

*О.В. Єр'омін, ГУ ДСНС України в Донецькій області,
Н.В. Дейнеко, к.т.н., ст. викладач, НУЦЗУ,
В.М. Стрілець, к.т.н., доцент, НУЦЗУ*

РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ДОВГОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ПРОФЕСІЙНОГО РИЗИКУ

(представлено д-ром техн. наук Куценком Л.М.)

Показано, що для довгострокового прогнозування рівня професійного ризику для галузі, регіону, країни доцільно користуватись експоненціальними моделями. Визначено, що порушення експоненціального характеру може бути викликано організаційними заходами, які направлені на зменшення показників професійного ризику.

Ключеві слова: професійний ризик, експоненціальна залежність, нещасний випадок, прогнозна оцінка.

Постановка проблеми. Результати, які наведені в [1], свідчать, що рівень професійного ризику в Україні суттєво перебільшує відповідні показники у провідних країнах світу. Проте розробка конкретних рекомендацій щодо підвищення ефективності діяльності державних органів щодо його зменшення не може бути здійсненою без урахування прогнозних оцінок [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що проблемам прогнозування присвячено значну кількість публікацій. Зокрема проблеми прогнозування досліджували Makridakis S. [2], Hogarth R. [3], Taleb N.N., Goldshtein D.G., Spitznagel M.W [4] тощо. Проте в цих роботах прогнозні оцінки спирались на вже визначені конкретні моделі. В [5] показано, що складовими моніторингу рівня професійного ризику є спостереження оцінка, прогнозування та управління об'єктом за результатами порівняння прогнозних оцінок з поточними. Там же відмічено, що прийняття управлінських рішень повинно відбуватись за відносними показниками. В той же час, існуюча система [6] моніторингу професійного ризику в Україні у якості оцінки для виробки коригуючи управлінських дій використовує абсолютний приріст нещасних випадків відносно попереднього року.

Постановка завдання та його вирішення. Все це свідчить про те, що існує необхідність в розробці математичної моделі, яка здатна забезпечити адекватне прогнозування рівня професійного ризику.

У якості показника професійного ризику було обрано ризик виникнення нещасного випадку без смертельних наслідків

$$V_{нев} = \frac{n_{нев}}{N_p}, \tag{1}$$

де $n_{нев}$ – число нещасних випадків на виробництві на рік на об’єкті (в галузі, на території); N_p – чисельність персоналу, що піддається оцінці ризику за рік, що розглядається та ризик виникнення нещасного випадку зі смертельними наслідками

$$V_{см} = \frac{n_{см}}{N_p}, \tag{2}$$

де $n_{см}$ – число нещасних випадків із смертельними наслідками на виробництві на рік на об’єкті (в галузі, на території).

Виходячи з [7], де показано, що оцінка рівня професійного ризику для робочих місць, дільниць та підприємств з чисельністю працюючих менше 10000 чоловік може здійснюватись тільки експертними та експертно-статистичними методами, розглядалась можливість розробки статистичних моделей регіонального, галузевого та державного рівня.

Аналіз статистичних даних [8,9] рівня професійного ризику за останні 20-25 років, особливо [9] де вони були наведені стосовно Укрзалізниці у графічному вигляді (див. рис.1), дозволив висунути гіпотезу, що після переходу абсолютних показників до (1) та (2) прогнозні моделі можуть мати лінійний або експоненціальний характер.

