

М.Б. Льовкін, к.т.н.

Державний Макіївський науково-дослідний інститут
з безпеки робіт в гірничій промисловості "МакІДІ"**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙ
ТА ТРАВМАТИЗМУ НА ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ**

Здійснено дослідження причин і закономірностей виникнення аварій з тяжкими наслідками. Для здійснення аналізу і порівнянь показників травматизму шахт, виробничих об'єднань, груп шахт і галузі в цілому запропоновано визначити середні значення цих показників в залежності від закону розподілення їх вірогідностей. Встановлено, що розподіл вірогідності виникнення аварій і показника "кількість смертельно травмованих" підпорядковується гамма-розподілу, а вірогідність показника "загальна кількість тих, що травмуються" відповідає логарифмічно нормальному закону. Визначені тенденції розвитку аварій і травматизму на перспективу.

Україна входить до першого десятка провідних вугледобувних країн світу, видобувши 83,4 млн. т у 2001 р. Враховуючи великі промислові запаси вугілля (понад 96 млрд. тонн), програмою «Українське вугілля», затвердженою Постановою Кабінету Міністрів України від 19.09.2002 №1205, передбачене нарощування обсягів вугледобування до 110 у 2010 р. і до 125 млн. тонн – у 2030 р.

Україна має 168 діючих та 40 шахт, що закриваються, 2 вугільних розрізи, 40 збагачувальних і брикетних фабрик, 56 шахтобудівельних і цілий ряд інших організацій (всього – до 690), на яких працює 570 тис. чол., з них 393 тис. чол. – на шахтах, у т.ч. 220 тис. чол. – на підземних роботах.

Вугільні шахти України, особливо на Донбасі, за заляганням пластів мають найбільш складні умови порівняно з іншими країнами світу. Середня глибина розробки перевищує 720 м, а 33 шахти працюють на глибині 1000–1400 м. Близько 90 % шахт – газові, 60 % – небезпечні за вибухами вугільного пилу, 45 % – небезпечні за раптовими викидами і гірничими ударами, а 23 % – за самозайманням вугілля.

Аналіз стану охорони праці у вугільній галузі України свідчить про те, що за 1992–2002 р.р. травмовано близько 350 тис. чол., загинуло 3458 чоловік, у т.ч. 3401 чол. – на вугільних шахтах. Понад двох третин випадків смертельного травматизму (66,7 %) сталося в результаті аварій, а 24 % – у результаті аварій з груповими нещасними випадками [1, 2].

Наведені дані, прийняті за останні роки указами Президента України і постанови Кабінету Міністрів України з питань охорони праці, свідчать про загострення ситуації з аварійністю та травматизмом у вугільній промисловості України. Тому дослідження причин і закономірностей виникнення аварій з тяжкими наслідками і розробка заходів щодо запобігання їм є актуальною проблемою.

Для аналізу та порівняння показників шахт, виробничих об'єднань, груп шахт і галузі в цілому за рівнем аварійності й травматизму насамперед необхідно визначити середні значення цих показників. Значення середньої величини будь-якого показника залежить від закону розподілу ймовірностей цього показника [3, 4].

Для одержання вихідних даних було складено анкету, яку потім розіслано майже на 200 шахт України. У відповідях більшістю шахт вказана повна кількість аварій, у тому числі кількість аварій I і II категорій. У цих відповідях на анкету також вказувалась кількість випадків загального і смертельного травматизму за 10 років (1991–2000 р.).

Під час обробки матеріалів були розглянуті такі закони розподілу ймовірностей виникнення вказаних показників: нормальний, логарифмічно-нормальний, експоненціальний, Вейбулла, гамма. Обчислення виконані за комп'ютерною програмою. Результати визначення закону розподілу ймовірностей аварій наведені у табл. 1, при цьому значення змінної приймалось: мінімальне – 8, максимальне – 2185. Число спостережень у кожному випадку складало 342.

