

УДК 004.005



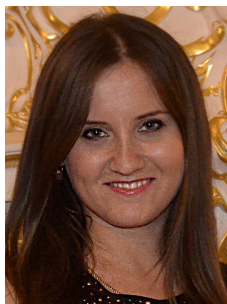
**В.Д. Гогунський,**  
д.т.н., професор,  
Одеський  
національний  
політехнічний  
університет  
e-mail: vgog@i.ua



**О.С. Харковенко,**  
магістрант, Одеський  
національний  
політехнічний  
університет, e-mail:  
harkovenko.olenka@  
rambler.ru



**Т.В. Кравченко,**  
магістрант,  
Одеський  
національний  
політехнічний  
університет  
e-mail:  
tanushka181290@rambler.ru



**Ю.С. Чернега,**  
аспірант,  
Одеський  
національний  
політехнічний  
університет  
e-mail:  
julija.chernega@gmail.com

## ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ НЕБЕЗПЕКИ У РОБОЧІЙ ЗОНІ ЗА УМОВ СУМІСНОЇ ДІЇ ФАКТОРІВ РІЗНИХ КЛАСІВ

*В.Д. Гогунський, О.С. Харковенко, Т.В. Кравченко, Ю.С. Чернега.* Визначення рівня небезпеки у робочій зоні за умов сумісної дії факторів різних класів. Запропоновано метод оцінки інтегрального ризику у робочій зоні, що базується на ймовірнісній моделі впливу шкідливих факторів на здоров'я працівників.

*V.D. Gogunsky. O.S. Kharkovenko, T.V. Kravchenko, Yu.S. Chernega.* Determining the level of risk in the work zone under conditions of joint action factors of different classes. The method of integral evaluation of risk in the work area, based on probabilistic models of harmful factors on the health of workers.

**Вступ.** В умовах сучасного виробництва окремі заходи щодо поліпшення умов праці для попередження професійних захворювань і травматизму є неефективними. Необхідно здійснювати комплексний аналіз умов праці і створювати в загальній системі керування виробництвом підсистему управління безпекою праці на основі проектних підходів [1]. Управління проектами з охорони праці включає планування, прийняття рішень та реалізацію заходів, спрямованих на забезпечення безпеки, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці [2]. Наявність множини факторів виробничого середовища породжує задачу визначення інтегрального показника рівня небезпеки для працівників.

**Постановка проблеми.** Існуючі методи визначення рівня небезпеки від сумісної дії шкідливих факторів засновані на принципі мінімуму Лібіха,

недоліком якого є урахування факторів що мають максимальний вплив [3, 4]. У той же час, інші фактори, навіть якщо вони не мають перевищення допустимих нормативів, теж впливають на стан здоров'я працівників. Одним із засобів подолання цього пртирччя є впровадження ймовірнісних оцінок рівня небезпеки виробничого середовища. Запропоновано визначати рівень небезпеки у робочій зоні за допомогою функції ризику, що дозволить автоматизувати процес атестації робочих місць [5].

**Мета статті.** Розробка методу визначення рівня небезпеки для працівників у робочій зоні за умов сумісної дії шкідливих факторів різних класів.

**Аналіз попередніх публікацій.** Управління проектами та програмами в галузі охорони праці – складний вид проектно-орієнтованої діяльності в системі «людина – машина – робоча зона». Ці проекти/програми мають такі, подібні з будь-яким іншим проектом, ознаки: мета – рівень виробничої безпеки; певні терміни виконання (початок і закінчення); встановлені фінансові, матеріальні та трудові ресурси; процеси, заходи та операції, які необхідні для досягнення мети [6].

Відмінності проектів з охорони праці: цільова функція проекту – безпека – не пов'язана з прибутком від виготовлення та реалізації продукту або надання послуги; унікальність – спосіб утворення небезпечних факторів та властивості чинників шкідливого впливу; умови реалізації – спрямованість на забезпечення безпеки працівників в процесі праці.

Теоретичною основою для формування концепції безпеки в організаційно-технічних системах є аксіома про потенційну небезпеку, принцип Фармера, закон Вебера-Фехнера, принцип мінімуму Лібіха, закон толерантності Шелфорда [3]. Ризик скорочення тривалості життя при дії шкідливих факторів у робочій зоні підприємств визначається на основі відомого закону Вебера-Фехнера [3]. Інші підходи оцінки ризику розглянуті в роботах [5 – 8]. Рівень впливу факторів середовища на стан людей визначається на основі даних у формі залежності «доза – ефект» [5]. У загальному випадку в охороні праці результатом проектів є деякий продукт або послуга, які характеризуються ціною і мірою ризику.

