

Шандиба О.Б., Шандиба І.О.,  
Головченко Г.С.,  
Хромушина Л.А.,  
Борозенец Н.С., Пугач В.І.  
Сумський національний аграрний університет,  
40021, м.Суми, вул. Герасима Кондратьєва 160,  
каф. охорони праці, (095) 21-300-19,  
E-mail: environnement@mail.ru

## ВПЛИВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ НА РІВЕНЬ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ

УДК 614.8.027

*В статті розглядається сукупність незалежних виробничих факторів в якості об'єктивного підґрунтя «піраміди ризиків», а небезпечні дії працівників - як суб'єктивну складову виробничого процесу, що утворює деяку сукупність ризиків другого рівня. Інтегральний ризик виникнення нештатної виробничої ситуації або нещасного випадку, спричиненого виробничими факторами, визначається за умови одночасного прояву відповідних об'єктивних небезпечних виробничих факторів та суб'єктивних небезпечних дій (помилки) персоналу.*

**Ключові слова:** виробничий фактор, ризик, нещасний випадок, травма, професійне захворювання, соціально-економічні втрати

**Вступ.** Будь-яка діяльність людини на виробництві чи побуті пов'язана з можливими проявами дії небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які є об'єктивними чинниками нещасних випадків і розвитку професійних захворювань. З іншого боку, помилкові дії працівників персоналу, або їх бездіяльність в час, коли необхідні швидка адекватна реакція, створюють сукупність суб'єктивних умов для виникнення небезпечних ситуацій.

Чисельна оцінка вірогідності нещасного випадку на виробництві зазвичай реалізується відомими графоаналітичними методами з побудовою так званих «пірамід ризиків» та «дерева подій». При цьому процедура оцінювання передбачає аналіз статистичної інформації, що стосується виявлення, ідентифікації та визначення вірогідності дії небезпечних виробничих факторів, а потім класифікацію і розрахунок реальних ризиків [1]. Відомі також методики експертних оцінок ризиків на підставі суб'єктивного досвіду спеціалістів в даній галузі, ефективність і репрезентативність яких значно обмежена.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В попередніх публікаціях [3-6] розглядалась сукупність незалежних виробничих факторів в якості об'єктивного підґрунтя «піраміди ризиків», а небезпечні дії працівників - як суб'єктивну складову виробничого процесу, що утворює деяку сукупність ризиків другого рівня. Імовірність нещасного випадку визначається з урахуванням найбільш характерних небезпечних факторів і є функцією ризиків першого та другого рівня.

З іншого боку, ризик слід оцінювати не лише як вірогідність небажаної події (нещасного випадку або захворювання), але також брати до уваги і рівень шкоди, заподіяної здоров'ю працівника. В цьому плані проблема здається більш складною і потребує не лише статистичних показників виробничого травматизму, але й медико-економічних даних лікування, реабілітації та професійного працевлаштування потерпілих.

Для оцінювання соціально-економічного ризику  $RE$  в статті [3] пропонується використовувати матрицю ризику розміром  $5 \times 5$ , тобто таблицю співвідношення відносних (змінюваних в діапазоні від 0 до 1) імовірності  $P$  і серйозності  $S$  наслідків небезпечної події (нещасного випадку) по формулі:

$$RE = P \cdot S \quad (1)$$

Автори припускають, що практично неймовірним подіям і подіям без шкоди для здоров'я відповідають  $R=0$  й  $S=0$ , а достовірним подіям зі смертельними наслідками –  $R=1$  та  $S=1$ . Для коректного застосування формули (1) діапазон від 0 до 1 для  $S$  та  $R$  розбивається на 5 рівних частин. Тоді матриця ризиків матиме вигляд, представлений на Рис. 1.

