

УДК 331.45

DOI: DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.010721.7.762

ОЦІНЮВАННЯ ВИРОБНИЧОГО РИЗИКУ ПРАЦІВНИКІВ БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ

БЄЛІКОВ А. С.^{1*}, докт. техн. наук, проф.,
ТРЕТЬЯКОВ О. В.², докт. техн. наук, проф.,
ГАРМАШ Б. К.³, канд. техн. наук, доц.,
ГРИГОР'ЄВА Є. С.⁴, асп.

^{1*} Кафедра безпеки життєдіяльності, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: belikov@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

² Кафедра охорони праці та навколишнього середовища, Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, 61050, Харків, Україна, тел. +38 (097) 342-31-80, e-mail: mega.ovtr@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-0457-9553

³ Кафедра охорони праці та навколишнього середовища, Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, 61050, Харків, Україна, тел.: +38 (050) 343-19-63, e-mail: garmash@kart.edu.ua, ORCID: 0000-0003-2115-1994

⁴ Кафедра охорони праці та навколишнього середовища, Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, 61050, Харків, Україна, тел. +38 (050) 401-33-91, e-mail: biletska@kart.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9525-7399

Анотація. Постановка проблеми. Всесвітня організація охорони здоров'я визначила параметричні характеристики здоров'я як «об'єктивний стан і суб'єктивне відчуття повного фізичного, психологічного та соціального комфорту, а не тільки відсутність хвороб». Професійні захворювання мають чіткі зв'язки з характером виконуваної роботи. Захворювання, спровоковані шкідливими умовами праці, мають неймовірно довгий інкубаційний період, в результаті чого можуть проявлятися в різних формах, які не завжди легко розпізнати. Розглянуто питання методичного забезпечення, яке застосовується під час атестації робочих місць для визначення рівня небезпеки працівників у робочій зоні. Теоретичною базою щодо формування концепції безпеки в організаційно-технічних системах обрано закон Вебера – Фехнера: завдяки йому встановлюється наявність порога відчуття, отже, є можливість математичного розрахунку рівнів впливу факторів виробничого середовища і трудового процесу із подальшим визначенням шкідливості виробничого процесу в цілому. Запропоновано визначення рівня небезпеки у робочій зоні за допомогою функції ризику, що дозволить автоматизувати процес атестації робочих місць. Визначено залежності ризику для параметрів якості середовища – виробничих факторів, які входять до переліку небезпечних і шкідливих виробничих факторів, для розрахунку потенційного ризику за одночасної дії різномірних факторів на працівників. Розроблено математичну модель визначення інтегрального ризику на основі алгоритму перетворення параметрів середовища на показник виробничого ризику, яка враховує спільну дію шкідливих факторів різної природи. За допомогою розробленої моделі визначення інтегрального ризику проведено кількісне оцінювання потенційної шкідливості виробничих процесів для працівників зварювального відділення. **Мета статті** – розроблення методичного забезпечення для визначення рівня небезпеки працівників у робочій зоні за умови врахування спільної дії шкідливих факторів різної природи на основі інтегрального показника – виробничого ризику. **Висновки.** За результатами проведеного оцінювання встановлено взаємне посилення шкідливої дії факторів виробничого середовища і трудового процесу для поряд розташованих робочих місць.

Ключові слова: охорона праці; професійний ризик; виробничий ризик; шкідливий фактор; небезпечний фактор; гігієнічний норматив

OCCUPATIONAL RISK ASSESSMENT OF EMPLOYEES IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

BIELIKOV A.S.^{1*}, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,
TRETIAKOV O.V.², Dr. Sc. (Tech.), Prof.,
HARMASH B.K.³, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
HRYHORIEVA Yev.S.⁴, Postgrad. Student

^{1*} Department of Life Safety, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho Str., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-57, e-mail: belikov@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

² Department of Human Engineering and Environmental Protection, Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Square, 7, 61050, Kharkiv, Ukraine, tel.: +38(097)3423180, e-mail: mega_ovtr@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-3615-1815

³ Department of Human Engineering and Environmental Protection, Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Square, 7, 61050, Kharkiv, Ukraine, tel.: +38(050)3431963, e-mail: garmash@kart.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-2115-1994

⁴ Department of Human Engineering and Environmental Protection, Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Square, 7, 61050, Kharkiv, Ukraine, tel.: +38 (050) 401-33-91, e-mail: biletska@kart.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9525-7399

Abstract. Problem statement. The World Health Organization has defined parametric characteristics of health as "the objective state and subjective feeling of complete physical, psychological and social comfort, not merely the absence of disease. Occupational diseases have clear links to the nature of the work performed. Diseases provoked by harmful working conditions have an incredibly long incubation period, as a result of which they can manifest themselves in various forms that are not always easy to recognize. The article deals with the issues of methodological support, which is used in the certification of workplaces to determine the level of danger of workers in the work area. Weber-Fechner's law was chosen as the theoretical basis for the formation of the concept of safety in organizational and technical systems: due to it the presence of the threshold of perception is established, so there is an opportunity to mathematically calculate the levels of exposure to the factors of the working area and the working process with the subsequent determination of the harmfulness of the industrial process as a whole. Determination of the level of hazard in the working area by means of the risk function is proposed, which will automate the process of workplace certification. The dependences of the risk for the environment quality parameters – industrial factors, included in the list of hazardous and harmful industrial factors, for calculating the potential risk in the simultaneous action of heterogeneous factors on the workers were determined. A mathematical model of integral risk determination was developed on the basis of the algorithm of environment parameters transformation into the index of industrial risk, which considers a joint action of harmful factors of different nature. With the help of the developed model of integral risk determination the quantitative assessment of the potential harmfulness of production processes for the workers of the welding department was carried out. **Purpose of the article** – development of methodological support for determining the level of hazard of workers in the work area subject to the joint action of harmful factors of different nature on the basis of an integral index – the industrial risk. **Conclusion.** According to the results of the assessment, a mutual increase in the harmful effects of the factors of the working environment and the labor process for nearby workplaces was established.

