміщення енергетичних активів та постачання енергоресурсів, швидке відновлення спроможності енергетичних систем забезпечувати потреби споживачів, а також зменшення рівня енергоспоживання національною економікою та побутовим сектором через страхітливі руйнування та зупинення економічної активності – усе це дало змогу забезпечити працездатність енергетичного сектору країни.

Наявна на момент публікації відкрита інформація, доступні офіційні статистичні дані, модельні розрахунки та експертний аналіз інформаційних повідомлень уможливили визначити поточні значення вибраних індикаторів за період 2021–2022 рр.

Зазначимо, що динаміка багатьох індикаторів енергетичної безпеки не дуже відрізняється від динаміки попередніх років. Частково це пояснюється одночасним зниженням виробництва енергетичного сектору та споживанням цієї продукції (енергії, енергоресурсів) чи скороченням негативного впливу енергетики на довкілля (через зупинку роботи підприємств галузі).

Проте суттєво знизилися показники окремих індикаторів складників «Стійкість енергетичного сектору» (через скорочення окремих видів запасів енергоресурсів та зростання тривалості перерв у енерго-

постачанні), «Ресурсна достатність» (атомна енергетика), «Енергетична доступність» (якість постачання енергії, ресурсів), «Економічна ефективність» (економічна ефективність: рівень інвестування підприємств ПЕК, концентрація енергетичних ринків за індексом Герфіндала – Гіршмана) та «Енергетична ефективність» (рівень втрат у мережах).

Потреба враховувати отримані оцінки індикаторів енергетичної безпеки України періоду воєнного стану змушує переглядати деякі граничні значення індикаторів і, відповідно, здійснювати перерахунки інтегральних індексів та інтегральних граничних значень.

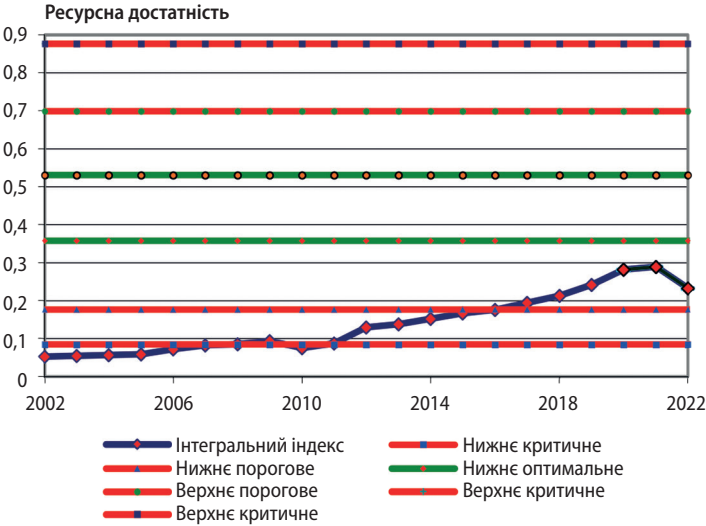
Інтегральна згортка індикаторів та граничних значень дає таку картину динаміки складників енергетичної безпеки України, що виникла внаслідок воєнної агресії Росії проти України (рис. 35), а інтегральна згортка складників визначає динаміку інтегрального індексу енергетичної безпеки зі стратегічними траєкторіями адаптації до сталого розвитку за визначеними сценаріями (рис. 36).

Результати рівня енергетичної безпеки в період 2021–2022 рр., отримані завдяки розрахункам, виконаним на основі аналізу відкритих джерел інформації та офіційних повідомлень органів державної влади, експертних оцінок і модельних розрахунків, засвідчують зниження інтегрального індексу енергетичної безпеки в 2022 р. на 21 % порівняно з 2021 р. Цей показник майже повертає рівень енергетичної безпеки, що був розрахований для мирного 2020 р.

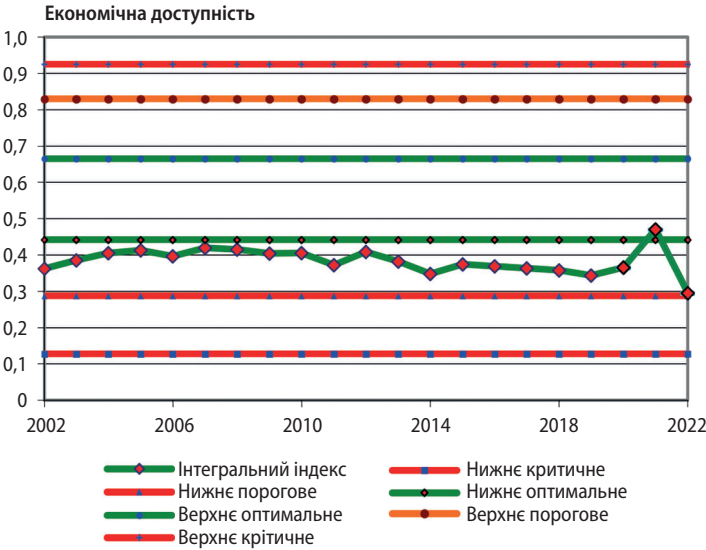
Зниження значень складників у 2022 р. відносно 2021 р. становить: ресурсна достатність – 19,6 %; економічна доступність – 37,2 %; економічна прийнятність – 19,2 %; енергетична ефективність – 36,8 %; екологічна прийнятність – 15,4 %; стійкість енергетичного сектору – 20,9 %; захищеність національних інтересів – 9,3 %.

Зважаючи на поточний рівень невизначеності щодо впливу збройної агресії РФ на функціонування енергетичного сектору України, автори монографії вважають за можливе поки що не проводити детальних розрахунків динаміки всіх виокремлених індикаторів енергетичної безпеки до появи офіційних відкритих даних щодо стану справ в енергетичній сфері по завершенню війни.

Для моделювання впливу загроз на енергетичну безпеку України та адаптування траєкторії досягнення цільових значень пропонуємо використати дані щодо оцінювання загроз, розрахованих для рівня енергетичної безпеки 2020 р., до 2021 р. з дотриманням пропорцій відхилень за період 2021–2022 р. (табл. 17).