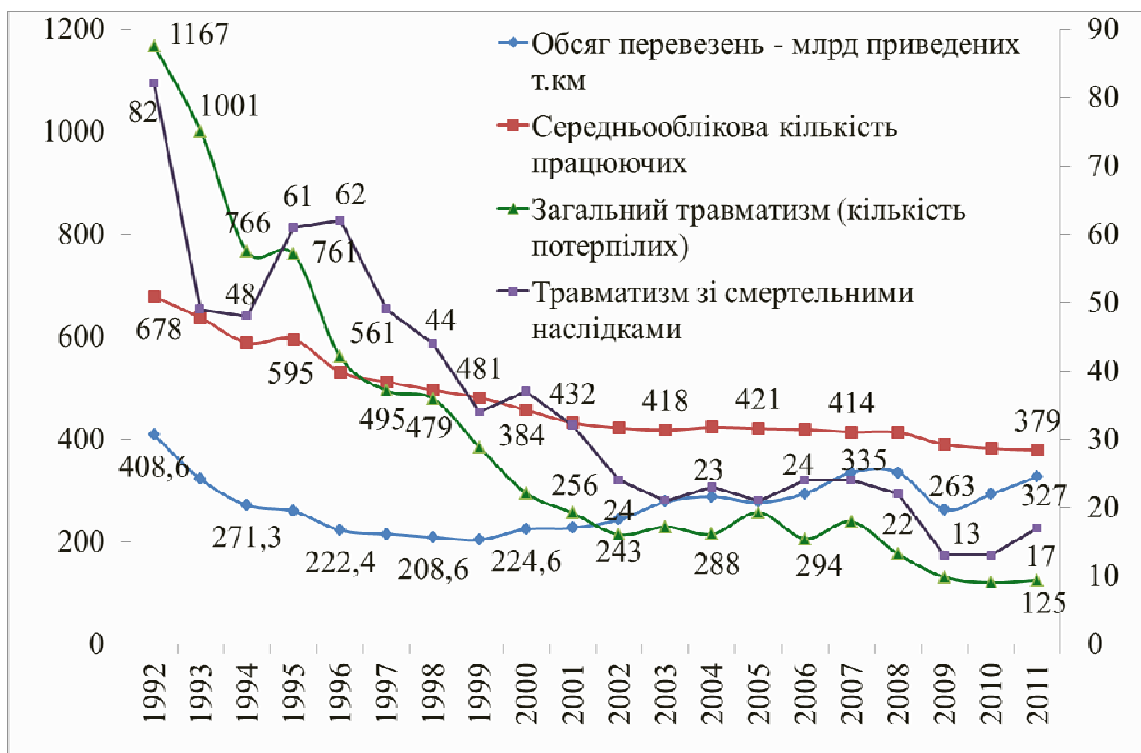


Рис. 1. Стан виробничого травматизму на Укрзалізниці у відношенні до обсягів перевезень

Відповідні вирази, а також показники R^2 достовірності апроксимації (суми квадратів відхилень), використовуючи метод найменших квадратів, знаходяться в середовищі Excel автоматично і мають наступний вигляд

$$v_{нв} (лін) = 1,3932 \cdot 10^{-3} - 0,0651 \cdot x \quad (R^2 = 0.8545), \quad (3)$$

$$v_{нв} (експ) = 1,5122 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,084 \cdot x} \quad (R^2 = 0.9321), \quad (4)$$

$$v_{см} (лін) = 0,1052 \cdot 10^{-5} - 0,0037 \cdot x \quad (R^2 = 0.8545), \quad (5)$$

$$v_{см} (експ) = 0,111 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-0,055 \cdot x} \quad (R^2 = 0.9321), \quad (6)$$

де $x = X - 1992$; X – рік, в якому оцінюється показник.

Крім того, враховуючи те, що основним завданням залізниці є перевезення вантажів, аналогічним чином були проаналізовані й такі відносні показники як коефіцієнт частоти виробничого травматизму з урахуванням обсягів перевезень, який показує скільки випадків травматизму за відповідний період (в нашому випадку рік) припадає на один мільярд приведених тонно-кілометрів

$$K_{ч \text{ перевезень}} = \frac{n_{нв}}{Q}, \quad (7)$$

де Q – обсяг перевезень, мільярд приведених тонно-кілометрів; та коефіцієнт частоти виробничого травматизму із смертельними наслідками з урахуванням обсягів перевезень, який показує скільки випадків травматизму із смертельними наслідками за відповідний період (в нашому випадку рік) припадає на один мільярд приведених тонно-кілометрів

$$K_{ч \text{ перевезень смерт}} = \frac{n_{см}}{Q}. \quad (8)$$

Отримані вирази для (7) і (8) мають, відповідно, наступні вигляди

$$K_{ч \text{ перев}} (лін) = 2,985 - 0,1578x \quad (R^2 = 0.9117), \quad (9)$$

$$K_{ч \text{ перев}} (експ) = 3,6519 \cdot e^{-0,1194 \cdot x} \quad (R^2 = 0,9608), \quad (10)$$

$$K_{ч \text{ см перев}} (лін) = 0,1935 - 0,0124x \quad (R^2 = 0.8517), \quad (11)$$

$$K_{ч \text{ см перев}} (\text{експ}) = 0,2077 \cdot e^{-0,114 \cdot x} \quad (R^2 = 0,9261). \quad (12)$$

Аналіз рівнянь (3)-(6), (9)-(12) показує, що в більшості випадків достовірність апроксимації є кращою в рівняннях, в яких теоретичний розподіл описується за допомогою лінійних рівнянь.

