

В. А. Глива<sup>1</sup>, В. Є. Кашперський<sup>1</sup>, О. В. Панова<sup>2</sup>, Я. І. Бірук<sup>2</sup>, С. В. Зозуля<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний авіаційний університет, Київ, Україна

<sup>2</sup> Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

## МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ВПЛИВУ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ ТЕХНОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

**Анотація.** У роботі проаналізовано можливість оцінювання ризиків для здоров'я працюючих під впливом електромагнітних полів широкого частотного діапазону. З'ясована невизначеність статистичних та клінічних даних щодо причинно-наслідкового зв'язку між електромагнітним впливом та несприятливими зрушеннями у здоров'ї працюючих. Ця невизначеність обумовлює значні розбіжності у різних нормативних актах з електромагнітної безпеки. Показано, що потребує конкретизації вимога ВООЗ щодо максимально можливого зниження рівнів полів та випромінювань. Коефіцієнтом для добровільного ризику в умовах обізнаності про наявність техногенних електромагнітних впливів складає  $10^{-3}$ - $10^{-4}$ . Застосувавши ці коефіцієнти до гранично допустимих напруженостей електричних та магнітних полів наднизьких частот та щільностей потоків енергії електромагнітних полів ультрависоких частот отримуються кількісні значення, які відповідають рівням полів у середньостатистичному помешканні. Очевидно, що це є межа, нижче якої зниження рівнів електромагнітних полів є недоцільним. Наведений підхід не можна вважати беззаперечним, але він певним чином конкретизує загальну вимогу зниження рівнів електромагнітних полів до технічно досяжних рівнів.

**Ключові слова:** умови праці, стандарти безпеки, електромагнітне поле, широко-частотний діапазон, охорона праці, ризики.

### Вступ

Сучасною тенденцією в оцінюванні можливих несприятливих впливів на здоров'я людей у виробничих та побутових умовах є ризик – орієнтований підхід. Перевагою такого підходу є можливість кількісно визначити імовірність нанесення шкоди здоров'ю внаслідок впливу техногенних чинників виробничого та навколишнього середовища. Більшість таких розрахунків базуються на надійних статистичних даних щодо кількості та переліку виробничих травм, професійних захворювань тощо. Але у багатьох випадках дані щодо шкідливого впливу техногенних факторів обмежені або суперечливі. Наприклад, це стосується електромагнітних полів широкого частотного діапазону. Тому, Всесвітня організація охорони здоров'я розповсюдила на електромагнітні впливи принцип ALAR (As low as reasonable – принцип застереження – «наскільки низький, наскільки можливо»). Мінімізація техногенного впливу безумовно сприяє збереженню здоров'я працюючих, але вимагає великих витрат, які у багатьох випадках непосильні або необґрунтовані. Тому в умовах невизначеності впливу на людей фізичних техногенних факторів доцільне оцінювання ризиків з точки зору максимально допустимого впливу з використанням гранично допустимих рівнів електромагнітних полів, як містяться у основних нормативних актах.

**Огляд літературних джерел.** На сьогоднішній день визначення ризиків та керування ними регламентуються кількома міжнародними та національними нормативами. У стандарті [1] представлено засади ризик – менеджменту організацій і підприємств – принципи й концептуальні керівництва управління ризиками будь-яких організацій і підприємств. Цей документ не надає можливостей визначити ризики кількісно. Національний стандарт [2] дещо конкретизує міжнародний норматив 31000 надаючи методи оцінювання ризику: мозковий штурм, метод Делфі, аналіз небезпек, екологічного ризику, дерево рішень, метод Монте-Карло, матриця наслідок – вірогідності тощо. Для отримання кількісних даних щодо ризиків наведеними методами потрібно вихідні дані, але за їх відсутності або обмеженості, розрахунки неможливі. У першу чергу це стосується факторів, які інструментально визначаються кількісно, наприклад, електромагнітних полів. Втім документ ВООЗ, яким розповсюджено принципи ALAR та неіонізуючі випромінювання [3] також не містить конкретики щодо розрахунків ризиків. Існують методичні рекомендації щодо розрахунків ризиків впливу техногенних електромагнітних полів [4]. Але у ньому надано методологію розрахунків ризиків захворювання лейкозом, гліомою та менінгіомою.