Встановлено, що ймовірність виникнення аварії підпорядковується гамма-розподілу. Розподіл ймовірності показника „загальна кількість тих, які травмуються” відповідає логарифмічно-нормальному закону, розподіл ймовірності показника „кількість тих, які травмуються смертельно” підпорядковується гамма-розподілу. Гістограми та криві розподілу ймовірностей аварій і показників травматизму наведені на рис. 1.

Функція $F(x)$ та щільність $f(x)$ розподілу мають такий вигляд:

у випадку гамма-розподілу:

$$F(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \Gamma\beta_x(\alpha); \tag{1}$$

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\beta x}. \tag{2}$$

Таблиця 1

Результати визначення закону розподілу ймовірностей аварій

№ п/п	Найменування закону розподілу ймовірностей аварій	Параметри розподілу		Оцінка вірогідності				Рівень значущості	Оцінка відповідності
		найменування	значення	Число степеня вільності	Критерій Пірсона		теоретичний при рівні значущості		
					фактичний	теоретичний при рівні значущості			
						0,05	0,01		
1.	Нормальний	Середнє	413,707	10	148,65	18,3	23,2	0	не відповідає
2.	Логарифмічно-нормальний	Середнє	451,614	12	24,76	21,0	26,2	7,30·10 ⁻³	не відповідає
		Стандартне відхилення	541,425						не відповідає
3.	Експоненціальний	Середнє	413,7	13	45,67	22,4	27,7	1,62·10 ⁻³	не відповідає
4.	Вейбулла	Форма (α)	1,267	10	16,782	18,3	23,2	0,073	не відповідає
		Масштаб (β)	446,861·10 ⁻³						не відповідає
5.	Гамма-розподіл	Форма (α)	1,415	10	15,62	18,3	23,2	0,111	не відповідає
		Масштаб (β)	8,420·10 ⁻³						не відповідає

У випадку логарифмічно-нормального розподілу:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_0^{\ln x} e^{-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}} dt; \tag{3}$$

$$f(x) = \frac{1}{2\pi\sigma} e^{-\frac{\ln x - \ln a}{2\sigma^2}}. \tag{4}$$

У формулах (1)–(4) прийняті такі позначення:

α, β – параметри гамма-розподілу;

a, σ² – параметри логарифмічно-нормального розподілу;

Γ – гамма-функція.

Значення гамма-функції визначаються за формулами:

при α > 1:

$$\Gamma(\alpha) = (\alpha - 1)\Gamma(\alpha - 1) = (\alpha - 1)(\alpha - 2)\Gamma(\alpha - 2) = \dots; \tag{5}$$

при α < 1 і α ≠ 1:

$$\Gamma(\alpha) = \frac{\Gamma(\alpha - 1)}{\alpha} = \frac{\Gamma(\alpha + 2)}{\alpha(\alpha + 1)} = \dots. \tag{6}$$

Значення виразів Γ(α - 1) або Γ(α + 1) приймаються за спеціальними таблицями.

Параметри розподілу можуть бути обчислені з експериментальних даних за такими формулами [2]:

у випадку гамма-розподілу:

$$\alpha = \left(\frac{\bar{x}}{\sigma} \right)^2, \tag{7}$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\sigma^2}; \tag{8}$$

у випадку логарифмічно-нормального розподілу:

$$\alpha = x_{\text{mod}(n)}; \tag{9}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln x_i - \ln \alpha)^2. \tag{10}$$

