

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ РИЗИКАМИ НА ПРИКЛАДІ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ЖИВЛЕННЯ

Отримано 22 лист. 2025 р.; рекомендовано до публікації 23 бер. 2026 р.
Доступно онлайн 31 бер. 2026 р.

Цопа В. А.¹, Яворська О. О.², Луценко І. М.³,
Чеберячко С. І.⁴, Туровська Г. І.⁵

Автор для кореспонденції: Туровська Галина,
e-mail: h.i.turovska@nuwm.edu.ua

¹Д-р. техн. наук
<http://orcid.org/0000-0002-4811-3712>

²Д-р. техн. наук
<https://orcid.org/0000-0001-5516-5310>

³канд. техн. наук
<https://orcid.org/0000-0001-6406-2364>

⁴Д-р. техн. наук
<https://orcid.org/0000-0003-3281-7157>

⁵канд. техн. наук
<https://orcid.org/0000-0002-1492-9123>

¹ Міжнародний інститут менеджменту,
м. Київ, Україна

^{2, 3, 4} Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка», м. Дніпро,
Україна,

⁵ Національний університет водного гос-
подарства та природокористування, м.
Рівне, Україна

Анотація. Удосконалено процес керування енергетичними ризиками в системах енергоменеджменту організацій, що дає змогу підвищити достовірність результатів розрахунку рівня ризику енерговитрат через виявлення частоти впливу та ступеня тяжкості від прояву груп небезпечних зовнішніх і внутрішніх чинників на сумарні енерговтрати. Для виявлення на основі причинно-наслідкового зв'язку рівня ризику від встановлених небезпек, загроз чи невідповідностей з урахуванням дії небезпечних чинників використано метод BOWTIE. Запропоновано одинадцятикроковий процес керування енергоризиками, який складається з двох блоків: аналізу енергоризику та поліпшення керування ним. До першого блоку належать процедури з визначення характеристик інфраструктури, параметрів обладнання електричних мереж; ідентифікації небезпек небезпечних чинників, небезпечних подій і їх наслідків; визначення та аналізу рівня енергоризику, а також його оцінювання. Другий блок охоплює розробку заходів для зниження енергоризиків, проведення аудитів процесу керування енергоризиками, аналіз результатів аудиту системи енергоменеджменту та розробку пропозицій для поліпшення керування енергоризиками. Відмінністю запропонованого процесу керування енергоризиками є необхідність побудови моделі причинно-наслідкового взаємозв'язку між різними небезпеками, що призводять до енерговтрат, небезпечними чинниками, які збільшують імовірність енерговтрат, небезпечними подіями та можливими наслідками їх настання. Модель причинно-наслідкового взаємозв'язку між небезпеками, небезпечними чинниками та небезпечною подією дає нагоду забезпечити якісні експертні оцінки щодо визначення частоти прояву небезпечного чинника та тяжкості наслідків його впливу. Наукова новизна роботи полягає у встановленні закономірності формування ризику загальних енерговитрат у системах енергоменеджменту як суми ризиків енерговтрат від кожного зовнішнього чи внутрішнього небезпечного чинника. Практична цінність роботи полягає у визначенні критеріїв прийнятності й неприйнятності рівня енергоризиків і розробці критеріїв оцінки енергоризику, яка відрізняється від відомих рівнями енергоризиків: прийнятний енергоризик – роботи здійснюються з виконанням встановлених операцій моніторингу й додаткового контролю; прийнятний енергоризик з перевіркою – роботи здійснюються з виконанням операцій контролю, перехід до наступних кроків можливий винятково після одержання позитивних результатів контролю; неприйнятний енергоризик – необхідне усунення енергонебезпеки або зниження енергоризику безпеки як мінімум до рівня ризику «прийнятний з перевіркою».

Ключові слова: ризик, енерговтрати, система управління, гібридна електростанція, сонячні панелі.

Перелік використаних позначень та скорочень:

ЕР – енергетичні ризики

СЕНМ – система енергетичного менеджменту

СГЕ – служба головного енергетика

СЕС – сонячна електростанція

УЗЕ – установки зберігання енергії

НЧ – небезпечний чинник

П – прийнятний енергоризик

ПП – прийнятний енергоризик з перевіркою

НП – неприйнятний енергоризик

Вступ. Надійне енергозабезпечення, енергонезалежність, енергетична безпека – це основа сталого розвитку будь-якої організації [1]. Від енергорезультативності системи енергоменеджменту залежить стійкість підприємств, і головне – відсутність чи незначна кількість різноманітних збоїв, аварій і катастроф, пов'язаних з неочікуваними або прогнозованими перервами. Саме тому запровадження керування енергетичними ризиками (далі енергоризики) у системах енергоменеджменту є необхідною умовою для досягнення організацією поставлених енергетичних цілей [2]. Для побудови такої системи можна скористатись стандартом ISO 50001:2018, який вказує на необхідність створення відповідних процесів планування (аналіз енергетичного використання та споживання, визначення базового рівня енергоспоживання, оцінювання енергоризиків і можливостей), впровадження (розробка та реалізація програм енергетичного менеджменту, встановлення процедур для контролю операцій, що впливають на енергоспоживання), перевірки (моніторинг і вимірювання ключових показників, проведення внутрішніх аудитів системи) та вдосконалення (коригувальні та запобіжні дії).

В основі системи енергоменеджменту лежить процес системного управління енергоспоживанням, що охоплює оцінку ризиків та можливостей для досягнення цілей енергоефективності [3, 4]. Проте існуючі процеси управління енергетичними ризиками, що застосовуються в системах енергоменеджменту (СЕНМ), характеризуються низькою достовірністю прогнозних результатів [5]. Розрахунки ризиків здебільшого ґрунтуються на експертних оцінках та досвіді залучених співробітників [6]. Часто використовуються якісні моделі, які не забезпечують чіткого визначення ймовірності настання небезпечних подій, зокрема через відсутність достатніх статистичних даних [6]. Застосування потужних математичних моделей для оцінювання енергоризиків потребує залучення висококваліфікованих фахівців, що ускладнює процес. Водночас однією з ключових умов ефективного функціонування системи енергоменеджменту є участь усіх працівників у процесі управління ризиками [7]. Це зумовлює актуальність розробки та вдосконалення процесу управління енергетичними ризиками (ЕР), який би забезпечував задану достовірність результатів [8, 9].

До речі, до вирішення поставленої задачі з підвищення ефективності функціонування системи енергоменеджменту долучалась низка фахівців. Зокрема, у роботі [10] авторами запропоновано передові практики з енергоефективності, як-от енергозбереження, енергетичний аудит, використання енергетичних показників і базових рівнів та інші. Разом з тим у роботі йдеться про неефективність деяких інструментів для досягнення поставленої мети, наприклад енергозбереження. Організації часто стикаються з такими викликами, як глобальне потепління, надмірне використання ресурсів, їх нераціональне споживання, що не піддаються управлінню існуючими шаблонами. Це призводить, на думку авторів, до постійного збільшення витрат на енергозабезпечення. Як продовження власних досліджень [11]

авторами запропоновано вдосконалений процес керування ЕР, який відрізняється від існуючого, запропонованого в ISO 31010: 2018, наявністю блоку прийняття стратегічних рішень щодо напрямів бізнесу та установ, рішень у плануванні та розробці проекту, рішень в управлінні процесами, продуктами та послугами, а також рішень у взаємодії людей з їхнім оточенням та зацікавленими сторонами. Крім того, до процесу керування ЕР додано алгоритм управління кризами та інцидентами, а також безперервність бізнесу. Разом з тим у роботі недостатньо уваги приділено сучасним інструментам для моніторингу енергоспоживання та ЕР.

В іншій роботі [12] запропоновано підхід до проведення енергоаудиту на основі процесу управління ризиками. Його особливістю є визначення енергоефективності, енергоемності, питомого енергоспоживання та інтенсивності використання енергії на прикладі очисних споруд відповідно до ISO 50001:2018 та методології PDCA («Плануй – Виконуй – Перевірй – Дій»). Розроблений підхід дає змогу кількісно визначати як постійну, так і тимчасову неефективність використання енергії. Водночас автори застосовують якісні методи для визначення явищ неефективності, що потребує уточнення зроблених висновків. Ще в одній публікації [13] запропоновано використовувати в системах енергоменеджменту статистичний критерій χ^2 для перевірки гіпотез щодо розвитку небезпечних подій. Автори зазначають, що в такий спосіб підвищують достовірність розрахунку ЕР, що потребує опрацювання значного обсягу вхідних даних про вплив небезпечних чинників на СЕНМ. Тому процес збору даних має бути постійним, а результати слід регулярно переглядати й уточнювати. Цікавий інструментарій, що дає змогу оцінити розуміння співробітниками сутності запроваджених процесів енергоменеджменту запропоновано в роботі [14]. Цікаво, що найпроблемнішим виявляється процес планування, тоді як управління ЕР показав високу валідність, що свідчить про його ефективність. Водночас автори наголошують, що висновки стосуються лише поточного стану й потребують регулярного оновлення.

У роботі [15] на основі дослідження муніципальних систем енергоменеджменту встановлено, що найбільшими викликами для керівників є організаційні, а також обмеженість ресурсів. До організаційних віднесено управління ризиками, яке потребує залучення значної кількості працівників з різним досвідом і знаннями, що вимагає рішень для врахування всіх думок і відсіювання неконструктивних. Автори підкреслюють необхідність постійного навчання персоналу та використання сучасних онлайн-платформ для систематизації та аналізу даних.

У роботі [16] запропоновано вдосконалений метод оцінювання енергоризиків на основі теорії надійності, що передбачає встановлення взаємозв'язків між джерелами енергії та поєднання різних частин обладнання. Це дає нагоду ефективно кількісно оцінювати ЕР у режимі реального часу. Запропонована стратегія враховує як

економічні, так і безпекові аспекти. Водночас залишається відкритим питання визначення зв'язку між ймовірністю відмови обладнання та вартістю збитків, що впливає на достовірність результатів.

У роботі [17] представлено комплексний підхід до оцінювання ризиків, де якісна оцінка враховує внутрішні та зовнішні впливи як елемент багатофакторного аналізу. Для оцінки запропоновано матрицю ризиків, побудовану для об'єктів енергетичної інфраструктури з урахуванням особливостей функціонування обладнання, яке є потенційно небезпечним. Оцінка здійснюється за ймовірністю відмови (п'ятибальна шкала) та ступенем тяжкості наслідків з урахуванням можливості відновлення систем. Дослідження також пропонує дві статистичні моделі для оцінки параметрів надійності до та після критичної події, що дає змогу враховувати ризики з огляду на технічний стан обладнання та екологічні аспекти для сталого управління.

У підсумку проведеного аналізу можна стверджувати, удосконалення процесу керування енергетичними ризиками в системах енергоменеджменту організацій є актуальною задачею. Її розв'язання вимагає розробки методології ідентифікації та оцінювання енергетичних ризиків з урахуванням різних небезпечних чинників, які враховують специфіку галузі, технологічні особливості та нормативні вимоги.

