

О. Черняк, Н. Сороколат, В. Бурдейна, Л. Фатєєва, І. Багаєв

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СЕРЕДНІХ ПРЯМОКУТНИКІВ ДЛЯ ОТРИМАННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА БЕЗПЕКИ ПРАЦІ

**Предметом** дослідження є метод визначення комплексного показника безпеки праці. **Мета роботи** – розроблення методики отримання комплексної оцінки безпеки праці з урахуванням особливостей шкідливих і небезпечних виробничих чинників. У статті вирішується таке **завдання**: дослідити можливість застосування методу чисельного інтегрування для отримання комплексного показника безпеки праці, тобто використати принцип визначення площі та об'єму під криволінійними поверхнями як на площині, так і в просторі, що створені шляхом об'єднання оцінок одиничних показників шкідливих чинників на безрозмірній шкалі. Застосовуються **методи** кваліметрії та математичної статистики. Здобуто такі **результати**: проаналізовано низку сучасних наукових праць, у яких розглянуто кількісне оцінювання якості об'єктів кваліметрії різної природи, що мають неоднакові показники якості та різні шкали вимірювання; обґрунтовано необхідність оцінювання безпеки праці на робочому місці. Унаслідок аналізу сучасних наукових досліджень доведено актуальність теми й визначено необхідність розроблення методики отримання комплексного показника безпеки праці, буде придатна для оцінювання умов праці на будь-якому виробництві. Для отримання комплексного показника безпеки праці запропоновано встановити оцінку за кожним шкідливим виробничим чинником, а потім визначити єдину оцінку, враховуючи всі характеристики. Для визначення комплексного показника шкідливого виробничого чинника рекомендовано застосувати метод інтегрування, тобто знайти площу під ламаною поверхнею, отриману внаслідок з'єднання точок на площині системи координат ХОУ. Для цього застосовано квадратурні формули з використанням методу середніх прямокутників. Запропоновано покроковий алгоритм визначення комплексного показника безпеки праці з допомогою інтегрування методом середніх прямокутників. Апробовано методику 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 для прийняття рішення щодо подальших дій для поліпшення умов праці. **Висновки**: для комплексного оцінювання безпеки праці на виробництві запропоновано застосовувати кваліметричні методи, а саме: визначати оцінку за кожним шкідливим і небезпечним виробничим чинником, після цього визначати єдину комплексну оцінку умов праці. Описано методику винайдення комплексного показника безпеки праці із застосуванням чисельного інтегрування методом середніх прямокутників. Запропонована методика вважається універсальною, оскільки її можна застосовувати для будь-яких приміщень і підприємств.

**Ключові слова**: кваліметрія; комплексний показник; оцінювання; метод інтегрування; метод середніх прямокутників; безпека праці.

### Вступ

У сучасних умовах посилюється адаптація українського законодавства до міжнародного та європейського. Водночас частіше застосовується в Україні світовий досвід і поглиблюється міжнародне співробітництво у сфері безпеки й гігієни праці. Наслідком цього є підвищення промислової безпеки, попередження нещасних випадків і аварій, посилення профілактики виробничого травматизму й професійних захворювань. Необхідним інструментом інтеграції України до ЄС та підвищення ефективності дій суб'єктів господарювання щодо запобігання травматизму є використання стандартів, запроваджених в Україні Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO).

Стандарт ДСТУ ISO 45001:2019 "Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці.

Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT)" установлює вимоги до системи управління охороною здоров'я та безпекою праці (ОЗіБП), а також містить настанови щодо їх використання. Це необхідно, щоб дати змогу організації створювати безпечні та здорові умови праці на робочому місці, запобігати травмам і погіршенню стану здоров'я працівників та активно вдосконалювати діяльність у сфері ОЗіБП.

Однак стандарт не містить конкретних методів оцінювання, тобто кожне підприємство самостійно має вирішувати питання щодо вибору механізму оцінювання. Для ефективного забезпечення безпеки праці на підприємстві необхідно розробити науково обґрунтовані методики й процедури оцінювання рівня безпеки. Необхідно, щоб вони були уніфіковані та мали статус нормативного документа. Такий підхід

дасть змогу ефективно вирішувати питання забезпечення безпеки праці на підприємствах.