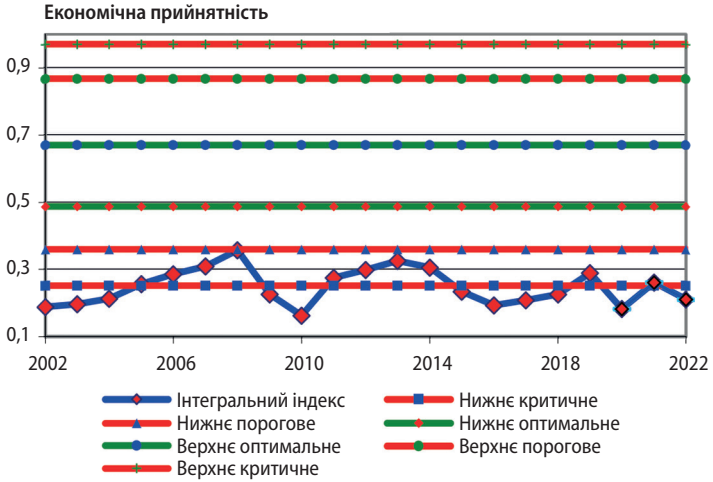


а

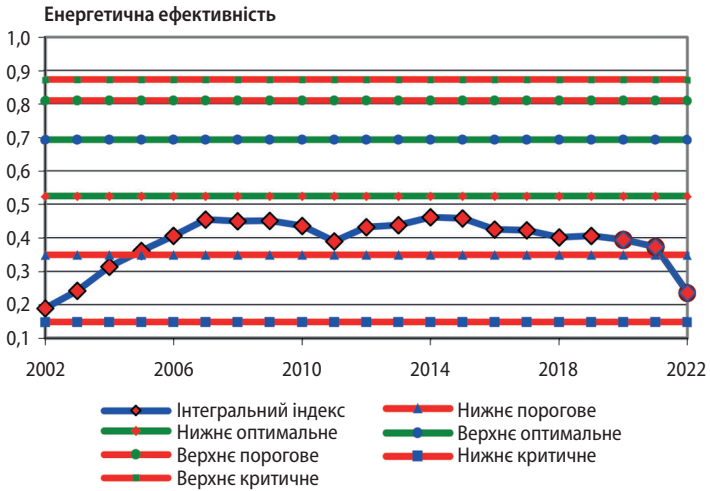


б

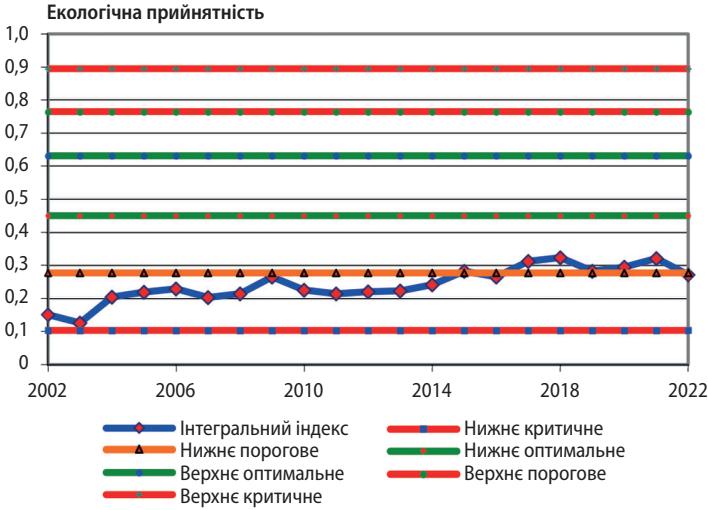




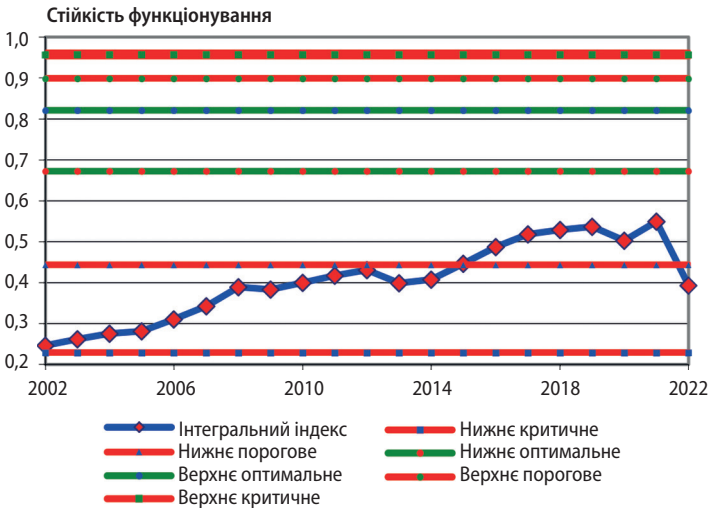
в



г



д



е



Ж

Рис. 35. Динаміка складників енергетичної безпеки України з урахуванням впливу збройної агресії РФ в 2022 р.

Джерело: модельні розрахунки авторів.



Рис. 36. Стратегічна динаміка інтегрального індексу енергетичної безпеки України до 2030 р. з урахуванням впливу збройної агресії РФ в 2022 р.

Джерело: модельні розрахунки авторів.

Таблиця 17. Усереднені експертні оцінки сукупних негативних наслідків реалізації загроз енергетичній безпеці

Загроза енергетичній безпеці	Усереднена оцінка для складників інтегрального індексу енергетичної безпеки						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
<b>Внутрішні загрози</b>							
Непрофесіоналізм у виробленні політики	0,2699	0,3306	0,2331	0,3566	0,3261	0,4986	0,4243
Втручання держави у функціонування ринків	0,2811	0,3465	0,2566	0,3443	0,3140	0,5129	0,4218
<b>Зовнішні загрози</b>							
Воєнні дії	0,2813	0,4478	0,2517	0,3643	0,3157	0,5275	0,4322
Терористичні акти	0,2838	0,4618	0,2550	0,3670	0,3094	0,5395	0,4380

Джерело: складено авторами за [48].

Припускаємо, що загрози почали діяти в 2022 р. Виконуючи інтегральну згортку змінених під дією загроз складників, отримаємо зміни інтегрального індексу в 2022 р. Порівняння впливу загроз на рівень енергетичної безпеки здійснюватимемо відносно їхнього можливого впливу в 2022 р. (рис. 37).

Наголосимо, що вплив проаналізованих у цій праці загроз енергетичній безпеці України, оцінений за допомогою експертного аналізу напередодні збройної агресії РФ, у своїй сукупності (тобто загрози діють одночасно) повторює динаміку інтегрального індексу енергетичної безпеки, який був розрахований за розробленою моделлю на основі наявних фактичних даних та прогнозних оцінок динаміки параметрів економічних, технічних та структурних параметрів функціонування енергетичного сектору України внаслідок збройної агресії.

Будуючи траєкторії руху до заданих цільових параметрів енергетичної безпеки, можемо забезпечити адаптивність енергетичної системи до впливу загроз через обґрунтування бажаної динаміки індикаторів (рис. 38).

Маючи уявлення про майбутню траєкторію цільового розвитку (рис. 37, 38), можна розрахувати динаміку індикаторів та макропоказників за допомогою методології стратегування, які забезпечують до-

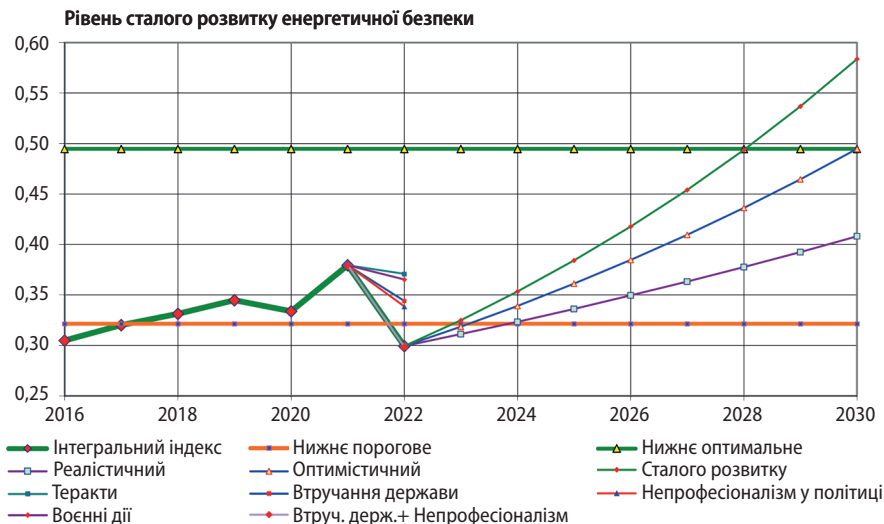


Рис. 37. Зміна рівня енергетичної безпеки України з урахуванням впливу загроз у 2022 р. з подальшими стратегічними сценаріями адаптації

Джерело: модельні розрахунки авторів.

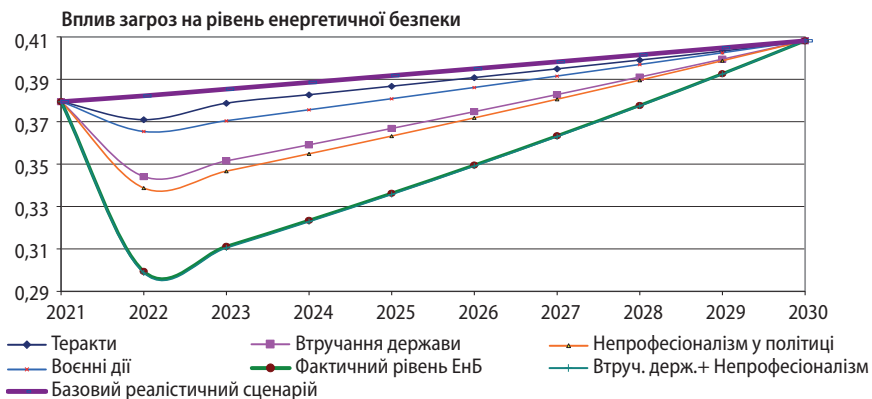


Рис. 38. Вплив загроз під час збройної агресії РФ та адаптивна реакція енергетичної системи на період до 2030 р.

Джерело: модельні розрахунки авторів.

сягнення визначених цілей. Наступним кроком у застосуванні пропонуваної методології має стати розроблення необхідних управлінських рішень, про що йдеться в розділі 4.