8

Keywords: *occupational safety; occupational risk; industrial risk; harmful factor; hazardous factor; hygienic standard*

Постановка проблеми. Сучасне суспільство зараз займає таку позицію, що кожна людина самоцінна й унікальна, а її здоров'я становить основне багатство будь-якої держави.

Систематичний вплив шкідливих виробничих факторів різної природи в процесі праці завдає організму прихованого збитку, усвідомлення якого настає, коли проявляються явні ознаки захворювання і коли виправити ситуацію профілактичними заходами вже немає можливості. З огляду на це, концептуальне положення безпеки професійної діяльності, яке відображає глобальну стратегію МОП «Гідна праця має бути безпечною», сформульоване таким чином: «Виробнича діяльність, при якій той чи інший окремих індивідуум піддається надмірному ризику, не може бути виправдана, навіть якщо ця діяльність вигідна для суспільства в цілому» [1].

Намір України – входження у європейський простір. Це означає, що для інтеграції у світове співтовариство необхідні розроблення і реалізація основних положень у сфері професійної безпеки та здоров'я працівників, гармонізація власних принципів, методів і критеріїв оцінювання ризику для здоров'я працівників у виробничих умовах із міжнародними підходами [2].

Для формування нової концепції безпеки в організаційно-технічних системах теоретичною основою може бути обраний закон Вебера – Фехнера [3].

Аналіз публікацій. Всесвітня організація охорони здоров'я визначила параметричні характеристики здоров'я як «об'єктивний стан і суб'єктивне відчуття повного фізичного, психологічного та соціального комфорту, а не тільки відсутність хвороб» [4]. Глобальне

оцінювання нещасних випадків зі смертельними наслідками, проведене Міжнародною організацією праці (МОП), показує, що у світі щорічно на виробництві гине понад 300 000 людей [5]. На Всесвітньому конгресі з охорони праці оголошено дані про щорічну смертність у світі від «пов'язаних із роботою захворювань»: вона становить 2,2 млн осіб. Так, у 15 країнах Євросоюзу на їх частку припадає 120 тис. смертей, що у 20 разів перевищує кількість смертельних нещасних випадків на виробництві [6]. Тому поняття «пов'язані з роботою захворювання» ширше, ніж поняття «професійні захворювання», яке включає в себе всі захворювання, причиною яких стала трудова діяльність у будівельній галузі.

Професійні захворювання пов'язані з характером виконуваної роботи. Захворювання, які виникають через шкідливі умови праці, мають неймовірно довгий інкубаційний період. У результаті такі захворювання можуть проявлятися в різних формах, які часто важко розпізнати. Багаторічні дослідження вчених багатьох країн світу свідчать, що на частку шкідливих і небезпечних факторів, які генерує виробниче середовище, припадає до 30 % причинних наслідків відхилення здоров'я [6].

Мета статті – розроблення методичного забезпечення для визначення рівня небезпеки працівників у робочій зоні за умови врахування спільної дії шкідливих факторів різної природи на основі інтегрального показника – виробничого ризику.

Результати досліджень. Оцінювання ризику передбачає врахування як мінімум двох типів ризику: реального і потенційного. Реальний ризик – це кількісне вираження збитку здоров'ю у величинах випадків захворювань або смерті. Потенційний ризик – ризик виникнення несприятливого для людини ефекту, який визначається як імовірність виникнення цього ефекту в заданих умовах. Може виражатися у відсотках, частках одиниці або у випадках на 1 000, 10 000 [3].

Але існує необхідність на науковій основі реалізації на практиці вимог відомого принципу ALARA: рівень ризику має бути настільки низьким, наскільки це можливо в даних економічних і соціальних умовах [7].

Імовірнісні методи представляють результати як розподіл імовірностей, або як межі розподілів імовірностей. Також вони можуть давати результати в тих випадках, коли більшість розподілів або межі розподілу опускаються нижче безпечного порога. Існує багато невизначеностей в оцінках ризику, які ігноруються, тому що не так легко включити їх до аналізу. Причиною може бути відсутність належної методології, яка ще не розроблена, або часто не вистачає інформації, щоб вибрати дистрибуцію [8].

Для ймовірнісної оцінки необхідно встановлювати величину прийнятної ризику або величину прийнятної безпеки, але в реальних умовах необхідно враховувати помилку вимірювання під час оцінювання безпеки. З іншого боку, ускладнюється процедура оцінювання, оскільки існує ймовірність, що справжнє значення може виявитися в будь-якій точці області зміни вимірюваного параметра [9].

ДСТУ ISO 31000:2018 визначає оцінювання ризику як процес, що складається з трьох процесів: ідентифікація ризику, аналіз ризику й оцінювання ризику [10].

Об'єктом небезпеки постає будь-яка складова системи «людина – машина – середовище». Зазначений збіг обставин стає можливим за умови, коли в системі присутні певні вразливі ланки. В даному випадку маються на увазі фактори виробничого ризику, які сприяють реалізації ризику у конкретну професійну небезпеку безпосередньо під час взаємодії об'єкта ризику з об'єктом небезпеки.

Відомо, що об'єкт небезпеки існує завжди, коли в наявності є об'єкт ризику. Оскільки об'єктом ризику у сфері охорони праці постає людина, дані умови бачаться сталими.

Оскільки у статистиці змінними є ймовірності, формою вираження

теоретичного ризику виступає статистичний показник, зведений до імовірності деякої небажаної події. Імовірність такої події, деяка оцінка очікуваної шкоди об'єднуються в один показник, а отже, комбінується набір імовірностей ризику і шкоди або винагороди.

