

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА CIVIL SAFETY

УДК 622.864: 331.46 (043.3): 622.831
doi: [10.31474/1999-981x-2018-2-57-68](https://doi.org/10.31474/1999-981x-2018-2-57-68)

Т.О. Негрій
С.Г. Негрій

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗОН ОБВАЛЕННЯ ПОРІД НА КІНЦЕВИХ ДІЛЯНКАХ ЛАВ

Мета: встановлення закономірностей травмування гірників від обвалень порід покрівлі на кінцевих ділянках лав.

Методика: аналіз основних виробничих процесів; аналіз та обробка актів про нещасні випадки, пов'язані з виробництвом; обробка результатів досліджень методами математичної статистики.

Результати: на основі актів за формою Н-1 розглянуто виробничий травматизм від обвалень порід в очисних вибоях шахт Покровського та Південнодонбаського вуглепромислових районів. Визначено параметри зон обвалення порід на кінцевих ділянках лав та запропоновано до використання відносний показник, за значенням якого можна визначати небезпечні зони по ширині привибійного простору. За результатами розрахунків, вивчення гірничотехнічної документації та актів про нещасні випадки було отримано вихідні данні для прогнозування зон обвалення порід на кінцевих ділянках лав. На основі математичної обробки цих даних встановлено, що ймовірність травмування гірників через обвалення й обрушення порід покрівлі на кінцевих ділянках лав, в залежності від відстані до вибою, підпорядковується нормальному закону розподілу. При цьому 70% травм отримано на ділянці від кромки пласта $(1,0 \pm 3,0)l_{обв.}$ (де $l_{обв.}$ - відстань від вибою до межі зони обвалення, що прогнозується), в тому числі 56% – на ділянці $(1,0 \pm 2,0)l_{обв.}$. Параметри цих ділянок визначаються за встановленою залежністю з урахуванням потужності пласта, величини критичних зміщень порід покрівлі у привибійному просторі та зміщень на кромці пласта, а також категорії порід покрівлі за обвалюваністю. За результатами прогнозування зон обвалення є можливість ефективного застосування профілактичних заходів щодо недопущення травмування гірників від обвалень порід.

Наукова новизна: встановлено закономірностей травмування гірників від обвалень порід покрівлі на кінцевих ділянках лав.

Практичне значення: встановлені закономірності можуть бути використані для прогнозу травмонезбезпечних ділянок на кінцевих ділянках лав та розробки заходів щодо зменшення рівня виробничого травматизму в очисних вибоях.

Ключові слова: виробничий травматизм, обвалення гірських порід, кінцева ділянка лави, прогнозування, закон розподілу.

Вступ.

Найбільший рівень травматизму відзначається у гірників очисного вибою при виконанні ними операцій у технологічних зонах лав, тому що саме в очисних вибоях найбільша концентрація небезпечних факторів виробничого середовища та трудового процесу [1]. До факторів виробничого середовища, які наявні в зонах лав, відносяться: мікроклімат, виробничий шум, вібрація, освітлення, захаращеність, запиленість, обмеженість робочих місць, а також наявність породних оголень та рухомих механізмів [2].

Породні оголення та механізми є небезпечними факторами, а інші в більшій мірі відносяться до маскуючих та відволікаючих. Саме останні створюють фон при виконанні операцій гірниками, через який працівники не в змозі правильно

оцінити оточення та своєчасно виявити небезпеки. Виключити дію обмежуючих та відволікаючих факторів в лаві не можливо, тому основним завданням є зменшення вірогідності проявів небезпечних факторів, що досягається застосуванням заходів щодо їх попередження. Наприклад, в очисних вибоях більше ніж 55% нещасних випадків мають місце від обвалів та обвалень порід покрівлі [2]. Тому питання прогнозу зон обвалення порід у робочому просторі заслуговує на увагу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Прогнозуванню обвалень порід в очисних вибоях присвячені праці вітчизняних [3, 4, 5, 6] та закордонних вчених [7, 8, 9], а травматизму від цього фактору – роботи [3, 4]. У цих роботах лава

розглядається, як єдиний небезпечний об'єкт, де мають місце нещасні випадки від вивалів породи. Та немає поділу на окремі зони, які, згідно з керівним документом [10], називаються технологічними.

В різних технологічних зонах фіксується різний рівень виробничого травматизму, оскільки в них виконуються операції технологічного процесу, які різняться складністю робіт, рівнями механізації, захаращеністю, обмеженістю простору, наявністю джерел вібрації, шуму та пилу. Та саме на кінцевих ділянках найбільша концентрація цих факторів [11]. Тому найбільш травмонебезпечними є технологічні зони, що відносяться до кінцевих ділянок лав, і саме у цих зонах зафіксовано найбільший травматизм від обвалень порід [12]. Встановлення закономірностей травмування гірників від обвалень на кінцевих ділянках дозволить визначити місця ймовірного виникнення несприятливих подій та розробити профілактичні заходи щодо їх запобігання.

З огляду на це прогноз та виявлення ймовірних зон обвалення порід на кінцевих ділянках лав є вельми актуальним.

Мета досліджень.

Метою даної статті є встановлення закономірностей травмування гірників від обвалень порід покрівлі на кінцевих ділянках лав.

Методи дослідження.

У роботі використано такі методи, як: аналіз основних виробничих процесів; аналіз та обробка актів про нещасні випадки, пов'язані з виробництвом; обробка результатів досліджень методами математичної статистики.

Виклад основного матеріалу.

