

УДК 331.45

doi:10.20998/2413-4295.2023.01.08

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ІНТЕГРУВАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА БЕЗПЕКИ ПРАЦІ

О. М. ЧЕРНЯК*, Н. А. СОРОКОЛАТ, Л. Ю. ФАТЄЄВА, І. О. БАГАЄВ, Ю. В. ТРИЩ

кафедра автоматизації, метрології та енергоефективних технологій, УІПА, Харків, УКРАЇНА
*e-mail: olena-cherniak@ukr.net

АНОТАЦІЯ Розглянуто сучасний стан кількісного оцінювання якості об'єктів кваліметрії різної природи, які мають різні показники якості та різні шкали вимірювання. Проаналізовано існуючі дослідження та публікації з кількісним оцінюванням, пов'язаним з безпекою праці на виробництві. Шкідливі та небезпечні чинники, що впливають на стан здоров'я і працездатність людини, мають свої власні показники та шкали різних оцінок. Нині не існує єдиного підходу до оцінювання цих показників, а велика кількість кваліметричних методів вимагає проведення глибоких наукових досліджень щодо їх оптимальності та ефективності. У результаті аналізу доведено актуальність теми та визначено необхідність розробки методики отримання комплексної оцінки безпеки праці, що буде придатна для оцінювання умов праці на будь-якому виробництві. Для отримання комплексного показника безпеки праці запропоновано визначити оцінку по кожному шкідливому виробничому чиннику, а потім, визначити єдину оцінку, враховуючи всі характеристики. Для визначення комплексного показника шкідливого виробничого чинника пропонується застосувати метод інтегрування. Метод трапецій один із методів чисельного інтегрування. Він дозволяє обчислювати певні інтеграли із задалегідь заданою мірою точності. Запропоновано покроковий алгоритм визначення комплексного показника безпеки праці, застосовуючи інтегрування методом трапецій. Запропонована апробація методики визначення комплексного показника безпеки праці на виробництві. Визначено шкідливі чинники на виробництві, отримано дійсні показники та визначені їх оцінки на безрозмірній шкалі. Графічно побудовано часовий ряд змін показників шкідливих чинників з плином часу. Визначено комплексний показник безпеки праці на виробництві який дає можливість приймати управлінські рішення стосовно подальших дій щодо поліпшення умов праці та покращення системи управління безпекою праці на виробництві. Запропоновану методику можна вважати універсальною, оскільки її можна застосовувати для будь яких приміщень та підприємств.

Ключові слова: кваліметрія; комплексний показник; багатокритеріальне оцінювання; метод інтегрування; метод трапецій; безпека праці.

APPLICATION OF THE INTEGRATION METHOD TO OBTAIN A COMPLEX INDICATOR OF LABOR SAFETY

O. CHERNIAK, N. SOROCOLAT, L. FATIEIEVA, I. BAHAIIEV, Y. TRISHCH

Department of automation, metrology and energy efficient technologies, UEPA, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The current state of quantitative assessment of the quality of qualimetry objects of different nature, which have different quality indicators and different measurement scales, is considered. Existing studies and publications with quantitative assessment related to occupational safety are analyzed. Harmful and dangerous factors that affect human health and performance have their own indicators and scales of different assessments. At present, there is no single approach to assessing these indicators, and a large number of qualimetric methods require in-depth scientific research on their optimality and effectiveness. The analysis proves the relevance of the topic and identifies the need to develop a methodology for obtaining a comprehensive assessment of labor safety that will be suitable for assessing working conditions at any production facility. To obtain a comprehensive indicator of occupational safety, it is proposed to determine the assessment for each harmful production factor, and then to determine a single assessment, taking into account all the characteristics. To determine the complex indicator of a harmful production factor, it is proposed to apply the integration method. The trapezoidal method is one of the methods of numerical integration. It allows calculating certain integrals with a predetermined degree of accuracy. A step-by-step algorithm for determining a complex labor safety indicator using the trapezoidal integration method is proposed. An approbation of the methodology for determining a comprehensive indicator of labor safety is proposed. The harmful factors at work are identified, the actual indicators are obtained and their estimates are determined on a dimensionless scale. A time series of changes in the indicators of harmful factors over time is graphically constructed. A comprehensive indicator of labor safety at work has been determined, which makes it possible to make managerial decisions on further actions to improve working conditions and improve the labor safety management system. The proposed methodology can be considered universal, since it can be applied to any premises and enterprise.

Keywords: qualimetry; complex indicator; multi-criteria assessment; integration method; trapezium method; labor safety.

Вступ

Незважаючи на зростання технологій та промислового розвитку, що призвели до підвищення

продуктивності та економічного процвітання, виникли нові проблеми в галузі безпеки праці. Тому на виробництві можливі різні нещасні випадки, що можуть призвести до загибелі, травм або захворювань

робітників, а також призводити до виробничих та фінансових втрат.

Для уникнення нещасних випадків впроваджують системи управління безпекою праці, що враховують процеси ідентифікації, контролю, оцінювання та управління. Для ефективності системи управління необхідно мати науково-обґрунтовану методологію кількісного оцінювання безпеки праці.

