

Вдосконалення методу CLM з урахуванням системного характеру небезпек виробничого процесу

Олександр Мамонтов

Кафедра КІТАРБІ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,
Харків, пр. Науки 14., email: aleksandr.mamontov@nure.ua

Анотація: Розглянуто питання оцінювання виробничих ризиків із застосуванням методу «Наслідок–Ймовірність». Обґрунтовано доцільність залучення групи фахівців різного профілю для виявлення прихованих небезпек. На прикладі зварювальних робіт показано, що розширення професійного складу експертів дає змогу виявити додаткові ризики та обґрунтованіше визначити пріоритетні заходи щодо їх зниження.

Ключові слова: виробничий ризик, оцінювання ризику, метод «Наслідок–Ймовірність», приховані небезпеки, зварювальні роботи.

I. Вступ

Сучасні виробничі процеси характеризуються складною взаємодією технічних, технологічних, організаційних та людських чинників. Їх дослідження з позицій системної інженерії передбачає комплексний розгляд зазначених чинників, їх взаємозв'язків та впливу на функціонування процесу. Така взаємодія зумовлює системний характер небезпек, за якого виникнення та розвиток небезпечної події можуть бути пов'язані з одночасним впливом декількох взаємопов'язаних чинників. Урахування цього під час оцінювання безпеки дає змогу повніше виявляти потенційні небезпеки, встановлювати причинно-наслідкові зв'язки між чинниками та визначати можливі сценарії розвитку небезпечних подій і їх наслідки. Результати такого оцінювання створюють основу для подальшого оцінювання ризиків та обґрунтування заходів щодо забезпечення безпеки.

Важливе місце в аналізі безпеки посідає поняття ризику [1; 2]. Якщо виявлення небезпек дає змогу встановити, які небажані події можуть виникнути в системі, то оцінювання ризику дає змогу охарактеризувати можливість їх виникнення та тяжкість можливих наслідків. На цій основі формується ризик-орієнтований підхід до забезпечення безпеки, за якого увага зосереджується не лише на виявленні небезпек, а й на оцінюванні пов'язаних із ними ризиків та визначенні пріоритетності заходів щодо їх зниження. Таким чином, ризик є одним із показників, за допомогою якого результати аналізу небезпеки можуть бути використані для обґрунтування подальших рішень щодо забезпечення безпеки системи. Особливого значення це набуває за наявності декількох небезпечних подій або сценаріїв, для яких необхідно визначити пріоритетність заходів безпеки.

Одним із інструментів, який може бути використаний на етапі оцінювання ризику в межах системного підходу до безпеки виробничих систем, є метод оцінювання за матрицею «Наслідок–Ймовірність» (Consequence–Likelihood Matrix, CLM) [2]. Його застосування дає змогу пов'язати

характеристики небезпечної події з можливими наслідками її реалізації та ймовірністю виникнення. У контексті системного підходу це дозволяє перейти від загального встановлення наявності небезпеки до визначення рівня ризику, пов'язаного з конкретним сценарієм функціонування системи.

При цьому ризик доцільно розглядати не лише як характеристику окремого технічного елемента. Його величина може бути зумовлена сукупною дією технічних засобів, технологічних процесів, організаційних умов і дій персоналу. Наприклад, виникнення пожежі на виробничій ділянці може бути пов'язане одночасно з особливостями технологічного процесу, наявністю горючих матеріалів, станом обладнання, організацією робочого місця, дотриманням працівниками встановлених вимог та ефективністю засобів пожежної безпеки. Тому оцінювання ризику в такому випадку є складовою дослідження функціонування виробничої системи та взаємодії її елементів.

Водночас визначення категорії ймовірності небезпечної події не завжди може ґрунтуватися лише на нормативних вимогах або експертних припущеннях. Працівники, які безпосередньо виконують виробничі операції, володіють інформацією про фактичні умови роботи, характер відхилень від установлених процедур, частоту виникнення небезпечних ситуацій та практичну ефективність існуючих заходів безпеки. Така інформація може бути недостатньо представлена під час формального аналізу системи, хоча безпосередньо стосується особливостей її реального функціонування.