На практиці оцінювання умов праці зводиться до ідентифікації шкідливих і небезпечних чинників, пов'язаних із трудовою діяльністю, та встановлення кількісного ступеня ризику порушення здоров'я працівника. Для належного прогнозування та мінімізації шкідливих і небезпечних чинників необхідно, щоб їх оцінки мали кількісний вираз.

Методи кваліметрії використовують для отримання кількісних показників якості різних об'єктів, зокрема системи шкідливих виробничих чинників, що можуть вплинути на здоров'я та життя працівників. Кваліметрія є наукою, що вивчає методологію кількісної оцінки якості об'єктів і процесів різної природи. Розглянемо систему шкідливих і небезпечних виробничих чинників як об'єкт кваліметрії.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Наявний рівень механізації та автоматизації на виробничих підприємствах зумовлює вплив на працівників комплексу шкідливих чинників виробничого середовища та трудового процесу: вібрація, шум, промислові аерозолі, хімічні речовини, нервово-психічне напруження, переміщення та підйом вантажу вручну, фіксована та вимушена робоча поза тощо [1]. Шкідливі виробничі чинники праці можуть формувати професійні та розвивати загальні захворювання [2, 3]. Отже, механізм забезпечення безпеки праці на виробничих підприємствах має передбачати ідентифікацію та кількісне оцінювання явних і потенційних небезпек для їх прогнозування й запобігання.

Визначення комплексного показника безпеки праці пов'язане з отриманням єдиної оцінки, яка кількісно виражає безпеку через окремі показники. У кваліметрії математична залежність є невід'ємною частиною багатьох процесів оцінювання та порівняння різноманітних показників. Наприклад, у роботі [4] використовуються математичні залежності для оцінювання якості інвестицій, враховуючи реальні значення інвестицій та їх оцінки на безрозмірній шкалі. Автори праці [5] застосовують кваліметричний підхід до оцінювання особистих і професійних якостей персоналу виробничого підприємства, а в роботі [6] запропоновано оцінювати кількісні характеристики комплексного безпекового показника якості, що дасть змогу визначити миттєвий

стан безпеки системи та її стан у певний період часу. У науковому дослідженні [7] використовується нечітка логіка (*Fuzzy Logic*) та метод розгортання функцій якості (QFD) для кваліметричного оцінювання наданої споживачу послуги. У роботах [8–10] для оцінювання показників процесів безпеки й гігієни праці застосовуються різні функціональні залежності між вимірними показниками небезпечних чинників та їх оцінкою на безрозмірній шкалі. Отже, методики, в яких використовуються математичні залежності, є ефективним інструментом для оцінювання, порівняння та розв'язання складних завдань у різних галузях. Вони мають більш точне застосування значень різних показників і забезпечують об'єктивність та наукову точність у проведених дослідженнях [11–13].

**Мета роботи** – розробити методику отримання комплексної оцінки безпеки праці з урахуванням особливостей шкідливих і небезпечних виробничих чинників.

### Вирішення завдання

Для комплексного оцінювання безпеки праці пропонується визначити показник за кожним шкідливим і небезпечним виробничим чинником, у подальшому визначити комплексну оцінку безпеки праці. Для цього пропонується використовувати метод чисельного інтегрування.

Спочатку необхідно оцінити кожний шкідливий і небезпечний чинник і отримати часовий ряд їх змін із плином часу. На рис. 1 показано кількісні значення відносної вологості повітря. Показник вимірювався та фіксувався в робочій зоні цеху машинобудівного підприємства.

Залежність, яку пропонується застосувати для отримання оцінки показників шкідливих чинників на безрозмірній шкалі (від 0 до 1) має вигляд [14]:

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

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

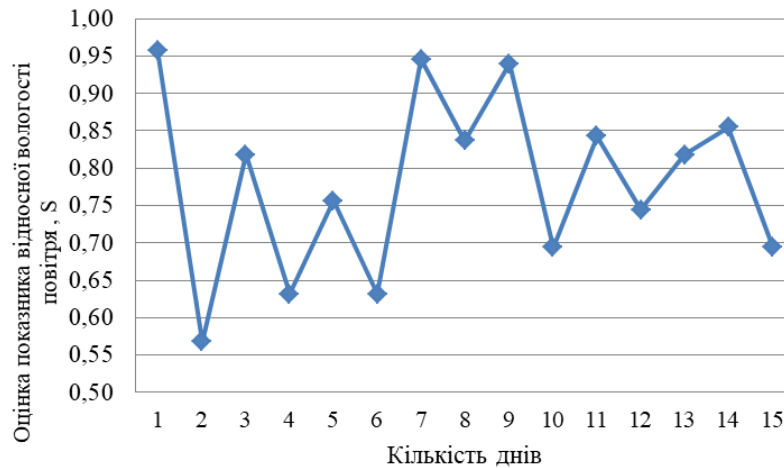


Рис. 1. Часовий ряд зміни оцінок

Якщо оптимальний (найкращий) показник шкідливого чинника спрямовується до середини межі допустимих значень, то залежність матиме 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.

Для визначення комплексного показника безпеки праці пропонується застосувати метод чисельного інтегрування, тобто потрібно знайти площу під ламаною поверхнею, яка будується внаслідок об'єднання оцінок показників на безрозмірній шкалі протягом певного часу спостережень. Для цього застосовуємо квадратурні формули відповідно до методу середніх прямокутників.

Розглянемо докладно метод прямокутників для наближеного обчислення певного інтеграла [15]. Сутність методу середніх прямокутників у графічному вигляді показано на рис. 2.

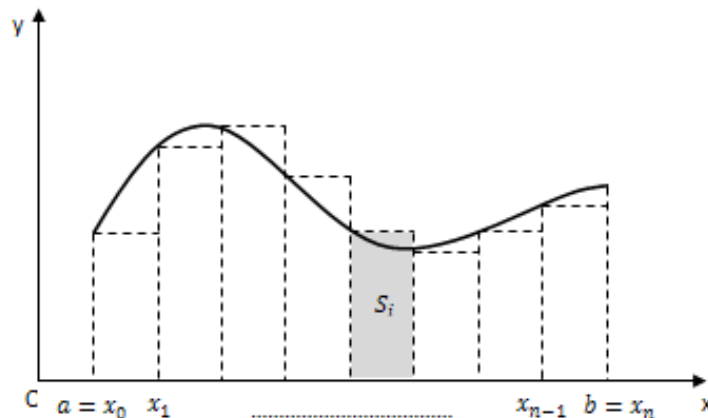


Рис. 2. Графічна ілюстрація методу середніх прямокутників

Якщо відрізок інтегрування  $[a; b]$  розбити на рівні частини довжини  $h$  точками:  $a = x_0$ ,  $x_1 = x_0 + h$ ,  $x_2 = x_0 + 2h$ ,  $x_3 = x_0 + 3h$ , ...,  $x_{(n-1)} = x_0 + (n-1)h$ ,  $x_n = x_0 + nh = b$ , і точками  $\xi_i$  вибрати середини

елементарних відрізків  $(h = x_{i-1}; x_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , то можна записати інтеграл у вигляді:

$$\int_a^b f(x) dx \approx h \sum_{i=1}^n f\left(x_{i-1} + \frac{h}{2}\right). \quad (3)$$

Формулу (3) називають формулою методу середніх прямокутників через спосіб вибору точок  $\xi_i$  з кроком розбиття відрізка  $[a; b]$

$$h = (b - a) / n. \quad (4)$$

Для обчислення площі під ламаною лінією (рис. 2) необхідно знайти площу прямокутників:

$$S_i = f(\xi_i)h. \quad (5)$$

Складемо площі всіх прямокутників:

$$\int_a^b f(x)dx = \frac{b-a}{n} \cdot (f(\xi_1) + f(\xi_2) + \dots + f(\xi_n)). \quad (6)$$

Абсолютна похибка формули прямокутників на відрізку  $[a; b]$  дорівнює сумі похибок на кожному елементарному інтервалі, тому [15]:

$$\delta_n = \sum_{i=1}^n \int_{x_{i-1}}^{x_i} (f(x) - f(x_{i-1} + h/2)) dx. \quad (7)$$

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

$$V = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m f(x_i, y_j) \int_{x_{i-1/2}}^{x_{i+1/2}} dx \int_{y_{j-1/2}}^{y_{j+1/2}} dy, \quad (8)$$

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

У цьому разі отримуємо об'єм під криволінійною поверхнею, що і буде комплексною оцінкою безпеки праці.