Технологічні процеси характеризуються: тяжкістю та напруженістю робіт що виконуються; видом умов праці; ергономікою робочого місця; безпекою технологій; рівнем технологічної дисципліни; загальною організацією трудового процесу; шкідливими та небезпечними факторами. Для комплексного оцінювання стану безпеки праці на підприємстві необхідно мати кількісні показники шкідливих виробничих чинників з урахуванням їхніх особливостей.

Щоб отримати кількісні показники шкідливих чинників та комплексний показник безпеки праці пропонується застосовувати методи кваліметрії. Кваліметрія – предмет науки, що вивчає методологію кількісного оцінювання якості об'єктів та процесів [1]. Під об'єктом кваліметрії, у цій статті, розглядаємо систему шкідливих виробничих чинників що впливають на здоров'я та життя робітників.

Система шкідливих чинників має ряд особливостей, зокрема: можливість вимірювань; різні одиниці та діапазон вимірювань; різний ступінь впливу на організм людини; різна тяжкість наслідків захворювання; можливість застосування спеціальних захисних засобів. Такі особливості визначають складність розв'язання задачі кількісного оцінювання безпеки праці на виробництві. Для вирішення такого завдання необхідно перевести різномірні показники різних чинників у безрозмірну шкалу. Оцінка загального показника стану безпеки праці на виробництві в числовому виразі дозволяє зробити об'єктивну оцінку рівня безпеки праці в цілому.

Мета роботи

Розробити методіку отримання комплексної оцінки безпеки праці, що буде придатна для оцінювання умов праці на будь якому виробництві.

Виклад основного матеріалу

На практиці оцінка безпеки праці зводиться до виявлення шкідливих і небезпечних чинників, пов'язаних із трудовою діяльністю і встановлення кількості ризиків порушення здоров'я працюючого. Для відповідного прогнозування та мінімізації шкідливих і

небезпечних чинників необхідно проводити їх оцінки, і оцінки повинні мати кількісне вираження. Тому виникає потреба у дослідженнях і розробці сучасних управлінських рішень, спрямованих на захист працівників від впливу шкідливих чинників, у тому числі й за рахунок удосконалення методів оцінки безпеки праці, пошуку нових їх критеріїв.

Науковці, у своїх роботах [2-4] оцінювали якість об'єктів різної природи, з різними одиницями та діапазонами вимірювання та отримали узагальнений показник їх якості. У наукових дослідженнях [5-7] автори використовували багатокритеріальні методи кількісної оцінки процесів, що дозволяють звести їхні показники до однієї розмірності.

У дослідженнях [8-10] використовуються методи багатокритеріального прийняття рішень (MCDM). Найпоширеніші з них TOPSIS – метод багатокритеріального аналізу рішення, що використовується для визначення оптимального варіанту серед альтернативних варіантів [11,12]. EDAS популярна в різних нечітких випадках. Найкраще рішення вибирається шляхом розрахунку відстані кожної альтернативи від оптимального значення. У розрахунках атрибути є незалежними і всі якісні атрибути перетворюються на кількісні [13]. Для оцінювання процесів соціально-економічних систем застосовуються методи: PROMETHEE (це метод організації рейтингу переваг, що використовується для ранжування альтернативи на основі їхньої незалежної важливості проти певного набору критеріїв); MOORA (метод багатоцільової оптимізації, що використовує аналіз відносин для аранжування альтернативи); WASPAS (метод, який використовується для зваженої оцінки показника якості) [14-16].

У роботах [17-19], для оцінювання показників процесів безпеки та гігієни праці застосовуються різні функціональні залежності між вимірними показниками небезпечних чинників та їх оцінкою на безрозмірній шкалі.

У дослідженні [20] запропоновано застосовувати для оцінки показників шкідливих чинників математичні залежності (1), (2), що враховують максимальні, мінімальні та оптимальні значення факторів та параметр форми. При зміні параметра форми виходять різні оцінки безрозмірної шкалою. Для визначення параметра форми застосовано метод аналізу ієрархій, що дозволив набувати достовірних значень при малій кількості експертів.

Запропонована залежність для визначення оцінки шкідливих виробничих чинників на безрозмірній шкалі (від 0 до 1) виглядає наступним чином:

$$S_q = \begin{cases} 0 & q_i \leq q_{i\min} \\ \frac{q_i - q_{i\min}}{q_{i\max} - q_{i\min}} & q_{i\min} < q_i < q_{i\max} \\ 1 & q_i \geq q_{i\max} \end{cases}^{(r)} \quad (1)$$

де q_i – дійсне значення показника шкідливого чинника; $q_{i\min}$ – мінімальне значення показника шкідливого чинника; $q_{i\max}$ – максимальне значення показника шкідливого чинника; r – параметр форми, який змінює форму залежності.