У статистичній теорії прийняття рішень функцію ризику оцінки $\delta(x)$ для параметра θ , що обчислена за деяких спостережуваних параметрів x , визначають як математичне очікування функції втрат $L(\theta, \delta(x))$ [11]:

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

де $L(\theta, \delta(x))$ – функція втрат від параметра оцінки θ і значення оцінки $\delta(x)$; $f(x|\theta)$ – ймовірність небажаної події.

Оцінювання ризику у робочій зоні за умов впливу факторів середовища виконуються, як правило, із припущенням, що рівень забруднення відомий [12]. Це означатиме, що подія забруднення вже відбулась.

У разі забруднення атмосферного повітря в загальному випадку має місце існування певної функціональної залежності між рівнем забруднення, відчуттям і ризиком, відповідно до закону Вебера – Фехнера [11]:

$$r = 1/k \cdot \lg C/C_0, \quad (2)$$

де r – рівень ризику; C – концентрація шкідливих речовин у повітрі, мг/м³; k – коефіцієнт пропорційності; C_0 – найменша концентрація, за якої відчувається дія.

Беручи за основу нормативні показники, які необхідно визначати експериментально для кожної окремої речовини, реально встановити дві закріплені точки залежності (2). Якщо виконати заміну $1/k$ на λ для спрощення перетворень, вираз набуде такого вигляду:

$$\begin{cases} 1 \cdot 10^{-6} = \lambda \cdot \lg(\text{ГДК}_{\text{сд}}/C_0) \\ 0,5 = \lambda \cdot \lg(\text{ЛК}_{50}/C_0) \\ r = \lambda \cdot \lg C/C_0 \end{cases} \quad (3)$$

Розв'язання системи рівнянь (3) для визначення концентрацій забруднювальних речовин, які перевищують ГДК_{сд}, у

результаті матиме такий вигляд:

$$r = \frac{(0,5 - 1 \cdot 10^{-6})}{\lg(\text{ЛК}_{50}/\text{ГДК}_{\text{сд}})} \cdot \lg(C/\text{ГДК}_{\text{сд}}) + 1 \cdot 10^{-6} \quad (4)$$

За аналогією можна визначити залежності ризику для рівнів шуму, іонізуючого випромінювання та електромагнітних коливань, і розрахувати потенційний ризик за одночасної дії різномірних факторів (табл. 1).

Основна дія, під час оцінювання рівня небезпеки – перетворення інформації про будь-яку властивість параметрів середовища на показники ризику. На даному етапі є вірогідність виникнення ускладнень. Це пов'язано з тим фактом, що наукові дослідження попередників щодо характеру дії шкідливих речовин та інших факторів проводилися без урахування їх взаємного впливу.

Отже, вирішення питання про перетворення «доза – ефект» відбуватиметься, виходячи з наявних експериментальних даних таблиці 1 [13]. Таким чином, вказане перетворення може здійснюватися відносно кожної елементарної властивості. А наступним кроком буде зведення окремих показників до бажаного єдиного критерію якості системи в цілому.

Під час проведеного аналізу широкого кола наукових публікацій [11; 13–17] встановлено, що теоретичною основою формування концепції безпеки в організаційно-технічних системах постають: аксіома про потенційну небезпеку, закон Вебера – Фехнера, закон С. Стівенса, принцип мінімуму Лібиха, закон толерантності Шелфорда, принцип Фармера.

Як зазначено вище, дослідження попередників визначили залежність професійного ризику від рівня різномірних за своїм походженням шкідливих і небезпечних виробничих факторів на основі законів Вебера – Фехнера і С. Стівенса [18; 19] (табл. 1).

Розрахунок сумарного ризику в подальшому відбуватиметься в такій послідовності. Насамперед, обчислюються значення величини річного ризику для

кожного фактора r_i , а потім величина інтегрального ризику [13]:

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - r_i) \tag{5}$$

Таблиця 1

Розрахунок потенційного ризику за дії різнорідних факторів

Параметри якості середовища	Одиниці вимірювання	Норматив прийнятого рівня	Надмірний рівень	Формула для розрахунку ризику
Хімічні речовини	мг/м ³	ГДК _{сд} , Залежить від речовини	ЛК ₅₀	$r = 10^{-6} + b \cdot \lg \frac{C}{ГДК}$
Шум	дБА	ГДР	130 дБА	$r = 10^{-6} + 0,038 \cdot \lg \frac{I}{I_0}$
Іонізуюче випромінювання	м ³ в рік ⁻¹	Ліміт дози ГДР = 20	> 50	$r = 10^{-6} + 0,358 \cdot \lg \frac{D_E}{ГДР}$
Електромагнітні коливання	Вт/м ²	ПДЕЕ, Залежить від частоти	> 500	$r = 10^{-6} + k \cdot \lg \frac{E}{ПДЕЕ}$

Наведене вище дозволяє говорити про отримання єдиного підходу до розрахунку оцінки параметрів робочої зони виробничого середовища. Зазначений підхід не потребує введення множини шкал для характеристики якості виробничого середовища.

Для врахування імовірності перебування працівника в зоні дії i -го небезпечного фактору можна визначити імовірність наявності i -го небезпечного фактора в робочій зоні за такою формулою:

$$P = P^v \cdot P^p, \tag{6}$$

де P_i^v – імовірність дії i -го небезпечного фактора; P_i^p – імовірність перебування працівника в зоні дії i -го небезпечного фактора.

Надалі визначаємо імовірність дії i -го небезпечного фактора та імовірність перебування працівника в зоні його дії за формулами:

$$P_i^v = t_i^v / T_{CM} \quad \text{і} \quad P_i^p = t_i^p / T_{CM}, \tag{7}$$

де t_i – час дії i -го небезпечного фактора; t_i^p – час перебування працівника в зоні дії i -го небезпечного фактора; T_{CM} – тривалість зміни.