Пропонується методика визначення комплексної оцінки умов праці, що складається з кількох кроків:

Крок 1. Вимірюються дійсні показники шкідливих і 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 (4), визначають величину кроку інтегрування, сума яких дорівнює 1.

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

Крок 5. Використовуючи формулу (5), визначають площу кожного прямокутника.

Крок 6. Застосовуючи формулу (6), визначають площу під ламаною лінією. Ця площа буде узагальненою оцінкою шкідливого чинника.

Крок 7. З допомогою формули (6) визначають площі під ламаними лініями за всіма критеріями.

Крок 8. Використовуючи формулу (8), визначають об'єм під ламаною площиною, яка будується внаслідок об'єднання всіх оцінок одиничних критеріїв показників шкідливих чинників протягом певного проміжку часу. Величина об'єму під ламаною площиною буде комплексною оцінкою умов праці на виробництві з плином часу.

Для підтвердження працездатності методики з оцінювання безпеки праці проведено дослідження на машинобудівному підприємстві. З метою оцінювання розглядалися шкідливі виробничі чинники в цеху. Визначено, що основними шкідливими виробничими чинниками в цеху є мікроклімат (температура повітря, відносна вологість повітря, швидкість руху повітря), шум, локальна вібрація.

Значення згаданих чинників вимірювалися й фіксувалися на робочих місцях та у виробничій зоні. Для вимірювання температури повітря, відносної вологості повітря та швидкості руху повітря використано комбінований прилад FLIR EM54. Вимірювання рівня шуму та загальної вібрації здійснювалося цифровим вимірником рівня звуку GM1351 та віброметром AR63A (GM63A). Допустимі норми шкідливих чинників визначено на підприємстві відповідно до нормативних документів.

Отримані експериментальні значення наведених вище показників шкідливих чинників і результати математичних перетворень наведено в табл. 1.

**Таблиця 1.** Результати впровадження методики оцінювання безпеки праці

Температура повітря, °C		Відносна вологість повітря, %		Швидкість руху повітря, м/с		Шум, дБа		Локальна вібрація, м/с <sup>2</sup>	
$q_i$	$S$	$q_i$	$S$	$q_i$	$S$	$q_i$	$S$	$q_i$	$S$
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

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2023. №1 (23)

Будемо часовий ряд змін оцінки за кожним шкідливим виробничим чинником (рис. 3).