Якщо оптимальний (найкращий) показник шкідливого чинника направляється до середини межі допустимих значень, то залежність буде мати вигляд:

$$S_q = \begin{cases} \left[\frac{q_i - q_{i\min}}{t_i - q_{i\min}} \right]^{(r)} & q_{i\min} \leq q_i \leq t_i \\ \left[\frac{q_i - q_{i\max}}{t_i - q_{i\max}} \right]^{(r)} & t_i < q_i \leq q_{i\max} \\ 0 & q_{i\min} > q_i > q_{i\max} \end{cases} \quad (2)$$

де t_i – середина межі допустимих значень.

Аналіз літератури показав, що для отримання комплексної оцінки безпеки праці застосовують середні значення кількісних показників, зазвичай з використанням вагових коефіцієнтів. Такий підхід не завжди підходить для оцінювання умов праці, тому не може розглядатися як єдиний можливий, отже доцільно проваджувати нові методи і розробляти методики отримання комплексного показника безпеки праці на виробництві, що характеризуються різноманітністю показників шкідливих та небезпечних чинників.

Для комплексного оцінювання безпеки праці на виробництві пропонується визначити оцінку з кожного шкідливого виробничого чинника, в подальшому, визначити єдину оцінку. Пропонується використовувати метод чисельного інтегрування.

Спочатку необхідно отримати оцінки шкідливих та небезпечних чинників та побудувати часові ряди їх зміни з плином часу, як показано на рис. 1.

Щоб визначити комплексний показник безпеки праці пропонується застосувати метод чисельного інтегрування. Чисельні методи дозволяють знайти значення інтегралу безпосередньо по значеннях підінтегральної функції $f(x)$ і не залежать від способу її подання. Для визначення комплексного показника безпеки праці пропонуємо використовувати метод чисельного інтегрування, який полягає у знаходженні площі під ламаною лінією, що утворилася в результаті з'єднання точок на

площині системи координат XOY . Для цього створені квадратурні формули методом трапецій.

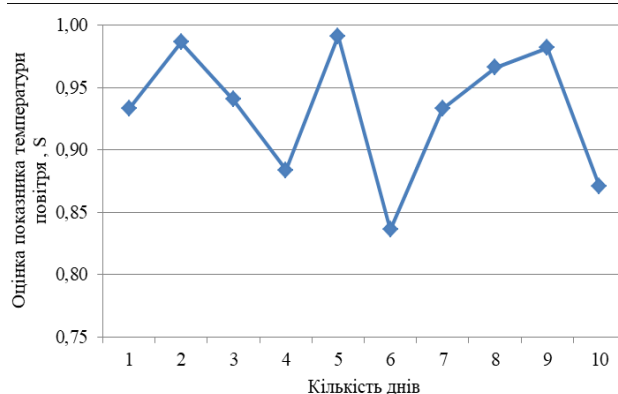


Рис. 1 – Часовий ряд зміни оцінок

Метод трапецій – метод чисельного інтегрування функції однієї змінної, що полягає в заміні на кожному елементарному відрізку підінтегральної функції на багаточлен першого ступеня, тобто лінійну функцію. Площа під графіком функції апроксимується прямокутними трапеціями. На рисунку 2 графічно показано сутність методу трапецій [21].

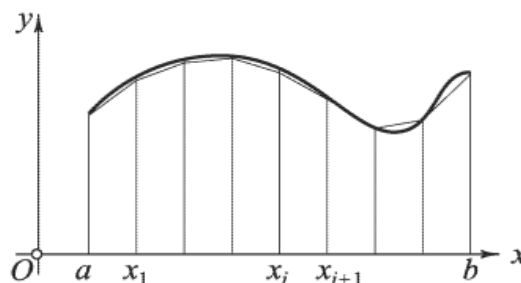


Рис. 2 – Сутність методу трапецій

Припустимо, потрібно обчислити інтеграл функції $f(x)$ на відрізку $[a; b]$. Для цього розіб'ємо графік кривої на елементарні сегменти за допомогою точок з абсцисами x_i , і отримаємо ламану з вершинами в точках $(x_i; y_i)$, при цьому $y_i = f(x_i)$, а i набуває значення від 0 до $n-1$.

Для цього виберемо кількість кроків інтегрування, на які розбиваємо досліджуваний інтервал та скористаємося формулою для обчислення довжини одного такого кроку:

$$\Delta x = \frac{b - a}{n} \quad (3)$$

Згідно рисунку 1, $b = b_{(1)} = 1$ – це порядковий номер першого вимірювання; $a = a_{(10)} = 10$ –

порядковий номер останнього вимірювання. Сума таких дельта повинна дорівнювати 1.

У випадку, коли значення y_i дискретні, то кількість кроків інтегрування буде дорівнювати $n-1$, де n – кількість результатів вимірювань.

Для обчислення площі під ламаною лінією (рис. 2) методом трапецій необхідно знайти площу трапеції, яку утворюють два сусідніх результати оцінювання y_i та один крок інтегрування. Як бачимо далі, значення функції $f(x)$ береться на межах досліджуваного відрізка.

