

DOI: <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2024-34-02>

УДК 658.62.018.012

¹**Г. С. ГРІНЧЕНКО**, кандидат техн. наук

доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

e-mail: h.s.hrinchenko@karazin.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6498-6142>

¹**О. В. КІПОРЕНКО**,

студент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

e-mail: kiporenko.oleksii22@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1683-2640>

¹**С. С. НЕГОДОВ**,

аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

e-mail: tiansv2017@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3561-6924>

¹**А. Я. ЛИСЕНКО**,

аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

e-mail: dagost@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3916-8029>

¹**К. К. МАЗОРЧУК**,

аспірантка кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

e-mail: ekaterina.mazorchuk@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3916-8029>

¹**Р. С. НОС**,

аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

e-mail: nosruslan@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0769-4872>

¹Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна.

РОЗВИТОК НОРМАТИВНОГО ПІДХОДУ ДО ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ЕНЕРГОПІДПРИЄМСТВ

Анотація. Аналіз нормативного підходу оцінювання ризиків функціонування енергетичних систем для їх подальшого удосконалення та розвитку.

У статті розглянуто підходи до оцінки ризиків у функціонуванні міських енергетичних систем з метою розробки ефективної стратегії управління на основі нормативного підходу. В статті проаналізовано підходи оцінювання ризиків та виділено нормативний підхід, як основа для управління ризиками, що потребує впровадження кваліметричної оцінки впливу зовнішніх та внутрішніх факторів, які передбачені нормативними документами. Проаналізовано та визначено основні проблеми управління та оцінювання оцінки ризиків, зокрема необхідність комплексного підходу до оцінки ризиків та важливість оцінки не тільки функціонування окремих компонентів системи, але й взаємозв'язків між ними та процесами, що протікають в межах системи і мають вплив, як на технічну систему, так і на навколишнє середовище. Запропоновано розглядати наслідки порушення нормальних умов експлуатації енергообладнання, як ризик для кваліметричного оцінювання технічних систем через можливості відновлення, модернізації обладнання. В якості моделі управління ризиками функціонування технічних систем пропонується модель, що базується на інтенсивності відмов та ймовірності відновлення працездатності енергетичної системи. Запропоновано шкалу для оцінювання настання небажаної події за рівнем безпеки та наслідків цих подій шляхом врахування відновлення як технічного компоненту системи (з урахуванням часу відновлення), так і екологічних наслідків і можливостей їх усунення, враховуючи час та рівень збитків. Для оцінювання і управління проаналізовано вплив зовнішніх факторів на функціонування технічної системи та запропоновано оцінку використовуючи матриці ризику. Такий підхід дозволяє оцінити ефективність впровадження, організації та функціонування системи, а головне - управляти та покращувати функціонування системи на будь-якому етапі її життєвого циклу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ризик, нормативний підхід, енергетичні підприємства, управління, оцінювання, матриці ризику.

Як цитувати: Грінченко Г. С., Кіпоренко О. В., Негодів С. С., Лисенко А. Я., Мазорчук К. К., Нос Р. С. Розвиток нормативного підходу до оцінювання ризиків енергопідприємств. *Машинобудування*. 2024. Вип. 34 С. 17-30. DOI: <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2024-34-02>



Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Очікуване в найближчі десятиліття зростання внутрішнього енергоспоживання та обсягу експорту електроенергії, обмеженість запасів органічного палива для теплових станцій, екологічні виклики, пов'язані з тепловою енергетикою, а також відсутність в Україні значних невикористаних гідроенергетичних ресурсів і песимістичні прогнози щодо комерційного впровадження нетрадиційних джерел енергії визначають ядерну енергетику як безальтернативний напрям, який вирізняється високою конкурентоспроможністю. Водночас розвиток атомної енергетики супроводжується численними упередженнями та суперечностями, пов'язаними з її використанням, зокрема через потенційні загрози соціальної безпеки, ризики забруднення навколишнього середовища та технологічні проблеми безпеки, які можуть призводити до суттєвих економічних втрат. Усі ці аспекти

вимагають глибокого аналізу та застосування науково обґрунтованих методів оцінки ризиків і можливих загроз.

Комплексний аналіз ризиків енергетичного об'єкта дозволяє прогнозувати потенційні загрози для роботи атомних станцій на різних етапах: під час планування роботи енергоблоку, упродовж проектного терміну експлуатації, а також при продовженні термінів експлуатації з урахуванням змін, що виникли під час роботи обладнання. Оцінка здатності енергетичного об'єкта, як складної системи, адаптуватися до можливих загроз є важливою складовою аналізу ризиків. Це забезпечує більш точну й економічно обґрунтовану оцінку функціонування системи та сприяє розробці ефективної стратегії управління ризиками для підвищення безпеки урбанізованих енергетичних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Управління та оцінювання ризиків умовно поділяють на кілька підходів, які застосовуються в соціальних та інженерних системах. Серед них: кількісний аналіз, що базується на статистичних даних і прогнозуванні ймовірності загроз; якісний аналіз, орієнтований на використання якісних характеристик; сценарний підхід, який передбачає моделювання можливого розвитку подій; оцінювання ризиків відповідно до нормативних документів, таких як ISO 31000 або ISO 9001; а також використання інформаційних технологій [1]. На практиці кожен із цих методів має свої переваги та недоліки, тому їх зазвичай застосовують у поєднанні для досягнення більш точних і комплексних результатів.

Серед найпоширеніших кількісних методів аналізу ризиків інженерних систем виділяється метод Монте-Карло [2-6], який дозволяє моделювати ймовірності відмов у різних системах та вибирати оптимальні параметри. Ще одним широко використовуваним методом є аналіз дерева відмов (Fault Tree Analysis) [7-12]. У роботі [7] запропоновано застосування цього підходу для виявлення джерел небезпеки в

підсистемах міського транспортного комплексу через аналіз типових ризикових подій, які були трансформовані в баєсівські мережі для подальшого кількісного аналізу.