Ризик в основному оцінюють ймовірнісною характеристикою (безрозмірною величиною від 0 до 1), але можливе використання і частоти реалізації ризику. Частота реалізації – це число випадків можливого прояву небезпеки за певний період часу. Наприклад, на рік, – тоді одиниці виміру ризику можуть бути такими – [1/рік] або [людей/рік].

Можна виділити дві давно сформовані точки зору на ризик – перша заснована на наукових і технічних оцінках: так званий теоретичний ризик, друга залежить від людського сприйняття ризику: так званий ефективний ризик [6].

Теоретичний ризик виражається у формі статистичного показника, який часто зводиться до ймовірності деякого небажаної події. Зазвичай ймовірність такої події і деяка оцінка очікуваної шкоди об'єднується в один показник, який комбінує набір ймовірностей ризику і шкоди або винагороди. Таким чином, в статистичній теорії прийняття рішень, функція ризику оцінки  $\delta(x)$  для параметра  $\theta$ , обчислена при деяких спостережуваних параметрах  $x$ , визначається як математичне очікування функції втрат  $L(\theta, \delta(x))$ :

$$R(\theta) = \int L(\theta, \delta(x)) \cdot f(x | \theta) dx \quad (1)$$

де  $L(\theta, \delta(x))$  – функція втрат від параметра оцінки  $\theta$  і значення оцінки  $\delta(x)$ ;

$f(x | \theta)$  – ймовірність небажаної події.

На практиці, як правило, використовують приватні форми виразу (1), які складаються в тому, що залежність істотно спрощується, якщо врахувати конкретні умови виконання оцінки ризику. Ймовірність небажаної події, визначається частотою реалізації небезпек:

$$P = f(x | \theta) = \frac{N(t)}{Q(x)}, \quad (2)$$

де  $N(t)$  – число небажаних подій за час  $t$ ;

$Q(x)$  – загальне число подій в системі.

Так, оцінки ризику у робочій зоні при впливі факторів середовища виконуються за умов припущення, що рівень забруднення відомий [6]. Це означає, що подія забруднення вже відбулась, тобто  $P = 1$ .

Для функції втрат  $L(\theta, \delta(x))$  зазвичай приймають деяку вартісну міру одиниці ризику, яка характеризує наслідки деякої події. Вартісна міра ризику з точки зору роботодавця може бути прийнята згідно до законодавства рівною розміру п'ятирічного заробітку працівника. Подібну вартісну оцінку можна встановити і для інших рівнів тяжкості небажаних подій.

Надалі, в рамках цього дослідження будемо розглядати наслідки від впливу несприятливих факторів середовища для умов  $P = 1$ . Пропонується не використовувати вартісну міру ризику, оскільки вона віддзеркалює рівень розвитку суспільних відносин, а не характеристики якості організаційно-технічної системи. Для визначення наслідків можна використовувати функцію ризику, яка характеризує величину ймовірності ушкодження з'доров'я працівників.

На даний час для визначення ризику від забруднення повітря хімічними речовинами в Україні впроваджена міжнародна методика [7], яка при оцінці ризику передбачає, що:

– для неканцерогенних речовин та канцерогенів негенотоксичної дії передбачається наявність порогових рівнів, нижче від яких шкідливі ефекти не виникають;

– канцерогенні ефекти, обумовлені дією генотоксичних канцерогенних чинників, можливі за дії будь-яких доз, що викликають пошкодження генетичного матеріалу; для такого роду сполук відсутні порогові рівні.

Характеристику ризику розвитку неканцерогенних ефектів здійснюють шляхом порівняння фактичних рівнів експозиції з безпечними (референтними) рівнями впливу та визначенням коефіцієнта небезпеки:

$$HQ = AD / RfD \text{ або } HQ = AC / RfC \quad (3)$$

де  $HQ$  – коефіцієнт небезпеки;

$AD$  – середня доза, мг/кг;

$AC$  – середня концентрація, мг/м<sup>3</sup>;

$RfD$  – референтна (безпечна) доза, мг/кг;

$RfC$  – референтна концентрація, мг/м<sup>3</sup>.

За інгалаційного надходження, якщо цього не потребують спеціальні задачі дослідження, немає необхідності розраховувати дозу впливу, а розрахунок коефіцієнта небезпеки можна здійснювати за формулою:

$$HQ_i = C_i / RfC \quad (4)$$

де  $HQ_i$  – коефіцієнт небезпеки впливу  $i$ -тої речовини;

$C_i$  – рівень впливу  $i$ -тої речовини, мг/м<sup>3</sup>;

$RfC$  – безпечний рівень впливу, мг/м<sup>3</sup>.