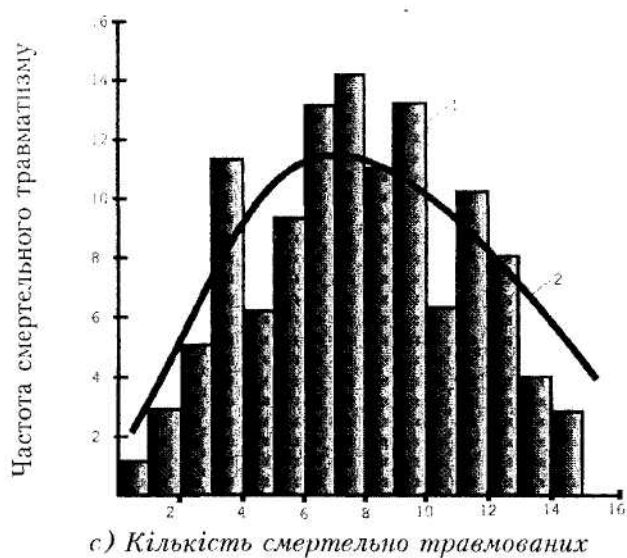
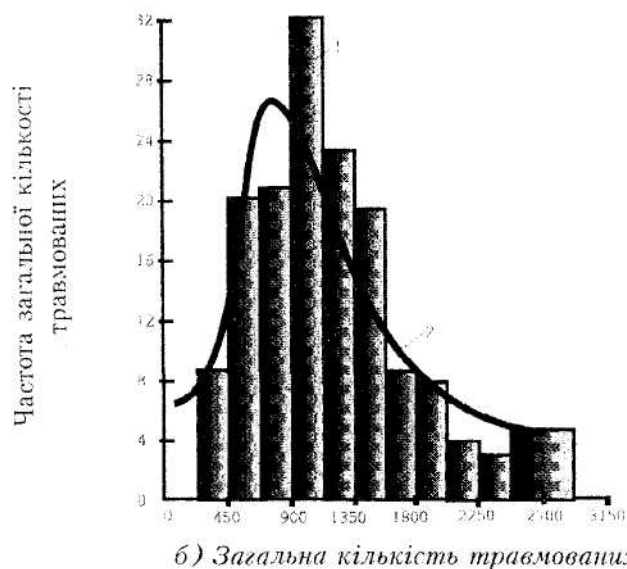
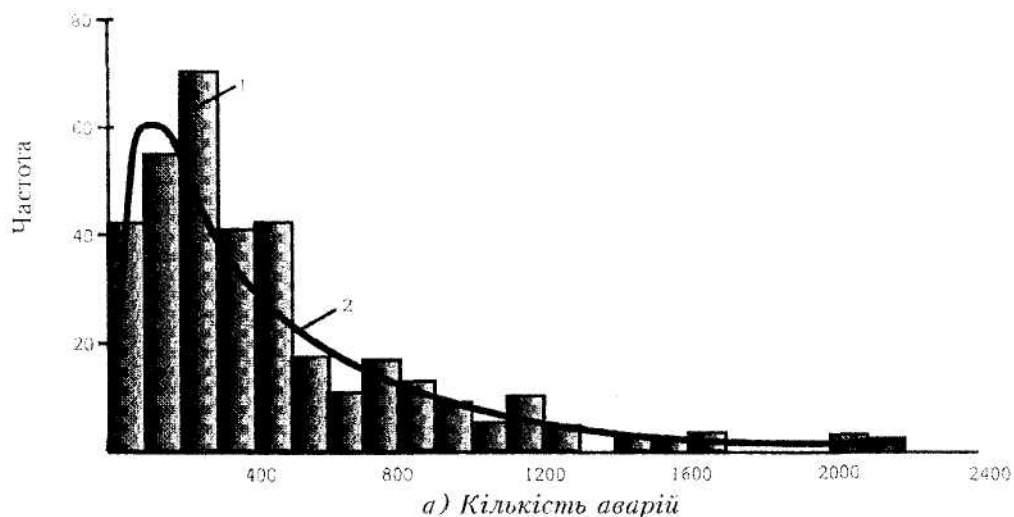


Рис. 1. Гістограма (1) та щільність (2) розподілу ймовірностей:
 а – кількість аварій;
 б – загальна кількість травмованих (логарифмічно-нормальний закон розподілу);
 в – кількість смертельно травмованих (гамма-розподіл)

Залежно від виду розподілу середні значення параметрів, що досліджуються, можуть бути розраховані за такими формулами:

у випадку гамма-розподілу:

$$\bar{x} = \frac{\alpha}{\beta}; \tag{11}$$

у випадку логарифмічно-нормального розподілу:

$$x = ae^{\frac{\sigma^2}{2}}. \tag{12}$$

У випадку великої кількості спостережень медіана прагне до середньої величини (9), тому при подальших дослідженнях середнє значення загальної кількості травмованих приймалось таким, що дорівнює параметру α .