		серьезность				
		A	B	C	D	E
		0,81 – 1,00	0,61 – 0,80	0,41 – 0,60	0,21 – 0,40	0,00 – 0,20
вероятность	5	0,81 – 1,00 5A 0,656 – 1,000	0,61 – 0,80 5B 0,404 – 0,800	0,41 – 0,60 5C 0,332 – 0,600	0,21 – 0,40 5D 0,170 – 0,400	0,00 – 0,20 5E 0,000 – 0,200
	4	0,61 – 0,80 4A 0,494 – 0,800	0,61 – 0,80 4B 0,372 – 0,640	0,41 – 0,60 4C 0,250 – 0,480	0,21 – 0,40 4D 0,128 – 0,320	0,00 – 0,20 4E 0,000 – 0,160
	3	0,41 – 0,60 3A 0,332 – 0,600	0,61 – 0,80 3B 0,250 – 0,480	0,41 – 0,60 3C 0,168 – 0,360	0,21 – 0,40 3D 0,086 – 0,240	0,00 – 0,20 3E 0,000 – 0,120
	2	0,21 – 0,40 2A 0,170 – 0,400	0,61 – 0,80 2B 0,128 – 0,320	0,41 – 0,60 2C 0,086 – 0,240	0,21 – 0,40 2D 0,044 – 0,160	0,00 – 0,20 2E 0,000 – 0,080
	1	0 – 0,20 1A 0,000 – 0,200	0,61 – 0,80 1B 0,000 – 0,160	0,41 – 0,60 1C 0,000 – 0,120	0,21 – 0,40 1D 0,000 – 0,080	0,00 – 0,20 1E 0,000 – 0,040

Рис. 1 - Чисельні характеристики матриці ризику ІКАО [3].

Зауважимо, що комірки без кольорового заливання відповідають прийнятному ризику – „зелений ризик”, більш темні комірки - ризику, умовно прийнятному з вимогою його зниження – „жовтий ризик”, а найтемніші комірки – неприйнятному рівню ризику – „червоний ризик”. Неважко помітити, що введені чисельні значення  $RE$  не завжди відповідають кольорам комірок. Наприклад, комірка 3B допускає значення  $RE=0,48$  і при цьому даний ризик залишається „жовтим”, а ризик  $RE=0,38$  в комірці 4B вважається вже „червоним”. Серед причин такої неадекватності слід вказати незбалансованість комірок по інтервалам вірогідності нещасних випадків та серйозності його наслідків

Подібна «світлофорна» структура матриці ризиків має ряд інших суттєвих недоліків, які деякою мірою компенсуються наочністю результатів розрахунків.

В методиці, представленій в роботі [4], пропонується аналогічний підхід з ранжируванням медичних та соціально-економічних наслідків травматизму системою оцінювання в балах (Табл.1).

**Формулювання мети дослідження.** Мета дослідження полягає в удосконаленні методики визначення соціально-економічного ризику виникнення нещасних випадків з урахуванням надійності машин та можливості помилкових дій персоналу.

**Теоретичне обґрунтування.** В запропонованому нами підході [7] розглядається сукупність небезпечних виробничих факторів (НВФ) в якості об'єктивного підґрунтя «піраміди ризиків», а небезпечні дії працівників - як суб'єктивну складову виробничого процесу, що утворює деяку сукупність ризиків другого рівня. Імовірність нещасного випадку розраховується з урахуванням найбільш характерних небезпечних факторів і є функцією ризиків першого та другого рівня.

Виходячи з теорії імовірності, можна показати, що ризик виникнення нещасного випадку, спричиненого  $i$ -м виробничим фактором визначається за умови прояву відповідних об'єктивних небезпечних виробничих факторів з ризиками  $p(A_i)$  та суб'єктивних небезпечних дій персоналу з умовними ризиками  $p(B_i/A_i)$  у вигляді добутків імовірностей

$p(A_i) \cdot p(B_i/A_i)$ . Інакше кажучи, ризик нещасного випадку (третій рівень ієрархічної піраміди) для кожного  $i$ -го незалежного НВФ враховує об'єктивні (першого рівня) і суб'єктивні (другого рівня) чинники.