## ВИСНОВКИ

Дослідження проблем енергетичної безпеки – складне завдання, що потребує врахування різних аспектів життєдіяльності країни та динаміки змін зовнішнього середовища. Застосування системного підходу дозволяє збалансувати об'єктивну змінність потрібного набору параметрів для адекватної оцінки енергетичної безпеки відповідно до зміни (технологічного та економічного розвитку, функціонування енергетики країни тощо), сформулювати сталий методологічний підхід до їх вибору відповідно до практичних потреб дослідника.

Системний підхід дає змогу описати енергетичну безпеку як об'єкт управління через визначення окремих параметрів об'єкта, а саме: система як ціле (роль та місце у більшій системі); елементи та зв'язки системи (інституційна та організаційна структура); функції й ролі (завдання елементів, їх відповідність вимогам); процеси системи (взаємодія елементів, їх результативність та ефективність); матеріал системи (характеристики елементів і структури системи).

Розроблена інтегрована багатofакторна модель енергетичної безпеки завдяки системному підходу дозволяє підвищити об'єктивність оцінювання поточного рівня енергетичної безпеки. Запропоновано методологію обґрунтування меж безпечного існування індикаторів енергетичної безпеки як формалізованого визначення вектора порогових значень. Обґрунтовано застосування мультиплікативної форми інтегрального індексу, комбінованого методу нормування, визначення динамічних вагових коефіцієнтів.

За результатами моделювання розраховано динаміку загального інтегрального індикатора енергетичної безпеки та його семи складників, згрупованих відповідно до визначених Стратегією енергетичної безпеки стратегічних цілей та окремих індикаторів.

Запропоновано методологію стратегічного планування за принципом «майбутнє визначається траєкторією в майбутнє», що дозволяє науково обґрунтувати бажані значення складових та індикаторів, які стають основою стратегічного плану розвитку. Застосування пропо-

нованої методології цілепокладання дозволяє оцінювати вплив загроз на досягнення стратегічних цілей та розробити стратегію адаптивного реагування на вплив загроз. Розроблена методологія уможливить узгодження підходів до розуміння енергетичної безпеки як спроможності системи і стану захищеності, слугуватиме методологічним інструментом ідентифікації чинників впливу на стан енергетичної безпеки з урахуванням місця й ролі енергетичної безпеки в системі національної безпеки, визначення цільових стратегічних орієнтирів.

Динаміка соціально-політичного й технологічного розвитку енергетики, а також трансформація моделей функціонування національних, регіональних та глобальних ринків, вимагає сформувати систему раннього виявлення та запобігання загрозам енергетичній безпеці. Застосування системного підходу дозволяє сформувати науково обґрунтований єдиний підхід до ідентифікації загроз, їх опису та оцінювання їхнього впливу на енергетичну безпеку. Це дозволяє узгодити та підвищити ефективність дій суб'єктів у відповідній сфері.

Авторська модель оцінювання впливу загроз поєднує методи експертного оцінювання на складники енергетичної безпеки з математичним моделюванням впливу змін складових на інтегральний індекс та математичне оцінювання впливу загроз на окремі індикатори енергетичної безпеки за допомогою адаптивних методів регулювання. Ця методологія дозволяє забезпечити стійкість траєкторії сталого розвитку, тобто адаптивність об'єкта дослідження до впливу загроз на рівні інтегрального індексу, складників та індикаторів для досягнення ключової цілі – сталого розвитку. Продемонстровано застосування розробленої методики на прикладі ідентифікації, опису та аналізу впливу загроз на рівень енергетичної безпеки України.

Проведені дослідження дозволили опрацювати науково обґрунтований інструментарій для практичного застосування. Прив'язка математичної моделі до стратегічних завдань реалізації політики країни в тій чи тій сферах дає змогу її використовувати як інструмент наукового обґрунтування та оцінювання ефективності управлінських рішень.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Енергетична безпека України: методологія системного аналізу та стратегічного планування : аналіт. доп. / [Суходоля О. М., Харазішвілі Ю. М., Бобро Д. Г., Сменковський А. Ю., Рябцев Г. Л., Завгородня С. П.] ; за заг. ред. О. М. Суходолі. Київ : НІСД, 2020. 178 с.
2. Земляний М. Г. До оцінки рівня енергетичної безпеки. Концептуальні підходи. *Стратегічна панорама*. 2009. № 2. С. 56–63.
3. Бобров Є. А. Енергетична безпека держави. Київ : ВНЗ «Університет економіки та права «Крок», 2013. 308 с.
4. Харазішвілі Ю. М. Ідентифікація рівня енергетичної безпеки України з позицій сталого розвитку. *Економіка промисловості*. 2019. № 4(88). С. 5–27. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry2019.03.005>
5. Суходоля О. М. Проблеми визначення сфери регулювання енергетичної безпеки. *Стратегічні пріоритети*. 2019. № 1. С. 5–17.
6. Sovacool B., Brown B. A. Competing Dimensions of Energy Security: An International Perspective. *Annual Review of Environment and Resource*, 35:1, 77–10. 2010. URL: [10.1146/annurev-environ-042509-143035](https://doi.org/10.1146/annurev-environ-042509-143035)
7. Couder J. Literature Review on Energy Efficiency and Energy Security, including Power Reliability and Avoided Capacity Costs. Antwerp, August, 2015. 41 p. URL: <https://combi-project.eu/wp-content/uploads/2015/09/D7.1.pdf>
8. APERC. A quest for energy security in the 21st century: Resources and Constraints. Japan : Institute of Energy Economics, 2007. Pp. 1–113.
9. Azzuni Abdelrahman and Breyer Christian. Definitions and dimensions of energy security: a literature review. *WIREs Energy Environ*. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/wene.268>
10. Winzer C. Conceptualizing energy security. *Energy Policy*. 2012. No. 46(C), pp. 36–48. DOI: [10.1016/j.enpol.2012.02.067](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.067)
11. Cherp A., & Jewell J. Energy security assessment framework and three case-studies. In: *Dryer H., & Trombetta M. J. (Eds.) International Energy Security Handbook*. Edward Elgar Publishing, 2013. Pp. 146–173.
12. Cherp A., & Jewell J. The concept of energy security. Beyond the four As. *Energy Policy*. 2014. No. 75(c), pp. 415–421. DOI: [10.1016/j.enpol.2014.09.005](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.09.005)



13. Суходоля О. М., Сменковський А. Ю. Енергетичний сектор України: перспектива реформування чи стагнації. *Стратегічні пріоритети*. 2013. № 2. С. 74–80.
14. Суходоля О. М. Захист критичної інфраструктури в умовах гібридної війни : проблеми та пріоритети державної політики України. *Стратегічні пріоритети*. 2016. № 3. С. 62–76.
15. Суходоля О. М. Системний підхід в оцінюванні стану та цілепокладанні у сфері енергетичної безпеки. *Стратегічна панорама*. 2019. № 1–2. С. 58–72.
16. Суходоля О. М., Харазішвілі Ю. М., Бобро Д. Г. Методологічні засади ідентифікації та стратегування рівня енергетичної безпеки України. *Економіка України*. 2020. № 6(703). С. 20–42. DOI: <https://doi.org/10.15407/economyukr.2020.06.020>
17. Суходоля О. М. Теоретико-методологічні засади забезпечення енергетичної безпеки України. *Стратегічні пріоритети*. 2014. № 2. С. 129–139.
18. Kharazishvili Y., Kwilinski A., Sukhodolia O., Dzwigol H., Bobro D., Kotowicz J. The Systemic Approach for Estimating and Strategizing Energy Security: The Case of Ukraine. *Energies*. 2021. No. 14, 2126. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14082126>
19. Харазішвілі Ю. М. Системна безпека сталого розвитку : інструментарій оцінки, резерви та стратегічні сценарії реалізації : монографія / НАН України, Ін-т економіки промисловості. Київ, 2019. 304 с.
20. Харазішвілі Ю. М. Науковий твір «Стохастичний метод визначення граничних значень індикаторів безпеки» : свідоц. про реєстр. авт. права на твір № 109405 / Держ. підприємство «Український інститут інтелектуальної власності». Київ, 2021, 12 листоп.
21. Харазішвілі Ю. М. Метод «ковзної матриці» для визначення динамічних вагових коефіцієнтів : свідоц. про реєстр. авт. права на твір № 105927 / Держ. підприємство «Український інститут інтелектуальної власності». Київ, 2021, 2 лип.
22. Про схвалення Стратегії енергетичної безпеки : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 04.08.2021 № 907-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/907-2021-%D1%80#Text>
23. Харазішвілі Ю. М., Любіч О. О. Системне моделювання соціально-економічного розвитку. *Банківська справа*. 2006. № 3. С. 46–65.
24. Харазішвілі Ю. М. Тіньова зайнятість та тіньова оплата праці в Україні: оцінки та прогнози. *Стратегія розвитку України (економіка, соціологія, право)*. Київ : НАУ, 2011. № 4. Т. 1. С. 171–182.