У зв'язку з цим доцільним є вдосконалення процедури застосування CLM шляхом доповнення її етапом анкетування працівників. Отримані результати можуть використовуватися як додаткове інформаційне джерело під час визначення категорії ймовірності виникнення небезпечної події. Це дає змогу врахувати практичний досвід персоналу та фактичні умови функціонування виробничої системи під час оцінювання ризику. Такий підхід поєднує системний підхід до безпеки виробничих процесів із безпосередньою інформацією від одного з ключових елементів системи — людини, що може сприяти більш обґрунтованому оцінюванню ризиків та вибору заходів щодо підвищення безпеки.

II. Метод матриці «Наслідок–Ймовірність»

Метод матриці «Наслідок–Ймовірність» (Consequence–Likelihood Matrix, CLM) належить до методів якісного оцінювання ризику. Його сутність полягає у визначенні рівня ризику шляхом поєднання

двох характеристик небезпечної події: тяжкості її можливих наслідків та ймовірності виникнення. Для цього формують шкали оцінювання наслідків і ймовірності, кожна з яких містить певну кількість категорій. Результат оцінювання визначають за матрицею, у комірках якої кожному поєднанню зазначених категорій відповідає певний рівень ризику.

Застосування методу передбачає послідовний розгляд конкретної небезпечної події в межах визначеного об'єкта оцінювання. Спочатку встановлюють об'єкт і умови, для яких здійснюється оцінювання, та формують небезпечну подію. Далі визначають можливі наслідки її реалізації та відносять їх до відповідної категорії тяжкості. Після цього оцінюють ймовірність виникнення події та встановлюють її категорію. Поєднання отриманих категорій у матриці дає змогу визначити рівень ризику та, відповідно до встановлених критеріїв, обґрунтувати подальші рішення щодо необхідності його зниження.

У практичному застосуванні CLM шкала тяжкості наслідків може містити чотири категорії: *катастрофічні (смертельні), тяжкі, помірні та незначні наслідки*. Шкала ймовірності виникнення небезпечної події може передбачати три категорії: *малоймовірна, ймовірна та високоймовірна* подія. На основі цих категорій формується матриця розміром 4×3, у якій кожна комірка відповідає певному поєднанню тяжкості наслідків та ймовірності виникнення події і характеризує відповідний рівень ризику. Залежно від установлених критеріїв отримані рівні ризику можуть класифікуватися як *прийнятний, контрольований* (такий, що потребує підвищеного контролю під час роботи), *високий* (такий, що потребує спеціальних превентивних заходів перед початком роботи). В окремих випадках може застосовуватися більш складна градація (шкала), включаючи *неприйнятний* та інші рівні ризику.

Особливістю CLM є можливість використання як кількісної інформації, якщо вона доступна, так і професійних суджень у випадках, коли точні статистичні дані відсутні або недостатні. Саме тому метод може застосовуватися на різних етапах життєвого циклу виробничої системи, у тому числі під час проектування, експлуатації, модернізації або аналізу змін у технологічному процесі. Стандарт ДСТУ EN IEC 31010:2022 [2] розглядає методи оцінювання ризику як інструменти, що використовуються для отримання інформації про ризики та підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності.

Оцінювання за методом CLM може виконуватися одним компетентним фахівцем, якщо він володіє необхідними знаннями про об'єкт, технологічний процес та критерії оцінювання ризику. Такий варіант є організаційно простим і дає змогу швидко отримати результат. Водночас для складних виробничих систем до оцінювання доцільно залучати декількох фахівців, які мають різний професійний досвід. У цьому випадку можуть бути враховані технічні, технологічні, організаційні та інші аспекти функціонування системи. Таким чином, кількість учасників оцінювання має визначатися не самим методом CLM, а складністю

об'єкта, доступністю інформації та характером завдання оцінювання.

До переваг методу належать відносна простота застосування, наочність результатів та невисокі вимоги до вихідних даних. Матриця дає змогу представити результати оцінювання у формі, зрозумілій як фахівцям з безпеки, так і особам, які приймають рішення щодо функціонування виробничої системи. Крім того, метод дає змогу порівнювати декілька небезпечних подій за встановленими критеріями та визначати ті з них, які потребують першочергового розгляду. Це робить CLM придатним для попереднього оцінювання ризиків і визначення напрямів подальшого аналізу.