Таблиця 1.

**Оцінювання медичних наслідків травматизму [4]**

Бали	Характеристика
10	Груповий нещасний випадок зі смертельним наслідком
9	Смертельний наслідок
8	Травма або хронічне захворювання з втратою працездатності
7	Травма або хронічне захворювання із втратою можливості працювати за професією (посадою). Гостре професійне захворювання з можливістю працевлаштування
6	Травма з тимчасовою втратою працездатності (від 61 до 120 календарних днів). Професійне захворювання з можливістю працевлаштування
5	Травма з тимчасовою втратою працездатності (від 31 до 60 календарних днів). Підозра на професійне захворювання
4	Травма з тимчасовою втратою працездатності (до 30 календарних днів). Серйозне нездужання організму
3	Травма з тимчасовою втратою працездатності (до 1 дня). Середнє нездужання організму
2	Мікротравма із застосуванням аптечки першої допомоги, легке нездужання організму
1	Мікротравма, незначне пошкодження

Інтегральний ризик виникнення нештатної виробничої ситуації або нещасного випадку, спричиненого  $i$ -м НВФ, визначається за умови одночасного прояву відповідних об'єктивних небезпечних виробничих факторів з ризиками  $p(A_i)$  та суб'єктивних небезпечних дій персоналу з ризиками помилок

$$p(B_i / A_i) = (1 - q_i^m) \tag{2}$$

становить

$$P(НС) = 1 - \prod_i^N (1 - p(A_i)(1 - q_i^m)). \tag{3}$$

Тут  $q_i$  – надійність (правильність дій) працюючого при прояві  $i$ -го НВФ,  $m$  – кількість працюючих, які можуть одночасно спричинити прояв цього НВФ,  $N$  – загальна кількість НВФ, характерних для даного виду роботи.

**Практичне оцінювання впливу виробничих факторів.** Реальна виробнича статистика причин та частоти нештатних виробничих ситуацій має надзвичайно широкий спектр даних як в обсязі вибірок по специфічним особливостям виробництва, так і по сукупності врахованих факторів. Для визначення ризику виробничої аварії, спричиненої лише одним НВФ ( $N=1$ ) потрібна, як мінімум, пара статистичних даних, що відповідають системі двох рівнянь з двома невідомими  $p(A_1)$  та  $q_1$ . Задаючись числом найбільш характерних НВФ ( $N = 2, 3, 4 \dots$ ) можна скласти та вирішити систему  $2N$  нелінійних рівнянь для визначення суб'єктивної та об'єктивної складової ризиків. В цілому ж статистична обробка репрезентативних вибірок дозволяє з достатньою для практичної оцінки точністю ідентифікувати окремі небезпеки в залежності від виробничих умов та специфіки їх

проявів.

Наприклад, нам необхідно визначити інтегральний (загальний) ризик роботи на сільськогосподарській машині, що характеризується статистично визначеними ризиками від НВФ кількістю  $N = 3$ :

- 1 - механічного травмування деталями, що обертаються  $p(A_1) = 7 \cdot 10^{-2}$ ,
- 2 - ризиком перекидання  $p(A_2) = 2 \cdot 10^{-3}$ ,
- 3 - рівнем пожежної небезпеки  $p(A_3) = 10^{-2}$ .

Надійність дій механізатора при прояві будь-якого небезпечного виробничого фактора прийемо за 99% (можлива одна помилкова дія на 100 виробничих небезпечних ситуацій), тобто ризик його помилкових дій становитиме  $1 - q_i = 1 - 0,99 = 0,01$ .