25. Харазішвілі Ю. М. Світло та тінь економіки України: резерви зростання та модернізації. *Економіка України*. 2017. № 4(665). С. 22–45.
26. Kharazishvili Yu., et al. Strategizing for sustainable development of transport systems in the safety dimension. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ.* (2021). SCL915 01 2025.
27. Kharazishvili, Yu., Grishnova, O., & Kamińska, B. Standards of living in Ukraine, Georgia, and Poland: identification and strategic planning. *Virtual Economics*. 2019. No. 2(2), pp. 7–36. DOI: [https://doi.org/10.34021/ve.2019.02.02\(1\)](https://doi.org/10.34021/ve.2019.02.02(1))
28. Визначення рівня енергетичної безпеки України : аналіт. доп. / [Суходоля О. М., Харазішвілі Ю. М., Бобро Д. Г., Рябцев Г. Л., Завгородня С. П.] ; за заг. ред. О. М. Суходолі. Київ : НІСД, 2021. 71 с. DOI: <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.02>
29. Суходоля О. М. Стратегічне управління в енергетичній сфері: проблеми та пріоритети удосконалення. *Стратегічна пріоритети*. 2015. № 1. С. 104–112.
30. Про затвердження Методичних рекомендацій щодо розрахунку рівня економічної безпеки України : Указ Президента України від 29.10.2013 № 1277. URL: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/ME131588.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/ME131588.html)
31. Качинський А. Б. Індикатори національної безпеки: визначення та застосування їх граничних значень : монографія. Київ : НІСД, 2013. 104 с.
32. НЕК «Укрнерго». Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей. Київ, 2018. URL: [https://ua.energy/wp-content/uploads/2019/04/ZvitAdekvatnostiGenPotuzhnostej\\_31\\_03\\_2019.pdf](https://ua.energy/wp-content/uploads/2019/04/ZvitAdekvatnostiGenPotuzhnostej_31_03_2019.pdf)
33. Штучний інтелект в енергетиці : аналіт. доп. / О. М. Суходоля. Київ : НІСД, 2022. 49 с. DOI: <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.09>
34. Energy Technology Perspectives. 2020. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>
35. Новітні енергетичні технології та їх вплив на функціонування систем енергопостачання : аналіт. доп. / О. М. Суходоля. Київ : НІСД, 2022. 36 с. DOI: <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.17>
36. Innovation. Landscape for a renewable-powered future: solutions to integrate variable renewables. IRENA. 2019. 164 p. URL: <http://surl.li/hopgq>
37. Бобро Є. А. Аналіз впливу децентралізації генерації електричної енергії на енергетичну безпеку держави. *Вчені записки Університету «КРОК». Сер. «Економіка»*. 2017. Вип. 47. С. 4–11.

38. Бобров Є. А. Вплив цифрових технологій в секторах попиту та пропозиції енергії. *Вчені записки Університету «КРОК». Сер. «Економіка»*. 2018. № 4(52). С. 222–230.
39. Lyulyov O., Vakulenko I., Pimonenko T., Kwilinski A., Dzwigol H., Dzwigol-Barosz M. Comprehensive Assessment of Smart Grids: Is there a Universal Approach? *Energies*. 2021. No. 14(12). P. 3497. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14123497>
40. Прокіп А. В. Сталість енергетичної безпеки. Теоретико-методологічні засади досягнення. Київ : ВД «Києво-Могилянська академія», 2018. 390 с.
41. The Power of Change: Innovation for Development and Deployment of Increasingly Clean Electric Power Technologies. Washington, DC : The National Academies Press, 2016. 340 p. DOI: <https://doi.org/10.17226/21712>
42. Суходоля О. М. Геополітичні та економічні пріоритети забезпечення енергетичної безпеки України. *Стратегічна панорама*. 2017. № 1. С. 42–52.
43. ISO 31000. Risk management. URL: <https://www.iso.org/iso-31000-risk-management.html>
44. Risk assessment methodologies for critical infrastructure protection. Part II: A new approach. URL: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC96623/lbna27332enn.pdf>
45. UK Cabinet Office. National Risk Register of Civil Emergencies. 2015. URL: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/419549/20150331\\_2015-NRR-WA\\_Final.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/419549/20150331_2015-NRR-WA_Final.pdf)
46. Оцінювання загроз енергетичній безпеці : аналіт. доп. / [О. М. Суходоля, Г. Л. Рябцев, Ю. М. Харазішвілі, Д. Г. Бобро, С. П. Завгородня]; за ред. О. М. Суходолі. Київ : НІСД, 2022. 63 с. DOI: <https://doi.org/10.53679/NISSanalytrep.2022.11>
47. Суходоля О. М., Рябцев Г. Л., Харазішвілі Ю. М. Методологія оцінювання впливу загроз на рівень енергетичної безпеки. *Вісник економічної науки України*. 2022. № 2(41). С. 3–16. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.2\(41\)](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.2(41))
48. Kharazishvili Yu., Sukhodolia O., Riabtsev G. Sustainable Development of Energy Systems in the Security Dimension: The Methodology of Adaptive Response to Threat. 2023. [Manuscript in preparation].
49. Лір В. Е. Імперативи та детермінанти енергетичної політики сталого розвитку : монографія / НАН України, ДУ «Ін-т екон. та прогнозув. НАН України». Київ, 2018. 488 с.
50. Суходоля О. М. Законодавче забезпечення та механізми управління у сфері енергетичної безпеки України. *Стратегічні пріоритети*. 2019. № 2. С. 13–26.

### Параметри індикаторів визначення рівня енергетичної безпеки України станом на 2020 рік

Індикатор (I)	Тип	Розмірність	Нижче критич.	Нижній поріг	Нижнє оптим.	Верхнє оптим.	Верхній поріг	Верхнє критич.	Цільове знач.	Факт. знач., 2020
<b>Рівень енергетичної безпеки України (інтегральний індикатор)</b>		<b>Нормоване</b>	<b>0,1600</b>	<b>0,3423</b>	<b>0,5085</b>	<b>0,6805</b>	<b>0,8097</b>	<b>0,9239</b>	<b>0,5945</b>	<b>0,3448</b>
<b>1. Ресурсна достатність</b>		<b>Нормоване</b>	<b>0,0778</b>	<b>0,2537</b>	<b>0,3853</b>	<b>0,5261</b>	<b>0,6451</b>	<b>0,8826</b>	<b>0,4557</b>	<b>0,2936</b>
1. Задоволення потреб власними ПЕР	S	% спожив.	58,6	65	80	94	100	116	87	62,1
2. Вартість імпорту енергетичних ресурсів	D	% ВВП	20	15	10	5	0,5	0,1	7,5	5,13
<i>Частка ресурсу в енергетичному балансі:</i>										
3. нафта та нафтопродукти	D	%	24	15	10,2	6,4	3,63	2	8,3	14,9
4. природний газ	D	%	32	27,6	25,2	21,65	19,73	16,5	23,425	27,5
5. вугілля	D	%	36,5	30	25,4	19,3	16,2	11,5	22,35	26,87
6. ядерна й термоядерна енергія	S	%	3,8	5,1	13,2	21,7	32,2	48,5	17,45	24,3
7. гідроенергетика	S	%	0,5	0,8	0,9	1	1,2	16,8	0,95	0,62
8. сонячна і вітрова енергетика	S	%	0,65	3,2	6,8	13	19,7	30,5	9,9	0,88
9. біоенергетика	S	%	0,2	3,2	4,12	5,45	7	9,5	4,785	3,95