Площа першої такої трапеції становитиме:

$$S_1 = \frac{b-a}{n} \cdot \frac{y_1 + y_2}{2}, \quad (4)$$

а площа i -ої трапеції становитиме:

$$S_i = \frac{b-a}{n} \cdot \frac{y_{i-1} + y_i}{2}, \quad (5)$$

Складемо площі всіх елементарних трапецій:

$$\int_a^b f(x) dx = \frac{b-a}{n} \cdot (y_0 + y_n + y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1}), \quad (6)$$

Отже, склавши площі всіх елементарних трапецій, отримаємо наближену площу фігури, обмеженою лініями $x = a$, $x = b$, віссю абсцис та графіком кривої $f(x)$.

Формула для наближеного обчислення інтеграла методом трапецій:

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{x_i - x_{i-1}}{2} \cdot (f(x_0) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) + f(x_n)), \quad (7)$$

Похибка при використанні методу трапецій становить:

$$|\sigma_n| \leq \max_{x \in [a,b]} |f''(x)| \cdot \frac{(b-a)^3}{12n^2}, \quad (8)$$

Для визначення комплексної оцінки безпеки праці на виробництві протягом певного періоду часу вимірювання їх одиничних показників пропонується застосувати формулу:

$$V = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m f(x_i, y_j) \int_{x_{i-\frac{1}{2}}}^{x_{i+\frac{1}{2}}} dx \int_{y_{j-\frac{1}{2}}}^{y_{j+\frac{1}{2}}} dy, \quad (9)$$

де $i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, m$.

Об'єм під криволінійною поверхнею буде використаний як комплексний показник безпеки

праці. Метод трапеції є зручним у випадку, коли функція графіка невідома, але значення функції $f(x)$ на точках розбиття відомі. Запропоновано методику оцінювання умов праці, що складається з наступних кроків:

Крок 1. Проводять вимірювання дійсних показників шкідливих та небезпечних чинників в одиницях їх вимірювання.

Крок 2. Використовуючи одну із залежностей (1) або (2) визначають оцінки показників шкідливих чинників на безрозмірній шкалі.

Крок 3. Застосовуючи формулу (3), визначають величину кроку інтегрування, сума яких дорівнює 1.

Крок 4. Будується часовий ряд зміни оцінки шкідливих чинників з часом у вигляді, показаному на рис. 1.

Крок 5. Використовуючи формулу (4) визначають площу кожної трапеції.

Крок 6. Використовуючи формулу (6) визначають площу під ламаною лінією. Площа під ламаною лінією буде являтися узагальненою оцінкою одного шкідливого чинника з часом.

Крок 7. Використовуючи формулу (6) визначають площі під ламаними лініями за усіма шкідливими чинниками.

Крок 8. Використовуючи формулу (9) визначають об'єм під ламаною площиною, яка будується в результаті об'єднання усіх оцінок одиничних критеріїв показників шкідливих чинників протягом певного проміжку часу. Величина об'єму під ламаною площиною стане комплексною оцінкою умов праці на виробництві з часом.

Можна застосовувати і інші методи чисельного інтегрування, для визначення найбільш ефективного.

Для перевірки ефективності методики оцінки безпеки праці було проведено дослідження в цеху машинобудівного підприємства, де було ідентифіковано шкідливі виробничі чинники: температура повітря, відносна вологість повітря, швидкість руху повітря, шум та локальна вібрація.

На робочих місцях і в робочій зоні фіксувалися значення шкідливих виробничих чинників. Для вимірювання температури повітря, відносної вологості та швидкості руху повітря використовувався комбінований прилад FLIR EM54. Рівень шуму та загальну вібрацію вимірювали цифровим вимірником рівня звуку GM1351 та віброметром AR63A (GM63A). Норми допустимих значень шкідливих чинників були визначені відповідно до чинних нормативних документів.

У табл. 1 представлені експериментальні значення шкідливих чинників та їх оцінки на безрозмірній шкалі.

Будуємо часовий ряд змін оцінки по кожному шкідливому виробничому чиннику (рис. 3).