Тоді загальний ризик роботи на цій машині по формулі (1) визначиться таким чином

$$P(\text{НВ}) = 1 - [1 - 7 \cdot 10^{-2} (1 - 0,99)] \cdot [1 - 2 \cdot 10^{-3} (1 - 0,99)] \cdot [1 - 10^{-2} (1 - 0,99)] = 0,00082 = 8,2 \cdot 10^{-4}.$$

Порівняємо цей результат з ризиком роботи на іншій машині, де взагалі виключена можливість перекидання (машина стаціонарно встановлена у виробничому приміщенні), а фактори механічного травмування та пожежна небезпека визначаються на такому ж рівні. Надійність дій обслуговуючого персоналу прийемо аналогічною - 99%. Припустимо також, що експлуатація машини вимагає одночасної роботи 2-х операторів, тобто  $m = 2$ . Запишемо формулу (1) в зміненому вигляді, як добуток двох співмножників (по кількості характерних НВФ) та корекцією кількості помилок збільшеного удвічі штату операторів згідно виразу  $(1 - q_i^m) = 1 - 0,99^2 = 0,02$ . Загальний ризик роботи на цій машині може бути підрахований таким чином

$$P(\text{НВ}) = 1 - [1 - 7 \cdot 10^{-2} (1 - 0,99^2)] \cdot [1 - 10^{-2} (1 - 0,99^2)] = 0,00179 = 1,79 \cdot 10^{-3}.$$

З наведених розрахунків витікає, що ризик роботи на стаціонарній машині у другому випадку більш ніж у два рази перевищуватиме ризик експлуатації рухомої машини з одним оператором внаслідок подвоєної кількості обслуговуючого персоналу, тобто суб'єктивного фактору.

**Ідентифікація зон ризику.** Для оцінювання соціально-економічного ризику  $RE$ , який слід враховувати в нормативах страхування, була прийнята формула (1), але з уточненням окремих її компонентів. Так, беручи до уваги широкий діапазон коливань (декілька порядків) імовірності нещасних випадків та фінансових збитків в залежності від специфіки виробництва, доцільно взяти логарифми вказаних параметрів, трансформували вказану формулу до вигляду

$$\lg RE = \lg P + \lg S \quad (4)$$

або 
$$-\lg P = \lg S - \lg RE \quad (5)$$

Визначаючи ізолінії ризику умовою  $\lg RE = \text{const}$ , можна ідентифікувати зони прийнятної - „зеленої”, умовно прийнятної - „жовтої” та неприйнятної - „червоної” ризиків (рис. 2).

Якщо від'ємний логарифм вірогідності нещасного випадку на вісі ординат є цілком логічним, то на вісі абсцис в якості логарифма суми фінансової шкоди у випадку невизначеності доцільно взяти бали медичних наслідків згідно таблиці 1.

Аналізуючи приклад, представлений на рис.2, неважко помітити, що система похилих ізоліній інтерпретує співвідношення між вірогідністю нещасних випадків та тяжкістю їх наслідків. Перетин цих ізоліній з горизонталлями нормативно встановлених ризиків створює систему комірок – зон ризику. Очевидно, для мінімізації втрат від тяжких,

руйнівних або катастрофічних нещасних випадків слід зменшити імовірність їх виникнення, відповідно вертикальному напрямку виведення характеристичної точки **A** із зони „жовтого” в зону „зеленого” ризику. З іншого боку, при неможливості зменшити вірогідність нещасного випадку, доцільно зменшити тяжкість його наслідків, що ілюструється рухом по горизонталі вліво. В цілому ж, підвищення рівня безпеки будь-якого виду виробництва з відповідним рухом характеристичної точки **A** в зону „зеленого” ризику, буде найбільш ефективним (найкоротшим шляхом) при комплексному впровадженні заходів охорони праці.