Продовження дод. 1

Індикатор (I)	Тип	Розмірність	Нижнє критич.	Нижній поріг	Нижнє оптим.	Верхнє оптим.	Верхній поріг	Верхнє критич.	Цільове знач.	Факт. знач., 2020
<b>II. Економічна доступність джерел енергії та енергетичних ресурсів</b>		<b>Нормоване</b>	<b>0,1280</b>	<b>0,2877</b>	<b>0,4422</b>	<b>0,6650</b>	<b>0,8299</b>	<b>0,9252</b>	<b>0,5536</b>	<b>0,3501</b>
10. Вартість спожитих енергоресурсів для держави	D	% ВВП	45	35	30	20	15	10	25	29,6
11. Річне споживання електроенергії в розрахунку на одну особу	S	MВт·год	1,15	2,3	5	9,5	14,2	16,3	7,25	3
12. Річне енергоспоживання в розрахунку на одну особу	S	т н. е.	1,56	2,2	3,56	5,83	8,2	9,3	4,695	1,92
13. Частка сукупного доходу домогосподарства, витрачена на оплату житлово-комунальних послуг	D	%	40	20	10	7	5	2	8,5	11,44
14. Якість постачання первинних ресурсів, палива та енергії	S	% (експ. оцінка)	50	60	70	90	95	100	80	72
<b>III. Економічна ефективність функціонування енергетичного сектору</b>		<b>Нормоване</b>	<b>0,2455</b>	<b>0,3555</b>	<b>0,4846</b>	<b>0,6675</b>	<b>0,8652</b>	<b>0,9683</b>	<b>0,5776</b>	<b>0,2839</b>
15. Валовий внутрішній продукт у розрахунку на одну особу	S	тис. дол. США/ос.	10,7	15	25	45	80	95	35,0	3,73
16. Рівень інвестування підприємств ПЕК	S	% вип. ПЕК	9	13,7	14,5	16	18,6	20	15,3	12,44

Продовження дод. 1

Індикатор (I)	Тип	Розмірність	Нижнє критич.	Нижній поріг	Нижнє оптим.	Верхнє оптим.	Верхній поріг	Верхнє критич.	Цільове знач.	Факт. знач., 2020
17. Рівень оновлення основних засобів ПЕК	S	% (експ. оцінка)	2	4	6	10	15	18,5	8,0	1,875
18. Рівень тінізації ПЕК	D	% ВДВ ПЕК	35	25	15	10	7	5	12,5	33,21
19. Рівень оплати праці в ПЕК	S	частка випуску ПЕК	0,17	0,2	0,26	0,32	0,35	0,382	0,3	0,2087
20. Концентрація енергетичних ринків за індексом Герфіндала – Гршмана	D	індекс (за постач.)	3050	2700	1900	895	365	165	1397,5	2950,0
<b>IV. Енергетична ефективність використання енергетичних ресурсів</b>		<b>Нормоване</b>	<b>0,1484</b>	<b>0,3489</b>	<b>0,5246</b>	<b>0,6928</b>	<b>0,8098</b>	<b>0,8725</b>	<b>0,6087</b>	<b>0,3977</b>
21. Енергоємність валового внутрішнього продукту	D	Т н.е./1000 дол. США	0,31	0,27	0,19	0,1	0,05	0,02	0,145	0,2437
22. Рівень тінювого споживання ПЕР	D	% ВВП	10	8	5	3	2	1	4	7,72857
23. Рівень загальних втрат енергетичних ресурсів (баланс)	D	% заг. постач.	8,5	6	4	3	2	1,5	3,5	4,2528
24. Частка енергетики у валовому внутрішньому продукті	D	частка ВДВ ПЕК у ВВП	12	10	8	5	4	3	6,5	7,8531
25. Рівень споживання на енергетичні потреби	D	% заг. постач.	55	45	35	25	15	10	30	43,84483
26. Рівень втрат у мережах теплопостачання	D	% обсягу передачі	25	20	15	10	5	3	12,5	22,8

Продовження дод. 1

Індикатор (I)	Тип	Розмірність	Нижче критич.	Нижній поріг	Нижче оптим.	Верхнє оптим.	Верхній поріг	Верхнє критич.	Цільове знач.	Факт. знач., 2020
27. Рівень втрат у електромережах		% обсягу передачі	20	15	11	7	4	3	9	11,34
<b>V. Екологічна прийнятність впливу енергетики на довкілля</b>		<b>Нормоване</b>	<b>0,1037</b>	<b>0,2774</b>	<b>0,4505</b>	<b>0,6314</b>	<b>0,7649</b>	<b>0,8945</b>	<b>0,5409</b>	<b>0,2952</b>
28. Рівень викидів CO <sub>2</sub> на TPES	D	t CO <sub>2</sub> / т. е.	3	2,15	1,8	1,38	0,91	0,3	1,59	1,87
29. Рівень викидів CO <sub>2</sub> на одиницю ВВП	D	кг/дол. США	0,96	0,82	0,51	0,32	0,2	0,1	0,415	1,8
30. Кінцева вуглецеємність енергії	D	г CO <sub>2</sub> /МДж	100	90	80	60	47	31	70	84,4
31. Рівень викидів CO <sub>2</sub> від електро- та теплогенеруючих установок	D	% заг. викидів CO <sub>2</sub>	65	60	40	20	10	7	30	54,33
32. Рівень ВДЕ у енергетичному балансі	S	% кінц. спожив.	1	10	20	30	40	50	25	10,1
<b>VI. Стійкість функціонування енергетичного сектору</b>		<b>Нормоване</b>	<b>0,1817</b>	<b>0,3886</b>	<b>0,6173</b>	<b>0,7834</b>	<b>0,8808</b>	<b>0,9435</b>	<b>0,7004</b>	<b>0,3814</b>
33. Частка найбільшого постачальника в імпорті, за видами ПЕР	D	%	80	60	40	20	10	7	30	40
34. Рівень технологічної залежності імпорту / експорту з одного джерела (за видами енергетичних технологій)	D	% (експ. оцінка)	80	60	40	30	20	10	35	59

Продовження дод. 1

Індикатор (I)	Тип	Розмірність (експ. оцінка)	Нижче критич.	Нижній поріг	Нижче оптим.	Верхнє оптим.	Верхній поріг	Верхнє критич.	Цільове знач.	Факт. знач., 2020
35. Обсяг запасів / резервів за видами ПЕР	S	місяців спожив. (експ. оцінка)	30	40	80	100	110	120	90	57
36. Індекс тривалості довгих перерв в електропостачанні на одного споживача (SA/DI)	D	хв/рік	500	350	250	150	70	50	200	666
37. Ефективність системи реагування на кризові ситуації	S	% (експ. оцінка)	40	50	70	90	95	100	80	56
<b>VII. Захищеність національних інтересів</b>		<b>Нормоване</b>	<b>0,3596</b>	<b>0,5236</b>	<b>0,6662</b>	<b>0,7909</b>	<b>0,8719</b>	<b>0,9868</b>	<b>0,7285</b>	<b>0,4392</b>
<b>Інституційно-організаційне забезпечення:</b>		<b>Нормоване</b>	<b>0,4196</b>	<b>0,5697</b>	<b>0,6647</b>	<b>0,7957</b>	<b>0,8517</b>	<b>0,9864</b>	<b>0,7302</b>	<b>0,6066</b>
38. виробничі процеси та інфраструктура	S	% (експ. оцінка)	16	37	52	75	85	100	63,5	40
30. управлінські процеси та інфраструктура	S	% (експ. оцінка)	50	61	69	81	86	94	75	64
40. допоміжні та сервісні процеси й інфраструктура	S	% (експ. оцінка)	70	78	84	92	96	100	88	84,08
41. процеси та інфраструктура з підтримання об'єктів на всіх етапах життєвого циклу	S	% (експ. оцінка)	53	61	67	76	80	100	71,5	66
42. інформаційно-комунікаційні процеси та інфраструктура	S	% (експ. оцінка)	47	56	63	72	76	100	67,5	62



Закінчення дод. 1

Індикатор (I)	Тип	Розмірність	Нижнє критич.	Нижній поріг	Нижнє оптим.	Верхнє оптим.	Верхній поріг	Верхнє критич.	Цільове знач.	Факт. знач., 2020
<b>Якість реалізації політики:</b>		<b>Нормоване</b>	<b>0,3136</b>	<b>0,4859</b>	<b>0,6675</b>	<b>0,7866</b>	<b>0,8902</b>	<b>0,9873</b>	<b>0,7271</b>	<b>0,3601</b>
43. прогнозованість і послідовність політики	S	% (експ. оцінка)	40	50	60	80	90	100	70	50
44. рівень залученості до енергетичних ринків ЄС	S	% (експ. оцінка)	10	20	50	60	80	100	55	37
45. рівень тінювального навантаження капіталу в ПЕК (видобувна промисловість, виробництво електроенергії, постачання газу і води)	D	% (експ. оцінка)	30	17	10	7	5	3,5	8,5	19,91
46. якість управління	S	% (експ. оцінка)	50	70	80	90	95	100	85	30
47. якість кадрів (технічних та управлінських)	S	% (експ. оцінка)	50	60	70	80	90	100	75	38
48. відповідність цілей державної політики завданням, що постають перед системою	S	% (експ. оцінка)	60	70	80	90	95	100	85	26

Примітка: S – стимулятор; D – дестимулятор.