Дослідження [10, 11] пропонують оцінювати ризики динамічних характеристик систем за допомогою автоматичної генерації та кількісного аналізу динамічних дерев відмов, враховуючи часові характеристики та надмірність. Автоматична побудова дерев відмов та їх аналіз сприяють ефективній ідентифікації критично важливих елементів, а також дають можливість порівнювати альтернативні концепції побудови системи [11, 12].

Метод аналізу дерева відмов дозволяє оцінювати комплексний ризик із детальною індикацією окремих його складових, що може слугувати основою для подальшої оцінки стійкості, надійності об'єктів та їхнього перспективного розвитку, забезпечуючи необхідний рівень безпеки.

Якісний аналіз ризиків часто поєднується з кількісним для оцінки інженерних систем. Прикладами методів якісного аналізу є SWOT-аналіз, матриця ймо-

вірності та впливу ризиків, а також експертні опитування [13-19]. SWOT-аналіз і експертне оцінювання здебільшого застосовуються для оцінки ризиків у соціально-економічних системах [14-16], тоді як у технічних системах ризики пов'язують з безпекою. Для оцінки таких ризиків використовують кваліметричні методи, зокрема матричний підхід для прийняття рішень або класифікації об'єктів за рівнем ризику [13, 17-19].

Оцінка ризиків відповідно до нормативних стандартів, таких як ISO 31000 [20], ІЕС 31010 [21], ISO 9001 [22], ISO 45001 [23], є важливим напрямком як у практичному, так і в науковому контекстах, зокрема при впровадженні систем управління якістю, забезпеченні безпеки та здоров'я працівників, а також для підвищення ефективності управління. Оцінка ризиків згідно з нормативними

документами є гнучким процесом, що полягає у визначенні відповідності вимогам стандартів. Стандарти ISO є основою для оцінки та управління ризиками, а наукові дослідження в цій сфері зосереджені на розробці обґрунтованих методів оцінки ризиків, ідентифікації критеріїв небезпеки та ризиків, аналізі критичних подій і загроз, а також на шляхи системної інтеграції на підприємствах і стратегіях оцінки їх ефективності [24-27].

Кожна з наведених груп методів має свої переваги та недоліки (Рис. 1), і зазвичай застосовується в поєднанні для підвищення точності результатів та забезпечення ефективного управління ризиками. Для вибору оптимального підходу, що сприятиме стійкому управлінню підприємством, необхідно враховувати особливості об'єкта ризик-менеджменту.

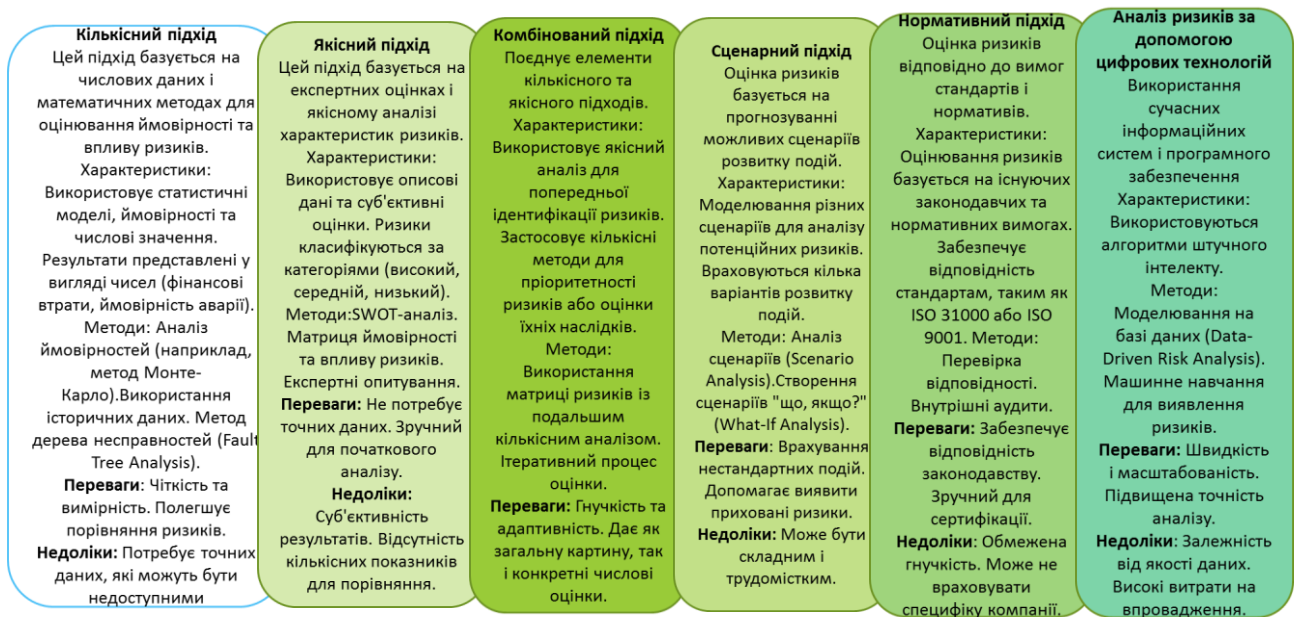


Рис. 1- Підходи до оцінювання ризиків
Fig. 1- Risk assessment approaches

Виклад основного матеріалу

Оцінка наслідків реалізації загроз та їх впливу на безперервність забезпечення потреб споживачів (населення, бізнесу, держави та суспільства) у паливно-енергетичних ресурсах є важливим елементом системи енергетичної безпеки. Крім того, важливим є оцінювання можливостей суб'єктів забезпечення енергетичної безпеки для запобігання розвитку негативних сценаріїв. Управління ризиками є визнаним

у світі комплексним підходом, що передбачає розробку відповідних заходів і їх інтеграцію в документи державного планування. Метою є запобігання виникненню нових ризиків і зменшення наявних шляхом упровадження комплексних заходів на об'єктовому, галузевому та загальнодержавному рівнях.

Досвід багатьох країн підтверджує, що створення системи управління ризиками

має численні переваги, і ризикоорієнтовані підходи широко застосовуються в провідних країнах світу. Наприклад, у ЄС у 2015 році було затверджено методи оцінки ризиків для захисту критичної інфраструктури [28], які ґрунтуються на аналізі загроз і ризиків.