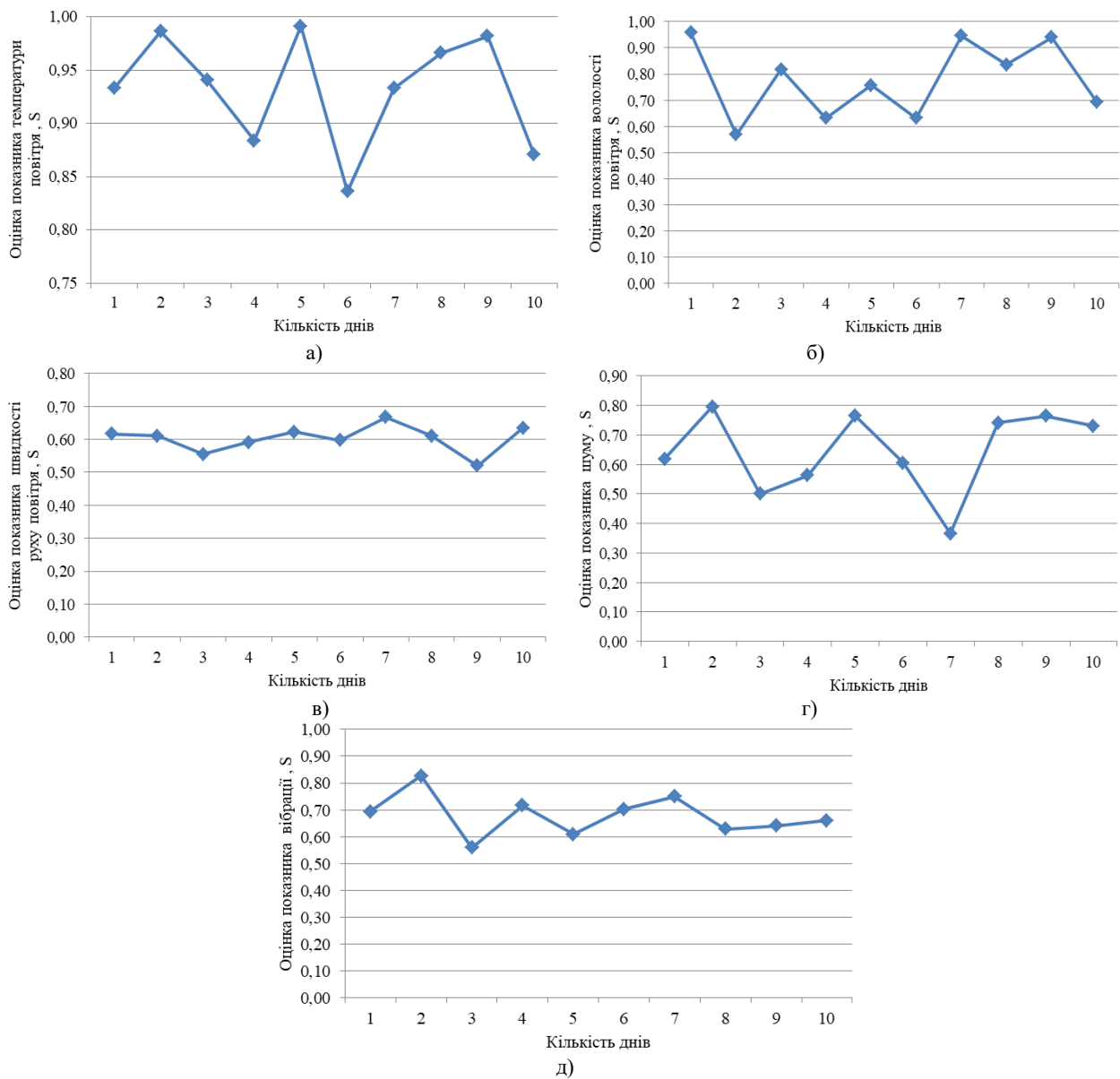


Рис. 3. Часовий ряд зміни оцінок:

а) температури повітря; б) відносної вологості повітря; в) швидкості руху повітря; г) шуму; д) локальної вібрації

На рис. 4 показано ламану поверхню за умови об'єднання всіх часових рядів зміни показників шкідливих чинників.

Знайдемо комплексний показник, застосувавши формулу (8).

$$V = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m f(x_i, y_j) \int_{x_{i-1/2}}^{x_{i+1/2}} dx \int_{y_{j-1/2}}^{y_{j+1/2}} dy = 0,78.$$

У цьому разі отримаємо об'єм під криволінійною поверхнею, що й буде комплексним показником безпеки праці на виробництві.

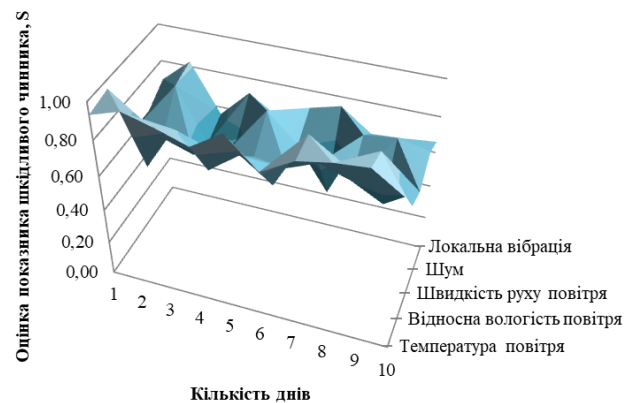


Рис. 4. Часовий ряд усіх оцінок показників шкідливих чинників

## Висновки

Для комплексного оцінювання безпеки праці на виробництві запропоновано застосовувати кваліметричні методи, а саме: визначати оцінку за кожним шкідливим і небезпечним виробничим чинником, після цього визначати єдину комплексну оцінку умов праці. Описано методику винайдення комплексного показника безпеки праці з використанням чисельного інтегрування методом середніх прямокутників. Запропоновану методику

вважаємо універсальною, оскільки її можна застосовувати для будь-яких приміщень і підприємств.

Для подальшого розвитку поставленого завдання необхідно розглянути застосування інших методів визначення комплексного показника безпеки праці й математичних залежностей між вимірними показниками шкідливих чинників та їх оцінкою на безрозмірній шкалі. Доцільно було б розробити комп'ютерну програму з використанням запропонованої методики, що дасть змогу автоматизувати процес оцінювання.