Джерело: складено авторами.

## Додаток 2

### Зміни моделей організації взаємодії у системах енергозабезпечення

Використання новітніх технологій спричинило зміни в організації функціонування систем енергозабезпечення – децентралізацію виробництва, розподілення енергії та електрифікацію різноманітних технологічних процесів.

Завдяки тенденціям технологічного розвитку й трансформації моделей організації роботи енергетичних ринків технології можуть підтримувати функціонування систем енергозабезпечення, забезпечуючи проведення кращого моніторингу, упровадження досконаліших системних операцій та контролю в режимі реального часу, нових моделей енергетичних ринків та бізнес-моделей тощо (табл.) [33]<sup>27</sup>.

**Таблиця. Технологічний розвиток і трансформація  
моделей організації роботи енергетичних ринків**

Новітні технології	Бізнес-моделі	Дизайн ринку	Особливості роботи системного оператора
Перетворення відновлюваної енергії на інші форми енергії: у тепло ( <i>power-to-heat</i> ) та газ ( <i>power-to-hydrogen / methane</i> <sup>28</sup> )	Агрегатори <sup>29</sup> , наприклад віртуальні електростанції ( <i>Virtual power plants, VPPs</i> )	Скорочення періодичності фіксації значень ( <i>time granularity</i> ) даних щодо трансакцій на ринку (деталізація даних у часі) <sup>30</sup>	Майбутня роль оператора системи розподілу
Перетворення відновлюваної енергії	Пірингова торгівля ( <i>peer-to-peer, P2P</i> )	Збільшення деталізації даних у просторі ( <i>space</i> )	Співпраця між операторами

<sup>27</sup> Innovation landscape for a renewable-powered future: solutions to integrate variable renewables. IRENA. 2019. 164 p. URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA\\_Innovation\\_Landscape\\_2019\\_report.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Innovation_Landscape_2019_report.pdf)

<sup>28</sup> Your natural choice for hydrogen. URL: <https://www.iea.org/reports/hydrogen>

<sup>29</sup> Посередники між малими гравцями й ринком, які дозволяють споживачам продавати свої керовані навантаження та електроенергію, яку вони генерують та/або накопичують у засобах накопичення.

<sup>30</sup> Ціни змінюються у часі (коливання добові, тижневі, сезонні, тривалі), що частіше здійснюють вимірювання значень, то точніше можна вираховувати вартість об'ємів передачі енергії й точність розрахунків.

Продовження табл.

Новітні технології	Бізнес-моделі	Дизайн ринку	Особливості роботи системного оператора
на «накопичену енергію» ( <i>power-to-power</i> ) для зміщення поточного профіциту енергії у період дефіциту енергії <sup>31</sup>		<i>granularity</i> ) щодо трансакцій на ринку <sup>32</sup>	систем передачі та розподілу
Акумуляторні батареї <sup>33</sup> на боці споживача (за лічильником)	Енергія як послуга ( <i>Energy-as-a-service, EaaS</i> )	Інноваційні рішення ринку допоміжних послуг	Віртуальні повітряні лінії
Акумуляторні батареї промислового рівня	Моделі оплати у міру використання ( <i>Pay-as-you-go, PAYG</i> )	Переформатування ринку потужності	Удосконалене прогнозування генерації ВДЕ
«Розумні» зарядки електромобіля	Моделі власності громад (енергетичні кооперативи)	Ринкова інтеграція децентралізованих енергетичних систем ( <i>distributed energy resources</i> )	Інноваційна робота гідроакуюлюючих насосних станцій
Розумне обладнання ( <i>Internet of Things</i> )		Регіональні / локальні ринки	Зміна пропускнуої спроможності ліній ( <i>Dynamic line rating, DLR</i> )
Штучний інтелект та великі бази даних ( <i>Artificial intelligence and Big Data</i> <sup>34</sup> )		Чистий розрахунок ( <i>Net billing schemes</i> )	Віртуальні лінії передач ( <i>Virtual power lines, VPLs</i> )
Блокчейн ( <i>Blockchain</i> )		Багатозонні тарифи ( <i>Time-of-use tariffs</i> )	

<sup>31</sup> Наприклад: технології скрапленого газу, кінетичні акумулятори (гідро- й механічні).

<sup>32</sup> Ціни змінюються залежно від місця виробництва / постачання (об'єми контрактів, об'єми ринків, відстань транспортування, спроможність мереж), що більше / детальніше охоплення за географічним розміщенням та кількістю трансакцій, то точніше можна вирахувати вартість об'ємів передачі енергії.

<sup>33</sup> Energy Storage / IEA. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-storage>

<sup>34</sup> Системи штучного інтелекту можуть змінювати власну поведінку без явного програмування. Вони роблять це, збираючи та аналізуючи великі набори даних. Інтелектуальні інструменти допомагають керувати складними енергосистемами, отримуючи для цього необхідну інформацію, обробляючи великі бази даних (див.: URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA\\_AI\\_Big\\_Data\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_AI_Big_Data_2019.pdf)).

Закінчення табл.

Новітні технології	Бізнес-моделі	Дизайн ринку	Особливості роботи системного оператора
Мікромережі ВДЕ <sup>35</sup>			
«Розумні» мережі (Smart Grids)			

Джерело: [33]

Водночас нові моделі організації взаємовідносин між учасниками процесу енергозабезпечення та нові моделі організації взаєморозрахунків потребують готовності не тільки всієї сукупності технологічних елементів системи енергопостачання (наприклад, оснащення споживачів чи вузлів розподілу інтелектуальними лічильниками), а й готовності споживачів до використання нових можливостей.

Суб'єкти, долучені до функціонування енергосистем та постачання енергії, повинні володіти необхідним рівнем знань і навичок для впровадження нових технологій, моделей роботи енергетичних ринків, бізнес-моделей тощо.

Усвідомлюючи складності процесу впровадження нових технологій у повсякденну практику користувачів інфраструктурних систем, наявні перешкоди й потенційно тривалі терміни їх упровадження, зробимо спробу сформулювати зміст понять, що пов'язані з роботою нових технологій, і принципи роботи цих технологій.

**Blockchain**<sup>36</sup> (блокчейн). Загалом блокчейн є децентралізованим (розподіленим) публічним (відкритим) цифровим реєстром, який записує будь-які транзакції цінностей – гроші, товари, майно, роботу, голоси тощо. Це також взаємопов'язаний список записів, що постійно розширюється, які надійно зберігаються в одноранговій мережі. Ко-

<sup>35</sup> Інтегрована енергетична інфраструктура, заснована на розподіленій генерації електроенергії (вітрова, сонячна, гідроенергія), формує локальні мінімережі, потужність яких може варіюватися від кіловат (кВт) до понад 100 мегават (МВт). Хоча зазвичай такі мінімережі автономні, вони можуть підключатися до основної мережі (див.: URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA\\_Renewable\\_mini-grids\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Renewable_mini-grids_2019.pdf)).

<sup>36</sup> Building Block(chain)s or a Better Planet. URL: [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Building-Blockchains.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Building-Blockchains.pdf)

жен учасник з доступом може одночасно переглядати інформацію без жодної точки збою, створюючи довіру до системи загалом.

В енергетиці блокчейн – це базові цифрові платформи, завдяки яким будуються автоматичні, децентралізовані програми обліку<sup>37</sup>.

Технологія *blockchain* дає можливість реалізувати «розумні» контракти (*Smart Contracts*), що виконуються автоматично за встановленим алгоритмом, які можна використовувати для фіксації операцій купівлі – продажу енергії багатьох учасників без посередника для кращого керування енергосистемами та інтеграції більшої частки ВДЕ.