Ризик є невіддільною частиною будь-якої соціально-економічної діяльності, тому його наявність на підприємстві або в будь-якому процесі не є ані недоліком, ані перевагою. Сучасні підходи до управління ризиками ґрунтуються на концепції "прийняттого ризику", згідно з якою головною метою є досягнення максимальної надійності всіх видів діяльності шляхом утримання сукупного ризику в межах, визначених стратегією розвитку соціально-економічної системи [1].

Узагальнений підхід до оцінки ризиків включає: ідентифікацію загроз, оцінку частоти (ймовірності) реалізації кожної загрози; оцінку вразливості до кожної загрози, що разом з її частотою визначає ймовірність завдання шкоди; оцінку наслідків (шкоди) для найгіршого сценарію розвитку подій. Концепція ризик-менеджменту полягає не тільки в ідентифікації та оцінці загроз і наслідків, а охоплює більш широке коло процесів, поєднуючи розвиток та удосконалення підприємства з урахуванням можливих наслідків [20-23]. Для побудови моделі ризик-менеджменту енергетичного підприємства, яке є частиною складної соціоecологічної системи, можна визначити наступні етапи ідентифікації та управління ризиками згідно з нормативним підходом та міжнародних стандартів (рис. 2).

Управління ризиками може бути впроваджено на будь-якому етапі функціонування системи, при цьому важливо залучити всі рівні енергетичного підприємства до цього процесу, починаючи з вищого керівництва, яке визначає стратегію та встановлює максимальний рівень сукупного ризику (верхню межу).

Впровадження управління ризиками в систему функціонування енергетичного підприємства полягає, зокрема, в тому, що до цього процесу залучаються практично всі його підрозділи.

Перший етап пов'язаний з формулюванням стратегії енергетичного підприємства, яка повинна базуватися на Політиці якості системи управління процесами. Політика якості визначає чіткі цілі, зміст, процедури та відповідальність за її виконання. Вона повинна мати офіційний статус, а весь персонал — усвідомлювати важливість кожної діяльності для загального розвитку, сталого функціонування підприємства та підвищення якості, а також усвідомлювати свою роль як професіонала в цьому процесі.

Інформаційно-аналітичний етап передбачає постійний моніторинг факторів, що можуть впливати на виникнення ризиків, як зовнішніх, так і внутрішніх. На цьому етапі проводиться збір, обробка, передавання та аналіз різної інформації, що дозволяє оцінити коло ризиків, які можуть виникнути в енергетичному підприємстві. До внутрішніх факторів можна віднести: технічний стан енергетичного обладнання, його модернізацію, зміни в режимах роботи, функціонування систем контролю та запобігання загроз, забезпечення безпеки технічних процесів, соціальні фактори (мотивація персоналу, його навчання, організація робіт та безпеки, дотримання правил і норм безпеки), нормативно-методичне забезпечення правил з безпеки праці, методичне та навчальне забезпечення процесів тощо. Зовнішні фактори включають: екологічні загрози (сейсмічна активність, пожежі, повені тощо), зміни в орієнтації замовників, кібератаки, військові конфлікти, форс-мажорні ситуації, що порушують нормальні умови функціонування систем, зміни в нормативно-правовому забезпеченні енергетичної діяльності тощо.



Рис. 1- Модель управління ризиками для енергетичного підприємства згідно з ISO 31000, IEC 31010

Fig. 1- Risk management model for an energy enterprise according to ISO 31000, IEC 31010

На наступному етапі доцільно визначити контекст ризику, що включає ідентифікацію ризиків енергетичного підприємства. Визначення ризиків ґрунтується на виявленні подій, які можуть впливати (як позитивно, так і негативно) на досягнення цілей, сформульованих у стратегії енергетичного підприємства. У межах системи управління якістю основною метою є забезпечення якості та стабільності функціонування енергетичного підприємства. Таким чином, контекстом ризику можна вважати фактори, що пов'язані з забезпеченням безпеки, стабільності та надійності роботи енергетичного об'єкта, а саме порушення нормальних умов експлуатації, виникнення небезпечних ситуацій, перевищення нормативних показників, що впливають на внутрішню безпеку системи та навколишнє середовище (перевищення антропогенного навантаження на екосистеми).

Наступний етап полягає у зборі даних відповідно до визначеного контексту ризиків. Цей етап, зазвичай, забезпечується

представниками відповідних функціональних підрозділів під час регулярної діяльності або планових робіт, враховуючи контекст ризиків. Для енергетичного підприємства пропонується збір як статистичних, так і динамічних даних, що впливають на обладнання та характеризують його надійність при різних режимах експлуатації. Для оцінки впливу на зовнішнє середовище пропонується збір даних про антропогенне навантаження на територію підприємства (радіаційний фон, тепловий баланс, викиди забруднювальних речовин тощо). Важливо також враховувати, як екологічні фактори (природні ризики та загрози) впливають на технічний стан енергообладнання та стабільність його роботи, а також як технічні проблеми (порушення нормальної експлуатації, відмови, зупинки, пошкодження обладнання та системи) можуть змінювати навантаження на екосистеми.

Далі необхідно провести якісний аналіз ризику, що включає виявлення факторів ризику та оцінку наслідків їх

реалізації для стабільного функціонування енергетичного підприємства (вплив на цілі). На цьому етапі важливо враховувати всі обставини та наслідки ризиків, а також використовувати всі доступні інструменти якісного аналізу ризиків та оцінки, враховуючи специфіку процесів на енергетичному підприємстві.