Виконані дослідження дозволили обґрунтувати методику визначення середніх значень числа аварій і нещасних випадків.

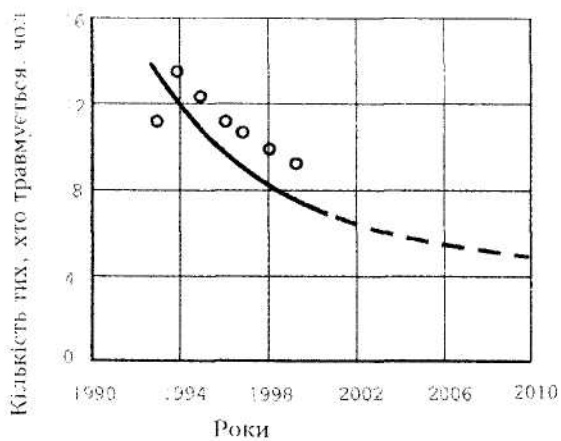
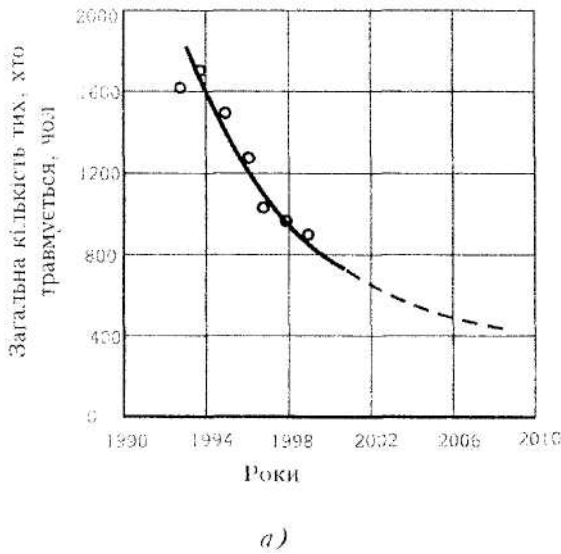


Рис. 2. Змінення кількості тих, хто травмується, усього (а) і смертельно (б) по роках
 Позначення: \bullet – середня фактична кількість тих, хто травмується;
 — – обчислені значення кількості тих, хто травмується
 - - - – прогнозовані значення кількості тих, хто травмується

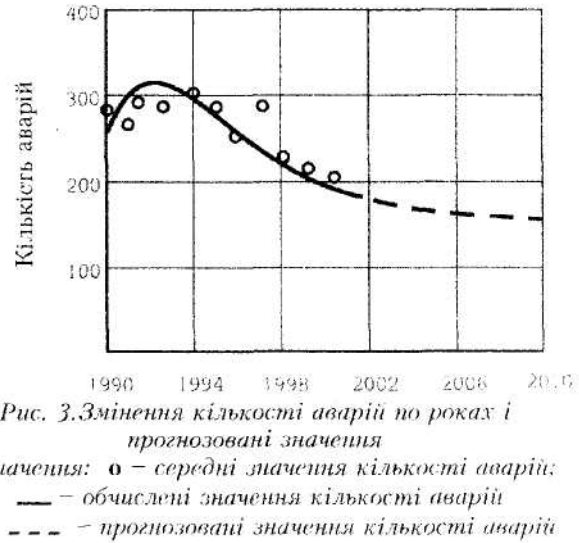


Рис. 3. Змінення кількості аварій по роках і прогнозовані значення
 Позначення: \bullet – середні значення кількості аварій;
 — – обчислені значення кількості аварій
 - - - – прогнозовані значення кількості аварій