Отримані вирази можна підставити у формулу (7), в результаті маємо імовірність дії i -го небезпечного фактора на працівника:

$$P_{vi} = \frac{1}{T_{CM}^2} (t_i^v \cdot t_i^p). \tag{8}$$

У випадку, коли є одночасна наявність 2, 3, ... n шкідливих факторів, імовірність їх дії можна визначити таким чином:

$$\begin{aligned} P_v(2) &= P_{v_2} + P_{v_1} - P_{v_2} \cdot P_{v_1} \\ P_v(3) &= P_v + P_v - P_v \cdot P_v \\ P_v(n) &= P_v^3 + P_v^2 - P_v \cdot P_v \end{aligned} \tag{9}$$

Якщо відома імовірність дії шкідливих факторів на працівників, подальше визначення шкідливості виробничого процесу в цілому відбуватиметься так:

$$P_{nn}^0 = \frac{N_1 P_0(1) + N_2 P_0(2) + \dots + N_n P_0(n)}{N}, \tag{10}$$

де N_1, N_2, \dots, N_n – кількість працівників, які підпадають під дію 1, 2, 3, ... n шкідливих факторів; $P_0(1), P_0(2), \dots, P_0(n)$ – імовірність дії на працівників 1, 2, 3, ... n шкідливих факторів; N – загальна чисельність працівників. Надалі визначається імовірність j -го небезпечного фактора за формулою:

$$P = P_{b_j}^b \cdot P_j^p \cdot P_j^{nc}, \quad (11)$$

де $P_{b_j}^b$ – імовірність наявності у робочій зоні j -го небезпечного фактора (речовини); P_j^p – імовірність перебування людини у зоні дії j -го небезпечного фактора (речовини); P_j^{nc} – уражаюча здатність j -го небезпечного фактора (речовини).

Як зазначено вище, імовірність наявності у робочій зоні j -го небезпечного фактора (або речовини) та імовірність перебування людини у зоні дії цього фактора визначаються за формулою (8). А вражаюча здатність j -го небезпечного фактора (речовини) визначається як:

$$P_j^{nc} = \frac{d_j}{D_j}, \quad (12)$$

де d_j – фактичний рівень (вміст) j -го небезпечного фактора (речовини); D_j – граничний рівень (вміст) j -го небезпечного фактора (речовини) – це такий рівень, за якого працівники підлягають найшвидшій евакуації з небезпечної зони.

Якщо підставити у формулу (12) вирази для $P_{b_j}^b$, P_j^p і P_j^{nc} , формула матиме такий вигляд:

$$P_{b_j} = \frac{t^b \cdot t^p \cdot d_j}{T_{CM}^2 \cdot D_j}. \quad (13)$$

Загальна імовірність шкідливої дії m факторів визначається за формулою:

$$P_{b_m} = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - P_j^b). \quad (14)$$

На основі алгоритму перетворення параметрів середовища на показник виробничого ризику виконано кількісне оцінювання потенційної шкідливості виробничих процесів на базі даних оцінки факторів виробничого середовища і трудового процесу з використанням розробленої моделі визначення інтегрального ризику для працівників у шкідливих умовах праці кранового цеху виробничого підрозділу «Локомотивне депо Основа» (м. Харків).

На посаді електрозварника (РМ № 11) в крановому цеху працюють дві особи, а їхні робочі місця розташовані на відстані 1,6 м одне від одного [14]. Робочі місця електрозварників (РМ № 11а, РМ № 11б) мають відповідати вимогам означених нормативних документів [15–17].

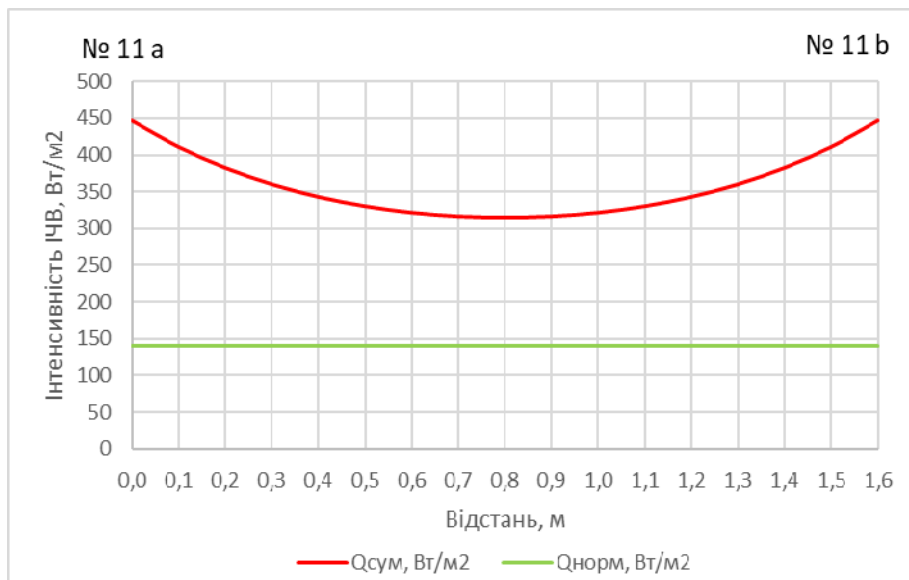


Рис. 1. Графік зміни інтенсивності інфрачервоного випромінювання на робочих місцях електрозварників (РМ № 11а і РМ № 11б) залежно від відстані

Під час роботи на працівників зварювального відділення діють фактори, що входять до переліку небезпечних і шкідливих виробничих факторів,

визначених у Гігієнічній класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості

трудового процесу [19] і характерних для багатьох видів зварювання та споріднених процесів [20–22].