## Список літератури

1. Kukhar V., Yelistratova N., Burko V., Nizhelska Y., Aksionova O. Estimation of occupational safety risks at energetic sector of Iron and Steel Works. *International Journal of Engineering Technology*. 2018. №7. P. 216–220. DOI: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.23.11922>
2. Schulte P. A. Characterizing the Burden of Occupational Injury and Disease. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2005. № 47. P. 607–622. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.jom.0000165086.25595.9d>
3. Schulte P. A., Delclos G., Felkner S. A., Chosewood L. C. Toward an Expanded Focus for Occupational Safety and Health: A Commentary. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019. №16. 4946. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph16244946>
4. Trishch R., Sichinava A., Bartoš V., Stasiukynas A., Schieg M. Comparative assessment of economic development in the countries of the european union. *Journal of Business Economics and Management*. 2023. № 24(1). P. 20–36. DOI: <https://doi.org/10.3846/jbem.2023.18320>
5. Сльникова Г. В., Горбенко Л. В. Кваліметричний підхід до оцінки персоналу виробничого підприємства. *Адаптивне управління: теорія і практика. Економіка*. 2018. № 5.
6. Рудик Ю. І. Оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем кваліметричними методами з урахуванням ризиків: дис. д-ра техн. наук: 05.01.02 "Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення". 2021. Львів, 312 с.
7. Бойко Т. Г., Мельник В. В. Кваліметричне оцінювання інтернет-магазинів з використанням FUZZY logic та QFD. *Системи розроблення та поставлення продукції на виробництво: матеріали I міжнар. наук.-практ. конф., м. Суми, 17–20 травня 2016 р. Суми, 2016. С. 38–40.*
8. 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: <https://doi.org/10.2478/emj-2021-0016>.
9. 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: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2022.19.076>
10. Сороколат Н. А., Фатєєва Л. Ю. Оцінювання якості процесів системи управління безпекою праці, згідно вимог міжнародного стандарту ISO 45001:2018. *Машинобудування*. 2022. № 29. С. 89–96. DOI: <https://doi.org/10.32820/2079-1747-2022-29-89-96>
11. 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: <https://doi.org/10.1109/SYSCON.2019.8836756>.
12. Кім Н. І. Узагальнений показник якості об'єктів кваліметрії різної природи. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2021. Вип. 1. С. 94–101. DOI: [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1\(109\)-12](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1(109)-12)
13. Ginevicius R., Trishch H., Petraskevicius V. Quantitative assessment of quality management systems' processes. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*. 2015. №28(1). P. 1096–1110. DOI: <https://doi.org/10.1080/1331677X.2015.1087676>
14. 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: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2020.01.04>
15. Крилик Л. В., Богач І. В., Лісовенко А. І. Чисельні методи. *Чисельне інтегрування функцій: навчальний посібник*. Вінниця: ВНТУ, 2019. 74 с.

## References

1. Kukhar, V., Yelistratova, N., Burko, V., Nizhelska, Y., Aksionova, O. (2018), "Estimation of occupational safety risks at energetic sector of Iron and Steel Work". *International Journal of Engineering Technology*, No. 7, P. 216–220. DOI: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.23.11922>
2. Schulte, P. A. (2005), "Characterizing the Burden of Occupational Injury and Disease". *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, No. 47, P. 607–622. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.jom.0000165086.25595.9d>.