Проте, їх застосування для довгострокового прогнозування призведе до того, що ситуацію, наприклад, коли зовсім не буде виробничого травматизму, можна очікувати, виходячи з (3) через

$$x = \frac{1,332}{0,0651} \approx 21,4 \text{ роки}, \quad (13)$$

а коли не буде виробничого травматизму із смертельними наслідками, виходячи з (7), через

$$x = \frac{0,0859}{0,0037} \approx 23,2 \text{ роки} \quad (14)$$

чого не може бути в принципі.

Для перевірки гіпотези щодо експоненціального розподілу показників професійного ризику було співставлено близькість отриманих емпіричних розподілів з передбачуваним теоретичним за допомогою критерію Романовського [10]

$$R = \frac{|\chi^2 - k|}{\sqrt{2 \cdot k}}, \quad (15)$$

де $k = n - 2 = 20 - 2 = 18$ – число ступенів свободи;

$$\chi^2 = \sum_{k=1}^n \frac{(m_k - f_k)^2}{f_k} \text{ – критерій Пірсона.} \quad (16)$$

Результати розрахунків для ризику виникнення нещасного випадку без смертельних наслідків (модель (4)) наведені в табл. 1.

Оскільки величина критерію Романовського за модулем менше 3, то розходження між теоретичними та емпіричними розподілами несуттєве. Аналогічні результати були отримані й для моделей (6), (10) та (12). Тобто, експоненціальний закон може служити моделлю емпіричних даних з рівнем значимості $\alpha = 0,05$ і його можна використовувати у якості моделі довгострокового прогнозу.

Використовуючи дані щодо нещасних випадків в Україні як в цілому, так і зі смертельними наслідками на виробництві, за 1990-

2012 роки, були отримані експоненціальні моделі, які можна використовувати для довгострокового прогнозу професійного ризику в Україні

$$v_{\text{нв}} (\text{Україна}) = 6,81 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,094 \cdot x}; \quad (17)$$

$$v_{\text{см}} (\text{Україна}) = 0,133 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,033 \cdot x}, \quad (18)$$

де $x = X - 1990$; X – рік, в якому оцінюється показник.

Табл. 1. Результати розрахунку критерію Романовського для експоненціальної моделі ризику виникнення нещасного випадку без смертельних наслідків

Рік	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
$v_{\text{нв}}$	1,7212	1,5714	1,3010	1,2789	1	0,9667	0,9657
$v_{\text{см}}$	1,5122	1,3903	1,2783	1,1753	1,0806	0,9935	0,9135
$\frac{(m_k - f_k)^2}{f_k}$	0,0288	0,0235	0,0004	0,0091	0,0060	0,000722	0,002981
Рік	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
$v_{\text{нв}}$	7	8	9	10	11	12	13
	0,7983	0,6455	0,5925	0,5071	0,5478	0,508274	0,610451
$\frac{(m_k - f_k)^2}{f_k}$	0,8399	0,7722	0,7100	0,6528	0,6002	0,551875	0,507411
Рік	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
$v_{\text{нв}}$	1,7212	1,5714	1,3010	1,2789	1	0,966797	0,965726
$v_{\text{см}}$	1,5122	1,3903	1,2783	1,1753	1,0806	0,993586	0,913534
$\frac{(m_k - f_k)^2}{f_k}$	0,0288	0,0235	0,0004	0,0091	0,0060	0,000722	0,0029818
Рік	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
$v_{\text{нв}}$	14	15	16	17	18	19	
$v_{\text{см}}$	0,4916	0,5772	0,4261	0,3358	0,3141	0,329815	
$\frac{(m_k - f_k)^2}{f_k}$	0,4665	0,4289	0,3943	0,3626	0,3333	0,306532	
χ^2							0,071741
k							18
R							-2,9607

Отримані результати, які в узагальненому вигляді наведені на рис. 2 та 3, були перевірені за критерієм Романовського (15).

Перевірка (17) показала, що він не задовольняє критерію Романовського (оскільки останній був більшим по модулю за три) експоненціальний тренд, який описує ризик виникнення нещасного випадку без смертельних наслідків в Україні.