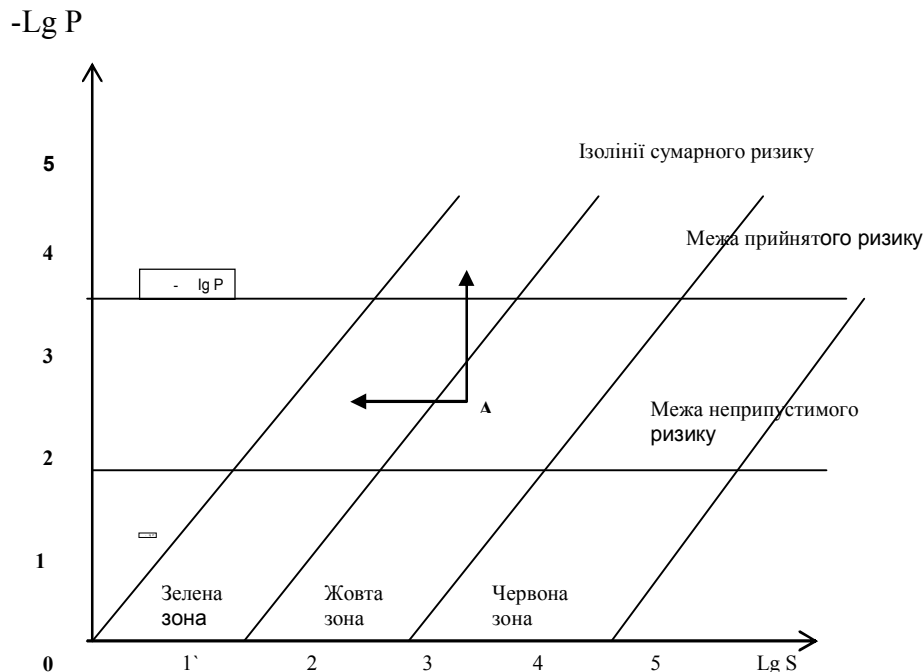


Рис. 2 - Визначення зон ризику в залежності від імовірності  $Lg P$  нещасних випадків та серйозності їх наслідків  $Lg S$

**Висновки.** Запропонований підхід до комплексного оцінювання медичних та соціально-економічних наслідків виробничого травматизму може бути використаний при впровадженні системи страхової медицини. До уваги прийнято результати медико-статистичних та розрахункових даних з аналізом окремих об'єктивних та суб'єктивних чинників нещасних випадків.

### Література

1. Проблема виробничого травматизму в глобальному вимірі та стан в Україні [Електронний ресурс] / Кундієв Ю.І., Нагорна А.М., Добровольський Л.О. // Український журнал з проблем медицини праці – 2010. - №1(21). С. 3. - Режим доступу до журн. : [http://www.nbuv.gov.ua/portal/Chem\\_Biol/Ujpm/2010\\_1/Kundiev\\_mt\\_01\\_2010.pdf](http://www.nbuv.gov.ua/portal/Chem_Biol/Ujpm/2010_1/Kundiev_mt_01_2010.pdf)
2. Стан виробничого травматизму та підсумки роботи робочих органів виконавчої дирекції Фонду соціального страхування щодо профілактики нещасних випадків на виробництві за 2008 рік [Електронний ресурс] // Фонд соціального страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань України – Режим доступу : <http://www.social.org.ua/view/927>
3. Методология оценки и мониторинга риска событий в деятельности авиакомпании [Електронний ресурс] / Шаров В.Д. - Режим доступу: <http://www.klubok.net/article2444.html>

4. Идентификация опасностей, оценка рисков и управление рисками [Электронный ресурс] // Услуги по охране труда и безопасности в Беларуси и Минске – Режим доступа : <http://helper.by/identifikaciya-opasnosteie-i-ocenka-riskov-upravleni.html>
5. Підготовка документів для оцінки ступеня професійного ризику виробництва / Г. Лесенко // Охорона праці. – 2004. - № 5. - С. 39-40.
6. Ветошкин А.Г. Надежность технических систем и техногенный риск / Пенза: Изд-во ПГУАиС, 2003. – 154 с.
7. Шандиба І.О., Кузема О.С., Шандиба О.Б. Оцінювання впливу виробничих факторів на рівень техногенної безпеки // VI Міжнародна науково-практична конференція «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення»: Зб. Наук. статей, Т.2 / Укр-НДІЕП.-Х.: Райдер, 2010.- С. 147-150.