Мета роботи. Удосконалення процесу керування енергетичними ризиками в системах енергоменеджменту організацій з урахуванням небезпечних чинників, що дає змогу підвищити достовірність отриманих результатів.

Матеріали і методи. Найпоширенішим підходом до керування ризиками різного типу є метод BOWTIE. Його застосовують для виявлення рівня ризику від встановлених небезпек, загроз чи невідповідностей на основі причинно-наслідкового зв'язку [18, 19]. Також за його допомогою можна визначити результативність запропонованих «бар'єрів» (запобіжних чи захисних заходів) для зменшення ймовірності настання небезпечної події, а також визначення важкості наслідків після настання небезпечної події. Загалом представлений метод передбачає для визначення величини енергетичного ризику: проведення ідентифікації енергетичних небезпек для розробки їх реєстру в організації на основі дослідження джерел енергетичного ризику; вивчення механізмів розвитку небезпечної події на основі причинно-наслідкового зв'язку; встановлення величини ймовірності настання небезпечної події – за рахунок обробки статистичних даних щодо всіх невідповідностей, небезпечних подій (збоїв, поломок, відмов, що відбулись будь-де в СЕНМ організації); визначення важкості енергетичних втрат на основі розрахунку фінансових збитків; обрахунок енергоризику – будь-яким придатним методом, визначеним в IEC 31010:2019 Risk management – Risk assessment techniques.

На жаль, відома інтерпретація описаного методу не враховує вплив на ймовірність настання небезпечної події

внутрішніх і зовнішніх небезпечних чинників середовища організації, відомості про які постійно повинні збиратися для аналізу й прийняття відповідних управлінських рішень. Як наслідок – поява значних похибок при визначенні ймовірності настання небезпечної події й ступеня її тяжкості, особливо в разі застосування якісних і напівкількісних методів оцінювання ризику. Слід відзначити, що в стандарті ISO 50001:2018 ідеться про необхідність визначення впливу на рівень ризику зовнішніх і внутрішніх чинників середовища організації, однак механізм виконання цієї процедури відсутній [20]. Згідно зі стандартом IEC 31010:2019 у методі BOWTIE для визначення рівня енергоризику необхідно встановити причинно-наслідковий зв'язок: «небезпека (невідповідність – небезпечна подія – наслідки». При цьому для якісного оцінювання рівня ризику потрібно сформулювати шкали ймовірності настання небезпечної події та ступеня тяжкості.

Для збільшення достовірності визначення рівня ЕР пропонується удосконалити модель BOWTIE, в яку додається необхідність визначення взаємозв'язку між небезпекою і небезпечними чинниками, які збільшують ймовірність чи важкість наслідків настання небезпечної енергетичної події, а також запобіжні чи захисні заходи, що зменшують ймовірність настання небезпечної енергетичної події.

В основі удосконаленого методу BOWTIE лежить розрахунок величини ЕР від сукупного впливу всіх небезпечних чинників: фізичних, хімічних, кліматичних, біологічних, психофізіологічних, ергономічних, технічних, організаційних та інших – а також небезпечних дій і бездій працівників (помилки, злого умислу, професійної невідповідності тощо) в організації за формулою [21]:

$$R_{ji}^n = B_{ji}^n \times T_{ji}^n,$$

де R_{ji}^n – енергоризик небезпечної події від небезпеки – j з урахуванням небезпечних чинників – i ; B_{ji}^n – ймовірність настання небезпечної події від небезпеки – j під впливом небезпечного чинника – i ; T_{ji}^n – ступінь тяжкості наслідків від небезпечної події від небезпеки – j під впливом небезпечного чинника – i .

Процес керування енергоризиками складається з аналізу, оцінки та зниження енергоризику до прийнятного рівня за рахунок впровадження запобіжних і захисних заходів; перегляду та актуалізації карт енергоризиків; проведення аудитів процесу керування енергоризиками; поліпшення (вдосконалення) процесу керування енергоризиками. Його можна представити на основі 11 етапів (рис. 1):

1. Визначення характеристик інфраструктури, параметрів обладнання електричних мереж.
2. Ідентифікація енергонебезпек небезпечних чинників, небезпечних подій та їх наслідків.
3. Визначення та аналіз рівня ризику (встановлення частоти настання небезпечної події та ступеня тяжкості енерговтрат).

4. Оцінка енергоризику (прийнятний, неприйнятний).
5. Розробка заходів для зниження енергоризиків.
6. Документування карт керування ризиками.
7. Перегляд та актуалізація карт енергоризиків.
8. Проведення аудитів процесу керування енергоризиками.
9. Аналіз результатів аудиту системи енергоменеджменту.
10. Розробка пропозицій для поліпшення процесу керування енергоризиками.
11. Розробка заходів з поліпшення (вдосконалення) процесу керування енергоризиками.

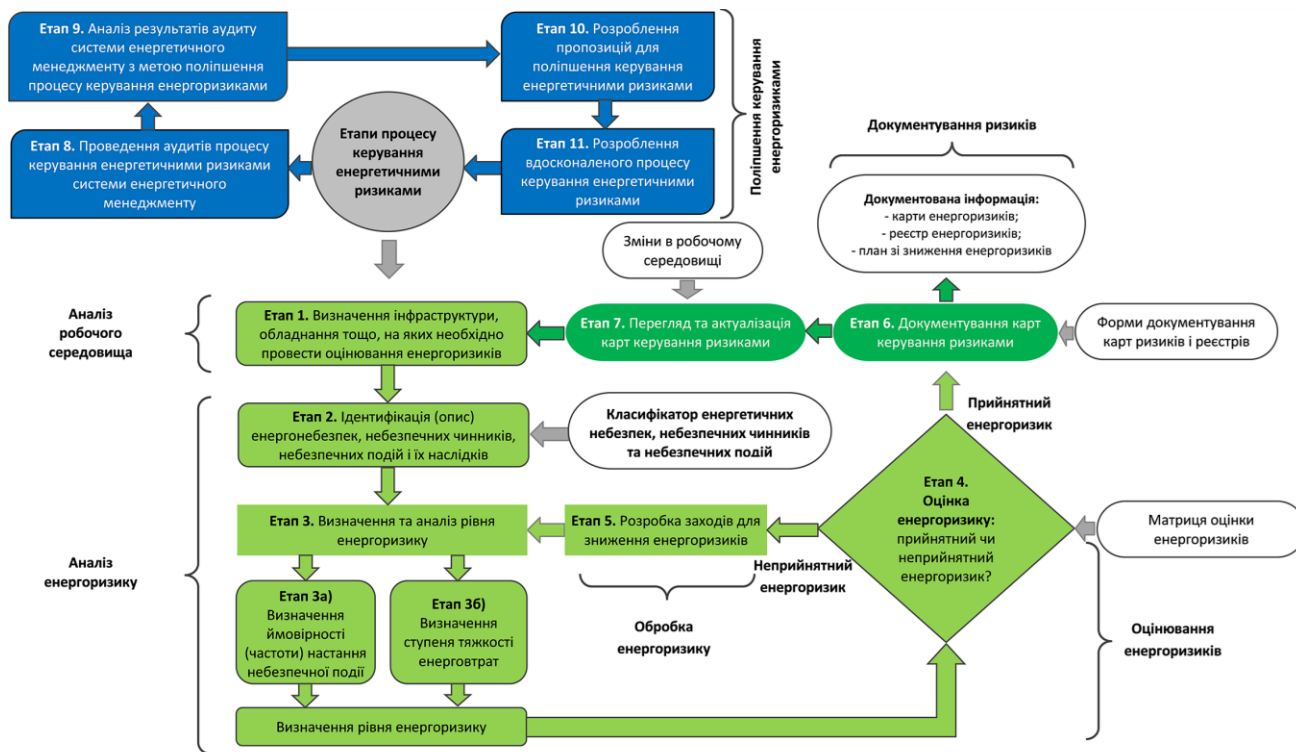


Рис. 1. Процес керування енергоризиками

Для ідентифікації енергоризиків аналізується потенційний вплив небезпечних чинників внутрішнього й зовнішнього середовища організації. Джерелами необхідної інформації для проведення оцінки енергоризиків є:

- існуючий опис системи енергопостачання та енергоспоживання організації;
- доступна інформація про внутрішнє та зовнішнє середовище організації;
- інформація про невідповідності, виявлені раніше;
- результати внутрішніх аудитів;
- результати зовнішніх аудитів (інформація від представника керівництва – відповідального за СЕнМ);
- інші дані та інформація про невідповідності у системах енергопостачання.

Результати ідентифікації енергоризиків документуються (табл. 1). Далі визначається рівень енергоризику і залежно від отриманого результату за кожним з небезпечних чинників розглянутих енергоризиків, у разі потреби потрібно встановити запобіжні та захисні заходи для керування цим енергоризиком.

Для енергоризику небезпек визначення частоти настання небезпечної події, величини рівня негативного

наслідку – енерговтрати та рівень енергоризику. Для виявлення небезпечних чинників аналізується використання, споживання і втрати енергетичних ресурсів за минулий період за підрозділом та процесом (наявність великої кількості статистичної інформації підвищує якість аналізу). Наприклад, вплив температури навколишнього середовища, вид продукції, кількість працівників тощо. Якщо виявлений небезпечний чинник, який не має достатньої кількості статистичних даних (неможливо виконати розрахунок лінійної регресії), за цим чинником потрібно провести вимірювання, щоб з'ясувати рівень впливу на ймовірність настання небезпечної події та її тяжкість втрат.

Пропонується ввести такі критерії прийнятності загального енергоризику [23]:

- прийнятний енергоризик – це коли не більше 5 % енерговтрат за рік за процесом чи обладнанням, чи за організацією в цілому;
- прийнятний енергоризик з перевіркою – це коли більше 5 %, але менше 10 % енерговтрат за рік за процесом чи обладнанням, чи за організацією в цілому;
- неприйнятний енергоризик – це коли більше 10 % енерговтрат за рік за процесом чи обладнанням, чи за організацією в цілому.