Коефіцієнт небезпеки розраховують окремо за умов короткотривалого (гострого), підгострого і тривалого впливу хімічної речовини. При цьому період осереднення експозиції і відповідних безпечних рівнів впливу має бути аналогічним. Критерії для характеристики коефіцієнта небезпеки наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Критерії неканцерогенного ризику

Характеристика ризику	Коефіцієнт небезпеки (HQ)
Ризик виникнення шкідливих ефектів розглядають як зневажливо малий	< 1
Гранична величина, що не потребує термінових заходів, однак не може розглядатися як досить прийнятна	1
Імовірність розвитку шкідливих ефектів зростає пропорційно збільшенню HQ	> 1

Характеристику ризику розвитку неканцерогенних ефектів за комбінованого впливу хімічних речовин проводять на основі розрахунку індексу небезпеки за формулою:

$$HI = \sum HQ_i \quad (5)$$

де  $HQ_i$  – коефіцієнти небезпеки для окремих компонентів суміші хімічних речовин, що впливають.

За аналогічною методикою розраховується індивідуальний канцерогенний ризик CR:

$$CR = LADD \cdot SF, \quad (6)$$

де LADD – середня добова доза протягом життя, мг/(кг\*доба);  
 SF – фактор нахилу, (мг/(кг\*доба))<sup>-1</sup>.

**Розробка методу оцінки інтегрального ризику у робочій зоні.**

У загальному випадку при забрудненні атмосферного повітря, відповідно до закону Вебера-Фехнера, має місце існування деякої функціональної залежності між рівнем забруднення, відчуттям і ризиком:

$$r = \frac{1}{k} \cdot \lg \frac{C}{C_0}, \quad (7)$$

де  $r$  – рівень ризику;

$C$  – концентрація шкідливих речовин в повітрі, мг/м<sup>3</sup>;

$k$  – коефіцієнт пропорційності;

$C_0$  – найменша концентрація, при якій відчувається дія.

На основі нормативних показників, визначуваних експериментально для кожної речовини, можна встановити дві закріплені точки залежності (7). Для спрощення перетворень виконаємо заміну  $1/k$  на  $\lambda$ .

$$\begin{cases} 1 \cdot 10^{-6} = \lambda \cdot \lg \frac{ГДК_{сд}}{C_0} \\ 0,5 = \lambda \cdot \lg \frac{ЛК_{50}}{C_0} \\ r = \lambda \cdot \lg \frac{C}{C_0} \end{cases} \quad (8)$$

Розв’язання системи рівнянь (8) для концентрацій забруднюючих речовин, що перевищують ГДК<sub>сд</sub>:

$$\lambda = \frac{0,5 - 1 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{ЛК_{50}}{ГДК_{сд}}}, \quad (9)$$

$$C_0 = \frac{ГДК_{сд}}{10^{\frac{10^{-6}}{0,5 - 10^{-6}} \lg \frac{ЛК_{50}}{ГДК_{сд}}}}$$

$$r = (0,5 - 10^{-6}) \cdot \left( \frac{\lg \frac{C}{ГДК_{сд}}}{\lg \frac{ЛК_{50}}{ГДК_{сд}}} + \frac{10^{-6}}{0,5 - 10^{-6}} \right). \quad (10)$$

$$r = \frac{0,5 - 1 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{ЛК_{50}}{ГДК_{сд}}} \lg \frac{C}{ГДК_{сд}} + 1 \cdot 10^{-6} \quad (11)$$

Рівняння (9) – (11) підтверджують, що наслідки дії хімічних факторів відповідають закону Вебера-Фехнера. Відмінність (10) від класичного виразу для залежності Вебера-Фехнера полягає в тому, що (10) містить вільний член  $10^{-6}$ , який характеризує верхню границю дії. Другою відмінністю виразу (10) є введення нормування ризику в координатах  $ЛК_{50}$  і  $ГДК_{сд}$ . Це дозволяє обчислити тангенс кута нахилу лінійної залежності ризику від логарифма нормованого відносно  $ГДК_{сд}$  речовини, що діє. Таким чином отримана залежність (10) є узагальненням закону Вебера-Фехнера стосовно дії хімічних речовин на людський організм. За аналогією визначимо залежності ризику для шуму, іонізуючого випромінювання та електромагнітних коливань (табл. 2).

Ключовою дією при оцінці рівня небезпеки є перетворення інформації про деяку властивість параметрів середовища в показники ризику. Складність, що виникає на цій стадії, зв'язана, перш за все, з тим, що всі попередні дослідження характеру дії шкідливих речовин і інших факторів проводилися, як правило, без врахування взаємного впливу факторів.