Водночас метод має низку обмежень. Результат оцінювання значною мірою залежить від обґрунтованості вибору категорій тяжкості наслідків та ймовірності виникнення небезпечної події. Особливо це стосується ймовірності, оскільки для багатьох виробничих ситуацій достовірні статистичні дані про частоту небезпечних подій можуть бути відсутні. У такому разі оцінювач змушений спиратися на професійний досвід, доступну інформацію та експертне судження. За виконання оцінювання однією особою результат може також залежати від її індивідуального сприйняття умов функціонування системи.

Ще одним обмеженням є дискретний характер шкал. Перехід від фактичних характеристик небезпечної ситуації до певної категорії ймовірності або тяжкості потребує встановлення чітких критеріїв. Невелика зміна вихідної оцінки може призвести до переходу в іншу категорію та, відповідно, до зміни рівня ризику, визначеного за матрицею. Крім того, однакова категорія може охоплювати ситуації з істотно різними фактичними характеристиками. Тому результат CLM доцільно розглядати передусім як основу для класифікації та прийняття рішень щодо ризику, а не як точне кількісне вимірювання його величини.

Для виробничих систем додатковою проблемою є можливе розходження між регламентованими та фактичними умовами виконання робіт. Документація може встановлювати певний порядок виконання технологічних операцій і передбачати відповідні заходи безпеки, тоді як реальна експлуатація системи може характеризуватися відхиленнями від установлених процедур. Такі відхилення можуть впливати на ймовірність виникнення небезпечних подій, але залишатися непоміченими під час формального аналізу документації.

Отже, переваги CLM — простота, наочність та можливість застосування за обмеженої кількості вихідних даних — водночас поєднуються з необхідністю обґрунтованого визначення категорій ймовірності та тяжкості наслідків. Це зумовлює доцільність пошуку додаткових джерел інформації, які можуть бути використані для підвищення обґрунтованості оцінювання. Одним із таких джерел у виробничій системі може бути інформація, отримана безпосередньо від працівників, які беруть участь у виконанні відповідних технологічних операцій.

III. Приклад виробничого ризику травмування працівника внаслідок пожежі

Як умовний (навчальний) приклад розглядається тимчасове робоче місце зварювальника, що знаходиться у складському приміщенні, яке не призначене (не підготовлене) для виконання ремонтно-зварювальних робіт, рис. 1. Працівник у спеціалізованому одязі та масці виконує електродугове зварювання під час ремонтних робіт за робочим столом. Поруч із робочим місцем розміщені горючі матеріали та речовини: тканинна завіса, тканинне покривало, паперові рулони з кресленнями, дерев'яні щити та дошки, а також ємності з горюче-мастильними матеріалами та інші предмети.

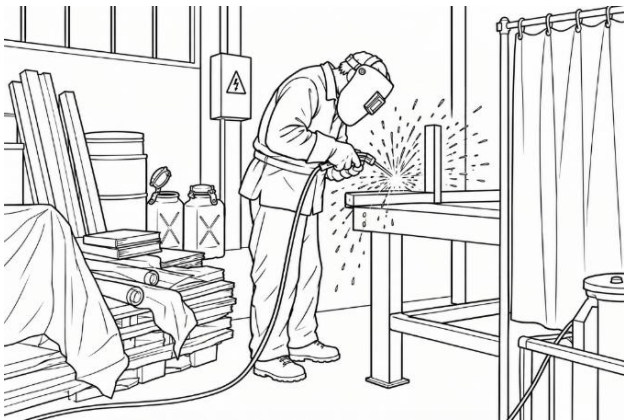


Рисунок 1. Робоче місце зварювальника (зображення сгенероване штучним інтелектом)

Первинна оцінка ризику (перша спроба), яка була проведена малокваліфікованим фахівцем, наведена у табл.1. Комбінація «помірна травма» та «ймовірна» визначена як самий високий рівень ризику на даному робочому місці.

Це є класичним прикладом поверхневого погляду на проблему, від якого не є застрахованими досвідчені фахівці з оцінювання ризиків. Як правило, поверхневий підхід не дає змоги отримати повне уявлення про наявні небезпеки. Для їх виявлення необхідний більш ретельний аналіз умов праці, технологічних процесів та особливостей виконання робіт. Він дасть змогу виявити приховані небезпеки, що можуть залишатися непомітними під час поверхневого оцінювання.