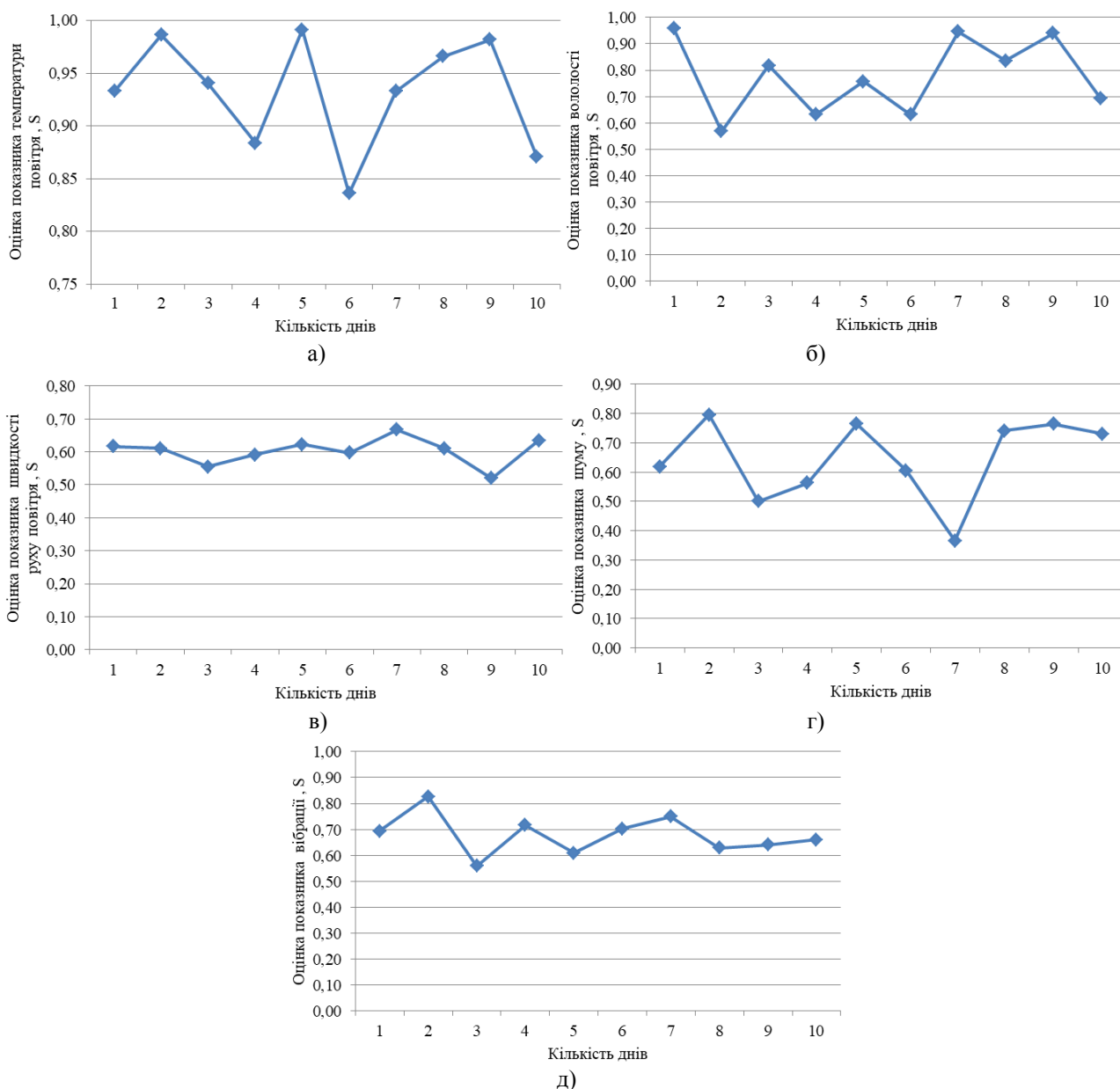


Рис. 3 – Часовий ряд зміни оцінок а) температури повітря; б) відносної вологості повітря; в) швидкості руху повітря; г) шуму; д) локальної вібрації

Таблиця 1 – Результати впровадження методики оцінки безпеки праці

Температура повітря, °C		Відносна вологість повітря, %		Швидкість руху повітря, м/с		Шум, дБ		Локальна вібрація, м/с ²	
q _i	S	q _i	S	q _i	S	q _i	S	q _i	S
25,00	0,93	72,67	0,96	0,10	0,62	67,67	0,62	0,75	0,72
22,00	0,99	51,67	0,57	0,10	0,61	72,67	0,80	0,85	0,68
24,67	0,94	65,00	0,82	0,07	0,55	65,00	0,50	0,71	0,74
26,67	0,88	55,00	0,63	0,09	0,59	66,33	0,56	0,95	0,64
20,33	0,99	61,67	0,76	0,10	0,62	71,67	0,76	0,52	0,81
27,67	0,84	55,00	0,63	0,09	0,60	67,33	0,61	0,69	0,74
25,00	0,93	72,00	0,95	0,13	0,67	62,67	0,37	0,90	0,66
23,33	0,97	66,00	0,84	0,10	0,61	71,00	0,74	0,53	0,81
22,33	0,98	71,67	0,94	0,06	0,52	71,67	0,76	0,81	0,69
27,00	0,87	58,33	0,69	0,11	0,63	70,67	0,73	0,48	0,83

На рис. 4 показано ламану поверхню при об'єднанні всіх часових рядів зміни показників шкідливих чинників.

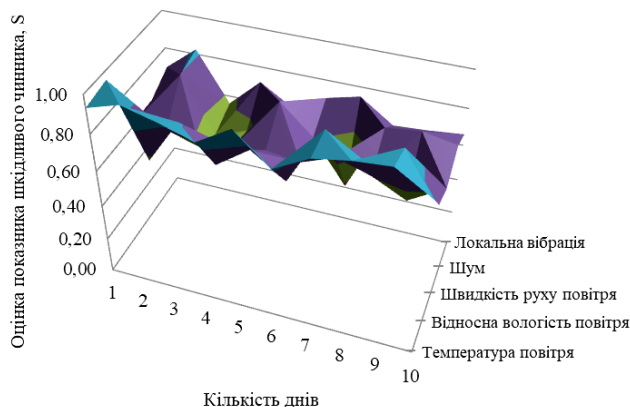


Рис. 4 – Часовий ряд всіх оцінок показників шкідливих чинників

Знайдемо комплексний показник, застосувавши формулу (9).

$$V = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m f(x_i, y_j) \int_{x_{i-\frac{1}{2}}}^{x_{i+\frac{1}{2}}} dx \int_{y_{j-\frac{1}{2}}}^{y_{j+\frac{1}{2}}} dy = 0,76$$

Отримавши об'єм під криволінійною поверхнею, це і буде комплексний показник безпеки праці на виробництві.