Таблиця 1. Ідентифікація енергонебезпек, НЧ, аналіз та оцінка ЕР небезпеки

№ небезпеки	Ідентифікація				Первинний аналіз – визначення рівня ЕР за кожним НЧ та загального ЕР небезпеки				Запобіжні та захисні дії щодо зниження первинного ЕР j – небезпеки від i – НЧ	Кінцевий аналіз з урахуванням дій щодо зниження ЕР j – небезпеки			Кінцева оцінка ЕР j – енергонебезпеки від i – НЧ
	Енергонебезпека	Небезпечна енергетична подія	Негативні наслідки – енергетичні втрати	Небезпечний чинник енергетичної події	Ймовірність настання небезпечної енергетичної події від НЧ - i	Ступінь тяжкості енерговтрат від настання небезпечної події від НЧ - i	Рівень ЕР від НЧ - i	Первинна оцінка ЕР небезпеки – j за кожним НЧ – i та загального ЕР небезпеки – j		Ймовірність настання небезпечної події	Ступінь тяжкості негативних наслідків небезпечної події	Залишковий рівень ЕР від НЧ – i	
j	Енергонебезпека	Небезпечна енергетична подія	Енерговтрати	НЧ 1	$В_{пj1}$	$Т_{пj1}$	$R_{пj1}$	Прийнятний або неприйнятний	Запобіжна та/або захисна дія j_1	$В_{Kj1}$	$Т_{Kj1}$	R_{Kj1}	Прийнятний / неприйнятний
				НЧ 2	$В_{пj2}$	$Т_{пj2}$	$R_{пj2}$		Запобіжна та/або захисна дія j_2	$В_{Kj2}$	$Т_{Kj2}$	R_{Kj2}	
				НЧ 3	$В_{пj3}$	$Т_{пj3}$	$R_{пj3}$		Запобіжна та/або захисна дія j_3	$В_{Kj3}$	$Т_{Kj3}$	R_{Kj3}	
				НЧ 4	$В_{пj4}$	$Т_{пj4}$	$R_{пj4}$		Запобіжна та/або захисна дія j_4	$В_{Kj4}$	$Т_{Kj4}$	R_{Kj4}	
				НЧ 5	$В_{пj5}$	$Т_{пj5}$	$R_{пj5}$		Запобіжна та/або захисна дія j_5	$В_{Kj5}$	$Т_{Kj5}$	R_{Kj5}	
				...	...	...	...		...	...	...	...	
				НЧ i	$В_{пji}$	$Т_{пji}$	$R_{пji}$		Запобіжна та/або захисна дія j_i	$В_{Kji}$	$Т_{Kji}$	R_{Kji}	
				...	...	...	...		...	...	...	...	
				НЧ n	$В_{пjn}$	$Т_{пjn}$	$R_{пjn}$		Запобіжна та/або захисна дія j_n	$В_{Kjn}$	$Т_{Kjn}$	R_{Kjn}	
				Загальний первинний ЕР від усіх НЧ		$R_{пj}=R_{пj1}+...+R_{пjn}$			Загальний кінцевий ЕР від всіх НЧ		$R_{Kj}=R_{Kj1}+...+R_{Kjn}$		

Результати дослідження. Розглянемо керування енергоризиками на прикладі гібридної системи децентралізованого живлення на базі фотоелектричної станції та Smart-системи накопичення електроенергії.

Досліджувана діюча гібридна система електрозабезпечення об'єкта являє собою дахову фотоелектричну станцію з монокристалічними модулями сумарною потужністю 135 кВт DC / 100 кВт AC у поєднанні зі смарт-системою накопичення електричної енергії ємністю 200 кВт·год. Розглянемо причинно-наслідковий взаємозв'язок між небезпекою (можливістю зупинки чи

суттєвого зменшення енергогенерації гібридної системи), настанням небезпечної події (зупинкою чи суттєвим зменшення енергогенерації гібридної системи) та наслідками – незнегерованою електроенергією фотоелектричної станції (рис. 2) [24].

У табл. 2 наведено класифікацію зовнішніх та внутрішніх небезпечних чинників, що впливають на рівень енергетичного ризику гібридної системи децентралізованого електропостачання на базі фотоелектричної станції з системою накопичення енергії.

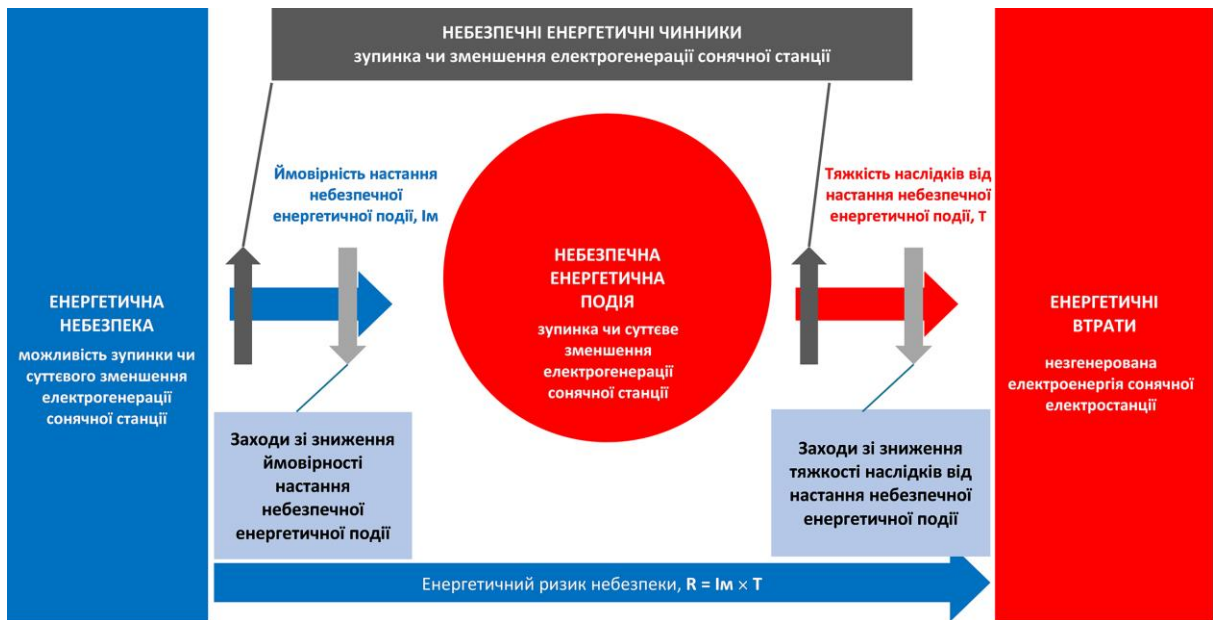


Рис. 2. Модель взаємозв'язку з безпекою (можливістю зупинки чи суттєвого зменшення енергогенерації гібридної системи) та настанням небезпечної події (зупинкою чи суттєвим зменшенням енергогенерації гібридної системи) та наслідками – незгенерованою електроенергією фотоелектричної станції

Таблиця 2. Небезпечні чинники енергетичних ризиків небезпечної події втрати електрозабезпечення споживача від системи розподіленої генерації на базі СЕС та УЗЕ

№ НЧ	Опис небезпечного чинника	Частота прояву за рік	Значення тяжкості втрат, % від річного вироблення електроенергії
Зовнішні небезпечні чинники			
НЧ ₁	Погодні умови: хмарність, дощ, сніг, туман тощо.	131	0,015
НЧ ₂	Час доби: вечір та ніч.	365	0,011
НЧ ₃	Сезонні коливання: інтенсивність сонячного випромінювання змінюється протягом року; взимку, коли дні коротші, а сонячне випромінювання менш інтенсивне, виробництво електроенергії знижується	12	0,400
НЧ ₄	Географічне розташування: кількість сонячної енергії, доступної для генерації, значно варіюється залежно від широти та клімату місцевості; так, регіони з більшою кількістю сонячних днів і вищою інсоляцією мають більший потенціал для ефективної роботи сонячних електростанцій	365	0,007
НЧ ₅	Екстремальні погодні умови: сильні вітри, град, снігопади можуть пошкодити сонячні панелі та інші елементи станції	5	0,040
НЧ ₆	Запилення та забруднення панелей: накопичення пилу, бруду, пташиного посліду на поверхні сонячних панелей знижує потрапляння сонячного світла, що значно знижує їхню ефективність	15	0,033
НЧ ₇	Затінення: затінення сонячних панелей від дерев, будівель, стовпів тощо призводить до зниження виробництва електроенергії всією системою	155	0,010
НЧ ₈	Підвищена температура повітря: ефективність фотоелектричних панелей знижується за підвищення температури. У спекотні літні дні генерація електроенергії може бути нижчою за очікувану	48	0,042
Внутрішні небезпечні чинники			
НЧ ₉	Зниження ефективності роботи сонячних панелей з часом: фотоелектричні панелі з часом деградує, що призводить до поступового зниження їхньої ефективності	365	0,001
НЧ ₁₀	Технічне обслуговування обладнання: технічне обладнання, компоненти сонячної електростанції (інвертор, смарт-контролер, контактори, комунікаційне обладнання) можуть виходити з ладу через технічний стан	2	0,003

№ НЧ	Опис небезпечного чинника	Частота прояву за рік	Значення тяжкості втрат, % від річного вироблення електроенергії
Внутрішні небезпечні чинники			
НЧ ₁₁	Вихід з ладу чи відмова обладнання: технічне обладнання, компоненти сонячної електростанції (інвертори), установки зберігання енергії чи розподільної мережі можуть виходити з ладу через неправильну експлуатацію, організацію робіт, низьку компетентність персоналу під час дій у нестандартних ситуаціях	2	0,040
НЧ ₁₂	Відсутність онлайн-керування через збої в інтернет-зв'язку: відсутність інтернет-з'єднання зі смарт-грід системою при накладанні електромагнітного збою обладнання не дозволяє виконувати дистанційне керування системою, що може призвести до її неправильної роботи, виходу з ладу, зниження надійності електрозабезпечення	10	0,020

Розуміння цих чинників є критично важливим для правильного проєктування системи, розробки стратегій мінімізації ризиків, забезпечення стійкості та надійності електропостачання об'єктів критичної інфраструктури. До основних груп небезпечних чинників відносять: кліматичні умови (температура, опади, запиленість), коливання сонячної радіації, ризики пошкодження обладнання через стихійні явища, технічні несправності, деградація фотоелектричних модулів, перевантаження ліній, помилки в налаштуванні системи накопичення енергії. Для забезпечення ефективної та безпечної роботи описаних електростанцій необхідно реалізувати комплекс заходів: резервування потужності (використання систем накопичення енергії як підтримуючого джерела для сонячної генерації), технічне обслуговування (регулярна перевірка обладнання, очищення фотоелектричних модулів від пилу та забруднень), моніторинг навантажень (контроль відповідності електричних навантажень захисній комутаційній апаратурі та перерізам кабельних ліній), система контролю (впровадження автоматизованого моніторингу параметрів роботи для раннього виявлення відхилень). Реалізація зазначених заходів дасть змогу підвищити **стійкість системи** до зовнішніх і внутрішніх ризиків, забезпечити **надійність електропостачання** споживачів та сприяти **сталому розвитку енергетичної інфраструктури**. У табл. 3 наведено приклад керування енергоризиками під час експлуатації фотоелектричної станції з системою накопичення електроенергії.

Отримані результати підтверджують ефективність удосконаленого процесу керування енергетичними ризиками, який базується на модифікованій моделі BOWTIE та враховує вплив зовнішніх і внутрішніх небезпечних чинників. На відміну від традиційних підходів, що застосовуються в межах ISO 31010 та IEC 31010, запропонована методика дає змогу деталізувати внесок кожного чинника у формування загального рівня ризику енерговтрат. Це суттєво підвищує достовірність оцінки, оскільки класичні моделі здебільшого оперують якісними

шкалами ймовірності та тяжкості наслідків, що обмежує точність прогнозування.