Це пояснюється наявністю достатніх клінічних даних, які пов'язують захворювання з експозицією змінних електромагнітних полів (в основному – ультрависоких частот). Більшість сучасних досліджень щодо розрахунків від несприятливих впливів виробничого середовища стосуються підприємств з високими рівнями травматизму – машинобудівних, транспортних, гірничих [5,6]. Щодо впливу електромагнітних полів, то навіть сучасні підсумкові звіти з проблематики визначення ризиків констатують невизначеність, пов'язану з браком надійних клінічних даних та їх неоднозначність [7]. Таким чином потребує пошуку шляхів визначення виробничих ризиків, пов'язаних із впливом електромагнітних полів широкого частотного діапазону.

**Мета статті** – розроблення підходів до оцінювання ризиків, для здоров'я людей пов'язаних із впливом фізичних факторів техногенного походження, в основному електромагнітних полів широкого частотного діапазону.

### Виклад основного матеріалу

Мінімізація ризиків для здоров'я людей у виробничих та побутових умовах майже в усіх сферах діяльності базується на статистичних даних щодо кількості та причин смертельних випадків, травмування, професійних захворювань тощо. Але щодо фізичних факторів техногенного походження, таких як електромагнітні поля, потрібні дані «доза–ефект» або відсутні, або неоднозначні. Саме тому ВООЗ розповсюдило принцип ALAR на неіонізуючі поля та випромінювання й вимагає мінімізувати електромагнітні впливи на людей до технічно досяжних рівнів. Це обумовлює неможливість визначити ризики стандартними методами через невизначеність причинно-наслідкових зв'язків. В той же час у міжнародних, так і у національних нормативних актах з електромагнітної безпеки наведено гранично допустимі рівні електричних, магнітних та електромагнітних полів для усіх частотних діапазонів. Національними нормативами є [8,9], міжнародний – обов'язковий додаток [10] до загальноєвропейської директиви [11]. Зважаючи на те, що це є єдині кількісні дані, доцільно розглянути можливості визначення ризиків впливу електромагнітних полів, виходячи з чинних гранично допустимих рівнів та кількісно визначити ступені технічного значення параметрів полів до гарантовано безпечних рівнів.

Ризик завжди пов'язаний з імовірністю несприятливих подій та їх наслідками. Його розрахункова залежність здійснюється, як правило, у мультиплікативній формі, яка дозволяє оцінити величину очікуваного наслідку:

$$R = \{ < S_i, P_i, X_i > \}, \quad i=1, 2, \dots, n,$$

де  $R$  – ризик, що оцінюється;  $S_i$  – сценарій несприятливої події,  $P_i$  – імовірність того, що несприятлива подія станеться,  $X_i$  – можливі наслідки несприятливої події, якщо вона настане за імовірним сценарієм. Для індивідуального ризику:

$$R_i = P_a P_{b/a},$$

де  $P_a$  – імовірність несприятливої події,  $P_{b/a}$  – імовірність наслідку (наприклад, професійного захворювання або смертельного випадку).

$R_i$  можна вважати властивістю зони (фактору впливу у цій зоні), у межах якої існує імовірність несприятливої події. Ця імовірність обумовлена потенційно небезпечним фактором впливу. Різні види ризику визначаються різними способами. Найбільш поширеними є розбіжність між добровільними і недобровільними ризиками. Якщо ризик є добровільним, для його визначення зручно використовувати чинник  $\beta$ :

$$R_i = \beta * 10^{-4}. \quad (1)$$

Коефіцієнт  $\beta=10$  – для повної свободи вибору, тоді  $R_i=10^{-3}$ , що відповідає максимальному ліміту прийнятного ризику. Зазвичай працюючи, принаймні на енергонасичених підприємствах, обізнані про наявність електромагнітних впливів. Тому будемо орієнтуватися на значення  $R_i = 10^{-3} \cdot 10^{-4}$ .

Хоча гранично допустимі рівні електричних магнітних та електромагнітних полів за визначенням є такі, що не викликають негативних змін здоров'я людини, встановлено, що нормативно визначені