Висновки

Для комплексного оцінювання безпеки праці на виробництві пропонується визначати оцінку по кожному шкідливому виробничому чиннику, а потім узагальнену оцінку умов праці. Запропоновано методику визначення комплексного показника безпеки праці, застосовуючи інтегрування методом трапецій. Запропоновану методику можна вважати універсальною, оскільки її можна застосовувати для будь-яких приміщень та підприємств.

Список літератури

1. Енциклопедія сучасної України URL: http://esu.com.ua/search_articles.php?id=11519 (дата звернення: 19.11.2020).
2. Kurpiyanov O., Trishch R., Dichev D., Bondarenko T. Mathematic model of the general approach to tolerance control in quality assessment. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2022. P. 415–423. doi: 10.1007/978-3-030-91327-4_41.
3. Ginevicius R., Trishch R., Bilan Y., Lis M., Pencik J. Assessment of the Economic Efficiency of Energy

Development in the Industrial Sector of the European Union Area Countries. *Energies*. 2022. № 15. 3322. doi: 10.3390/en15093322.

4. Argotti Y., Baron C., Esteban P. Quality quantification in Systems Engineering from the Qualimetry Eye. *2019 IEEE International Systems Conference (SysCon)*. 2019. P. 1–8. doi: 10.1109/SYSCON.2019.8836756.
5. Zhang C., Chen C., Streimikiene D., Balezentis T. Intuitionistic fuzzy MULTIMOORA approach for multi-criteria assessment of the energy storage technologies. *Applied Soft Computing*. 2019. № 79. P. 410–423. doi: 10.1016/j.asoc.2019.04.008.
6. Alamerew Y. A., Kambanou M. L., Sakao T., Brissaud D. A Multi-Criteria Evaluation Method of Product-Level Circularity Strategies. *Sustainability*. 2020. № 12 (12). P. 5129. doi: 10.3390/su12125129.
7. Ginevicius R., Trišč R., Remeikienė R., Zielińska A., Strikaitė-Latušinskaja G. Evaluation of the condition of social processes based on qualimetric methods: The COVID-19 case. *Journal of International Studies*. 2022. № 15(1). P. 230–249. doi: 10.14254/2071-8330.2022/15-1/15.
8. Yazdani M., Tavana M., Pamučar D., Chatterjee P. A rough based multi-criteria evaluation method for healthcare waste disposal location decisions. *Computers & Industrial Engineering*. 2020. № 143. P. 106394. doi: 10.1016/j.cie.2020.106394.
9. Stefanovića V., Urošević S., Mladenović-Ranisavljević I., Stojilković P. Multi-criteria ranking of workplaces from the aspect of risk assessment in the production processes in which women are employed. *Safety Science*. 2019. № 116. P. 116–126. doi: 10.1016/j.ssci.2019.03.006.
10. Stojčić M., Zavadskas E. K., Pamučar D., Stević Ž., Mardani A. Application of MCDM Methods in Sustainability Engineering: A Literature Review 2008–2018. *Symmetry*. 2019. № 11 (3). P. 350. doi: 10.3390/sym11030350.
11. Divya C., Raju L. S., Singaravel B. A Review of TOPSIS Method for Multi Criteria Optimization in Manufacturing Environment. *Intelligent Techniques and Applications in Science and Technology. Learning and Analytics in Intelligent Systems*. 2020. № 12. P. 719–727. doi: 10.1007/978-3-030-42363-6_84.
12. Chakraborty S. TOPSIS and Modified TOPSIS: A comparative analysis. *Decision Analytics Journal*. 2022. № 2. P. 100021. doi: 10.1016/j.dajour.2021.100021.
13. Ozgur Y., Yakup T., Nisa C. E., Cengiz K. Interval-valued Pythagorean Fuzzy EDAS method: An Application to Car Selection Problem. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. 2020. № 4 (3). P. 4061–4077. doi: 10.3233/JIFS-182667.
14. Abdullah L., Chan W., Afshari A. Application of PROMETHEE method for green supplier selection: a comparative result based on preference functions. *Journal of Industrial Engineering International*. 2019. № 15, P. 271–285. doi: 10.1007/s40092-018-0289-z.
15. Manurung S. V. B., Larosa F. G. N., Simamora I. M. S., Gea A., Simarmata E. R., Situmorang A. Decision Support System of Best Teacher Selection using Method MOORA and SAW. *2019 International Conference of Computer Science and Information Technology (ICoSNIKOM)*. 2019. P. 1–6. doi: 10.1109/ICoSNIKOM48755.2019.9111550.
16. Mishra A. R., Rani P. Multi-criteria healthcare waste disposal location selection based on Fermatean fuzzy WASPAS method. *Complex and Intelligent Systems*. 2021. № 7. P. 2469–2484. doi: 10.1007/s40747-021-00407-9.