3. Schulte, P. A., Delclos, G., Felknor, S. A., Chosewood, L. C. (2019), "Toward an Expanded Focus for Occupational Safety and Health: A Commentary". *International Journal of Environmental Research and Public Health*, No. 16, 4946. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph16244946>
4. Trishch, R., Sichinava, A., Bartoš, V., Stasiukynas, A., Schieg, M. (2023), "Comparative assessment of economic development in the countries of the european union". *Journal of Business Economics and Management*, No 24(1), P. 20–36. DOI: <https://doi.org/10.3846/jbem.2023.18320>
5. Yelnykova, H., Horbenko, L. (2018), "Qualimetric approach to the staff estimation of the industrial enterprise" ["Kvalimetrychny pidkhid do otsinky personalu vyrobnychoho pidpriemstva"], *Adaptive management: theory and practice. Economy*, No. 5.
6. Rudyk, Y. I (2021), "Safety assessment of complex organizational and technical systems by risk-based qualimetric methods" ["Otsiniuvannya bezpeky skladnykh orhanizatsiino-tehniknykh system kvalimetrychnymy metodamy z urakhuvanniam ryzykiv"], dissertation of doctor of technical sciences: 05.01.02 "Standardization, certification and metrological support", Lviv, 312 p.
7. Boiko T. H., Melnyk B. B. (2016), "Qualitative evaluation of online stores using FUZZY logic and QFD" ["Kvalimetrychne otsiniuvannya internet-mahazyniv z vykorystanniam FUZZY logic ta QFD"]. *Systems of development and delivery of products for production: materials of the 1st international science and practice conference*, May 17–20, Sumy. Sumy, P. 38–40.
8. Trishch, R., Cherniak, O., Kupriyanov, O., Luniachek, V., Tsykhanovska, I. (2021), "Methodology for multi-criteria assess-ment of working conditions as an object of qualimetry". *Engineering Management in Production and Services*, No. 13 (2), P. 107–114. DOI: <https://doi.org/10.2478/emj-2021-0016>
9. Cherniak, O., Sorocolat, N., Bahaiev, I., Fatieieva, L. (2022), "Application of functional dependence for multi-criterial assessment of labor safety as an object of qualimetry" ["Zastosuvannya funktsionalnoi zalezhnosti dlia bahatokryterialnoho otsiniuvannya bezpeky pratsi, yak objekta kvalimetrii"], *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (19), P. 76-84. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2022.19.076>
10. Sorocolat, N., Fatieieva, L. (2022), "Quality assessment of the occupational safety management system processes according to the requirements of the ISO 45001:2018 international standard" ["Otsiniuvannya yakosti protsesiv systemy upravlinnia bezpekoiu pratsi, zghidno vymoh mizhnarodnoho standartu ISO 45001:2018"], *Engineering*, No. 29, P. 89–96. DOI: <https://doi.org/10.32820/2079-1747-2022-29-89-96>
11. Argotti, Y., Baron, C., Esteban, P. (2019), "Quality quantification in Systems Engineering from the Qualimetry Eye". *2019 IEEE International Systems Conference (SysCon)*, P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1109/SYSCON.2019.8836756>.
12. Kim, N. I. (2021), "Generalized indicator of qualimetry objects quality of various nature" ["Uzahal'neny pokaznyk yakosti ob'ektiv kvalimetriyi riznoyi pryrody"], *Bulletin of Agrarian Science of the Black Sea Coast*, No. 1, P. 94–101. DOI: [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1\(109\)-12](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1(109)-12).
13. Ginevičius, R., Trishch, H. Petraškevičius, V. (2015), "Quantitative assessment of quality management systems' processes", *Economic Research-Ekonomiska Istraživanja*, No. 28:1, P. 1096–1110. DOI: <https://doi.org/10.1080/1331677X.2015.1087676>.
14. Cherniak, O., Lys, Y., Hrinchenko, H., Kanytska, I. (2020), "Multicriteria assessment of working conditions in the workplace" ["Bahatokryterialne otsiniuvannya umov pratsi na vyrobnytstvi"], *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*, No. 3 (5), P. 28–33. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2020.01.04>.
15. Krylyk, L. V., Bogach, I. V., Lisovenko, A. I. (2019), *Chyselni metody. Chyselne intehruvannya funktsii: navchalnyi posibnyk*. [Numerical methods. Numerical integration of functions: a tutorial], Vinnytsia: VNTU, 74 p.