Для проведення кількісного аналізу ризиків та підвищення його точності пропонується враховувати не лише ймовірність настання небажаної події, а й наслідки від можливих загроз та втрат. Рекомендується розподілити всі загрози на три типи:

- **Загрози з невідворотними наслідками** для технічної та екологічної складових системи енергетичного підприємства. Це можуть бути події, що призводять до незворотних руйнувань екосистеми (наприклад, такі, що неможливо відновити протягом 30 років), або до пошкодження енергообладнання, яке не підлягає ремонту або заміні, що суттєво впливає на роботу всієї енергетичної системи.
- **Загрози, що порушують нормальні умови в екологічній та технічній системах, але з можливістю часткового відновлення.** Наприклад, перевищення нормативних показників забруднення, яке можна усунути без невідворотних наслідків, але яке має певний вплив на навколишнє середовище. Також до цього типу належать порушення нормальних умов експлуатації енергообладнання, для усунення яких потрібно змінити режими експлуатації, що може призвести до зниження енергоефективності або порушити сталість функціонування системи без можливості повного відновлення.
- **Загрози, що призводять до порушення нормальних умов функціонування енергетичного підприємства, але з можливістю повного відновлення системи після усунення загрози.** Наприклад, перевищення екологічних показників (наприклад, екологічного фону територій АЕС), що не мають значного впливу на екосистему або що швидко відновлюються до нормативних значень, або порушення роботи тепломеханічного обладнання, яке швидко можна замінити або відремонтувати завдяки наявності резервування та модернізації систем, що

дозволяє повернути систему до номінальних показників функціонування.

Для ініціації робіт з управління ризиками на енергетичному підприємстві наказом Директора створюється робоча та експертна групи з управління ризиками. До складу цих груп входять провідні фахівці з високою кваліфікацією та досвідом у галузі побудови й управління системою менеджменту якості, здатні розробити систему управління ризиками та забезпечити безперервний контроль. Робоча група розробляє проєкт Плану управління ризиками для кожного виду продукції енергетичного підприємства.

При визначенні небезпек, пов'язаних з кожним типом загрози, встановлюються їх властивості, а також якісні та кількісні ознаки та функції, що можуть негативно вплинути на безпеку функціонування підприємства. Це дозволяє визначити й вказати граничні значення та характеристики для цих факторів небезпеки. На основі аналізу цих факторів складається перелік відомих і потенційних небезпек, що виникають у процесі функціонування підприємства, із класифікацією за призначенням.

Для кожної визначеної небезпеки проводиться оцінка наслідків її реалізації, а також визначення причин і механізмів виникнення небезпеки. Крім того, розробляються заходи для запобігання або зниження ризику. Зібрані дані фіксуються в протоколі «Аналіз, оцінка і контроль ризиків», який оформлюється для кожної небезпеки кожного типу. На основі всебічного аналізу цих даних проводиться оцінка ризику (розрахунок індексу ризику), що є комбінацією двох компонентів: ступеня тяжкості можливої шкоди (**T**) та ймовірності настання збитку (**P**), яка в свою чергу включає ймовірність відмови та ймовірність відновлення системи.

Для оцінки ймовірності настання збитку застосовується п'ятибальна шкала ймовірностей, яка визначається експертами перед проведенням оцінки ймовірності для кожної встановленої небезпеки. Ця шкала наводиться у вигляді таблиці в Плані управління ризиками для кожного виду загрози. Характеристики кожного рівня ймовірності мають чітко відображати ймовірність виникнення збитку на основі аналізу факторів небезпеки, причин,

механізмів та заходів щодо їх зниження. Ранжування рівнів ймовірності є умовним і може не повністю відображати фактичну ймовірність виникнення збитків. Однак, з накопиченням досвіду, аналізом статистичних даних та уточненням оцінки ймовірності, ця шкала має поступово уточнюватися.

Для оцінки ймовірності небажаної події використовують такі методи: аналіз накопичених значущих даних, прогнозування ймовірності за допомогою аналітичних методів і симуляційних технік, а також оцінку ймовірності експертами. У випадках, коли ймовірність виникнення

збитків може бути розрахована кількісно на основі значущих даних, для порівняння розрахованих значень ймовірності з п'ятьма описовими рівнями ймовірності, що використовуються в методиці оцінки якості, визначаються діапазони значень ймовірності, відповідні кожному з цих рівнів. Цей процес здійснюється за участю експертів - фахівців з великим досвідом роботи у відповідних галузях енергетичних систем. Під час оцінки ймовірності спочатку проводиться статистична перевірка значущості вихідних даних і точний розрахунок ймовірностей (табл. 1).

Таблиця 1

Шкала ймовірності настання небажаної події (загроз) на енергетичному підприємстві

Table 1

Probability scale of an undesirable event (threat) at an energy enterprise

Оцінка	Ймовірність	Діапазон ймовірності	Визначення
P1	Малоймовірна	$< 1 \times 10^{-9}$	Високий рівень забезпечення безпеки технічної складової, малоймовірні загрози
P2	Дуже низька	$1 \times 10^{-9} - 1 \times 10^{-8}$	Достатній рівень забезпечення безпеки, низька ймовірність загроз
P3	Середня	$1 \times 10^{-8} - 1 \times 10^{-7}$	Ймовірні поодинокі події (загрози), недостатній рівень забезпечення безпеки
P4	Висока	$1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-4}$	Небезпека висока, повторюваність загроз високо ймовірна
P5	Надзвичайно висока	$\geq 1 \times 10^{-4}$	Високий рівень небезпеки та ймовірність настання подій (загроз)

Для оцінки ступеня тяжкості можливих наслідків (Т) використовується система з п'яти рівнів, що ранжуються, які визначаються та характеризуються експертами до проведення оцінки ймовірних збитків. Ця система представлена у вигляді таблиці в Плані управління ризиками. Характеристики кожного рівня ступеня тяжкості повинні дозволяти чітко віднести ймовірний збиток до одного з п'яти рівнів, ґрунтуючись на описі цього збитку. Ступінь тяжкості ймовірного збитку визначається як оцінка найсерйознішого наслідку небезпеки (якщо їх кілька). Аналіз ступеня тяжкості та

ймовірності збитку має бути проведений таким чином, щоб полегшити прийняття рішення щодо зниження ризику через зменшення ступеня тяжкості наслідків або зниження ймовірності їх настання (табл. 2). Застосовуючи п'ятибальну шкалу для оцінки ймовірності збитків та їх тяжкості, розраховується матриця оцінки ризику, яка представлена у таблиці 3. Ці зони відповідають діапазонам значень ризику, що відповідають вищезазначеним рівням, і матриця включається до Плану управління ризиками енергетичного підприємства