Обговорення результатів. Аналіз гібридної системи децентралізованого живлення на базі фотоелектричної станції потужністю 135 кВт DC / 100 кВт AC та Smart-системи накопичення енергії показав, що на її роботу впливають вісім зовнішніх і чотири внутрішніх небезпечних чинники. Сумарні енерговтрати за рік становили 18 %, що перевищує порогове значення 10 % від загальної потужності станції та класифікується як неприйнятний рівень ризику. Це узгоджується з висновками [25], які підкреслюють критичність врахування технічних і кліматичних чинників для забезпечення надійності енергетичних систем. Водночас реалізація комплексу запобіжних заходів (резервування потужності, автоматизоване очищення панелей, моніторинг стану обладнання) дала змогу знизити ризик до 9,9 %, що відповідає рівню «прийнятний з перевіркою». Отже, запропонований підхід забезпечує досягнення цільових показників енергоефективності без значного збільшення витрат.

У підсумку відбулось удосконалення процесу керування енергетичними ризиками в СЕНМ організацій за рахунок виявлення частоти впливу та ступеня тяжкості від прояву різних груп небезпечних зовнішніх і внутрішніх чинників на сумарні енерговитрати. Це дозволяє деталізувати енерговитрати від впливу кожного небезпечного чинника, виявити з усієї сукупності найпливовіші та запропонувати відповідні заходи для зменшення їх впливу [26]. Практична значущість дослідження полягає в можливості застосування розробленої методики для об'єктів критичної інфраструктури, де надійність енергопостачання є ключовим чинником безпеки. Крім того, створюється підґрунтя для автоматизації процесів енергетичного моніторингу та адаптації вітчизняних підприємств до вимог міжнародного стандарту ISO 50001, що в довгостроковій перспективі забезпечує постійний розвиток та збільшення енергетичного потенціалу гібридної станції.

Таблиця 3. Приклад керування енергоризиками фотоелектричної станції з системою накопичення електроенергії

№ небезпеки	Ідентифікація				Первинний аналіз – визначення рівня ЕР за кожним НЧ та загального ЕР енергонебезпеки				Запобіжні та захисні дії щодо зниження первинного ЕР j – небезпеки від i – НЧ	Кінцевий аналіз з урахуванням дій щодо зниження ЕР j – енергонебезпеки		
	Енергонебезпека – j	Небезпечна енергетична подія	Негативні наслідки – енергетичні втрати	Небезпечний чинник енергетичної події	Ймовірність настання небезпечної енергетичної події від небезпечного чинника – i	Ступінь тяжкості від настання небезпечної події від НЧ – i , %	Рівень ЕР від НЧ – i , %	Первинна оцінка рівня ЕР небезпеки – j за кожним НЧ – i та загального ЕР небезпеки – j		Ступінь тяжкості енерговтрат небезпечної енергетичної події, %	Рівень ЕР від НЧ – i , %	Залишковий рівень ЕР від НЧ – i
1	Можливість суттєвого зменшення енергогенерації гібридної системи	Зупинка чи суттєве зменшення енергогенерації гібридної системи	Незагрожувана електроенергія	НЧ ₁	131	0,015	1,97	П	Встановлення резервних бензинових генераторів	0,015	0,23	П
				НЧ ₂	365	0,011	4,02	П		0,011	0,11	П
				НЧ ₃	12	0,400	4,80	П		0,400	1,20	П
				НЧ ₄	365	0,007	2,56	П		0,007	0,07	П
				НЧ ₅	5	0,040	0,20	П	Наявність служб швидкого реагування для усунення пошкоджень	0,040	0,04	П
				НЧ ₆	15	0,033	0,50	П	Встановлення систем автоматичного очищення	0,033	0,03	П
				НЧ ₇	155	0,010	1,55	П	Обрізка дерев та перенесення стовпів	0,010	0,75	П
				НЧ ₈	48	0,042	2,02	П	Розробка системи охолодження сонячних панелей	0,042	2,02	П
				НЧ ₉	365	0,001	0,37	П	Розробка плану заміни застарілих панелей	0,001	0,01	П
				НЧ ₁₀	2	0,003	0,01	П	Створення системи моніторингу за станом складових сонячних панелей	0,003	0,01	П
				НЧ ₁₁	2	0,040	0,08	П		0,04	0,08	П
				НЧ ₁₂	10	0,020	0,20	П	Додаткові, резервні мережі для контролю за роботою станції	0,020	0,2	П
				Загальний первинний ЕР енергонебезпеки j від усіх n НЧ			18,25	НП	Загальний кінцевий ЕР енергонебезпеки j від усіх n НЧ	4,74	П	П

В умовах воєнного стану й нестабільності енергетичних ринків підвищення стійкості систем децентралізованого живлення набуває особливої актуальності [27]. Крім

того, запропоновані критерії прийнятності ризику ($\leq 5\%$ – прийнятний; $5\text{--}10\%$ – прийнятний з перевіркою; $>10\%$ – неприйнятний) можуть бути використані для

стандартизації процесів енергоменеджменту на підприємствах різних галузей.

Важливою умовою дієвості процесу керування енергоризиками є:

- своєчасний розгляд результатів визначених енергоризиків небезпек та можливостей у СЕНМ;
- коректність прийняття рішень щодо виконання заходів з керування енергоризиками небезпек і можливостей, визначених у «Картах ідентифікації та оцінки енергоризиків у СЕНМ»;
- надання інформації про виявлення енергоризиків небезпек і можливостей у СЕНМ до служби головного енергетика (СГЕ) при первинній та періодичній оцінці енергоризиків, на які потрібно відреагувати, щоб отримати результат стосовно затверджених завдань для поліпшення енергетичної результативності.

Висновки

1. Вдосконалено процес керування енергетичними ризиками в СЕНМ організацій, який дає змогу підвищити достовірність результатів розрахунку рівня ризику енерговитрат за рахунок формування його величини як суми ризиків енерговитрат від кожного зовнішнього чи внутрішнього небезпечного чинника, які впливають на величину загальних енерговитрат.
2. Запропоновано процес керування енергоризиками, який складається з 11 етапів, що в цілому дають нагоду оцінити енергоризики на основі визначення характеристик інфраструктури, параметрів обладнання електричних мереж та ідентифікації енергонебезпек небезпечних чинників, небезпечних подій, а також забезпечити процес поліпшення керування енергоризиком через проведення аудитів і ретельний аналіз їх результатів та розробку пропозицій для поліпшення систем керування енергоризиками.
3. Розглянуто приклад керування енергоризиками на прикладі гібридної системи децентралізованого живлення на базі фотоелектричної станції та Smart-системи накопичення електроенергії потужністю 135 кВт DC / 100 кВт AC, на роботу якої впливає 8 зовнішніх і 4 внутрішніх небезпечних чинники, які призводять до сумарних енерговитрат 18,25 % за рік, що є неприйнятним рівнем ризику, оскільки перевищує 10 % від загальної прогнозованої генерації фотоелектростанції.

ПОСИЛАННЯ

1. Mauro M. R. Energy Security, Energy Transition, and Foreign Investments: An Evolving Complex Relationship. *Laws*, 2024, 13(4), 48. <https://doi.org/10.3390/laws13040048>.
2. Kuzior A., Kovalenko Y., Tiutiunyk I., Hrytsenko L. Assessment of the Energy Security of EU Countries in Light of the Expansion of Renewable Energy Sources. *Energies*, 2025, 18(8), 2126. <https://doi.org/10.3390/en18082126>.
3. Poveda-Orjuela P. P., García-Díaz J. C., Pulido-Rojano A., Cañón-Zabala G. ISO 50001: 2018 and Its Application in a Comprehensive Management System with an Energy-Performance Focus. *Energies*, 2019, 12, 4700.
4. Paraschiv L. S., Paraschiv S. Contribution of renewable energy (hydro, wind, solar and biomass) to decarbonization and transformation of the electricity generation sector for sustainable development. *Energy Reports*, 2023, 9, 535–544.
5. Man O. R., Radu R. I., Mihai I. O., Enache C. M., David S., Moisesescu F., Ibinceanu M. C. O., Zlati M. L. Approaches to a New Regional Energy Security Model in the Perspective of the European Transition to Green Energy. *Economies*, 2024, 12(3), 61.
6. Sotnyk I., Kurbatova T., Trypolska G., Sokhan I., Koshel V. Research trends on development of energy efficiency and renewable energy in households: A bibliometric analysis. *Environmental Economics*, 2023, 14, 13–27.
7. Konopelko A., Kostecka-Tomaszewska L., Czerewacz-Filipowicz K. Rethinking EU Countries' Energy Security Policy Resulting from the Ongoing Energy Crisis: Polish and German Standpoints. *Energies*, 2023, 16, 5132.
8. Proskuryakova L. Updating Energy Security and Environmental Policy: Energy Security Theories Revisited. *Jornal of Environmental Management*, 2018, 223, 203–214.
9. Strojny J., Krakowiak-Bal A., Knaga J., Kacorzyk P. Energy Security: A Conceptual Overview. *Energies* 2023, 16(13), 5042. <https://doi.org/10.3390/en16135042>
10. Квасній Л. Г., Малик Л. О., Щербан О. Я., Солтисік О. Я. Забезпечення енергоефективності економіки: можливості імплементації зарубіжного досвіду. *Academy review*. 2024. № 1(60). С. 20–35. <https://doi.org/10.32342/2074-5354-2024-1-60-2>.
11. Poveda-Orjuela P. P., García-Díaz J. C., Pulido-Rojano A., Cañón-Zabala G. Parameterization, Analysis, and Risk Management in a Comprehensive Management System with Emphasis on Energy and Performance (ISO 50001: 2018). *Energies*, 2020, 13(21), 5579. <https://doi.org/10.3390/en13215579>
12. Esteves F., Carlos Cardoso J., Leitão S., Pires E. J. S. Energy Audit in Wastewater Treatment Plant According to ISO 50001: Opportunities and Challenges for Improving Sustainability. *Sustainability*, 2025, 17(5), 2145. <https://doi.org/10.3390/su17052145>.