Тому питання про перетворення “доза – ефект”, повинно вирішуватися виходячи з наявних експериментальних даних. У зв'язку з цим положенням вказане перетворення може здійснюватися відносно кожної елементарної властивості з подальшим зведенням окремих показників до єдиного критерію якості системи в цілому. Хоча у загальному випадку, якщо розглядати характер причинно-наслідкового зв'язку в послідовності подій «дія – відчуття – реакція», це не є принциповим.

Розглянемо алгоритм перетворення параметрів середовища в показник техногенного ризику. Вирази для розрахунку потенційного ризику при дії різномірних факторів приведені в таблиці. 2. Коефіцієнти  $b$  вибираються для кожної речовини, що діє, а коефіцієнт  $k$  для відповідного інтервалу частот електромагнітних коливань.

Якщо значення фактора менше прийнятного нормативного значення, то величина ризику розраховується з припущення лінійної зміни його величини від значення фактора:

$$r_i = \alpha \cdot F, \quad (12)$$

де  $\alpha = 10^{-6}/ГДР$ ;

$F$  – величина фактора  $F < ГДР$ .

Розрахунок сумарного ризику виконується в такій послідовності. Спочатку розраховуються значення величини річного ризику для кожного фактора  $r_i$ , а потім обчислюється величина інтегрального ризику:

Таблиця 2

Розрахунок потенційного ризику при дії різнорідних факторів

Параметри якості середовища	Одиниці вимірювання	Норматив прийнятого рівня	Надмірний рівень	Формула для розрахунку ризику
Хімічні речовини	мг/м <sup>3</sup>	ГДК <sub>зд.</sub> залежить від речовини	ЛК <sub>50</sub>	$r = 10^{-6} + b \cdot \lg \frac{C}{ГДК}$
Шум	дБА	ГДР	130 дБА	$r = 10^{-6} + 0,038 \cdot \lg \frac{I}{I_0}$
Іонізуюче випромінювання	мЗв рік <sup>-1</sup>	Ліміт дози ГДР=20	>50	$r = 10^{-6} + 0,358 \cdot \lg \frac{D_E}{ГДР}$
Електромагнітні коливання	Вм	ПДЕЕ, залежить від частоти	>500	$r = 10^{-6} + k \cdot \lg \frac{E}{ПДЕЕ}$

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - r_i), \quad (13)$$

де  $n$  – кількість факторів.

**Висновок.** Єдиний підхід до розрахунку оцінки параметрів робочої зони вельми зручний: немає необхідності вводити множину шкал для характеристики якості середовища. Використання оцінки у вигляді відношення двох величин еквівалентно переходу від інтенсивності до екстенсивної характеристики впливу – дози, яка, як відомо, є інтегральною величиною і визначається з врахуванням часу дії. Отримані залежності можна застосовувати для атестації робочих місць.

**Література**

1. Закон України «Про охорону праці.» - Редакція від 18.11.2012 [Електронний ресурс]. - <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>. - 16.09.2013.
2. Гогунский, В.Д. Управління ризиками в проектах з охорони праці як метод усунення шкідливих і небезпечних умов праці / В.Д. Гогунский, Ю.С. Чернега // Вост.-Европейский журнал передовых технологий. - № 1/10 (61). – Харьков : Технолог. центр, 2013 – С. 83 – 85.
3. Гогунский, В.Д. Теория и практика оценки риска здоровью от воздействия факторов внешней среды / В.Д. Гогунский, С.В. Руденко, И.В. Урядникова // Безпека життя і діяльності людини — освіта, наука, практика : зб. наук. пр. X міжнар. наук.-метод. конф. — К. : Центр учбової літератури, 2011. — С. 170 — 175.

4. ДСТУ ISO 14001:2006. Системи екологічного керування. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 14001:2004, IDT). — К. : ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ України, 2006. — 17 с.
5. Басиль, Е.Е. Риск сокращения продолжительности жизни: рабочая зона [Текст] / Басиль Е.Е., Изотов С.А., Гогунский В.Д. // Труды Одес. политехн. ун-та. - Вып. 2. - 1997.- С.133 – 135.
6. Руденко, С.В. Оценка экологической безопасности в проектах : монография / С.В. Руденко, В.Д. Гогунский. — Одесса : Феникс, 2006. — 144 с.
7. Методичні рекомендації „Оцінка ризику для здоров’я населення від забруднення атмосферного повітря” [Електронний ресурс]. — Затв. наказом МОЗ України 13.04.2007 р. № 184. — <http://ua-info.biz/legal/baseuw/ua-qmwote/index.htm>
8. Гогунский, В.Д. Практические задачи измерения качества в проектах / В.Д. Гогунский, Т.М. Олех, А.Г. Оборская // Вост.-Европ. журн. передовых технологий. — Харьков : Технолог. центр, 2012. — № 1/11 (55). — С. 6 — 8.