Таблиця 2

Якісні характеристики наслідків небажаних подій на енергетичному підприємстві

Table 2

Qualitative characteristics of the consequences of undesirable events at an energy enterprise

Оцінка	Наслідки	Визначення
T1	Незначні	Вплив на екосистему мінімальний, не спричиняє значних наслідків для персоналу та населення, технічні пошкодження не становлять загрози безпеці працівників, існують попереджувальні заходи, а також резервування для процесів/обладнання.
T2	Низькі	Малозначні пошкодження без ускладнень, незначний вплив на екосистему, системи відновлюються швидко, без загрози для безпеки персоналу та здоров'я, технічний стан енергообладнання швидко відновлюється, висока ймовірність ремонту чи заміни, спричинення мінімальної моральної або матеріальної шкоди.
T3	Помірні	Вплив на екосистему помітний, але система може відновитися протягом певного часу або часткове відновлення наближається до початкового стану. Загрози, що виникають, були враховані під час проєктування або модернізації енергетичного підприємства. Є можливість повного відновлення системи до номінальних параметрів, технічне обладнання підлягає ремонту, можливе заміщення окремих компонентів за умови певних економічних витрат (враховуючи час простою, матеріальні витрати тощо).
T4	Значні	Вплив на екосистему значний, проте можливе часткове відновлення. Існує загроза безпеці та здоров'ю персоналу енергетичного об'єкта. Повне відновлення систем, процесів чи обладнання після настання події неможливе. Енергетичне обладнання має низьку ймовірність ремонтпридатності, і подальша робота в номінальних режимах не здійснюється. Це спричиняє значні економічні втрати через пошкодження, тривалі простої, заміну та модернізацію обладнання. Усунення наслідків у короткий термін неможливе
T5	Критичні	При виникненні загроз відновлення системи неможливе. Екосистемі буде завдано невідворотні зміни, існує високий рівень загрози для безпеки та здоров'я населення і персоналу. Технічне обладнання не підлягає відновленню або заміні. Це призведе до значних матеріальних втрат та інших серйозних наслідків.

Таблиця 3

Матриця оцінки ризику для енергетичного підприємства

Table 3

Risk assessment matrix for an energy enterprise

Ймовірність загроз / наслідків	T1	T2	T3	T4	T5
P1	РП	РПП	РПП	РН	РН
P2	РПП	РПП	РН	РН	РН
P3	РПП	РН	РН	РН	РН
P4	РН	РН	РН	РН	РН
P5	РН	РН	РН	РН	РН

Індекс ризику:

Ризик неприпустимий (РН)

Ризик практично прийнятний, але потребує постійного моніторингу та контролю (РПП)

Ризик прийнятний (РП)

Слід зазначити, що це не класичний варіант матриці, що розроблено з урахуванням підвищених вимог для енергетичного підприємства, як для об'єкта підвищеної безпеки. На основі висновку щодо кожного ризику приймається одне з двох рішень:

Якщо оцінений ризик є досить малим (індекс ризику потрапляє в діапазон рівня прийнятних ризиків), то цей ризик можна проігнорувати, і не потрібно розробляти заходи для його зниження.

Якщо ризик є досить великим, необхідно визначити та вжити заходів для його контролю.

У разі прийняття рішення про необхідність зниження рівня ризику для певної безпеки, слід вжити заходів для його контролю, щоб знизити його до прийнятного або до практично низького рівня. Заходи щодо попередження, зниження або утримання ризику в межах контрольованих значень розробляються фахівцями експертної та робочої груп. Процес розробки цих заходів починається з вивчення можливості зниження рівня ризику за умови реалізації всіх доступних засобів.

Якщо встановлено, що знизити індекс ризику до рівня прийнятних ризиків неможливо, розробляються заходи для зниження індексу ризику до рівня прийнятних на практиці низьких ризиків. Після виконання зазначених заходів проводиться оцінка залишкових ризиків з урахуванням вжитих заходів для запобігання або зниження ризику.

Після вжиття заходів щодо зниження ризиків можуть виникнути технологічні та технічні зміни, зміни в процесах функціонування підприємства, а також у заходах і системах контролю. Ці зміни можуть призвести до виникнення нових ознак і функцій, тобто нових чинників безпеки й пов'язаних з ними ризиків. Так, наприклад, модернізація енергетичного обладнання може призвести до виявлення нових загроз, зниження рівня безпеки, застосування нових ресурсів, що впливають на економічність та енергоефективність

тощо. Щоб переконатися, що в процесі впровадження заходів щодо запобігання або зниження ризиків не з'явилися нові фактори безпеки, проводиться повторний аналіз ризиків.

Після проведення заходів щодо запобігання і зниження ризиків, визначених у процесі організації контролю ризиків, а також оцінки кожного залишкового ризику, робоча група з управління ризиками здійснює загальну оцінку залишкового ризику. Для визначення критеріїв прийнятності загального залишкового ризику експертами розробляється відповідна шкала для кожного фактора загрози. Максимальне значення шкали отримується шляхом підсумовування значень індексів ризику для всіх встановлених небезпек. Отриману шкалу експерти ділять на діапазони, що відповідають прийнятним ризикам, прийнятним на практиці ризикам та неприйнятним ризикам.

Оцінка досвіду та переоцінка ризиків проводиться у таких випадках:

- при систематичному перегляді та оновленні плану управління ризиками;
- у разі зміни національної або міжнародної нормативної бази у сфері ризиків та безпеки;
- при отриманні незадовільних результатів моніторингу процесу управління ризиками;
- у разі виникнення небезпечних ситуацій;
- при модернізації обладнання, зміні режимів експлуатації тощо;
- при перепризначенні термінів експлуатації енергетичного підприємства.

Однією з основних умов ефективності та результативності управління ризиками на підприємстві є належна організація та підтримка системи реалізації, контролю та оцінки цього процесу. Функція організації управління ризиками, забезпечення необхідними ресурсами, включаючи кваліфікований персонал, а також систематичний контроль та оцінка діяльності з управління ризиками, лежить у сфері відповідальності вищого керівництва енергетичного підприємства.