Результати проведеного оцінювання параметрів робочої зони електрозварників, яке враховує взаємний вплив шкідливих і небезпечних факторів для їхніх робочих місць, наведені у [23]. Відповідно до Методики розрахунку розподілу рівнів електромагнітного поля [24] для робочих місць працівників зварювального відділення проведено розрахунок інтенсивності інфрачервоного випромінювання залежності від відстані з урахуванням взаємного впливу поряд розташованих робочих місць.

На рисунку 1 наведено графік зміни інтенсивності інфрачервоного випроміню-

вання на двох робочих місцях електрозварників (РМ № 11а і РМ № 11б) залежно від відстані з урахуванням взаємного впливу між ними.

Взаємний вплив шкідливих факторів виробничого середовища і трудового процесу для означених електрозварників оцінювали за допомогою виробничого ризику з урахуванням взаємного впливу від інтенсивності інфрачервоного випромінювання. Фактор ІЧ випромінювання обрано як шкідливий фактор із надмірним відповідно до [10] значенням потенційного ризику ($r_i = 0,156705$) [23]. Результати наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Кількісна оцінка потенційної шкідливості виробничих процесів для працівників із шкідливими умовами праці

Відстань між робочими місцями L , м	Інтенсивність ІЧВ $Q_{сум}$, Вт/м ²	Інтегральний ризик, R_{int}
0,00	446,38	0,193 531
0,10	410,79	0,179 662
0,20	382,58	0,167 790
0,30	360,44	0,157 841
0,40	343,41	0,149 761
0,50	330,79	0,143 512
0,60	322,09	0,139 065
0,70	317,00	0,136 404
0,80	315,32	0,135 518

13

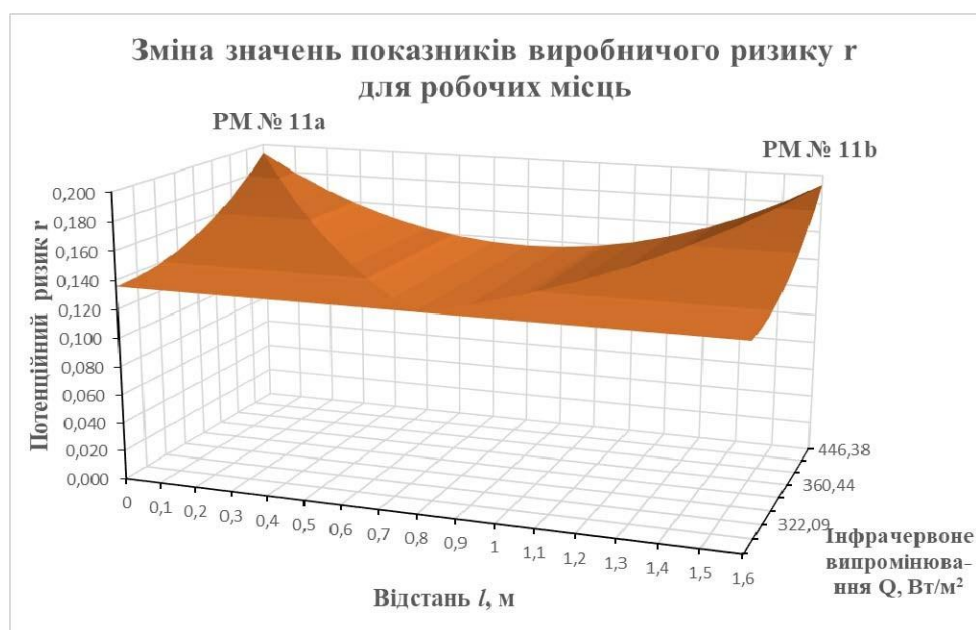


Рис. 2. Рівень виробничого ризику, зумовленого інфрачервоним випромінюванням, для поряд розташованих робочих місць електрозварників (РМ № 11а і РМ № 11б)

Отримані результати свідчать про взаємне посилення шкідливої дії факторів виробничого середовища і трудового процесу на електрозварників, робочі місця яких розташовані поряд. Так, отримані значення потенційного ризику на відстані 0,8 м від робочих місць електрозварників є надмірним ($R_{int} > 10^{-1}$).

На базі отриманих даних побудовано тривимірну модель зони виробничого ризику для робочих місць зварювального відділення (РМ № 11а, РМ № 11 б), яка дає уявну картину рівня небезпек навколо робочих місць електрозварників (рис. 2).

Таким чином, застосування запропонованого підходу дозволяє оцінювати значення потенційного виробничого ризику за будь-якої кількості шкідливих і небезпечних факторів на робочих місцях, з урахуванням їх взаємного впливу, виділяти небезпечні зони між робочими місцями для визначення оптимальних і найбільш небезпечних маршрутів пересування працівників у цеху.

Проведемо визначення інвестиційних вкладень в модернізацію робочих місць електрозварників ручного зварювання, оцінка інтегрального ризику яких була проведена із застосуванням моделі управління виробничими ризиками на робочих місцях. Продуктивність праці електрозварників ручного зварювання будемо оцінювати за допомогою номограми для розрахунку витрат часу на зварювання 1 м шову [25]. Стан безпеки на робочому місці електрозварників ручного зварювання будемо оцінювати як значення інтегрального ризику $N = R_{int}$.

Напрями інвестування обрані виходячи із внеску небезпечного фактора до значення інтегрального ризику за наслідками атестації робочих місць:

- уникнення дії шкідливих речовин на дихальну систему електрозварників;
- зменшення дії інфрачервоного випромінювання від сусідніх зварювальних постів на окремого електрозварника;
- модернізація зварювального столу для зменшення ергономічного навантаження на електрозварника.

Модернізацію зварювального столу для зменшення ергономічного навантаження на електрозварника запропоновано провести таким чином, як зображено на рисунку 3.