Received 26.03.2023

*Відомості про авторів / About the Authors*

**Черняк Олена Миколаївна** – кандидат технічних наук, доцент, Українська інженерно-педагогічна академія, старший викладач кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій, Харків, Україна; e-mail: [olena-cherniak@ukr.net](mailto:olena-cherniak@ukr.net); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6167-8809>

**Сороколат Наталія Андріївна** – Українська інженерно-педагогічна академія, аспірантка кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій, Харків, Україна; e-mail: [n.a.sorokolat@gmail.com](mailto:n.a.sorokolat@gmail.com); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0140-9364>

**Бурдейна Вікторія Михайлівна** – кандидат технічних наук, доцент, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", доцент кафедри мехатроніки та електротехніки, Харків, Україна; e-mail: [zamorskavika@ukr.net](mailto:zamorskavika@ukr.net); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0026-1900>

**Фатєєва Ліна Юрївна** – Українська інженерно-педагогічна академія, аспірантка кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій, Харків, Україна; e-mail: [linafat81@gmail.com](mailto:linafat81@gmail.com); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6460-0772>

**Багаєв Ігор Олександрович** – Українська інженерно-педагогічна академія, аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій, Харків, Україна; e-mail: [i.a.bagayev@gmail.com](mailto:i.a.bagayev@gmail.com); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9101-5114>

**Cherniak Olena** – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Senior Lecturer of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies, Kharkiv, Ukraine.

**Sorocolat Nataliia** – Engineering Pedagogics Academy, Postgraduate Student of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies, Kharkiv, Ukraine.

**Burdeina Viktoriia** – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Associate Professor of the Department of Mechatronics and Electrical Engineering, Kharkiv, Ukraine.

**Fatieieva Lina** – Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Postgraduate Student of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies, Kharkiv, Ukraine.

**Bahaiev Ihor** – Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Postgraduate Student of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies, Kharkiv, Ukraine.

## APPLICATION OF THE METHOD OF AVERAGE RECTANGLES TO OBTAIN A COMPLEX INDICATOR OF LABOR SAFETY

The **subject matter** of the article is the method of determining comprehensive indicator of labor safety. The **goal** of the work is to develop a methodology for obtaining a comprehensive assessment of labor safety, taking into account the characteristics of harmful and dangerous production factors. The article solves the following **task**: to investigate the possibility of applying the method of numerical integration to obtain a comprehensive indicator of occupational safety, that is, to apply the principle of determining the area and volume under curved surfaces both on the plane and in space, which are created by combining estimates of unit indicators of harmful factors on a dimensionless scale. **Methods** are used: qualimetry and mathematical statistics. The following **results** were obtained: a number of modern scientific works were considered, substantiating the need to assess occupational safety at the workplace. A number of modern scientific works related to the quantitative assessment of the quality of qualimetric objects of different nature, which have different quality indicators and different measurement scales, have been analyzed. As a result of the analysis, the relevance of the topic has been proven and the need to develop a methodology for obtaining a comprehensive assessment of labor safety, which will be suitable for assessing working conditions at any production, has been determined. In order to obtain a comprehensive index of labor safety, it is proposed to determine an estimate for each harmful production factor, and then to determine a single estimate, taking into account all characteristics. To determine the complex indicator of a harmful production factor, it is proposed to apply the integration method, that is, to find the area under the broken surface, which resulted from the connection of points on the plane of the XOY coordinate system. For this, quadrature formulas using the method of average rectangles are used. A step-by-step algorithm for determining the comprehensive indicator of labor safety, using integration by the method of average rectangles, is proposed. The method of determining the comprehensive indicator of labor safety in production was tested. Harmful factors in production were determined, valid indicators were obtained and their estimates on a dimensionless scale were determined. A time series of changes in indicators of harmful factors over time is graphically constructed. A comprehensive indicator of occupational safety in production was determined as a basis for making decisions regarding further actions to improve working conditions. **Conclusions**: It is suggested to use qualitative methods for comprehensive assessment of labor safety in production. Namely, to determine an assessment for each harmful and dangerous production factor and, then, to determine a single comprehensive assessment of working conditions. The method of determining the complex indicator of labor safety, using numerical integration by the method of average rectangles, is proposed. The proposed method can be considered universal, as it can be used for any premises and enterprises.

**Keywords**: qualimetry; complex indicator; assessment; integration method; middle rectangle method; labor safety.

### Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Черняк О. М., Сороколат Н. А., Бурдейна В. М., Фатєєва Л. Ю., Багаєв І. О. Застосування методу середніх прямокутників для отримання комплексного показника безпеки праці. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2023. № 1 (23). С. 115–122. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2023.23.115>

Cherniak, O., Sorocolat N., Burdeina, V., Fatieieva, L., Bahaiev, I. (2023), "Application of the method of average rectangles to obtain a complex indicator of labor safety", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (23), P. 115–122. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2023.23.115>