13. Fuchs H., Therkelsen P., Miller W. C., Siciliano G., Sheaffer P. ISO 50001-Based Energy Management Systems as a Practical Path for Decarbonization: Initial Findings from a Survey of Technical Assistance Cohort Participants. *Energies*, 2023, 16(14), 5441. <https://doi.org/10.3390/en16145441>
14. Kaselofsky J., Rošā M., Jekabsone A., Favre S., Loustalot G., Toma M., Delgado Marín J.P., Moreno Nicolás M., Cosenza E. Getting Municipal Energy Management Systems ISO 50001 Certified: A Study with 28 European Municipalities. *Sustainability*, 2021, 13(7), 3638. <https://doi.org/10.3390/su13073638>
15. Luo Y., Li Z., Li S., Jiang F. Risk Assessment for Energy Stations Based on Real-Time Equipment Failure Rates and Security Boundaries. *Sustainability* 2023, 15(18), 13741. <https://doi.org/10.3390/su151813741>.
16. Koval V., Atstāja D., Shmygol N., Udovychenko V., Hrinchenko H., Tsimoshynska O. Strategic Management and Security Risk Assessment of Energy Systems. *Urban Science*, 2025, 9(2), 48. <https://doi.org/10.3390/urbansci9020048>.
17. Yarova N., Vorkunova O., Kulykov D. Energy efficiency of enterprises of the port industry of Ukraine. Development of management and entrepreneurship methods on transport, 2024, 2(87), 34–46. <https://doi.org/10.31375/2226-1915-2024-2-34-46>.
18. Tsopa V., Cheberiachko S., Yavorska O., Deryugin O., Bas I. Increasing the safety of the transport process by minimizing the professional risk of a dump truck driver. *Mining mineral deposits*, 2022, 16(3), 101–108. <https://doi.org/10.33271/mining16.03.101>.
19. Paltrinieri N., Reniers G. Dynamic risk analysis for Seveso sites. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2017, 49, 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.03.023>.
20. McLeod R. W. Bowtie Analysis as a prospective risk assessment technique in primary healthcare. *Policy and Practice in Health and Safety*, 2018, 16(2), 177–193. <https://doi.org/10.1080/14773996.2018.1466460>.
21. Tsopa V. A., Cheberiachko S. I., Yavorska O. O., Deryugin O. V., Aleksiev A. A. Improvement of the safe work system. *Nauk. Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2022 6, 104–111. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-6/104>
22. Girmanová L., Šolc M., Blaško P., Petřík J. Quality Management System in Education: Application of Quality Management Models in Educational Organization—Case Study from the Slovak Republic. *Standards*, 2022, 2(4), 460–473. <https://doi.org/10.3390/standards2040031>
23. Yang S., Ishtiaq M., Anwar M. Enterprise Risk Management Practices and Firm Performance, the Mediating Role of Competitive Advantage and the Moderating Role of Financial Literacy. *Journal of Risk and Financial Management*, 2018, 11(3), 35. <https://doi.org/10.3390/jrfm11030035>.
24. Miller H., Griffy-Brown C. Evaluating risk for top-line growth and bottom-line protection: enterprise risk management optimization (ERMO). *Environment Systems and Decisions*, 2021, 41, 468–484. <https://doi.org/10.1007/s10669-021-09819-x>.
25. Tsopa, V.A., Yavorska, O.O., Cheberyachko, S.I., Deryugin, O.V., Lantukh, D.V. (2025). Identifying the mining enterprise units with a significant level of non-compliance with occupational safety requirements using the example of a coal mine. *Mining of Mineral Deposits*, 19(2), 27–37. <https://doi.org/10.33271/mining19.02.027>.
26. Nyman E. Maritime Energy and Security: Synergistic Maximization or Necessary Tradeoffs? *Energy Policy*, 2017, 106, 310–314.
27. Mohammadi F., Nabi Bidhendi G., Aslani A. Designing an Energy Security Index with a Sustainable Development Approach for Energy-Exporting Countries Using Fuzzy BWM Method. *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, 30, 7427–7445. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22631-7>

IMPROVING THE PROCESS OF ENERGY RISK MANAGEMENT: CASE STUDY OF HYBRID DECENTRALIZED POWER SUPPLY SYSTEM

Received Nov. 22, 2026; accepted Mar. 23, 2026
Available online Mar. 31, 2026

**Tsopa V.¹, Yavorska O.², Lutsenko I.³,
Cheberiachko S.⁴, Turovska H.⁵**

Author for correspondence: Turovska Halyna,
e-mail: h.i.turovska@nuwm.edu.ua

Abstract. *The research focuses on improving the process of energy risk management within organizational energy management systems. This improvement enhances the reliability of calculations used to determine the level of energy loss risk by identifying the frequency and severity of the influence exerted by groups of hazardous external and internal factors on total energy losses. To assess the level of risk associated with the identified hazards, threats, or nonconformities based on cause-and-effect relationships and considering the effect of hazardous factors, the BOWTIE method was applied. An eleven-step process for managing energy risks is proposed, which consists of two blocks: energy risk analysis and improvement of its management. The first block includes procedures for defining the characteristics of the infrastructure and parameters of electrical network equipment; identification of hazards, hazardous factors, hazardous events, and their consequences; determination and analysis of the energy risk level, as well as its evaluation. The second block includes the development of measures to reduce energy risks, conducting audits of the energy risk management process, analysis of the results of the energy management system audit and development of proposals for improving energy risk management. The distinguishing feature of the proposed energy risk management process is the need to build a model of cause-and-effect relationships among various hazards that lead to energy losses, hazardous factors that increase the probability of energy losses, hazardous events, and possible consequences of their occurrence. The model of cause-and-effect relationships between hazards, hazardous factors, and hazardous events allows for providing high-quality expert assessments regarding the determination of the frequency of manifestation of the hazardous factor and the severity of consequences from its impact. The scientific novelty of the study lies in identifying the regularity of total energy loss risk formation in energy management systems as the sum of individual risks of energy losses arising from each external or internal hazardous factor. The practical value of the research involves identifying the criteria for acceptability and unacceptability of energy risk levels and developing new criteria for energy risk assessment, which differ from the existing methods by introducing three distinct energy risk levels. They are as follows: acceptable energy risk, which involves established monitoring and additional control operations; acceptable risk subject to verification, which requires mandatory control operations, with further steps allowed only after obtaining positive verification results; unacceptable energy risk, which necessitates the elimination of energy hazards or reduction of the risk level to at least the “acceptable energy risk with verification” category.*

Keywords: risk, energy losses, management system, hybrid power plant, solar panels.

List of used designations and abbreviations:

ER – energy risks

SEnM – system of energy management

SCEE – service of Chief Energy Engineer

SPP – solar power plant

EES – equipment for energy storage

HF – hazardous factor

AER – acceptable energy risk;

AVR – acceptable with verification energy risk;

UER – unacceptable energy risk.

¹ Dr of Science (Tech.)

<http://orcid.org/0000-0002-4811-3712>

² Dr of Science (Tech.)

<https://orcid.org/0000-0001-5516-5310>

³ Cand. of Science (Tech.)

<https://orcid.org/0000-0001-6406-2364>

⁴ Dr of Science (Tech.)

<https://orcid.org/0000-0003-3281-7157>

⁵ Cand. of Science (Tech.)

<https://orcid.org/0000-0002-1492-9123>

¹International Management Institute, Kyiv, Ukraine

^{2, 3, 4} Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

⁵ National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

Introduction. Reliable energy supply, energy independence, and energy security are the basis of sustainable development of any organization [1]. The stability of enterprises depends on the energy efficiency of the energy management system, and the main thing is the absence or small number of various failures, accidents and catastrophes associated with unexpected or predicted interruptions. That is why the introduction of energy risk management (hereinafter energy risks) into energy management systems is a necessary condition for achieving the energy goals set by the organization [2]. To build such a system, you can use the ISO 50001:2018 standard, which indicates the need to create appropriate planning processes (analysis of energy use and consumption, determination of the basic level of energy consumption, assessment of energy risks and opportunities), implementation (development and implementation of energy management programs, establishment of procedures for controlling operations that affect energy consumption), verification (monitoring and measurement of key indicators, conducting internal audits systems) and improvements (corrective and preventive actions).

The basis of the energy management system is the process of system management of energy consumption, which includes the assessment of risks and opportunities for achieving energy efficiency goals [3, 4]. At the same time, existing energy risk management processes used in energy management systems are characterized by low reliability of forecast results [5]. Risk calculations are mostly based on expert assessments and the experience of the employees involved [6]. Qualitative models are often used, which do not provide a clear definition of the probability of the occurrence of catastrophic events, due to the lack of sufficient statistical data [6]. The use of powerful mathematical models for assessing energy risks requires the involvement of highly qualified specialists, which complicates the process. At the same time, one of the key conditions for the effective functioning of the energy management system is the participation of all employees in the process of risk management [7]. This determines the urgency of developing and improving the process of energy risk (ER) management, which would ensure the given reliability of the results [8, 9].

By the way, a number of specialists were involved in solving the task of improving the efficiency of the energy management system. In particular, in the work [10], the authors proposed advanced practices in energy efficiency, such as energy saving, energy audit, use of energy indicators and base levels, and others. At the same time, the paper states the ineffectiveness of some tools to achieve the set goal, for example, energy saving. Organizations often face challenges such as global warming, excessive use of resources and their irrational consumption, which cannot be managed by existing patterns. According to the authors, this leads to a constant increase in energy supply costs. In continuation of their own research [11], the authors proposed an improved ER management process, which differs from the existing one proposed in ISO 31010: 2018 by the presence of a block of strategic decision-making regarding business directions and institutions, decisions in project

planning and development, decisions in the management of processes, products and services, as well as decisions in the interaction of people with their environment and stakeholders. In addition, the crisis and incident management algorithm, as well as business continuity, have been added to the ER management process. At the same time, in the work, insufficient attention is paid to modern tools for monitoring energy consumption and ER.

Another paper [12] proposed an approach to energy audit based on the risk management process. Its feature is the determination of energy efficiency, energy intensity, specific energy consumption, and intensity of energy use on the example of treatment plants in accordance with ISO 50001:2018 and the PDCA methodology ("Plan-Execute-Check-Act"). The developed approach makes it possible to quantitatively determine both permanent and temporary inefficiency of energy use. At the same time, the authors use qualitative methods to determine the phenomena of inefficiency, which requires clarification of the conclusions drawn. In another publication [13], it is proposed to use the statistical criterion χ^2 in energy management systems to test hypotheses regarding the development of emergency events. The authors note that in this way they increase the reliability of the ER calculation, which requires the processing of a significant amount of input data on the influence of hazardous factors on the SENM. Therefore, the data collection process should be continuous, and the results should be regularly reviewed and refined. An interesting toolkit for assessing employees' understanding of the essence of implemented energy management processes is proposed in [14]. It is interesting that the planning process is the most problematic, while the SENM showed high validity, which indicates its effectiveness. At the same time, the authors emphasize that the conclusions pertain only to the current state and require regular updating. Interestingly, the most problematic part turns out to be the planning process, while energy risk management demonstrated high validity, indicating its effectiveness. At the same time, the authors emphasize that these conclusions apply only to the current situation and require regular updating.

In work [15], based on the study of municipal energy management systems, it was established that the biggest challenges for managers are organizational and resource constraints. Organizational challenges include risk management, which requires the involvement of a considerable number of employees with distinct experience and knowledge, and requires decisions to consider all opinions and filter out non-constructive ones. The authors emphasize the need for continuous training of personnel and the use of modern online platforms for data systematization and analysis.