Задля зменшення дії ІЧ випромінювання від сусідніх зварювальних постів на окремого електрозварника запропоновано відокремити кожне зварювальне робоче місце шторами (екранами), які затримують інфрачервоне випромінювання (рис. 4).



Рис. 3. Модернізований зварювальний стіл електрозварника



Рис. 4. Захисні екрани робочого місця електрозварника

Задля уникнення дії шкідливих речовин на дихальну систему електрозварників

запропоновано застосування маски зварювальника типу AS-4001-F з пристроєм подачі повітря P-1000 (рис. 5), яка характеризується наступними параметрами:

- зварювальний струм 50...500 А;
- робоче затемнення DIN (фіксоване) 9;
- поле зору світофільтру 100 × 60 мм;
- час спрацювання 0,1 мс;
- робоча температура від -10 до +55 °С;
- час затримки висвітлення 0,1...0,9 с.



Рис. 5. Маски зварювальника типу AS-4001-F із пристроєм подачі повітря P-1000

Така маска забезпечує якісне очищення повітря, має просту і надійну систему управління, дозволяє підтримувати

налаштування системи, не відволікаючись від роботи.

Інвестиційні витрати під час застосування означених пристроїв на одне робоче місце становить – 29 800 грн.

Використовуючи обчислені значення регресійних коефіцієнтів за допомогою Microsoft Excel експлуатаційної моделі, отримали наступне значення коефіцієнтів рівняння:

$$N = R_{int} = 0,022 \cdot P - 2,48 \cdot 10^{-5} \cdot IB + 0,0164 \cdot E. \quad (16)$$

Регресійні коефіцієнти для показника інвестиційних вкладень в результаті розрахунків вийшли негативними, з чого випливає, що збільшення зазначеного показника позитивно впливає на стан безпеки на РМ. При підвищенні інвестиційних витрат та інвестиційних вкладень в модернізацію і ремонт об'єктів зварювального відділення число випадків небажаних подій буде зменшуватися. За допомогою Microsoft Excel встановлено, що коефіцієнт детермінації дорівнює $R^2 = 0,9891$. В таблиці 3 наведені розрахункові значення інтегрального ризику R_{int} після модернізації робочих місць електрозварників ручного зварювання з урахуванням фактичних значень продуктивності праці.

Таблиця 3

Порівняльні значення R_{int} після модернізації робочих місць електрозварників ручного зварювання

№ робочого місця	Інтегральний ризик до модернізації, R_{int}	Інтегральний ризик після модернізації, R_{int}
6	0,739 661 021	$1 \cdot 10^{-6}$
7	0,853 223 094	$2,1 \cdot 10^{-5}$
8	0,729 806 827	$0,9 \cdot 10^{-6}$
9	0,702 57	$0,8 \cdot 10^{-6}$
10	0,863 756	$2,1 \cdot 10^{-5}$
11	0,774 952	$1,4 \cdot 10^{-6}$
12	0,612 467	$0,7 \cdot 10^{-6}$
13	0,723 631	$0,9 \cdot 10^{-6}$

Високе значення нецентрованого коефіцієнта детермінації свідчує про тісний зв'язок між досліджуваними показниками. При цьому середня відносна помилка для отриманої регресійної моделі склала величину, яка дорівнює 12,3 %. Головне, що усі РМ електрозварників ручного зварювання, які розташовані у будівлі

цехового та кранового господарства, будуть характеризуватися допустимим рівнем інтегрального ризику.

Висновки. Розроблене методичне забезпечення на основі алгоритму перетворення параметрів середовища на показник виробничого ризику для визначення рівня небезпеки працівників у

робочій зоні під час проведення атестації робочих місць враховує спільну дію шкідливих факторів різної природи.

Проведене кількісне оцінювання потенційної шкідливості виробничих процесів із використанням розробленої моделі визначення інтегрального ризику для працівників зварювального відділення виявило взаємне посилення шкідливої дії факторів виробничого середовища і трудового процесу на працівників.

Упровадження інтегрального показника шкоди дозволить урахувати взаємний вплив, проводити оцінку значень потенційного виробничого ризику за будь-якої кількості шкідливих і небезпечних факторів на робочих місцях, а також виділяти небезпечні зони між робочими

місцями та визначати оптимальні і найбільш небезпечні маршрути пересування працівників у цеху.