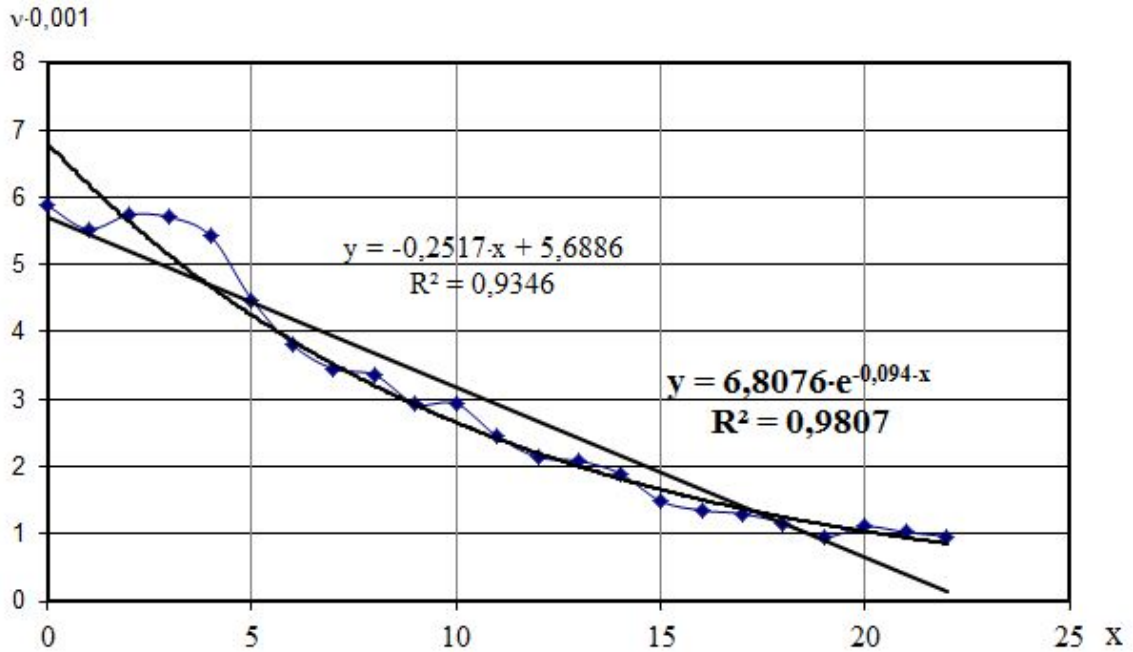


Рис. 2. Зміна показника професійного ризику в Україні без смертельних наслідків за 1990-2012 роки