значення є такими, що ми можемо дозволити запровадити з технічних, економічних та певної частини гігієнічних міркувань. Вимога ВООЗ мінімізувати електромагнітні впливи до технічно досяжних пояснюється невизначеністю цих впливів, що підтверджено багатьма дослідженнями медиків та гігієністів. Про це, зокрема, свідчать значні розбіжності у значеннях ГДР у різних країнах та методики і критерії їх визначення. Тому ГДР електромагнітних впливів можна вважати компромісними і мінімально прийнятними на поточному етапі розвитку техніки й клінічних досліджень. Потребує з'ясування межа, нижче якої технічне зниження напруженостей електричних, магнітних полів наднизьких і проміжних частот та щільностей потоків енергії мікрохвильових випромінювань не має сенсу. Згідно [8] безпечні для людей умови щодо впливу електромагнітних полів повинні відповідати умові:

$$\frac{E_1}{E_{1ГДР}} + \frac{E_2}{E_{2ГДР}} + \dots + \frac{E_n}{E_{nГДР}} + \frac{H_1}{H_{1ГДР}} + \frac{H_2}{H_{2ГДР}} + \frac{H_n}{H_{nГДР}} + \dots + \frac{W_1}{W_{1ГДР}} + \frac{W_2}{W_{2ГДР}} + \dots + \frac{W_n}{W_{nГДР}} \leq 1,$$

де  $E_1, E_2, E_n, H_1, H_2, H_n, W_1, W_2, W_n$  – виміряні показники напруженостей полів та щільностей потоків енергії, з індексом ГДР – гранично допустимі рівні для визначених частот та рівні для визначених частот та частотних діапазонів. У будь-якому випадку

$$E/E_{ГДР} < 1, \quad H/H_{ГДР} < 1, \quad W/W_{ГДР} < 1.$$

Гранично допустимі напруженості електричних та магнітних полів промислової частоти у виробничих умовах складають відповідно 5000 В/м та 1400 А/м. Якщо згідно (1) застосувати коефіцієнт  $10^{-4}$ , то отримуємо значення 0,5 В/м та 0,14 А/м.

Як свідчать обстеження електромагнітної обстановки у багатьох будівлях, такі рівні полів притаманні більшості побутових приміщень зі стандартними мережами електроживлення та переліком електричного та електронного обладнання. Тобто, ці напруженості полів є мінімально можливими у будь-якій споруді, і є орієнтиром для зниження їх рівнів за рахунок організаційно-технічних заходів (наприклад, екранування). Але у нормативній базі існує суттєва суперечність. У санітарних нормах [9] порівняння фактичних і гранично допустимих напруженостей електричних і магнітних полів здійснюється співвідношеннями:

$$E^2/E_{ГДР}^2 \leq 1, \quad H^2/H_{ГДР}^2 \leq 1.$$

У цьому випадку застосування коефіцієнт  $10^{-4}$  дає значення 50 В/м та 14 А/м. Але такі рівні полів для більшості приміщень не можна вважати прийнятними. Наприклад, вони значно перевищують гранично допустимі значення для експлуатації комп'ютерної техніки (10 В/м та 0,20 А/м). Таке протиріччя потребує вирішення, на чому наполягають фахівці [12].

Щодо електромагнітних випромінювань ультрависоких частот, то гранично допустимий рівень для засобів мобільного зв'язку складає 10 мкВт/см<sup>2</sup> (радіотехнічного обладнання цивільної авіації – 15; 20 мкВт/см<sup>2</sup>). У цьому випадку застосування коефіцієнта  $10^{-4}$  дає значення щільностей потоків енергії

діапазону 0,001-0,002 мкВт/см<sup>2</sup>. Але такі рівні полів є неприйнятними, через те що вони не забезпечують функціонування мобільного зв'язку. Слід враховувати, що мобільний зв'язок є прийнятним за рівнів сигналу, починаючи зі значень 0,08 – 0,10 мкВт/см<sup>2</sup>.

У нормативі [10], розробленому міжнародною комісією з неіонізуючих випромінювань, ГДР ще вищі – 50 Вт/м<sup>2</sup> для виробничих умов. Це 5000 мкВт/см<sup>2</sup>. Пояснюється це тим, що згаданий норматив орієнтований на тепловий вплив височастотного випромінювання, який є загрозою для життя, в той же час як національні санітарні норми спираються на початок біохімічних змін та електрофізичні показники людини. Аналогічно, ГДР для електричних та магнітних полів наднизьких частот [10] визначені на основі значення наведених електрострумів, тому їх значення заздалегідь високі. Тому цей норматив слід розглядати як такий, що його перевищення загрожує життю. В той же час більшість національних нормативів, наприклад, ФРН [13] містять ГДР, які за порядком відповідають національним з коефіцієнтами 10<sup>-4</sup>–10<sup>-3</sup>, які на даному етапі гарантують мінімальний вплив електромагнітних полів на людей.