Такий підхід дозволяє вдосконалити систему атестації робочих місць і підвищити достовірність отриманих результатів оцінювання умов праці. Розроблені заходи щодо модернізації робочих місць електрозварників ручного зварювання з урахуванням фактичних значень продуктивності праці, які дозволяють знизити професійний ризик електрозварників до допустимих значень та суттєво знизити виробничий ризик для робітників, що працюють на поряд розташованих робочих місцях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Статут (Конституція) Всесвітньої організації охорони здоров'я. Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_599
2. ISO 45001. Системи менеджменту охорони здоров'я і безпеки праці. Вимоги із застосування. (Державний стандарт України). URL: <https://www.iso.org/standard/63787.html>
3. Третьяков О. В., Гармаш Б. К., Халмурадов Б. Д., Білецька Є. С. Ризик-орієнтований підхід до визначення умов праці окремих категорій працівників транспортної галузі. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2020. № 59 (1). С. 120–126.
4. Цушко І. І. Теоретичні аспекти здоров'я учнівської молоді. Київ : Український НМЦ практичної психології і соціальної роботи, 2014.
5. Linn H. I. and Amendola A. A. Occupational Safety Research : Overview, Encyclopedia of Occupational Safety and Health. International Labor Organization. Geneva, 2005.
6. ILO Introductory Report : Decent Work - Safe Work. International Labor Office. Geneva, 2006.
7. Moghissi A. A., Narland R. E., Congel F. J., Eckerman K. F. Methodology for environmental human exposure and health risk assessment. *Exposure and Hazard Assessment Toxic Chem.* Michigan, USA, 1980. Pp. 471–489.
8. Montgomery V. New statistical methods in risk assessment by probability bounds. Department of Mathematical Sciences. Durham University, UK, 2009.
9. Zijing Zhang. Statistical methods on risk management of extreme events : Doctoral Dissertation. University of Massachusetts, Amherst, 2017.
10. ДСТУ ISO 31000:2018. Менеджмент ризиків. Принципи та настанови (ISO 31000:2018, IDT). (Державний стандарт України). URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=80322
11. ДСТУ ISO 14001:2006. Системи екологічного керування. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 14001:2004, IDT). Київ : Держспоживстандарт України, 2006.
12. Басиль Е. Е., Изотов С. А., Гогунский В. Д. Риск сокращения продолжительности жизни : рабочая зона. *Труды Одесского политехнического университета*. 1997. Вып. 2. С. 133–135.
13. Гогунский В. Д., Руденко С. В., Урядникова И. В. Теория и практика оценки риска здоровью от воздействия факторов внешней среды. *Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика : зб. наук. пр. Х міжнар. наук.-метод. конф.* Київ : Центр учбової літератури, 2011. С. 170–175.
14. Карта умов праці № 11. Електрозварник (зайнятий різанням та ручним зварюванням). Дільниця по ремонту кранів на залізничному ходу. Харків : ВП «Локомотивне депо Основа», ДП «Південна залізниця», 2015. 2 с.
15. ДСПТО 7212.С.28.00-2015. Державний стандарт професійно-технічної освіти. URL: http://profstandart.org.ua/upload/files/files/Reestr_osvitnih_standartiv/7212.C.28.00-2015.pdf.
16. ДСТУ 2456-94. Зварювання дугове і електрошлакове. Вимоги безпеки. (Державний стандарт України). URL: http://nmc pz.ho.ua/document/biblio_01/dstu_2456_94.pdf.
17. ДНАОП 0.00-1.16-96. Про затвердження Правил атестації зварників. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0262-96>

18. Про затвердження Правил охорони праці під час зварювання металів : наказ МНС України від 14.12.2012 № 1425. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0063-13>
19. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу»: Наказ МОЗ України від 08.04.2014 № 248. URL: <https://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>
20. Левченко О. Г., Арламов О. Ю. Дослідження впливу ультрафіолетового випромінювання на працівників під час ручного дугового зварювання. *Вісник НТУУ «КПІ»*. 2014. № 26. С. 163–169.
21. Левченко О. Г., Арламов О. Ю. Захист від ультрафіолетового і акустичного випромінювань, що створюються під час дугового і контактного зварювання та електрошлакового переплаву. URL : <http://confopcb.iee.kpi.ua/proc/article/viewFile/114922/112515>.
22. Стеблій Н. М., Акіменко В. Я. Ультрафіолетова складова інсоляції як фактор ризику для здоров'я людини. *Ukrainian Journal of Occupational Health*. 2019. № 15 (1). С. 35–45.
23. Tretyakov O., Harmash B. and Biletska Yev. Determining the level of danger in the working zone of railway transport workers. *Fundamental and applied research in the modern world*. Boston, USA, 2020.
24. Про затвердження Методики розрахунку розподілу рівнів електромагнітного поля : наказ МОЗ України від 29.01.2013 № 1040. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z2130-13#Text>
25. Чернявська І. М. Нормування праці як інструмент підвищення рівня ефективності зварювального виробництва. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. № 2 (33). 2014. С. 231–234.

REFERENCES

1. *Statut (Konstytuciya) Vsesvitnoyi organizacii ohorony zdorovya* [The Charter (Constitution) of the World Health Organization]. The Verkhovna Rada of Ukraine. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_599 (in Ukrainian).
2. ISO 45001. *Sistemi menedzhmentu ohoroni zdorov'ya i bezpeki praci. Vimogi iz zastosuvannya* [Occupational health and safety management systems. Requirements for application]. (State Standart of Ukraine). URL: <https://www.iso.org/standard/63787.html> (in Ukrainian).
3. Tretyakov O.V., Harmash B.K., Halmuradov B.D. and Biletska E.C. *Risik-orientovany pidhid do vyznachennya umov praci okremykh kategoriiv pracivnykiv transportnoi galuzi* [A risk-oriented approach to determining working conditions of certain categories of the workers in transport industry]. *Systemy navigacii ta zvyazku* [Control, navigation and communication systems], 2020, no. 59 (1), pp. 120–126. (in Ukrainian).
4. Tsushko I.I. *Teoretychni aspekty zdorovya uchnivskoi molodi* [Theoretical aspects of student youth health]. Kyiv : Ukrains'kij NMC praktichnoi psihologii i social'noi roboti, 2014. (in Ukrainian).
5. Linn H.I. and Amendola A.A. Occupational Safety Research : Overview, Encyclopedia of Occupational Safety and Health. International Labor Organization. Geneva, 2005.
6. ILO Introductory Report : Decent Work-Safe Work. International Labor Office. Geneva, 2006.
7. Moghissi A.A., Narland R.E., Congel F.J. and Eckerman K.F. Methodology for environmental human exposure and health risk assessment. *Exposure and Hazard Assessment Toxic Chem*. Michigan, USA, 1980, pp. 471–489.
8. Montgomery V. New statistical methods in risk assessment by probability bounds. Department of Mathematical Sciences. Durham University, UK, 2009.
9. Zijing Zhang. Statistical methods on risk management of extreme events : Doctoral Dissertation. University of Massachusetts, Amherst, 2017.
10. DSTU ISO 31000:2018. Risk management. Principles and guidelines (ISO 31000:2018, IDT). (State Standart of Ukraine). URL : http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=80322 (in Ukrainian).
11. DSTU ISO 14001:2006. *Sistemi ekologichnogo keruvannya. Vimogi ta nastanovi schodo zastosuvannya (ISO 14001:2004, IDT)* [Environmental management systems. Requirements and guidelines for use. (ISO 14001:2004, IDT)]. Kyiv : Derzhspozhivstandart of Ukraine, 2006.
12. Basył E.E., Izotov S.A. and Gogunskiy V.D. *Risk sokrascheniya prodolzhytelnosti zhizni: rabochaya zona* [The risk of reduced life expectancy: the work zone]. *Trudy Odesskogo politechnicheskogo universiteta* [Proceedings of the Odessa Polytechnic University]. 1997, no. 2, pp. 133–135. (in Russian).
13. Gogunskiy V.D., Rudenko S.V. and Uryadnikova I.V. *Teoriya i praktika ocnki riska zdorov'yu ot vozdeystviya faktorov vneshnej sredy* [Theory and practice of health risk assessment from the impact of environmental factors]. *Bezpeka zhittya i diyal'nosti lyudini - osvita, nauka, praktika : zb. nauk. pr. H mizhnar. nauk.-metod. konf.* [Safety of life and human activity – education, science, practice : coll. of scient. Papers : X international. method. conf.]. Kyiv : Center of Educational Literature, 2011, pp. 170–175. (in Ukrainian).
14. *Karta umov praci 11. Elektrozvarnyk (zaynyaty rizanniam ta ruchnym zvaruvanniam)* [Card of working conditions no. 11. Electric welder (engaged in cutting and manual welding)]. Railway crane repair site. Kharkiv : OP "Locomotive depot Osnova", SE "Southern Railway", 2015, 2 p. (in Ukrainian).
15. DSPTO 7212.C.28.00-2015. *Derzhavnij standart profesijno-tehnicnoi osviti* [State Standard for Technical and Vocational Education]. URL: http://profstandart.org.ua/upload/files/files/Reestr_osvitnih_standartiv/7212.C.28.00-2015.pdf. (in Ukrainian).