Таблиця 1. Матриця «Наслідок-Ймовірність» (спроба 1)

1	2	3	4
Ймовірність Наслідки	Малоймовірна	Ймовірна	Високо- ймовірна
Смертельна травма	Прийнятний	Прийнятний	Прийнятний
Тяжка травма	Прийнятний	Прийнятний	Прийнятний
Помірна травма	Прийнятний	Високий	Прийнятний
Незначна травма	Прийнятний	Контроль- ований	Контроль- ований

Слід зазначити, що подібні оцінки часто зустрічаються на практиці.

IV. Пропозиції щодо вдосконалення методу CLM

Одним із напрямів удосконалення методу може бути залучення до оцінювання ризику не одного експерта, а міждисциплінарної групи фахівців, які мають різну професійну підготовку та практичний досвід. Це дасть змогу забезпечити системність оцінювання небезпечної ситуації, розглянути її з різних позицій, урахувати взаємозв'язок технічних, технологічних, організаційних та людських чинників і сформувати більш повне уявлення про умови виникнення небезпечної події, механізм її розвитку та можливі наслідки.

До складу такої групи доцільно залучати, зокрема, інженерів-хіміків, фахівців з охорони праці та пожежної безпеки, а також медичних працівників. Інженер-хімік може надати інформацію про властивості горючих речовин, умови їх займання, можливі концентрації та швидкість поширення небезпечних факторів. Фахівець з охорони праці та пожежної безпеки може оцінити особливості технологічного процесу, умови виникнення пожежі та можливі шляхи поширення небезпечних факторів. Медичний працівник, своєю чергою, може допомогти точніше оцінити тяжкість можливих наслідків для людини, зокрема характер і ступінь опіків та інших травм.

Важливим джерелом практичної інформації можуть бути також досвідчені працівники, безпосередньо зайняті виконанням відповідних робіт, наприклад зварювальники. Їхній практичний досвід дає змогу врахувати особливості та нюанси виконання технологічних операцій, які не завжди можна виявити лише на підставі нормативної документації або формального аналізу технологічного процесу. Залучення таких фахівців особливо важливе для виявлення прихованих небезпек і реальних умов, за яких може виникнути небезпечна подія.

V. Результат вдосконаленого оцінювання

Залучення фахівців різного профілю, які мають високу професійну кваліфікацію та значний практичний досвід, дало змогу виявити приховані джерела небезпеки, які могли залишитися поза увагою під час початкового оцінювання. У більшості випадків такі джерела пов'язані з грубими порушеннями встановлених норм і правил виконання робіт, відхиленнями від установленної технології та недотриманням вимог безпеки.

У розглянутому умовному прикладі було виявлено низку грубих порушень вимог безпеки під час проведення зварювальних робіт [3; 4]. Зокрема, поблизу місця виконання робіт знаходилися легкозаймисті матеріали — тканина, папір і деревина. Особливу небезпеку становила наявність відкритої каністри з горючими мастильними матеріалами, що створювала додаткове джерело пожежної небезпеки. Результати другої спроби наведено у табл. 2.

Повторне оцінювання, засноване на системному підході, дало змогу виявити додаткові ризики, які не були враховані під час початкового аналізу, а також встановити для них відповідні рівні ризику та їхнє ранжування.

Таблиця 2. Матриця «Наслідок–Ймовірність» (спроба 2)

Ймовірність Наслідки	Малоймовірна	Ймовірна	Високо-ймовірна
Смертельна травма	Прийнятний	Високий	Високий
Тяжка травма	Прийнятний	Неприйнятний	Високий
Помірна травма	Прийнятний	Високий	Прийнятний
Незначна травма	Прийнятний	Контрольований	Контрольований

Таким чином, оновлена матриця відображає більш повний перелік ризиків та дає змогу обґрунтованіше визначити пріоритетні заходи щодо їх зниження.

VI. Висновки

Проведений аналіз показав, що поверхневе оцінювання ризиків не завжди дає змогу виявити всі наявні небезпеки і зробити адекватне оцінювання. Частина небезпек може залишатися прихованою та проявлятися лише за певного поєднання умов виконання робіт, відхиленні від установленної технології або порушень вимог безпеки.