17. Trishch R., Cherniak O., Kupriyanov O., Luniachek V., Tsykhanovska I. Methodology for multi-criteria assessment of working conditions as an object of qualimetry. *Engineering Management in Production and Services*. 2021. № 13 (2). P. 107–114. doi: 10.2478/emj-2021-0016.
18. Черняк О. М., Тріщ Р. М., Денисенко А. М. Методика оцінювання шкідливих чинників, які впливають на здоров'я робітників машинобудівного підприємства. *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2019. № 5 (1330). С. 70–76. doi: 10.20998/2413-4295.2019.05.09.
19. Черняк О. М., Сороколат Н. А., Багаєв І. О., Фатєєва Л. Ю. Застосування функціональної залежності для багатокритеріального оцінювання безпеки праці, як об'єкта кваліметрії. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2022. № 1 (19). С. 76–84. doi: 10.30837/ITSSI.2022.19.076.
20. Черняк О. М., Лис Ю. С., Грінченко Г. С., Каницька І. В. Багатокритеріальне оцінювання умов праці на виробництві. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2020. № 3 (5). С. 28–33. doi: 10.20998/2413-4295.2020.01.04.
21. Крилик Л. В., Богач І. В., Лісовенко А. І. *Чисельні методи. Чисельне інтегрування функцій: навчальний посібник*. Вінниця: ВНТУ, 2019. 74 с.
9. Stefanovića V., Urošević S., Mladenović-Ranisavljević I., Stojilković P. Multi-criteria ranking of workplaces from the aspect of risk assessment in the production processes in which women are employed. *Safety Science*, 2019, vol. 116, pp. 116–126, doi: 10.1016/j.ssci.2019.03.006.
10. Stojčić M., Zavadskas E. K., Pamučar D., Stević Ž., Mardani A. Application of MCDM Methods in Sustainability Engineering: A Literature Review 2008–2018. *Symmetry*, 2019, no. 11 (3), pp. 350, doi: 10.3390/sym11030350.
11. Divya C., Raju L. S., Singaravel B. A Review of TOPSIS Method for Multi Criteria Optimization in Manufacturing Environment. *Intelligent Techniques and Applications in Science and Technology. Learning and Analytics in Intelligent Systems*, 2020, vol. 12, pp. 719–727, doi: 10.1007/978-3-030-42363-6_84.
12. Chakraborty S. TOPSIS and Modified TOPSIS: A comparative analysis. *Decision Analytics Journal*, 2022, vol. 2, pp. 100021, doi: 10.1016/j.dajour.2021.100021.
13. Ozgur Y., Yakup T., Nisa C. E., Cengiz K. Interval-valued Pythagorean Fuzzy EDAS method: An Application to Car Selection Problem. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2020, vol. 38, no. 4, pp. 4061–4077, doi: 10.3233/JIFS-182667.
14. Abdullah L., Chan W., Afshari A. Application of PROMETHEE method for green supplier selection: a comparative result based on preference functions. *Journal of Industrial Engineering International*, 2019, no. 15, pp. 271–285, doi: 10.1007/s40092-018-0289-z.
15. Manurung S. V. B., Larosa F. G. N., Simamora I. M. S., Gea A., Simarmata E. R., Situmorang A. Decision Support System of Best Teacher Selection using Method MOORA and SAW. *2019 International Conference of Computer Science and Information Technology (ICoSNiKOM)*, 2019, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICoSNiKOM48755.2019.9111550.
16. Mishra A. R., Rani P. Multi-criteria healthcare waste disposal location selection based on Fermatean fuzzy WASPAS method. *Complex and Intelligent Systems*, 2021, no. 7, pp. 2469–2484, doi: 10.1007/s40747-021-00407-9.
17. Trishch R., Cherniak O., Kupriyanov O., Luniachek V., Tsykhanovska I. Methodology for multi-criteria assessment of working conditions as an object of qualimetry. *Engineering Management in Production and Services*, 2021, vol. 13 (2), pp. 107–114, doi: 10.2478/emj-2021-0016.
18. Cherniak O., Trishch R., Denysenko A. Metodyka otsinyuvannya shkidlyvykh chynnykiv, yaki vplyvayut' na zdorov'ya robitnykiv mashynobudivnoho pidpryyemstv [Methods of assessing the harmful factors affecting the health of workers of a machine-building enterprise]. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*, 2019, vol. 5 (1330), pp. 70–76, doi: 10.20998/2413-4295.2019.05.09.
19. Cherniak O., Sorocolat N., Bahaiev I., Fatieieva L., Zastosuvannya funktsionalnoi zalezhnosti dlia bahatokryterialnoho otsiniuvannya bezpeky pratsi, yak obiekta kvalimetrii. [Application of functional dependence for multi-criterial assessment of labor safety as an object of qualimetry]. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 2022, no. 1 (19), pp. 76–84, doi: 10.30837/ITSSI.2022.19.076.
20. Cherniak O., Lys Y., Hrinchenko H., Kanytska I. Bahatokryterialne otsiniuvannya umov pratsi na vyrobnytstvi. [Multicriteria assessment of working conditions in the workplace]. *Bulletin of the National*