### Summary

**Shandyba O.B., Shandyba I.A., Golovchenko G.S., Hromushyna L.A., Borozenets N.S., Pugach V.I.** Influence of operational reliability at the level of occupational injuries

*In this article the suggestion of independent factors of production under an objective basis "risk pyramid" and dangerous actions of employees as well as a subjective component manufacturing process that creates some risks proposed as the second level. Integral risk of abnormal production situation or accident caused by production factors, determined by the condition of simultaneous display of relevant hazardous industrial objective and subjective factors dangerous actions (errors) are included in the model.*

*A comprehensive risk assessment method of health loss and socio-economics consequences after the occupational accident for introducing a system of health insurance is considered.*

*Real accident statistics regarding to the causes and frequency have wide sample size by the industrial particularities and dangerous technological factors. To determine the accident particular risk for one factor we need two data according to equations system with two unknowns, trauma probability by i-manufacturing factor and personal psychological stability under this accident. The disability insurance management has to recognize that further emphasis should be given to promoting scientifically sound models to identity personal psychological stability.*

**Keywords:** factors, risk, accident, injury, occupational disease, socio-economic losses

### References

1. Problema virobničogo travmatizmu v global'nomu vimiri ta stan v Ukraïni [Elektronnij resurs] / Kundiev Ū.I., Nagorna A.M., Dobrovol'skij L.O. // Ukraïns'kij žurnal z problem medicini praci – 2010. - №1(21). S. 3. - Režim dostupu do žurn. : [http://www.nbu.gov.ua/portal/Chem\\_Biol/Ujppmp/2010\\_1/Kundiev\\_mt\\_01\\_2010.pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/Chem_Biol/Ujppmp/2010_1/Kundiev_mt_01_2010.pdf)
2. Stan virobničogo travmatizmu ta pidsumki roboti robočih organiv vikonavčoi direkcii Fondu social'nogo strahuvannâ šodo profilaktiki nešasnih vipadkiv na virobničtvi za 2008 rik [Elektronnij resurs] // Fond social'nogo strahuvannâ vid nešasnih vipadkiv na virobničtvi ta profesijnih zahvorûvan' Ukraïni – Režim dostupu : <http://www.social.org.ua/view/927>
3. Metodologija ocenki i monitoringa riska sobytij v deâtel'nosti aviakompanii [Elektronnij resurs] / Šarov V.D. - Režim dostupu : <http://www.klubok.net/article2444.html>
4. Identifikaciâ opasnostej, ocenka riskov i upravlenie riskami [Elektronnij resurs] // Usługi po ohrane truda i bezopasnosti v Belarusi i Minske – Režim dostupu : <http://helper.by/identifikaciya-opasnosteie-i-ocenka-riskov-upravleni.html>

5. Pidgotovka dokumentiv dlâ ocinki stupenâ profesijnogo riziku virobnictva / G. Lesenko // Ohorona pracî. – 2004. - № 5. - S. 39-40.
6. Vetoškin A.G. Nadežnost' tehničeskih sistem i tehnogennyj risk / Penza: Izd-vo PGUAIŠ, 2003. – 154 s.
7. Šandiba I.O., Kuzema O.S., Šandiba O.B. Ocinûvannâ vplivu virobničih faktoriv na riven' tehnogennoï bezpeki // VI Mižnarodna naukovopraktična konferenciâ «Ekologična bezpeka: problemi i šlâhi virišennâ»: Zb. Nauk. statej, T.2 / UkrNDIEP.-H.: Rajder, 2010.- S. 147-150.