Висновки

Сучасний стан енергетичних підприємств потребує ефективних стратегій управління для забезпечення безпеки та сталості функціонування. Реалізація цих стратегій можлива на основі впровадження підходів до управління та оцінювання ризиків що ґрунтуються на нормативному підході, а саме застосування міжнародних стандартів з управління якістю ISO 9001 та ризик-менеджменту ISO 31000, ІЕС 31010. На основі цих стандартів запропоновано модель управління ризиками для енергетичного підприємства та розглянуто кожний етап її реалізації. На етапі оцінювання ризиків запропоновано згідно з нормативними документами якісний та кількісний аналіз ймовірності настання небажаних подій (загроз) та врахування наслідків. В основу аналізу пропонується враховувати вплив технічних змін енергообладнання та екологічний вплив (наприклад, несприятливі умови навколишнього середовища, сейсмоактивність тощо). При оцінюванні наслідків порушення умов функціонування теж

пропонується враховувати як внутрішні впливи, а саме можливість відновлення обладнання, модернізації, зміни режимів експлуатації тощо, так і вплив на навколишнє середовище в результаті настання можливих небажаних подій. Для оцінювання ймовірності настання подій та наслідків застосовують шкалу, яка має 5 рівнів безпеки та відповідні кількісні характеристики ймовірності загроз, та п'ятибальну шкалу описових рівнів наслідків для навколишнього середовища та технічного обладнання енергопідприємства (від можливостей повністю відновлення до невідворотних змін). Визначення кожного рівня ризику пропонується в рамках систем управління ризиками (нормативного підходу) визначати й характеризувати експертами під час проведення періодичного та систематичного моніторингу та контролю параметрів енергетичних систем для оцінки ймовірностей загроз та наслідків, що виникають при функціонуванні енергетичного підприємства.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію

Список використаної літератури

1. Trishch, R., Nechuiviter, O., Hrinchenko, H., Bubela, T., Riabchykov, M., Pandova, I. Assessment of safety risks using qualimetric methods. *MM Science Journal*. Oct. **2023**, 6668. doi: 10.17973/MMSJ.2023_10_2023021
2. Qian Zhang, Yaoqi Nie, Weigang Zhao, Lijie Du, Research on TBM parameter optimization based on failure probability, *Engineering Failure Analysis*, Volume 167, Part B, 2025, 109036, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.109036>.
3. Грінченко Г.С., Тріщ Ю.В., Грінченко В.В., Багаєв І.О., Фатєєва Л.Ю. Підходи щодо оцінювання ризиків функціонування систем об'єктів різного призначення. *Машинобудування: Збірник наукових праць*. 2022. №29. С. 70 -79. DOI 10.32820/2079-1747-2022-29-70-79.
4. Torregosa, R.F. and Hu, W. (2013), Probabilistic risk analysis of fracture of aircraft structures using a Bayesian approach to update the distribution of the equivalent initial flaw sizes. *Fatigue Fract Engng Mater Struct*, 36: 1092-1101. <https://doi.org/10.1111/ffe.12103>
5. R. Bachar, A. Urlainis, K-C. Wang, I.M. Shohet, Optimal allocation of safety resources in small and medium construction enterprises, *Safety Science*, Volume 181, 2025, 106680, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106680>.
6. Miguel Saiz, Laura Calvet, Angel A. Juan, David Lopez-Lopez, A simheuristic for project portfolio optimization combining individual project risk, scheduling effects, interruptions, and project risk correlations, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 198, 2024, 110694, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110694>.
7. Методика управління ризиками для системи управління якістю при виготовленні виробів медичного призначення / А. М. Денисенко [и др.] // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2019. – Вип. 3 (55). – С. 25–30.

8. Оцінювання ризиків функціонування системи управління якістю (ДСТУ ISO 9001:2015) вищих навчальних закладів / Р. М. Тріщ, Г. С. Кіпоренко, Н. І. Кім, А. М. Денисенко // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2016. – Вип. 2 (38). – С. 133–136.
9. Y. Chen, Z. Tian, C. Roberts, S. Hillmansen and M. Chen, "Reliability and Life Evaluation of a DC Traction Power Supply System Considering Load Characteristics," in *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 7, no. 3, pp. 958-968, Sept. 2021, doi: 10.1109/TTE.2020.3047512.
10. Chu, C.; Yang, W.; Chen, Y. Dynamic Fault Tree Generation and Quantitative Analysis of System Reliability for Embedded Systems Based on SysML Models. *Sensors* **2024**, *24*, 6021. <https://doi.org/10.3390/s24186021>
11. Michael Roth, Moritz Wolf, Udo Lindemann, Integrated Matrix-based Fault Tree Generation and Evaluation, *Procedia Computer Science*, Volume 44, 2015, Pages 599-608, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.027>.
12. M. Roth, C. von Beetzen and U. Lindemann, "Matrix-based multi-hierarchy fault tree generation and evaluation," *2016 Annual IEEE Systems Conference (SysCon)*, Orlando, FL, USA, 2016, pp. 1-7, doi: 10.1109/SYSCON.2016.7490535.
13. Markulik, Š.; Šolc, M.; Blaško, P. Use of Risk Management to Support Business Sustainability in the Automotive Industry. *Sustainability* **2024**, *16*, 4308. <https://doi.org/10.3390/su16104308>
14. Nektarios Karanikas, Haroun Zerguine, Redefining health, risk, and safety for occupational settings: A mixed-methods study, *Safety Science*, Volume 181, 2025, 106698, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106698>.
15. Petroutsatou, K., Antoniou, F. & Markoulatos, E.S. Qualitative prioritization of accident risks in the mining industry. *Life Cycle Reliab Saf Eng* **13**, 483–503 (2024). <https://doi.org/10.1007/s41872-024-00276-4>
16. Kumar, M., Epiphaniou, G. & Maple, C. Comprehensive Threat Analysis in Additive Manufacturing Supply Chain: A Hybrid Qualitative and Quantitative Risk Assessment Framework. *Prod. Eng. Res. Devel.* **18**, 955–973 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11740-024-01283-1>
17. D.C.P. Peacock, The certainty matrix for fault data and interpretations, *Geothermics*, Volume 125, 2025, 103197, <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2024.103197>.
18. Черняк О. М., Лис Ю. С., Грінченко Г. С., Каницька І. В. Багатокритеріальне оцінювання умов праці на виробництві. Вісник Національного тех-нічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 3 (5). С. 28-33.
19. Kenneth Otárola, Leandro Iannacone, Roberto Gentile, Carmine Galasso, Multi-hazard life-cycle consequence analysis of deteriorating engineering systems, *Structural Safety*, Volume 111, 2024, 102515, <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2024.102515>.
20. ISO 31000:2018 Risk management — Guidelines. Published (Edition 2, 2018): Geneva, Switzerland, 2018.
21. IEC 31010:2019 Risk management — Risk assessment techniques: Geneva, Switzerland, 2019.
22. ISO 9001:2015 Quality management systems — Requirements: Geneva, Switzerland, 2015.
23. ISO 45001; Occupational Health and Safety Management Systems. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2018.
24. Hrinchenko, H.; Koval, V.; Shmygol, N.; Sydorov, O.; Tsimoshynska, O.; Matuszewska, D. Approaches to Sustainable Energy Management in Ensuring Safety of Power Equipment Operation. *Energies* **2023**, *16*, 6488. <https://doi.org/10.3390/en16186488>
25. Hrinchenko, H.; Prokopenko, O.; Shmygol, N.; Koval, V.; Filipishyna, L.; Pali, S.; Cioca, L.-I. Sustainable Energy Safety Management Utilizing an Industry-Relative Assessment of Enterprise Equipment Technical Condition. *Sustainability* **2024**, *16*, 771. <https://doi.org/10.3390/su16020771>
26. Šolc, M.; Blaško, P.; Girmanová, L.; Kliment, J. The Development Trend of the Occupational Health and Safety in the Context of ISO 45001:2018. *Standards* **2022**, *2*, 294-305. <https://doi.org/10.3390/standards2030021>
27. Widianti, T., Firdaus, H. and Rakhmawati, T. (2024), "Mapping the landscape: a bibliometric analysis of ISO 31000", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 41 No. 7, pp. 1783-1810. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2023-0287>
28. Risk assessment methodologies for critical infrastructure protection. Part II: A new approach. URL: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/risk-assessment-methodologies-critical-infrastructure-protection-part-ii-new-approach> . (Last accessed: 17 October 2024)