References (transliterated)

1. Encyclopedia of modern Ukraine. Available at: http://esu.com.ua/search_articles.php?id=11519 (accessed 19.11.2020).
2. Kupriyanov O., Trishch R., Dichev D., Bondarenko T. Mathematic Model of the General Approach to Tolerance Control in Quality Assessment. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2022, pp. 415–423, doi: 10.1007/978-3-030-91327-4_41.
3. Ginevicius R., Trishch R., Bilan Y., Lis M., Pencik J. Assessment of the Economic Efficiency of Energy Development in the Industrial Sector of the European Union Area Countries. *Energies*, 2022, vol. 15, pp. 3322, doi: 10.3390/en15093322.
4. Argotti Y., Baron C., Esteban P. Quality quantification in Systems Engineering from the Qualimetry Eye. *2019 IEEE International Systems Conference (SysCon)*, 2019, pp. 1–8, doi: 10.1109/SYSCON.2019.8836756.
5. Zhang C., Chen C., Streimikiene D., Balezentis T. Intuitionistic fuzzy MULTIMOORA approach for multi-criteria assessment of the energy storage technologies. *Applied Soft Computing*, 2019, vol. 79, pp. 410–423, doi: 10.1016/j.asoc.2019.04.008.
6. Alamerew Y. A., Kambanou M. L., Sakao T., Brissaud D. A Multi-Criteria Evaluation Method of Product-Level Circularity Strategies. *Sustainability*, 2020, vol. 12 (12), 5129, doi: 10.3390/su12125129.
7. Ginevičius R., Trišć R., Remeikienė R., Zieľińska A., Strikaitė-Latušinskaja G. Evaluation of the condition of social processes based on qualimetric methods: The COVID-19 case. *Journal of International Studies*, 2022, no. 15(1), pp. 230–249, doi: 10.14254/2071-8330.2022/15-1/15.
8. Yazdani M., Tavana M., Pamučar D., Chatterjee P. A rough based multi-criteria evaluation method for healthcare waste disposal location decisions. *Computers & Industrial Engineering*, 2020, vol. 143, pp. 106394, doi: 10.1016/j.cie.2020.106394.

Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology, 2020, no. 3 (5), pp. 28–33, doi: 10.20998/2413-4295.2020.01.04.

21. Krylyk L. V., Bogach I. V., Lisovenko A. I. Chyselni metody. *Chyselne intehruvannia funktsii: navchalnyi posibnyk*. [Numerical methods. Numerical integration of functions: a tutorial]. Vinnytsia. VNTU, 2019, 74 p.

Відомості про авторів (About authors)

Черняк Олена Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент, Українська інженерно-педагогічна академія, старший викладач кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0001-6167-8809; e-mail: olena-cheraniak@ukr.net.

Olena Cherniak – Candidate of Technical Sciences, Docent, Senior Lecturer, Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-6167-8809; e-mail: olena-cheraniak@ukr.net.

Сороколат Наталія Андріївна – Українська інженерно-педагогічна академія, аспірантка кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-0140-9364; e-mail: n.a.sorokolat@gmail.com.

Nataliia Sorocolat – postgraduate student Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-0140-9364; e-mail: n.a.sorokolat@gmail.com.

Фатєєва Ліна Юрївна – Українська інженерно-педагогічна академія, аспірантка кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-6460-0772; e-mail: linafat81@gmail.com.

Lina Fatieieva – graduate student Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-6460-0772; e-mail: linafat81@gmail.com.

Багаєв Ігор Олександрович – Українська інженерно-педагогічна академія, аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-9101-5114; e-mail: i.a.bagayev@gmail.com.

Ihor Bahaiev – postgraduate student Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-9101-5114; e-mail: i.a.bagayev@gmail.com.

Трищ Юлія Віталіївна – Українська інженерно-педагогічна академія, аспірантка кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0001-5730-5903; e-mail: trishch@gmail.com.

Yuliia Trishch – postgraduate student Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-5730-5903; e-mail: trishch@gmail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Черняк О. М., Сороколат Н. А., Фатєєва Л. Ю., Багаєв І. О., Трищ Ю. В. Застосування методу інтегрування для отримання комплексного показника безпеки праці. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». 2023. № 1 (15). С. 60-67. doi:10.20998/2413-4295.2023.01.08.

Please cite this article as:

Cherniak O., Sorocolat N., Fatieieva L., Bahaiev I., Trishch Y. Application of the integration method to obtain a complex indicator of labor safety. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2023, no. 1 (15), pp. 60-67, doi:10.20998/2413-4295.2023.01.08.

*Надійшла (received) 12.01.2023
Прийнята (accepted) 04.03.2023*