Для підвищення повноти оцінювання методом CLM запропоновано вдосконалити його шляхом заміни одноосібної експертної оцінки на оцінювання із залученням групи фахівців різного профілю. Професійні знання та практичний досвід учасників такої групи дають змогу розглядати небезпечну ситуацію з різних позицій, виявляти додаткові джерела небезпеки та повніше визначати можливі наслідки небезпечної події. До складу групи доцільно залучати фахівців з охорони праці та пожежної безпеки, інженерів відповідного профілю, медичних працівників, а також досвідчених працівників, безпосередньо зайнятих виконанням відповідних робіт.

На прикладі проведення зварювальних робіт було виявлено низку додаткових небезпечних чинників, зокрема наявність легкозаймистих матеріалів поблизу місця виконання робіт та відкритої канистри з горючими мастильними матеріалами. Виявлені обставини стали підставою для повторного оцінювання ризику.

Повторне оцінювання дало змогу виявити додаткові ризики та встановити для них відповідні, у тому числі високі, рівні. Отримані результати свідчать про доцільність розширення професійного складу експертної групи як одного з напрямів удосконалення методу оцінювання ризику. Результати такого оцінювання можуть бути використані для визначення та ранжування заходів щодо зниження ризику з урахуванням установленого рівня небезпеки та характеру виявлених порушень.

Результатом оцінювання ризику стало визначення заходів щодо його зниження, які були ранжовані за пріоритетністю їх реалізації з урахуванням рівня ризику та очікуваної ефективності. Запропонований підхід дає змогу розглядати безпеку виробничого процесу як результат взаємодії технічних, технологічних, організаційних та людських чинників, що підтверджує системний характер оцінювання ризиків.

Перелік посилань

- [1] ДСТУ 2293:2014. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. – Чинний від 2015–05–01. – Київ : Мінекономрозвитку України, 2015. – 19 с. – (Національний стандарт України).
- [2] ДСТУ EN IEC 31010:2022. Керування ризиками. Методи оцінки ризиків (EN IEC 31010:2019, IDT; IEC 31010:2019, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 196 с.
- [3] ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. – Уведено вперше; чинний від 2020–01–01. – Вид. офіц. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 84 с. – (Національний стандарт України).
- [4] Косовічева Н. В. Охорона праці та безпечне виконання робіт при підготовці кваліфікованих робітників професій зварювального напрямку : навч. посіб. з охорони праці для підготовки кваліфікованих робітників зварювального виробництва. Харків : НМЦ ПТО, 2021. 80 с.
- [5] Nevliudov, I., Yevsieiev, V., & Sotnik, S. (2026). PREDICTIVE ANALYTICS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EMERGENCY WARNING SYSTEMS. Collection of scientific papers «SCIENTIA», (August 7, 2026; Marseille, France), 108-111.
- [6] Nevliudov, I., Yevsieiev, V., & Sotnik, S. (2026). Implementing Industry 5.0 Technologies in Civil Safety Systems for Intelligent Emergency Management. Collection of scientific papers «SCIENTIA», (July 17, 2026; San Francisco, USA), 85-88.
- [7] Yevsieiev, V., Sezonova, I., & Bronnikov, A. (2026). Synergy of Humans and Artificial Intelligence in the Management of Civil Protection Forces in Accordance with the Industry 5.0 Concept. www. naukainfo. com.- Oxford, United Kingdom, 2026.-160 p., 57.
- [8] Yevsieiev, V., Sezonova, I., & Demska, N. (2026, July). Digital Twins and Cyber-Physical Systems as the Foundation for the Transformation of Civil Defense in the Context of Industry 5.0. In The recommended citation for this publication is: Shevchenko TG Research into the specifics of the development of performing arts in Ukraine under martial law//Paris Science and Education Forum: proceedings of the International scientific and practical conference (July 10-12, 2026).– Paris, France: naukainfo. com, 2026.-Pp. 15-21.- (p. 12).
- [9] Невлюдов, І. ІІ., Євсєєв, В. В., Максимова, С. С., & Теслюк, С. І. (2026). Numerical simulation of mobile robotic platform route construction in dynamic space using QR tags. Open Information and Computer Integrated Technologies, (108), 218-235.