Стаття надійшла для редакції 21. 10. 2024

Стаття рекомендована до друку 22.11.2024

¹**HRINCHENKO H., Ph.D.,**

Associate Professor of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies
e-mail: h.s.hrinenko@karazin.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6498-6142>

¹**KIPORENKO O.,**

student of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies
e-mail: kiporenko.oleksii22@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1683-2640>

¹**NEHODOV S.,**

Postgraduate student of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies
e-mail: tiansv2017@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3561-6924>

¹**LYSENKO A.,**

Postgraduate student of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies
e-mail: dagost@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3916-8029>

¹**MAZORCHUK K.,**

Postgraduate student of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies
e-mail: ekaterina.mazorchuk@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3916-8029>

¹**NOS R.,**

Postgraduate student of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies
e-mail: nosruslan@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0769-4872>

¹*V.N. Karazin Kharkiv National University
Svobody square, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine*

DEVELOPMENT OF A REGULATORY APPROACH TO RISK ASSESSMENT OF ENERGY UTILITIES

The article considers approaches to risk assessment in the functioning of urban energy systems to develop an effective management strategy based on the regulatory approach. The article analyses risk assessment approaches and highlights the normative approach as a basis for risk management, which requires the introduction of a qualitative assessment of the impact of external and internal factors provided for by regulatory documents. The main problems of risk management and assessment are analyzed and identified, in particular, the need for an integrated approach to risk assessment and the importance of assessing not only the functioning of individual components of the system, but also the interrelationships between them and the processes that occur within the system and have an impact on both the technical system and the environment. It is proposed to consider the consequences of violating normal operating conditions of power equipment as a risk for the qualimetric assessment of technical systems through the possibility of restoration and modernization of equipment. As a model for managing the risks of technical systems, a model based on the intensity of failures and the probability of restoring the power system's performance is proposed. A scale for assessing the occurrence of an undesirable event by the level of safety and the consequences of these events is proposed by taking into account the restoration of both the technical component of the system (taking into account the restoration time) and the environmental consequences and the possibilities of their elimination, taking into account the time and level of damage. For assessment and management purposes, the impact of external factors on the functioning of the technical system is analyzed, and an assessment using risk matrices is proposed. This approach makes it possible to assess the effectiveness of the system's implementation, organization, and operation and, most importantly, to manage and improve the system's functioning at any stage of its life cycle.

KEYWORDS: *risk, regulatory approach, energy enterprises, management, assessment, risk matrices.*

In cites: Hrinchenko H, Kiporenko O, Nehodov S, Lysenko A, Mazorchuk K, Nos R. (2024). Development of a regulatory approach to risk assessment of energy enterprises. *Engineering*, (34), 17-30. <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2024-34-02> (in Ukraine)

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of the manuscript. In addition, the authors fully complied with ethical standards, including plagiarism, data falsification, and double publication.

Referenses:

1. Trishch, R, Nechuiviter, O, Hrinchenko, H, Bubela, T, Riabchykov, M & Pandova, I 2023, 'Assessment of safety risks using qualimetric methods', *MM Science Journal*, 6668. DOI: [10.17973/MMSJ.2023_10_2023021](https://doi.org/10.17973/MMSJ.2023_10_2023021)