In [16], an improved method for assessing energy risks based on the theory of reliability is proposed, which involves the establishment of relationships between energy sources and the combination of various parts of the equipment. This enables efficient quantification of ER in real time. The proposed strategy considers both economic and

security aspects. At the same time, the issue of determining the relationship between the probability of equipment failure and the cost of damages, which affects the reliability of the results, remains open.

The work [17] presents a comprehensive approach to risk assessment, where qualitative assessment considers internal and external influences as an element of multifactorial analysis. For assessment, a risk matrix is proposed for energy infrastructure facilities, considering the peculiarities of the potentially hazardous equipment's operation. The evaluation is carried out according to the probability of failure (five-point scale) and the degree of severity of the consequences, considering the possibility of restoring the systems. The study also proposes two statistical models for the assessment of reliability parameters before and after a critical event, which allows considering risks from the technical condition of equipment and environmental aspects for sustainable management.

As a result of the analysis, it can be stated that improving the energy risk management process within the energy management systems of organizations is an urgent task. Its solution requires the development of a methodology for the identification and assessment of energy risks considering various hazardous factors that consider the specifics of the industry, technological features, and regulatory requirements.

Aim of the paper. Improvement of the energy risk management process in the energy management systems of organizations, considering hazardous factors, which allows for increasing the reliability of the obtained results.

Materials and methods. The most common approach to managing risks of diverse types is the "BOWTIE" method. It allows detecting the level of risk from established hazards, threats or non-conformities based on a cause-and-effect relationship [18, 19]. It can also be used to determine the effectiveness of the proposed "barriers" (precautionary or protective measures) to reduce the probability of a hazardous event on the one hand, and on the other - the severity of the consequences after the occurrence of a hazardous event. In general, the presented method provides for determining the amount of energy risk: identification of energy hazards for the development of their register in the organization based on the study of sources of energy risk; study of the mechanisms of the development of a hazardous event based on a cause-and-effect relationship; determination of the probability of occurrence of a hazardous event - due to the processing of statistical data on all non-conformances, hazardous events: failures, breakdowns, failures - that occurred anywhere in the organization SENM; determining the severity of energy losses, calculating financial losses; calculation of energy risk - by any suitable method, which is defined in IEC 31010:2019 Risk management - Risk assessment techniques.

Unfortunately, the well-known interpretation of the described method does not consider the influence of the internal and external hazardous factors in the organization's

environment on the probability of a hazardous event, information about which must be constantly collected for analysis and making relevant management decisions. As a result, significant errors occur when determining the probability of a hazardous event and its severity, especially with qualitative and semi-quantitative methods of risk assessment. Note that ISO 50001:2018 requires determining the impact of external and internal factors in the organization's environment on the risk level, but there is no mechanism for this procedure [20]. According to the standard IEC 31010:2019, in the "BOWTIE" method, to determine the level of energy risk, it is necessary to establish a cause-and-effect relationship: "hazard (non-conformity) - hazardous event - consequences". At the same time, for a qualitative assessment of the level of risk, it is necessary to develop scales for the probability of a hazardous event and the degree of severity.

To increase the reliability of determining the level of ER, it is proposed to improve the "BOWTIE" model, which adds the need to determine the relationship between the hazard and hazardous factors that increase the probability or severity of the consequences of the occurrence of a hazardous energy event, as well as preventive or protective measures that reduce the probability of the occurrence of a hazardous energy event.

The basis of the improved "BOWTIE" method is the calculation of the value of ER from the combined influence of all hazardous factors: physical, chemical, climatic, biological, psychophysiological, ergonomic, technical, organizational, and others, as well as hazardous actions and inactions of employees (errors, malicious intent, professional inadequacy, etc.) in the organization according to the formula [21]:

$$R_{ji}^n = B_{ji}^n \times T_{ji}^n,$$

where R_{ji}^n stands for energy risk of a hazardous event from a hazard - j taking into account hazardous factors - i ; B_{ji}^n stands for the probability of the occurrence of a hazardous event from a hazard - j under the influence of a hazardous factor - i ; T_{ji}^n stands for degree of severity of the consequences of a hazardous event from hazard - j under the influence of a hazardous factor - i .

The energy risk management process consists of analysis, assessment, and reduction of energy risk to an acceptable level due to the implementation of preventive and protective measures; reviewing and updating energy risk maps; conducting audits of the energy risk management process; improvement of the energy risk management process. It can be represented based on 11 stages (Fig. 1):

1. Determination of infrastructure characteristics, electrical network equipment parameters.
2. Identification of energy hazards, hazardous factors, hazardous events, and their consequences.
3. Determination and analysis of the level of risk (establishing the frequency of the occurrence of a hazardous event and the degree of severity of energy losses).

4. Assessment of energy risk (acceptable, unacceptable).
5. Development of measures to reduce energy risks.
6. Documentation of risk management maps.
7. Review and updating of energy risk maps.
8. Conducting audits of the energy risk management process.
9. Analysis of the audit results of the energy management system
10. Development of proposals to improve the energy risk management process.
11. Development of measures to improve the energy risk management process.

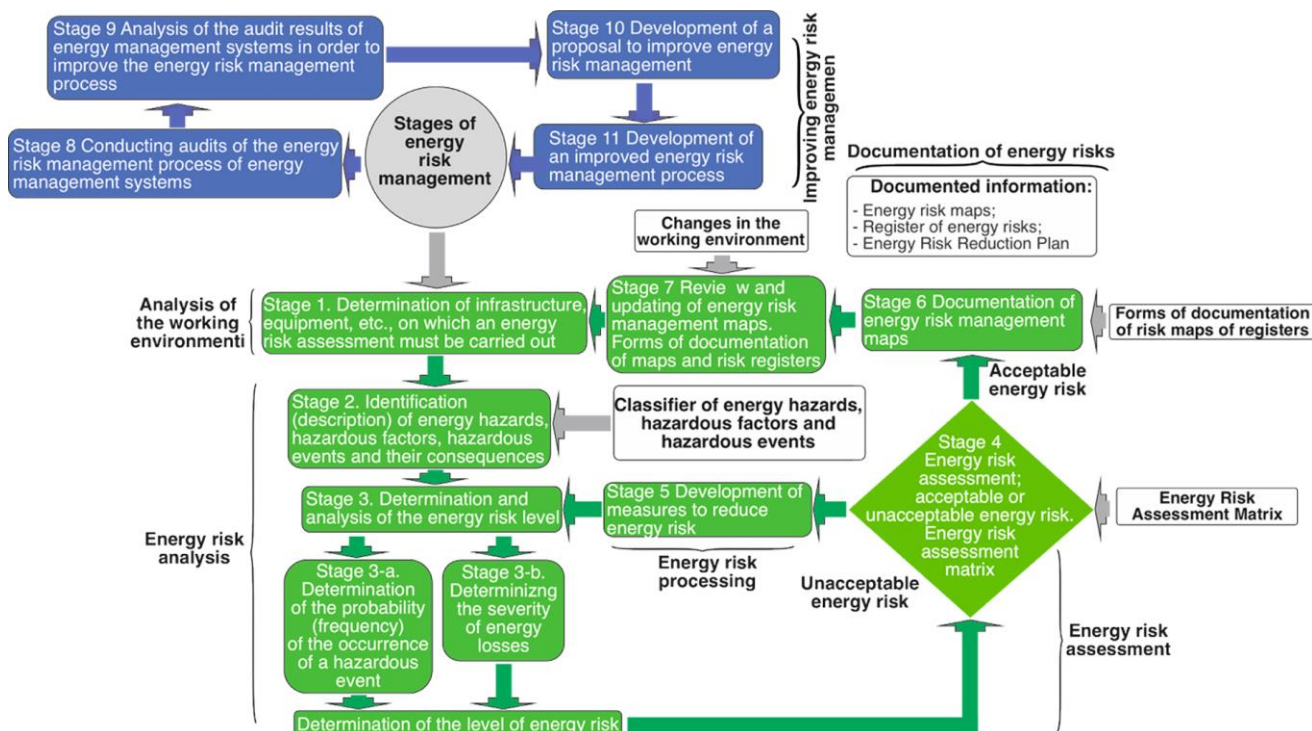


Fig. 1. Energy risk management process

To identify energy risks, the potential influence of hazardous factors in the internal and external environment of the organization is analysed. The sources of necessary information for energy risk assessment are:

- existing description of the organization's energy supply and energy consumption system;
- available information about the internal and external environment of the organization;
- information about previously identified inconsistencies;
- results of internal audits;
- results of external audits (information from a representative of the management - responsible for SENM);
- other data and information about inconsistencies in energy supply systems.

The results of energy risk identification are documented (Table 1). Next, the level of energy risk is determined, and depending on the obtained result for each of the hazardous factors of the considered energy risks, if necessary, it is needed to establish preventive and protective measures to manage this energy risk.

For the energy risk of hazards, determining the frequency of occurrence of a hazardous event, the magnitude of the level of negative consequences - energy losses and the level

of energy risk. To identify hazardous factors, the use, consumption, and loss of energy resources over the past period by division and process is analysed (the availability of a large amount of statistical information increases the quality of the analysis). For example, the influence of the temperature of the surrounding environment, the type of products, the number of employees, etc. If a hazardous factor is identified, and it does not have a sufficient amount of statistical data (it is impossible to perform a linear regression calculation), it is necessary to measure this factor in order to find out the level of influence on the probability of the occurrence of a hazardous event and the severity of losses.

It is proposed to introduce the following acceptance criteria for the general energy risk [23]:

- acceptable energy risk means no more than 5% of energy consumption per year by process or equipment, or by the organization as a whole;
- acceptable energy risk with verification means more than 5%, but less than 10% of energy consumption per year by process or equipment, or by the organization as a whole;
- unacceptable energy risk means more than 10% of energy consumption per year by process or equipment, or by the organization as a whole.