16. DSTU 2456-94. *Zvaruvannya dugove i elektroshlakove. Vymogy bezpeki* [DSTU 2456-94. Arc welding and electroslag welding. Safety requirements]. (State Standard of Ukraine). URL: http://nmcpz.ho.ua/document/biblio_01/dstu_2456_94.pdf (in Ukrainian).

17. DNAOP 0.00-1.16-96. *Pro zatverdzhennya Pravid atestacii zvarnykiv* [On approval of the Rules for certification of welders]. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0262-96> (in Ukrainian).

18. *Pro zatverdzhennya Pravid ohorony praci pid chas zvaruvannya metaliv : Nakaz MNS Ukrainy vid 14.12.2012 № 1425* [On approval of the Rules of labor protection in welding of metals : Order of the Ministry of Emergency Situations of Ukraine from 14.12.2012 no. 1425]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0063-13> (in Ukrainian).

19. *Pro zatverdzhennya derzhavnyih sanitarnyih norm ta pravil «Gigienichna klasifikacia praci za pokaznikami shkidlivosti ta nebezpechnosti faktoriv vyrobnychogo seredovischa, vazhkosti ta napruzenosti trudovogo procesu» : Nakaz MOZ Ukrainy № 248 vid 08 kvit. 2014 r.* [About the approval of the state sanitary norms "Hygienic classification of labor according to the indicators of harm and danger, difficulty and intensity of the labor process" : Order of the Ministry of Health of Ukraine № 248 08.04.2014]. URL: <https://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14> (in Ukrainian).

20. Levchenko O.G. and Arlamov O.Yu. *Doslidzhennya vplyvu ultrafioletovogo vyprominyuvannya na pracivnykiv pid chas ruchnogo dugovogo zvaryuvannya* [Study of the effect of ultraviolet radiation on workers in manual arc welding]. *Visnik NTUU «KPI»* [Bulletin of NTUU "KPI"]. 2014, no. 26, pp. 163–169.(in Ukrainian).

21. Levchenko O.G. and Arlamov O.Yu. *Zahist vid ultrafioletovogo I akustychnogo vyprominyuvan, scho stvoryuetsya pid chas dugovogo I kontaktnogo zvaryuvannya ta elektroshlakovogo pereplavu* [Protection against ultraviolet and acoustic emissions from arc and resistance welding and electroslag remelting]. URL: <http://confopcb.iee.kpi.ua/proc/article/viewFile/114922/112515> (in Ukrainian).

22. Stebliy N.M. and Yakimenko V.Ya. *Ultrafioletova skladova insolyacii yak factor risiku dlya zdorovya ludyny* [Ultraviolet component of insolation as a risk factor for human health]. *Ukrainian Journal of Occupational Health*. 2019, no. 15 (1), pp. 35–45. (in Ukrainian).

23. Tretyakov O., Harmash B. and Biletska Yev. *Determining the level of danger in the working zone of railway transport workers. Fundamental and applied research in the modern world*. Boston, USA, 2020.

24. *Pro zatverdzhennya Metodiki rozrahunku rozpodiliv rivniv elektromaghitnogo polya : Nakaz MOZ Ukrainy vid 29.01.2013 № 1040* [On approval of the Methodology for calculating the distribution of electromagnetic field levels : Order of the Ministry of Health of Ukraine from 29.01.2013 no. 1040]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z2130-13#Text> (in Ukrainian).

25. Chernyavska I.M. *Normuvannya praci yak instrument efektyvnosti zvaryvalnjgj vyrobnyctva* [Labor standardization as a tool to increase the level of efficiency of welding production]. *Visnik Donbas'koï derzhavnoi mashinobudivnoi akademii* [Bulletin of the Donbas State Machine-Building Academy]. 2014, no. 2 (33), pp. 231–234. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції : 07.06.2021.