**Demand Side Management**<sup>38</sup> (регулювання попиту) – послуга, її можна використовувати різним способом. Найчастіше цю послугу продають як гарантію стабільності графіка споживання. Її надають великі промислові компанії, які компенсують фактичну нерівномірність графіка регулюванням обладнання. Також послугу управління попитом пропонують постачальники енергії завдяки використанню механізмів (цінових стимулів) оптових ринків і ринків потужності, що застосовуються до споживачів, примушуючи їх змінювати обсяги споживання. Розширення використання механізмів регулювання попиту можна досягти у спосіб заохочення нових бізнес-моделей, котрі формуються завдяки уведенню цифрових технологій та встановленню стандартів керованості «розумного» обладнання й приладів.

**Distributed Energy Resources (DER)**<sup>39</sup> (розподілені енергетичні ресурси) – невеликі або середні за обсягом (об'ємом) ресурси, які потенційно можуть надавати послуги енергосистемі, безпосередньо підключені до місцевої розподільчої мережі або до мереж кінцевого споживача. *DER* складаються з розподіленої генерації (ВДЕ), накопичувачів енергії в кінцевого споживача (акумулятори за лічильником) і послуги регулювання навантаження (управління обсягами споживання), що реалізу-

<sup>37</sup> Increased power sector complexity requires greater intelligence transparency and automation. URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA\\_Landscape\\_Blockchain\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Landscape_Blockchain_2019.pdf)

<sup>38</sup> Digital Demand-Driven Electricity Networks Initiative – IEA. URL: <https://www.iea.org/reports/demand-response> ; <https://www.iea.org/programmes/digital-demand-driven-electricity-networks-initiative>

<sup>39</sup> Market Integration of Distributed Energy Resources. URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA\\_Market\\_integration\\_distributed\\_system\\_2019.pdf?la=en&hash=2A67D3A224F1443D529935DF471D5EA1E23C774A](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Market_integration_distributed_system_2019.pdf?la=en&hash=2A67D3A224F1443D529935DF471D5EA1E23C774A)

ється реагуванням режимів роботи «розумного» обладнання, побутової техніки, використанням електромобілів (ЕМ) з «розумною» зарядкою, систем опалення (теплові насоси, електричні котли, увімкнені за допомогою «розумних» лічильників та сервісів передачі даних) тощо.

**Dynamic line rating (DLR)**<sup>40</sup> (динамічний рейтинг ліній електропередач) – визначає фактичну (а не передбачувану) пропускну спроможність ліній передач з урахуванням реальних погодних умов (температура довкілля, сонячне опромінення, швидкість та напрям вітру, вологість тощо) у поєднанні з моніторингом стану ліній у реальному часі. Технологія *DLR* зменшує перевантаження на лініях електропередач, оптимізує використання активів, підвищує ефективність і знижує витрати. Оператор мережі аналізує *DLR* постійно в режимі реального часу з метою мінімізації перевантажень у мережі<sup>41</sup>.

**Energy-as-a-service (EaaS)**<sup>42</sup> (енергія як послуга) – бізнес-модель, за якої клієнти платять за енергетичні послуги без необхідності робити будь-які авансові капіталовкладення. Моделі *EaaS* зазвичай мають форму підписки на електричні пристрої, що належать сервісній компанії, або управління використанням енергії для надання бажаної енергетичної послуги.

**Energy Storage**<sup>43</sup> (накопичувачі енергії, акумуляторні батареї) – технології, що можуть накопичувати надлишок енергії у мережі виробника в один момент часу та повертати її в мережу споживача – в інший. Технології допомагають вирівнювати графік навантаження системи та створювати кращі умови інтеграції ВДЕ в систему.

Сьогодні промислові стаціонарні батареї великої ємності використовуються великими підприємствами та розподільчими мережами для балансування попиту й пропозиції енергії. Батареї (у приміщеннях /

<sup>40</sup> Dynamic Line Rating. URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA\\_Dynamic\\_line\\_rating\\_2020.pdf?la=en&hash=A8129CE4C516895E7749FD495C32C8B818112D7C](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Dynamic_line_rating_2020.pdf?la=en&hash=A8129CE4C516895E7749FD495C32C8B818112D7C)

<sup>41</sup> Динамический рейтинг линии: расширение пропускной способности сетей. URL: <https://leg.co.ua/stati/dinamicheskij-reyting-linii-rasshirenje-propusknoy-sposobnosti-setey.html>

<sup>42</sup> Energy-as-a-Service: A Business Model for Expanding Deployment of Low-Carbon Technologies. URL: <https://www.rff.org/publications/issue-briefs/energy-service-business-model-expanding-deployment-low-carbon-technologies/>

<sup>43</sup> Energy storage system for PV – Battery manufacturer's outlet. URL: <https://www.irena.org/costs/Power-Generation-Costs/Energy-Storage>

на території споживача) підключаються за лічильником промислових або побутових споживачів, насамперед з метою економії коштів клієнтів та зменшення їхніх рахунків за електроенергію.

**Internet of Things (IoT)**<sup>44</sup> (розумне обладнання) – «розумні» пристрої, які відстежують, передають та інтерпретують інформацію з оточення в режимі реального часу. Інтернет речей дає змогу збирати значущі дані та оптимізувати систему, уможливує створення «розумних» мереж (*Smart Grids*), оскільки поліпшує видимість енергосистем, що стають дедалі складнішими, більше децентралізованими та підвищують швидкість реагування на зміну режимів роботи пристроїв, підключених до мережі.

**Net billing schemes**<sup>45</sup> (чистий розрахунок) – система ціноутворення, спосіб стягнення плати, а також компенсації споживачам на основі фактичної ринкової вартості електроенергії, яка балансує те, що вони споживають, і те, що вони вливають у мережу.

**Pay-as-you-go (PAYG)**<sup>46</sup> (модель оплати в міру використання) – хмарна модель оплати спожитої енергії, яка нараховує плату залежно від використання ресурсів, тобто коли обчислюються тільки фактично необхідні ресурси. Така модель позбавляє клієнтів на ринках від тягара повного відшкодування вартості інвестицій у генеруючі потужності наперед. Натомість право власності на енергогенеруюче обладнання (для освітлення чи приготування їжі) передається споживачеві з часом, за узгодженим планом періодичних фіксованих платежів.

**Peer-to-Peer trading (P2P)**<sup>47</sup> (пірингова торгівля) – модель онлайн-торгівлі, де споживачі можуть торгувати електроенергією між

---

<sup>44</sup> Smart devices monitor, communicate and interpret information from their surroundings in real time. The resulting Internet of Things (IoT) enables meaningful data gathering and system optimisation. URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA\\_Internet\\_of\\_Things\\_2019](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Internet_of_Things_2019)

<sup>45</sup> Net Billing Schemes. Incentivise prosumers to better interact with the grid. URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA\\_Net\\_billing\\_2019.pdf?la=en&hash=DD239111CB0649A9A9018BAE77B9AC06B9EA0D25](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Net_billing_2019.pdf?la=en&hash=DD239111CB0649A9A9018BAE77B9AC06B9EA0D25)

<sup>46</sup> PAYG can provide affordable energy access from renewable sources to off-grid communities, using available technologies to facilitate payment by installments. URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA\\_Pay-as-you-go\\_models\\_2020.pdf?la=en&hash=7A2E7A7FF8B5BAB7748670876667628A39DE40D5](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Pay-as-you-go_models_2020.pdf?la=en&hash=7A2E7A7FF8B5BAB7748670876667628A39DE40D5)

<sup>47</sup> Malaysia's 1st Pilot Run of Peer-to-Peer (P2P) Energy Trading. URL: [https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA\\_Peer-to-peer\\_trading\\_2020.pdf](https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Peer-to-peer_trading_2020.pdf)

собою без посередників за узгодженою ціною. Завдяки цій моделі споживачі-просьюмери можуть ділитися надлишками наявної / виробленої ними енергії з іншими споживачами в межах децентралізованої мережі, до якої вони належать, іще більше заохочуючи споживання й розгортання розподіленої відновлюваної генерації.

**Smart Grids** («розумні» мережі)<sup>48</sup> – це електричні мережі, що використовують цифрові та інші передові технології для моніторингу й керування постачанням електроенергії з усіх джерел для задоволення різноманітних потреб кінцевих споживачів електроенергії. «Розумні» мережі координують потреби та можливості всіх виробників електроенергії, операторів мереж, кінцевих користувачів та зацікавлених сторін ринку електроенергії, щоб забезпечити якомога ефективнішу роботу всіх складових частин системи, мінімізуючи витрати в мережі та вплив на навколишнє середовище, максимізуючи надійність, стійкість і стабільність системи.