Table 1. Identification of energy hazards, hazardous factors, hazard analysis, and energy risk assessment – j

Hazard No.	Identification				Primary analysis – determination of the ER level for each HF and the total ER of hazard				Preventive and protective actions to reduce primary ER j – hazard from i – HF	Final analysis considering actions to reduce ER j - hazard			The final estimate of ER j - energy hazard from i - HF	
	Energy hazard	Hazardous energy event	Negative consequences are energy losses	Hazardous factor of an energy event	Probability of occurrence of a hazardous energy event from HF - i	The degree of severity of energy losses from a hazardous event from HF - i	Level of ER from HF - i	The primary assessment of ER hazard - j for each HF - i and the overall ER hazard -j		Preventive and protective actions to reduce primary ER j – hazard from i – HF	Probability of a hazardous energy event	The degree of severity of the negative consequences of a hazardous event		Residual level of ER from HF - i
j	Energy hazard	Hazardous energy event	Energy loss	HF 1	B _{пj1}	T _{пj1}	R _{пj1}	Acceptable or unacceptable	Preventive and/or protective action j ₁	B _{кj1}	T _{кj1}	R _{кj1}	Acceptable / unacceptable	
				HF 2	B _{пj2}	T _{пj2}	R _{пj2}		Preventive and/or protective action j ₂	B _{кj2}	T _{кj2}	R _{кj2}		
				HF 3	B _{пj3}	T _{пj3}	R _{пj3}		Preventive and/or protective action j ₃	B _{кj3}	T _{кj3}	R _{кj3}		
				HF 4	B _{пj4}	T _{пj4}	R _{пj4}		Preventive and/or protective action j ₄	B _{кj4}	T _{кj4}	R _{кj4}		
				HF 5	B _{пj5}	T _{пj5}	R _{пj5}		Preventive and/or protective action j ₅	B _{кj5}	T _{кj5}	R _{кj5}		
				...	...	...	...		...	...	...	...		
				HF i	B _{пji}	T _{пji}	R _{пji}		Preventive and/or protective action j _i	B _{кji}	T _{кji}	R _{кji}		
				...	...	...	...		...	...	...	...		
				HF n	B _{пjn}	T _{пjn}	R _{пjn}		Preventive and/or protective action j _n	B _{кjn}	T _{кjn}	R _{кjn}		
				Total primary ER from all HFs		R _{пj} =R _{пj1} + ... + R _{пjn}			Total final ER from all HFs	R _{кj} =R _{кj1} + ... + R _{кjn}				

Research results. Let's consider the management of energy risks using the example of a hybrid decentralized power system based on a photovoltaic plant and a smart electricity storage system.

The operating hybrid power supply system under study comprises a rooftop photovoltaic plant with monocrystalline modules with a total capacity of 135 kW DC / 100 kW AC in combination with a smart system for storing electrical energy with a capacity of 200 kWh. Let us consider the cause-and-effect relationship between the hazard (the possibility

of stopping or significantly reducing the power generation of the hybrid system), the occurrence of a hazardous event (stopping or significantly reducing the power generation of the hybrid system) and the consequences - the ungenerated electricity of the photovoltaic plant (Fig. 2) [24].

Table 2 shows the classification of external and internal hazardous factors affecting the level of energy risk of a hybrid system of decentralized power supply based on a photovoltaic plant with an energy storage system.

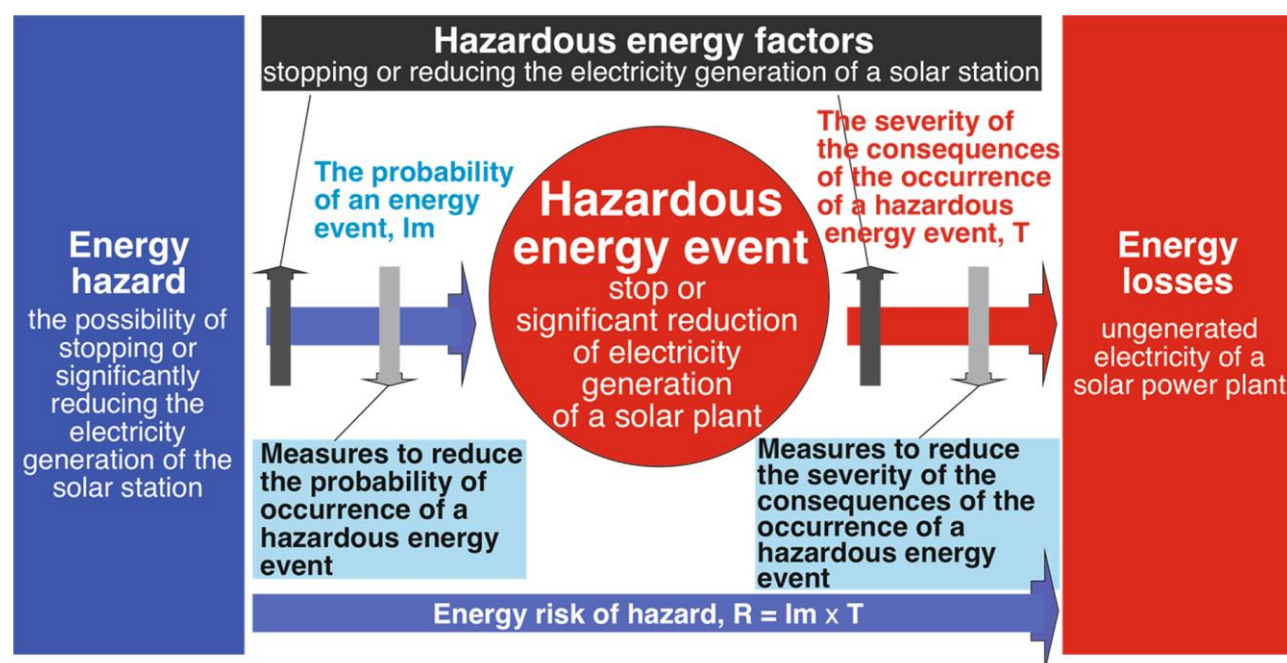


Fig. 2. Model of the relationship between a hazard (stopping or significantly reducing the power generation of the hybrid system), event occurrence (actual stopping or significantly reducing the power generation of the hybrid system), and the resulting consequence – ungenerated electricity by the photovoltaic plant

Table 2. Hazardous factors of energy risks in case of power supply failure from a distributed generation system based on SPP and ESS

№ HF	Description of the hazardous factor	Frequency of manifestation per year	The value of the severity of losses, % of the annual production of electricity
External hazardous factors			
HF ₁	Weather conditions: cloudiness, rain, snow, fog, etc	131	0.015
HF ₂	Time of day: evening and night;	365	0.011
HF ₃	Seasonal variation: The intensity of solar radiation varies throughout the year, in winter when the days are shorter and solar radiation is less intense, electricity production is reduced.	12	0.400
HF ₄	Geographical location: The amount of solar energy available for generation varies greatly with latitude and local climate, so regions with more sunny days and higher insolation have greater potential for efficient solar power generation.	365	0.007
HF ₅	Extreme weather conditions: intense winds, hail, snowfall can damage the solar panels and other elements of the plant.	5	0.040
HF ₆	Dust and contamination of panels: the accumulation of dust, dirt, bird droppings on the surface of solar panels reduces the penetration of sunlight, which significantly reduces their efficiency.	15	0.033
HF ₇	Shading: The shading of solar panels by trees, buildings, poles, etc. leads to a decrease in the electricity production of the entire system.	155	0.010
HF ₈	Increased air temperature: the efficiency of photovoltaic panels decreases with increasing temperature. On hot summer days, power generation may be lower than expected.	48	0.042
Internal hazardous factors			
HF ₉	Decreasing efficiency of solar panels over time: Photoelectric panels degrade over time, which leads to a gradual decrease in their efficiency.	365	0.001
HF ₁₀	Equipment maintenance: technical equipment, solar power plant components (inverter, smart controller, contactors, communication equipment) can fail due to poor technical condition.	2	0.003

№ HF	Description of the hazardous factor	Frequency of manifestation per year	The value of the severity of losses, % of the annual production of electricity
Internal hazardous factors			
HF ₁₁	Failure of equipment: technical equipment, solar power plant components (inverters), energy storage installations, or distribution network can fail due to improper operation, organization of work, low competence of personnel when acting in non-standard situations	2	0.040
HF ₁₂	Lack of online control due to failures in the Internet connection: the lack of an Internet connection with the smart grid system in the event of an electromagnetic failure of the equipment does not allow remote control of the system, which can lead to its incorrect operation, failure, and a decrease in the reliability of the power supply.	10	0.020

Understanding these factors is critically important for proper system design, development of risk minimization strategies, and ensuring stability and reliability of power supply to critical infrastructure facilities. The main groups of hazardous factors include: climatic conditions (temperature, precipitation, dustiness), fluctuations in solar radiation, risks of damage to equipment due to natural phenomena, technical malfunctions, degradation of photovoltaic modules, overloading of lines, errors in setting up the energy storage system. To ensure the efficient and safe operation of the described power plants, it is necessary to implement a set of measures: power reserve (use of energy storage systems as a supporting source for solar generation), maintenance (regular inspection of equipment, cleaning of photovoltaic modules from dust and pollution), load monitoring (control of compliance of electrical loads with protective switching equipment and cross-sections of cable lines), control system (implementation of automated monitoring operating parameters for early detection of deviations). The implementation of the mentioned measures will increase the **system's resilience** to external and internal risks, ensure the **reliability of electricity supply** to consumers, and contribute to the **sustainable development of the energy infrastructure**. The table 3 shows an example of energy risk management during the operation of a photovoltaic plant with an electricity storage system.

The obtained results confirm the effectiveness of the improved energy risk management process, which is based on the modified "BOWTIE" model and considers the influence of external and internal hazardous factors. Unlike the traditional approaches used within ISO 31010 and IEC 31010, the proposed method allows detailing the contribution of each factor to the formation of the overall level of energy loss risk. This significantly increases the reliability of the assessment, since classical models mostly operate on qualitative scales of probability and severity of consequences, which limits the accuracy of forecasting.

Results discussion. The analysis of the decentralized power supply hybrid system based on a 135 kW DC / 100 kW AC photovoltaic plant and a Smart energy storage system showed that eight external and four internal hazardous factors affect its operation. Total energy losses for the year

amounted to 18%, which exceeds the threshold value of 10% of the total plant's power and is classified as an unacceptable level of risk. This is consistent with the findings [25], which emphasize the criticality of considering technical and climatic factors to ensure the reliability of energy systems. At the same time, the implementation of a set of preventive measures (power reserve, automated cleaning of panels, monitoring of the condition of the equipment) made it possible to reduce the risk to 9.9%, which corresponds to the "acceptable with verification" level. Thus, the proposed approach ensures the achievement of energy efficiency targets without a significant increase in costs.

As a result, the process of managing energy risks in SEnM organizations was improved through the identification of the frequency of impact and degree of severity from the manifestation of various groups of hazardous external and internal factors on total energy costs. This makes it possible to detail the energy costs attributable to each hazardous factor, to identify the most influential ones from the entire population, and to propose appropriate measures to reduce their impact [26]. The practical significance of the study lies in the possibility of applying the developed methodology to critical infrastructure facilities, where the reliability of energy supply is a key safety factor. In addition, the foundation is created for the automation of energy monitoring processes and the adaptation of domestic enterprises to the requirements of the international standard ISO 50001, which, in the long-term perspective, ensures the constant development and increase of the energy potential of the hybrid plant.

In the conditions of martial law and instability of energy markets, increasing the stability of decentralized power supply systems becomes especially relevant [27]. In addition, the proposed risk acceptability criteria ($\leq 5\%$ – acceptable; $5\text{--}10\%$ – acceptable with verification; $>10\%$ – unacceptable) can be used to standardize energy management processes at enterprises of various industries.