2. Qian Zhang, Yaoqi Nie, Weigang Zhao & Lijie Du 2025, 'Research on TBM parameter optimization based on failure probability', *Engineering Failure Analysis*, Vol. 167, Part B, 109036, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.109036>.
3. Hrinchenko, HS, Trishch, YuV, Hrinchenko, VV & Bahaiev, IO 2022, [Fatieieva L.Iu. Approaches to the risk assessment of the functioning of a system of objects of various purposes], *Engineering*, iss 29, Pp. 70 -79. DOI 10.32820/2079-1747-2022-29-70-79.
4. Torregosa, RF & Hu, W 2013, 'Probabilistic risk analysis of fracture of aircraft structures using a Bayesian approach to update the distribution of the equivalent initial flaw sizes', *Fatigue Fract Engng Mater Struct*, No 36, Pp. 1092-1101. DOI: <https://doi.org/10.1111/ffe.12103>
5. Bachar, R, Urlainis, A, Wang, K-C & Shohet, IM 2025, 'Optimal allocation of safety resources in small and medium construction enterprises', *Safety Science*, Vol. 181, 106680, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106680>.
6. Saiz, M, Calvet, L, Juan, Angel A. & Lopez-Lopez, D 2024, 'A simheuristic for project portfolio optimization combining individual project risk, scheduling effects, interruptions, and project risk correlations', *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 198, 110694, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110694>.
7. Denysenko, AM et al 2019, [Risk management methodology for quality management systems in the manufacture of medical devices], *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku*, iss. 3 (55), Pp. 25–30.
8. Trishch, RM, Kiporenko, HS, Kim, NI & Denysenko, AM 2016, 'Otsiniuvannia ryzykiv funktsionuvannia systemy upravlinnia yakistiu (DSTU ISO 9001:2015) vyshchych navchalnykh zakladiv' [Risk assessment of the functioning of the quality management system (SSU ISO 9001:2015) higher educational institutions], *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku*, iss. 2 (38), Pp. 133–136.
9. Chen, Y, Tian, Z, Roberts, C, Hillmanssen, S & Chen, M 2021, 'Reliability and Life Evaluation of a DC Traction Power Supply System Considering Load Characteristics', *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 7, no. 3, pp. 958-968, DOI: 10.1109/TTE.2020.3047512.
10. Chu, C, Yang, W & Chen, Y 2024, 'Dynamic Fault Tree Generation and Quantitative Analysis of System Reliability for Embedded Systems Based on SysML Models', *Sensors*, iss 24, p. 6021. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24186021>
11. Roth, M, Wolf, M & Lindemann, U 2015, 'Integrated Matrix-based Fault Tree Generation and Evaluation', *Procedia Computer Science*, Vol. 44, Pp. 599-608, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.027>.
12. Roth, M, Beetzen, C. Von & Lindemann, U 2016, 'Matrix-based multi-hierarchy fault tree generation and evaluation', *Annual IEEE Systems Conference (SysCon)*, pp. 1-7, DOI: 10.1109/SYSCON.2016.7490535.
13. Markulik, Š, Šolc, M & Blaško, P 2024, 'Use of Risk Management to Support Business Sustainability in the Automotive Industry', *Sustainability*, iss 16, Pp. 4308. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16104308>
14. Karanikas, N & Zerguine, H 2025, 'Redefining health, risk, and safety for occupational settings: A mixed-methods study', *Safety Science*, Vol. 181, 106698, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106698>.
15. Petroutsatou, K, Antoniou, F & Markoulatos, ES 2024, 'Qualitative prioritization of accident risks in the mining industry', *Life Cycle Reliab Saf Eng*, Pp. 483–503. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41872-024-00276-4>
16. Kumar, M, Epiphaniou, G & Maple, C 2024, 'Comprehensive Threat Analysis in Additive Manufacturing Supply Chain: A Hybrid Qualitative and Quantitative Risk Assessment Framework', *Prod. Eng. Res. Deve*, Iss 18, Pp. 955–973. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-024-01283-1>
17. Peacock, DCP 2025, 'The certainty matrix for fault data and interpretations', *Geothermics*, Vol. 125, p. 103197, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2024.103197>.
18. Cherniak, OM, Lys, YuS, Hrinchenko, HS & Kanytska, IV 2020, 'Bahatokryterialne otsiniuvannia umov pratsi na vyrobnytstvi' [Multi-criteria evaluation of employment conditions in production], *Visnyk Natsionalnoho tekhnicheskoho universytetu «KhPI». Seriya: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh*, No 3 (5), Pp. 28-33.
19. Otárola, K, Iannaccone, L, Gentile, R & Galasso, C 2024, 'Multi-hazard life-cycle consequence analysis of deteriorating engineering systems', *Structural Safety*, Vol. 111, 102515, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2024.102515>.
20. International Organization for Standardization 2018, ISO 31000:2018 Risk management — Guidelines, Geneva, Switzerland.
21. International Organization for Standardization 2019, IEC 31010:2019 Risk management — Risk assessment techniques, Geneva, Switzerland.
22. International Organization for Standardization 2015, ISO 9001:2015 Quality management systems — Requirements, Geneva, Switzerland.

23. International Organization for Standardization 2018, ISO 45001; Occupational Health and Safety Management Systems, Geneva, Switzerland.
24. Hrinchenko, H, Koval, V, Shmygol, N, Sydorov, O, Tsimoshynska, O & Matuszewska, D 2023, 'Approaches to Sustainable Energy Management in Ensuring Safety of Power Equipment Operation', *Energies*, iss 16, 6488. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16186488>
25. Hrinchenko, H, Prokopenko, O, Shmygol, N, Koval, V, Filipishyna, L, Palii, S & Cioca, L.-I 2024, 'Sustainable Energy Safety Management Utilizing an Industry-Relative Assessment of Enterprise Equipment Technical Condition', *Sustainability*, iss 16, p. 771. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16020771>
26. Šolc, M, Blaško, P, Girmanová, L & Kliment, J 2022, 'The Development Trend of the Occupational Health and Safety in the Context of ISO 45001:2018', *Standards*, no 2, Pp. 294-305. DOI: <https://doi.org/10.3390/standards2030021>
27. Widiанти, T, Firdaus, H & Rakhmawati, T 2024, 'Mapping the landscape: a bibliometric analysis of ISO 31000', *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 41, no. 7, pp. 1783-1810. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2023-0287>
28. n.d., *Risk assessment methodologies for critical infrastructure protection. Part II: A new approach*, viewed 17.10.2024 <<https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/risk-assessment-methodologies-critical-infrastructure-protection-part-ii-new-approach>>

The article was received by the editors 10/21/2024

The article is recommended for printing 11/22/2024