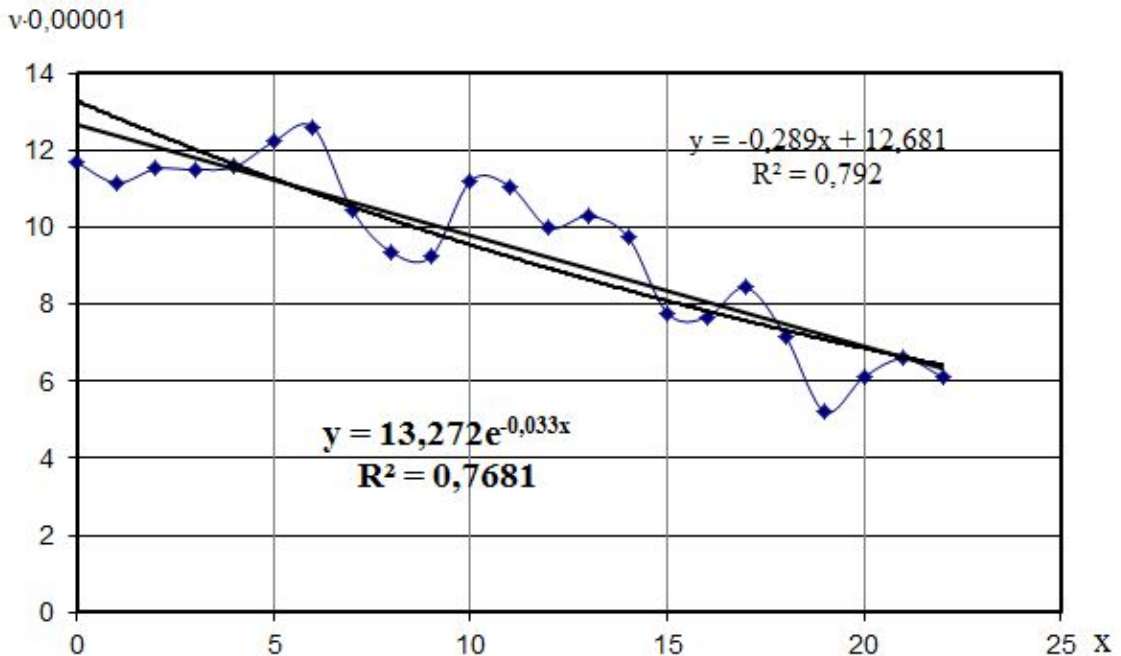


Рис. 3. Зміна показника професійного ризику в Україні зі смертельними наслідками за 1990-2012 роки

Аналіз вихідних даних показів, що це може бути наслідком тих перемін, які відбувались в Україні на початку 90-х років у зв'язку з прийняттям Закону «Про Охорону Праці». У зв'язку з цим були перераховані параметри експоненціального розподілу для вихідних даних, починаючи з 1995 року, і отримана (див. рис.4) модель

$$v_{нев} (\text{Україна}) = 3,87 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,095 \cdot x}, \quad (19)$$

де $x = X - 1995$; X – рік, в якому оцінюється показник.

$v < 0,001$

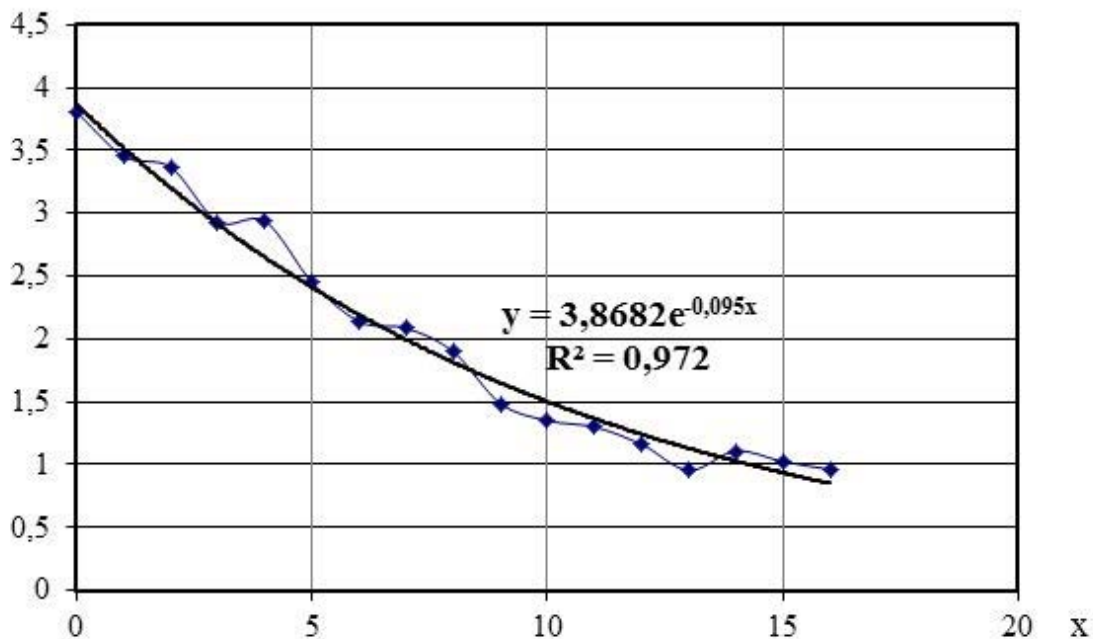


Рис. 2. Зміна показника професійного ризику в Україні без смертельних наслідків за 1996-2012 роки

В моделі (19) наведені параметри експоненціального розподілу, що забезпечують відповідність вимогам за критерієм Романовського.

Аналогічним чином були визначені моделі для Харківської

$$v_{нев} (\text{Харківська обл.}) = 3,84 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,085 \cdot x}, \quad (20)$$

$$v_{см} (\text{Харківська обл.}) = 0,245 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,081 \cdot x}, \quad (21)$$

та Луганської областей

$$v_{нев} (\text{Луганська обл.}) = 16,82 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,085 \cdot x}, \quad (22)$$

$$v_{см} (\text{Луганська обл.}) = 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,081 \cdot x}, \quad (23)$$

де $x = X - 1990$; X – рік, в якому оцінюється показник.