An important condition for the effectiveness of the energy risk management process is:

- timely consideration of the results of identified energy risks, hazards, and opportunities in the SEnM;

- the correctness of decision-making regarding the implementation of energy risk management measures of hazards and opportunities defined in the "Maps for the identification and assessment of energy risks in SENM";
- providing information on the identification of energy risks and opportunities in SENM to the service of the chief energy engineer (CEE) during the initial and periodic assessment of energy risks that need to be responded to in order to obtain a result regarding the approved tasks for improving energy performance.

Table 3. Example of energy risk management for a photovoltaic plant with the energy storage system

Hazard №	Identification				Primary analysis – determination of the level of ER for each HF and the total ER of energy hazard				Preventive and protective actions to reduce primary ER j – hazard from i – HF	Final analysis considering actions to reduce ER j -energy hazard		
	energy hazard -j	Hazardous energy event	Negative consequences are energy losses	Hazardous factor of an energy event	The probability of occurrence of a hazardous energy event from HF -j	The degree of severity of energy losses from the occurrence of a hazardous event from HF – i, %	Level of ER from HF - i, %	The primary assessment of ER hazard - j for each HF - i and the overall ER hazard -j		The degree of severity of energy loss from hazardous energy event, %	Level of ER from HF -, %	Residual level of ER from HF - i
1	The likelihood of significantly reducing the power generation of the hybrid system	Stopping or significantly reducing the power generation of the hybrid system	Ungenerated electricity	HF ₁	131	0.015	1.97	Π	Installation of spare gasoline-new generators	0.015	0.23	Π
				HF ₂	365	0.011	4.02	Π		0.011	0.11	Π
				HF ₃	12	0.400	4.80	Π		0.400	1.20	Π
				HF ₄	365	0.007	2.56	Π		0.007	0.07	Π
				HF ₅	5	0.040	0.20	Π	Availability of rapid response services to eliminate damage	0.040	0.04	Π
				HF ₆	15	0.033	0.50	Π	Installation of automatic cleaning systems	0.033	0.03	Π
				HF ₇	155	0.010	1.55	Π	Pruning trees and moving poles	0.010	0.75	Π
				HF ₈	48	0.042	2.02	Π	Development of a solar panel cooling system	0.042	2.02	Π
				HF ₉	365	0.001	0.37	Π	Development of a plan to replace outdated panels.	0.001	0.01	Π
				HF ₁₀	2	0.003	0.01	Π	Creation of a monitoring system based on the state of the components of solar panels	0.003	0.01	Π
				HF ₁₁	2	0.040	0.08	Π		0.04	0.08	Π
				HF ₁₂	10	0.020	0.20	Π	Additional, backup networks to control the operation of the plant	0.020	0.2	Π
	Total primary ER energy hazards j from all n HF				18.25	НΠ	Total final ER energy hazards j from all n HF		4.74	Π		

Conclusions

1. The process of managing energy risks in SEnM organizations has been improved, which allows for increasing the reliability of the results of calculating the level of energy consumption risk due to the formation of its value as the sum of energy consumption risks from each external or internal hazardous factor that affects the amount of total energy loss.
2. The energy risk management process is proposed, which consists of 11 stages, which in general allow assessing energy risks based on the determination of infrastructure characteristics, electrical network equipment parameters and identification of energy hazards, hazardous factors, hazardous events, as well as ensuring the process of improving energy risk management by conducting audits and carefully analysing their results and developing proposals for improving energy risk management systems.
3. An example of energy risk management is considered using the case study of a hybrid decentralized power supply system based on a photovoltaic plant and a smart electricity storage system with a capacity of 135 kW DC / 100 kW AC, the operation of which is affected by 8 external and 4 internal hazardous factors that lead to a total energy consumption of 18.25% per year, which is an unacceptable level of risk, since it exceeds 10% of the total projected generation of the photovoltaic plant.

REFERENCES

1. Mauro, M.R. (2024). Energy Security, Energy Transition, and Foreign Investments: An Evolving Complex Relationship. *Laws*, 13(4), 48. <https://doi.org/10.3390/laws13040048>.
2. Kuzior, A., Kovalenko, Y., Tiutiunyk, I., Hrytsenko L. (2025). Assessment of the Energy Security of EU Countries in Light of the Expansion of Renewable Energy Sources. *Energies*, 18(8), 2126. <https://doi.org/10.3390/en18082126>.
3. Poveda-Orjuela, P.P., García-Díaz, J.C., Pulido-Rojano, A., Cañón-Zabala, G. (2019). ISO 50001: 2018 and Its Application in a Comprehensive Management System with an Energy-Performance Focus. *Energies*, 12, 4700.
4. Paraschiv, L.S., Paraschiv, S. (2023). Contribution of renewable energy (hydro, wind, solar and biomass) to decarbonization and transformation of the electricity generation sector for sustainable development. *Energy Reports*, 9, 535–544.
5. Man, O.R., Radu, R.I., Mihai, I.O., Enache, C.M., David, S., Moisesescu, F., Ibinceanu, M.C.O., Zlati, M.L. (2024). Approaches to a New Regional Energy Security Model in the Perspective of the European Transition to Green Energy. *Economies*, 12 (3), 61.
6. Sotnyk, I., Kurbatova, T., Trypolska, G., Sokhan, I., Koshel, V. (2023). Research trends on development of energy efficiency and renewable energy in households: A bibliometric analysis. *Environmental Economics*, 14 (2), 13–27.
7. Konopelko, A., Kostecka-Tomaszewska L., Czerewacz-Filipowicz, K. (2023). Rethinking EU Countries' Energy Security Policy Resulting from the Ongoing Energy Crisis: Polish and German Standpoints. *Energies*, 16, 5132.
8. Proskuryakova, L. (2018). Updating Energy Security and Environmental Policy: Energy Security Theories Revisited. *Journal of Environmental Management*, 223, 203–214.
9. Strojny, J., Krakowiak-Bal, A., Knaga, J., Kacorzysk, P. (2023). Energy Security: A Conceptual Overview. *Energies*, 16(13), 5042. <https://doi.org/10.3390/en16135042>
10. Kvasnii, L.H., Malyk, L.O., Shcherban, O. Ya., Soltysik, O. Ya. (2024). Ensuring energy efficiency of the economy: possibilities of implementation of foreign experience. *Academy review*, 1(60), 20–35. <https://doi.org/10.32342/2074-5354-2024-1-60-2>. [in Ukrainian].
11. Poveda-Orjuela, P.P., García-Díaz, J.C., Pulido-Rojano, A., Cañón-Zabala, G. (2020). Parameterization, Analysis, and Risk Management in a Comprehensive Management System with Emphasis on Energy and Performance (ISO 50001: 2018). *Energies*, 13(21), 5579. <https://doi.org/10.3390/en13215579>.
12. Esteves, F., Carlos Cardoso J., Leitão, S., Pires, E.J.S. (2025). Energy Audit in Wastewater Treatment Plant According to ISO 50001: Opportunities and Challenges for Improving Sustainability. *Sustainability*, 17(5), 2145. <https://doi.org/10.3390/su17052145>.
13. Fuchs, H., Therkelsen, P., Miller, W.C., Siciliano, G., Sheaffer, P. (2023). ISO 50001-Based Energy Management Systems as a Practical Path for Decarbonization: Initial Findings from a Survey of Technical Assistance Cohort Participants. *Energies*, 16(14), 5441. <https://doi.org/10.3390/en16145441>.
14. Kaselofsky, J., Rošā, M., Jekabsone, A., Favre, S., Loustalot, G., Toma, M., Delgado Marín, J.P., Moreno Nicolás, M., Cosenza, E. (2021). Getting Municipal Energy Management Systems ISO 50001 Certified: A Study with 28 European Municipalities. *Sustainability*, 13(7), 3638. <https://doi.org/10.3390/su13073638>.
15. Luo, Y., Li, Z., Li, S., Jiang, F. (2023). Risk Assessment for Energy Stations Based on Real-Time Equipment Failure Rates and Security Boundaries. *Sustainability*, 15(18), 13741. <https://doi.org/10.3390/su151813741>.
16. Koval, V., Atstāja, D., Shmygol, N., Udovychenko, V., Hrinchenko, H., Tsimoshynska, O. (2025). Strategic Management and Security Risk Assessment of Energy

- Systems. Urban Science, 9(2), 48.
<https://doi.org/10.3390/urbansci9020048>.
17. Yarova, N., Vorkunova, O., Kulykov, D. (2024). Energy efficiency of enterprises of the port industry of Ukraine. Development of management and entrepreneurship methods on transport, 2(87), 34–46. <https://doi.org/10.31375/2226-1915-2024-2-34-46> [in Ukrainian].
18. Tsopa, V., Cheberiachko, S., Yavorska, O., Deryugin, O., Bas, I. (2022). Increasing the safety of the transport process by minimizing the professional risk of a dump truck driver. Mining mineral deposits, 16(3), 101–108. <https://doi.org/10.33271/mining16.03.101>.
19. Paltrinieri, N., Reniers, G. (2017). Dynamic risk analysis for Seveso sites. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 49, 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.03.023>.
20. McLeod, R.W. (2018). Bowtie Analysis as a prospective risk assessment technique in primary healthcare. Policy and Practice in Health and Safety, 16(2), 177–193. <https://doi.org/10.1080/14773996.2018.1466460>.
21. Tsopa, V.A., Cheberiachko, S.I., Yavorska, O.O., Deryugin, O.V., Aleksiev, A.A. (2022). Improvement of the safe work system. Nauk. Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 6, 104–111. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-6/104>
22. Girmanová, L., Šolc, M., Blaško, P., Petřík, J. (2022). Quality Management System in Education: Application of Quality Management Models in Educational Organization—Case Study from the Slovak Republic. Standards, 2(4), 460–473. <https://doi.org/10.3390/standards2040031>
23. Yang, S., Ishtiaq, M., Anwar, M. (2018). Enterprise Risk Management Practices and Firm Performance, the Mediating Role of Competitive Advantage and the Moderating Role of Financial Literacy. Journal of Risk and Financial Management, 11(3), 35. <https://doi.org/10.3390/jrfm11030035>.
24. Miller, H., Griffy-Brown, C. (2021). Evaluating risk for top-line growth and bottom-line protection: enterprise risk management optimization (ERMO). Environment Systems and Decisions, 41, 468–484. <https://doi.org/10.1007/s10669-021-09819-x>.
25. Tsopa, V.A., Yavorska, O.O., Cheberiachko, S.I., Deryugin, O.V., Lantukh, D.V. (2025). Identifying the mining enterprise units with a significant level of non-compliance with occupational safety requirements using the example of a coal mine. Mining of Mineral Deposits, 19(2), 27–37. <https://doi.org/10.33271/mining19.02.027>.
26. Nyman, E. (2017). Maritime Energy and Security: Synergistic Maximization or Necessary Tradeoffs? Energy Policy, 106, 310–314.
27. Mohammadi, F., Nabi Bidhendi, G., Aslani, A. (2023). Designing an Energy Security Index with a Sustainable Development Approach for Energy-Exporting Countries Using Fuzzy BWM Method. Environmental Science and Pollution Research, 30, 7427–7445. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22631-7>