**Time-of-use tariffs** (багатозонні тарифи)<sup>49</sup> – система тарифів, що змінюються в часі (в українській термінології – зонні тарифи), стимулюють коригування навантаження, чи то ручне, чи то автоматичне. Така система тарифів дає можливість клієнтам заощадити на витратах на енергію та одночасно приносить користь системі.

**Virtual power lines (VPLs)**<sup>50</sup> (віртуальні лінії передачі) – забезпечують широкомасштабну інтеграцію сонячної та вітрової енергії без перевантаження мережі або перерозподілу, дозволяють уникнути великих інвестицій у розвиток мереж через приєднання ВДЕ. VPL складаються із систем накопичення енергії місцевої постачальної компанії, підключених до мережі в двох основних точках: одна – на боці пропозиції, що зберігає надлишки генерації з відновлюваних джерел, які не могли бути передані через перевантаження мережі; інша – на боці попиту, заряджається, коли дозволяє потужність мережі, а потім розряджається, коли це необхідно.

<sup>48</sup> Smart Grids. Infrastructure deep dive. Tracking report. September 2022. URL: <https://www.iea.org/reports/smart-grids>

<sup>49</sup> Tariffs that change with time of use enable demand response. URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA\\_Innovation\\_ToU\\_tariffs\\_2019.pdf?la=en&hash=36658ADA8AA98677888DB2C184D1EE6A048C7470](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Innovation_ToU_tariffs_2019.pdf?la=en&hash=36658ADA8AA98677888DB2C184D1EE6A048C7470)

<sup>50</sup> Virtual Power Lines. Storage systems used as VPLs. URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA\\_Virtual\\_power\\_lines\\_2020.pdf?la=en&hash=C58043124D596D1CF75395066817C38B55AC1983](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Virtual_power_lines_2020.pdf?la=en&hash=C58043124D596D1CF75395066817C38B55AC1983)



**Virtual Power Plant (VPP)** (віртуальна електростанція) – хмарна розподілена електростанція, яка об'єднує потужності мережі децентралізованих, середніх енергоблоків, а також гнучких споживачів і систем зберігання електроенергії з метою збільшення її виробництва, а також продажу її чи торгівлі нею на ринку електроенергії<sup>51</sup>.

Така система децентралізованих генеруючих потужностей лише віртуально пов'язана та керується єдиною централізованою системою управління. До системи входять виробники електроенергії (наприклад, вітряні, біогазові, сонячні, гідроелектростанції або ТЕЦ), споживачі електроенергії (просьюмери), накопичувачі електроенергії (акумулятори) або установки, що працюють за принципом перетворення «енергія в X» (наприклад, електроенергія – тепло та електроенергія – газ)<sup>52</sup>.

Найбільші нинішні віртуальні електростанції вже перевищили сукупну потужність найбільших атомних електростанцій.

---

<sup>51</sup> Aggregators. Innovation Landscape Brief. URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA\\_Innovation\\_Aggregators\\_2019.PDF](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Innovation_Aggregators_2019.PDF)

<sup>52</sup> What is a Virtual Power Plant. URL: <https://www.next-kraftwerke.com/knowledge/what-is-a-virtual-power-plant>

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

### **Суходоля Олександр Михайлович**

Завідувач відділу критичної інфраструктури, енергетичної та екологічної безпеки центру безпекових досліджень Національного інституту стратегічних досліджень (Київ, Україна). У Національному інституті стратегічних досліджень працює з 2012 р.

Закінчив Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» за спеціальністю «Електропривод та автоматизація промислових установок» (1994).

Кандидат технічних наук (1998), доктор наук з державного управління (2007), професор (2015), лауреат Державної премії у галузі науки і техніки України (2018).

Наукові інтереси – енергетична безпека, національна безпека, сталий розвиток, стратегічне управління, захист критичної інфраструктури, штучний інтелект, державне управління, енергоефективність.

Автор понад 180 наукових публікацій, автор і співавтор 8 монографій.

### **Харазішвілі Юрій Михайлович**

Головний консультант відділу критичної інфраструктури, енергетичної та екологічної безпеки центру безпекових досліджень Національного інституту стратегічних досліджень (Київ, Україна) (2010–2014, 2019–2023); головний науковий співробітник відділу проблем регуляторної політики та розвитку підприємництва Інституту економіки промисловості НАН України (2015 – до цього часу) (Київ, Україна).

Закінчив Київський інститут інженерів цивільної авіації за спеціальністю «Математичні рахунково-вирішальні прилади та пристрої» (1969).

Кандидат технічних наук (1976), старший науковий співробітник (2009), доктор економічних наук (2010), старший науковий співробітник, нагороджений відзнакою НАН України «За професійні досягнення».

Наукові інтереси – моделювання та прогнозування, економічна безпека, соціальна безпека, національна безпека, сталий розвиток, інноваційність економіки, тіньова економіка, штучний інтелект.

Автор понад 210 наукових публікацій, автор та співавтор 13 монографій.

### **Рябцев Геннадій Леонідович**

Головний консультант відділу критичної інфраструктури, енергетичної та екологічної безпеки центру безпекових досліджень Національного інституту стратегічних досліджень (Київ, Україна); професор Києво-Могилянської школи врядування імені Андрія Мелешевича (Київ, Україна).

Закінчив Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» (1994), Національну академію державного управління при Президентові України (2006).

Кандидат технічних наук (1997), доктор наук з державного управління (2014), професор (2015).

Наукові інтереси стосуються аналізу політики та стратегічного планування. Теоретичні й практичні наукові розвідки на стику державного управління, економіки та енергетики сфокусовано на виробленні державної політики, забезпеченні енергетичної безпеки, дослідженні енергетичних ринків.

Автор і співавтор 7 монографій, 5 підручників, 11 посібників і довідників, 43 патентів України.

Наукове видання

Олександр Михайлович СУХОДОЛЯ  
Юрій Михайлович ХАРАЗІШВІЛІ  
Геннадій Леонідович РЯБЦЕВ

ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА УКРАЇНИ:  
ПЕРСПЕКТИВНА МОДЕЛЬ  
УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ

Монографія

За редакцією *О. М. Суходолі*

Відповідальна за випуск *Т. В. Джига*

Редактор *Т. В. Карбовнича*  
Коректор *Т. В. Карбовнича*  
Верстальник *Л. В. Сердюк*

Формат 60x90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Обсяг 9,98 ум. друк. арк. Наклад 150 пр.

Видання підготовлено до друку  
в Національному інституті стратегічних досліджень  
вул. Пирогова, 7-а, м. Київ, 01030  
Тел./факс: (044) 234-50-07  
e-mail: [info-niss@niss.gov.ua](mailto:info-niss@niss.gov.ua)  
<http://www.niss.gov.ua>

Надруковано

**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>

ISBN 978-966-554-361-9

У монографії висвітлено методологічні засади формування системи управління ризиками енергетичної безпеки, що допоможе формалізувати процеси визначення поточного рівня енергетичної безпеки, цілепокладання й стратегування в цій сфері, а також оцінити вплив загроз на енергетичну безпеку України. Розроблено багатофакторну модель енергетичної безпеки, обґрунтовано та формалізовано набір індикаторів енергетичної безпеки, визначено їх цільові та порогові значення. За результатами моделювання розраховано динаміку індикаторів енергетичної безпеки в 2000–2022 рр., проведено оцінку впливу загроз на цю безпеку, розраховано динаміку адаптації системи до впливу актуальних загроз. Те, що математична модель оцінювання енергетичної безпеки та управління ризиками спирається на документи стратегічного характеру, які визначають цілі реалізації енергетичної політики країни, дозволяє використовувати її як інструмент наукового обґрунтування та оцінювання ефективності управлінських рішень.

Для експертів, науковців, фахівців у галузях енергетики, економіки, національної безпеки, суб'єктів владних повноважень, суб'єктів енергетичних ринків, представників громадських організацій, а також усіх, хто цікавиться проблематикою енергетичної безпеки. Дослідження стане в пригоді під час вироблення енергетичної політики, стратегічного планування у сфері енергетичної безпеки, обґрунтованого добору інструментів політики, спрямованих на реалізацію національних інтересів України.