Наявність отриманих моделей дозволяє визначити передбачуваний момент (рік), коли оцінюваний показник професійного ризику досягне визначеного $v_{\text{визн}}$ керівництвом рівня

$$n_{\text{прогн}} = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{v(0)}{v_{\text{визн}}} . \quad (24)$$

Одночасно, аналіз (24) показує, що параметр експоненціального розподілу λ відображає ефективність заходів, які здійснюються в напрямку зменшення рівня професійного ризику в галузі, регіоні, країні.

Так, наприклад, досягнення прийнятного рівня виробничого травматизму із смертельним наслідком $v_{\text{визн смерт}} = 10^{-5}$, якщо діюча система управління охороною праці в країні буде залишатись без змін, можна очікувати через

$$n = \frac{1}{0,0443} \cdot \ln \frac{1,3272 \cdot 10^6}{10^{-5}} \approx 769 \text{ років} . \quad (25)$$

Це ж стосується, наприклад, і Луганської області, де, незважаючи на значно кращий параметр експоненціального розподілу

$$n = \frac{1}{0,081} \cdot \ln \frac{4 \cdot 10^6}{10^{-5}} \approx 358 \text{ років} . \quad (25)$$

Тобто, видно, що існуюча в країні система управління охороною праці, незважаючи на значне зменшення кількості нещасних випадків після 1990 року, вимагає суттєвого покращення.

Висновки. Експоненціальна модель адекватно (з рівнем значимості $\alpha=0,05$) відображає довгострокові зміни професійного ризику в часі.

Порушення експоненціального характеру свідчить про наслідки нових організаційних рішень, які вплинули на зменшення/збільшення кількості нещасних випадків в системі, яка розглядається.

Порівняння ефективності функціонування системи управління охороною праці в регіоні, галузі, країні доцільно здійснювати не тільки із застосуванням відносних показників, але й за допомогою аналізу параметра експоненціального розподілу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Информация МОТ и ВОЗ: продолжает расти количество несчастных случаев на производстве и заболеваний, связанных с профессиональной деятельностью [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://un.by/ru/ilo/news/world/02-05-05-03.html>.

2. Makridakis S. Forecasting methods for management / S. Makridakis // New York et al.: John Wiley & Sons. – 1980. – P. 612.

3. Hogarth R.M. Cognitive processes and the assessment of subjective probability distributions / R.M. Hogarth // Journal of American statistical association. – 1975. – № 350. – P. 271–289.

4. Taleb N.N. / N.N. Taleb, D.G. Goldshtein, M.W. Spitznagel // The Six Mistakes Executives Make in Risk Management. Harvard Business Review. – 2009. – № 10. – P. 78–81.

5. Таїрова Т. М. Методологічні засади моніторингу виробничого травматизму. [Електронне видання] Монографія. Т.М. Таїрова. – К.: «Основа». 2014. – 201 с.

6. Про затвердження Положення про службу страхових експертів з охорони праці, профілактики нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань [Текст]: Постанова Фонду соціального страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань України від 20.12.2011 № 63 // Офіційний вісник України. – 2012 – 3 лют. – С. 133.

7. Статистичні дані – Фонд соціального страхування від соціального страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.social.org.ua/activity/stat.

8. Статистичні дані – Укрзалізниця. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uz.gov.ua>.

9. Гусаров В.М. Теория статистики: Учебное пособие для вузов / В.М. Гусаров. – М.: Аудит, ЮНИТИ, 2001. – 323 с.

А.В. Еремін, Н.В. Дейнеко, В.М. Стрелец

Разработка моделей для долгосрочного прогнозирования уровня профессионального риска

Показано, что для долгосрочного прогнозирования уровня профессионального риска для отрасли, региона, страны целесообразно пользоваться экспоненциальными моделями. Определено, что нарушение экспоненциального характера может быть вызвано организационными мерами, которые направлены на уменьшение показателей профессионального риска.

Ключевые слова: профессиональный риск, экспоненциальная зависимость, несчастный случай, прогнозная оценка.

A.V. Yeremin, N.V. Deyneko, V.M. Strelets

Development of models for long-term prediction of the level of occupational risk

It is shown that for long-term prediction of the level of occupational risk to the industry, region, country, it is advisable to use exponential models. It is determined that a violation of the exponential nature can be caused by organizational measures, which are aimed at reducing occupational risk indicators.

Keywords: occupational risk, the exponential dependence, accident, prognostic evaluation.