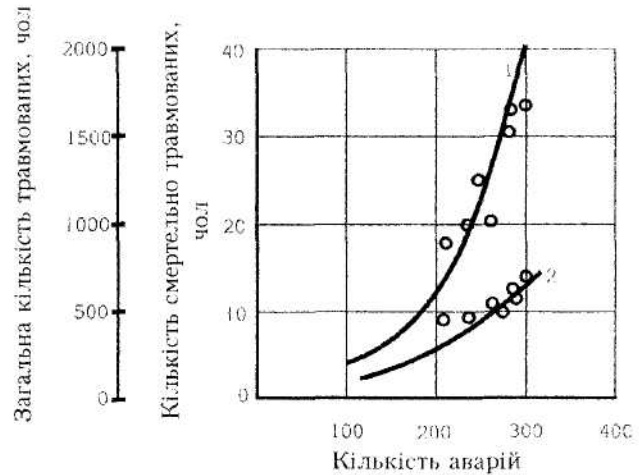


Рис. 4. Залежність кількості травмованих (1) і кількості смертельно травмованих (2) від кількості аварій.
 Позначення:
 \bullet – середнє значення кількості аварій;
 — – розраховані значення кількості аварій

Для встановлення закономірностей аварійності та травматизму параметри розподілу вказаних показників виражені у функції від часу за десятирічний період. Підстановкою

встановлених значень параметрів розподілу в формули (11) та (12) було одержано залежності для прогнозування таких подій:

– кількість аварій на вугільних шахтах:

$$N_a = 10^3 \frac{0,27 + 0,4t + 0,004t^3}{1,62 + 1,0t + 0,027t^3}; \quad (13)$$

– ймовірність загальної кількості тих, хто травмується:

$$N_{Tz} = 1558,7 + 151,29t - 66,49t^2 - 4,3t^3; \quad (14)$$

– ймовірність кількості тих, хто травмується смертельно:

$$N_{TC} = \frac{6,96t - 0,1t^3 - 5,314}{0,693t - 0,0t^3 - 0,637}, \quad (15)$$

де t – число років від першого року аналізу (аналіз проводився з 1990 року, тому для 1990 р. $t = 1$, для 1991 р. $t = 2$ і т. ін.).

Залежності (13)–(15) були прийняті як прогнозовані. Обчислені за цими ж формулами (13)–(15) ймовірна кількість аварій та ймовірна кількість травмованих наведені на рис. 2 і 3.

Аналіз одержаних даних показує, що загальна кількість тих, хто травмується, має тенденцію до зниження, але кількість тих, хто травмується смертельно і кількість аварій буде залишатися на одному рівні, а у випадку збільшення видобутку вугілля може зрости. Це визначає необхідність розробки ефективних організаційно-технічних заходів щодо занобігання аварійності та травматизму.

Між аварійністю і травматизмом на вугільних шахтах існує функціональна залежність:

– із загальної кількості тих, хто травмується:

$$N_{Tz} = 42,23 \exp(0,01316Na); \quad (16)$$

– з кількості тих, які травмуються смертельно:

$$N_{TC} = 1,438 \exp(0,0076Na), \quad (17)$$

де N_{Tz} , N_{TC} – кількість тих, хто травмується, відповідно усього і смертельно;

N_a – кількість аварій.

Фактичні та розрахункові значення кількості тих, хто травмується у функції від кількості аварій наведені на рис. 4. На основі цих досліджень було зроблено висновок про те, що основним напрямком роботи щодо запобігання травматизму є розробка й здійснення заходів із зниження аварійності.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Аварійність на підприємствах угольної промисловості Мшгтопэнерго України в 1990–1997 гг. – Донецьк: НИИГД, 1998. – 83 с.
2. Аварійність на угольних шахтах України в 1998–1999 годах: Обзор. – Донецьк: НИИГД, 2000. – 47 с.
3. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное изд. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 372 с.
4. Кори Г., Кори Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М., 1968. – 720 с.

ЛЬОВКШ Микола Борисович – кандидат технічних наук, завідувачий відділом загальної безпеки шахт Макіївського науково-дослідного інституту з безпеки робіт в гірничій промисловості (МакНДІ).

Наукові інтереси:

– безпека праці у вугільних шахтах.

Подано 15.01.2003