Наведений підхід до мінімізації ризиків для здоров'я працюючих, виходячи з чинних національних нормативів з електромагнітної безпеки не є

беззаперечним. Але він, на нашу думку, дає можливість визначити межу зниження рівнів електромагнітних полів, яке є максимально доцільним і відповідає середньостатистичним побутовим умовам. Це певним чином конкретизує вимоги ВООЗ (принцип ALAR) і технічно досяжно для переважної більшості виробничих умов.

## Висновки

1. Розглянуто можливість оцінювання ризиків для здоров'я працюючих в умовах невизначеності статистичних даних «доза-ефект» щодо впливу електромагнітних полів наднизьких та ультрависоких частот на організм людини.

2. Показано, що така невизначеність обумовлює різні значення гранично допустимих рівнів полів у різких нормативних актах.

3. Застосування коефіцієнтів 10<sup>-3</sup>–10<sup>-4</sup> для гранично допустимих рівнів полів, які містяться у національних нормативах з електромагнітної безпеки, дозволяють отримати значення низькочастотних і височастотних полів, які відповідають побутовим умовам, тому подальше їх зниження не має сенсу. Це конкретизує вимоги ВООЗ щодо необхідності зниження електромагнітних впливів до технічно досяжних значень.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ISO31000 – Risk management – Guidelines
2. ДСТУ ІЕС/ISO31010:2013. Керування ризиком. Методи загального оцінювання.
3. Establishing a dialogic on risk from electromagnetic fields. – Geneva: World Health Organization, 2004.
4. МР2.1.0 0061-12. Оценка риска для здоровья населения при воздействии переменных электромагнитных полей (до 300 ГГц) в условиях населённых мест.
5. Аудит ризиків на робочому місці // технологічний аудит та резерви виробництва [Глива В.А., Березуцький В.В., Березуцька Н.А., Хаміль Б.В.] – 2016. № 3 – С.12 – 17.
6. Кацман М.Д. Підхід до створення математичних моделей оцінювання ризиків при перевезення залізницями небезпечних вантажів. *Інформаційні технології в навігації та управлінні*: II міжн. НТК 16-17 липня 2011 р. тези доп. С. 33.
7. Resent Research on EMF and Health Risk: Element report from SSMiS SC Electromagnetic Fields: Research. 2016. 115 p.
8. Соколов В.Ю. Методи і засоби підвищення інформаційної та функціональної безпеки безпроводових мереж передавання даних: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. Київ, 2019. 21 с.
9. ДСНіП 3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів [Чинний від 2003-03-13]: затв. наказом МОЗ України від 18.12.2002 р. № 476. Київ, 2003. 16 с. (Державні санітарні норми України).
10. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz) / International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Health Physics. 1998. № 74. p. 494–522.
11. Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents. Official Journal of the European Union, 2013.
12. Попов И. И., Тесленко О. А., Тесленко Н. И. Анализ состояния нормативной базы по обеспечению электромагнитной безопасности в Украине. Системы управления, навигации та зв'язку. 2015. № 2. С.124–131.
13. Standard of Building Biology Testing Methods: SBM–2015 [acting from July 2008]. Germany: Institut für Baubiologie +Ökologie IBN. 2015. 2 p. URL: <https://buildingbiology.com/site/wp-content/uploads/standard-2015-englisch.pdf> (дата звернення: 30.08.2019).

Received (Надійшла) 11.12.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 10.02.2021

## Methodological approach to risk assessment influence of physical factors of technogenic origin under uncertainty

V. Glyva, B. Khalmuradov, V. Kashperskiy, O. Panova, Y. Biruk, S. Zozulia

**Abstract.** The paper analyzes the possibility of assessing the health risks of workers under the influence of electromagnetic fields of a wide frequency range. The uncertainty of statistical and clinical data on the causal relationship between electromagnetic exposure and adverse changes in the health of workers has been clarified. This uncertainty causes significant differences in various regulations on electromagnetic safety. It is shown that the WHO requirement to minimize the levels of fields and radiation needs to be specified. The coefficient for voluntary risk in terms of awareness of the presence of man-made electromagnetic effects is 10<sup>-3</sup>-10<sup>-4</sup>. Applying these coefficients to the maximum allowable strengths of electric and magnetic fields of ultra-low frequencies and energy flux densities of electromagnetic fields of ultra-high frequencies, quantitative values are obtained that correspond to the field levels in the average room. Obviously, this is the limit below which reducing the levels of electromagnetic fields is impractical. This approach cannot be considered unquestionable, but it in some way specifies the general requirement to reduce the levels of electromagnetic fields to technically achievable levels.

**Keywords:** working conditions, safety standards, electromagnetic field, wide frequency range, labor protection, risks.