Умовою обвалення порід є перевищення фактичними зміщеннями U_{ϕ} їх критичної величини $U_{кр}$ [13]. Тоді найближча межа зони обвалення порід покрівлі на кінцевих ділянках лав знаходиться від кромки пласта на відстані $l_{обв.}$, яка визначається з виразу [12]

$$l_{обв.} = \frac{(U_{кр.} - \Delta m'_0)(a_0 + nr)}{\Delta m'_0 + (m - \Delta m'_0)(a_0 + nr)\alpha}, \quad (1)$$

де m – потужність пласта, м; $U_{кр}$ – критичні зміщення порід покрівлі на межі зони обвалення, м (приймаються від 0,11 до 0,14 м, в залежності від складу порід покрівлі, а при відсутності даних – 0,09м); a_0 – відстань від вугільного вибою до першого ряду стійок кріплення, м; n – кількість проходів в кріпленні; r – відстань між рамками кріплення, м. α – розмірний коефіцієнт зближення бічних порід; $\Delta m'_0$ – зміщення безпосередньої покрівлі по кромці пласта (м).

Зважаючи на те, що за різних умов параметри зон обвалення відрізняються, для пов'язання цих зон з випадками травмування гірників від обвалень та розробки загальної методики, було запропоновано відносний показник (коефіцієнт зони обвалення порід), що розраховується за виразом

$$k_{обв} = \frac{l_{mp}}{l_{обв}}, \quad (2)$$

де l_{mp} – фактична відстань від кромки пласта до місця, де відбулося травмування гірника від обвалення, м (рис. 1).

За значенням $k_{обв}$ можна з'ясувати, чи була отримана травма в межах зони прогнозованого обвалення. Якщо так, то $k_{обв} \geq 1$.

Для визначення значень параметра $k_{обв}$ для певних умов необхідно вивчити кожний конкретний випадок травмування гірників від обвалення з прив'язкою його до робочого місця. При цьому необхідно скористатися інформацією з «Акту про нещасний випадок, пов'язаний з виробництвом», який складається за фактом виникнення несприятливої події. Додатково використовуються паспорта кріплення й управління покрівлею, показання свідків і потерпілого про нещасний випадок. Отримання найбільш повної інформації дозволить побудувати ситуаційну картину певного нещасного випадку та визначити параметри $l_{обв.}$, l_{mp} та $k_{обв.}$

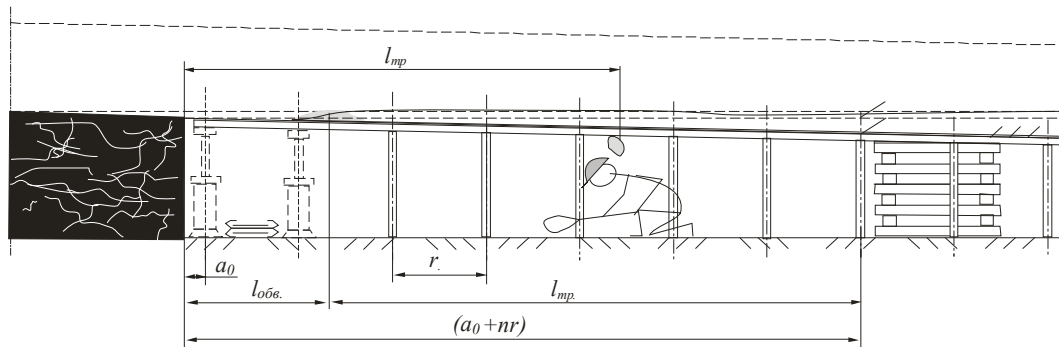


Рис. 1. Схема щодо визначення зони обвалення порід в привибійному просторі кінцевої ділянки лави

Для встановлення закономірностей травмування гірників під час ведення очисних робіт було використано інформацію про нещасні випадки в 18-ти очисних вибоях шахт Покровського та Південно-Донбаського вуглепромислових районів

(«Шахтоуправління «Покровське», ВП «Котляревська» ДП «Селидіввугілля», «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1», ДП «Шахта ім. М.С. Сургая» та ВП «Шахта «Капітальна» ДП «Мирноградвугілля»).

Таблиця 1 – Результати розрахунків параметрів зон обвалення порід покрівлі на кінцевих ділянках лав

Шифр нещасного випадку	Відстань від вибою до місця настання нещасного випадку, м	Відстань від вибою до границі зони обвалення порід, м	Коефіцієнт зони обвалення порід в привибійному просторі кінцевих ділянок лав
6-а південна лави блока 10 «Шахтоуправління «Покровське»			
відсутній*	-	1,68	-
5-а південна лави південного похилу II ступені пл. l ₂ ¹ шахти «Котляревська»			
відсутній	-	2,91	-
14-а західна лави пласта с ₁₈ ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1»			
відсутній	-	3,68	-
25-а східна лави пл. с ₁₁ ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1»			
4.10	3,8	1,68	2,26
35-а східна лави пл. с ₁₁ ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1»			
5.1	3	1,75	1,71
5.2	1,6	1,75	0,91
5.9	3,6	1,75	2,06
5.10	1,6	1,75	0,91
5.12	2,3	1,75	1,31
5.20	1,8	1,75	1,03
5.26	1,8	1,75	1,03
5.3	1,5	1,63	0,92
5.25	2,8	1,74	1,61
37-а східна лави пл. с ₁₁ ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1»			
6.13	4,1	1,68	2,44
63-а східна лави пл. с ₁₁ ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1»			
7.8	2,8	2,72	1,03
7.10	1,3	2,72	0,48
7.13	0,8	2,72	0,29
67-а східна лави пл. с ₁₃ ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1»			
відсутній	-	4,11	-
12-а східна лави пл. с ₁₁ шахти ім. М.С. Сургая			
9.2	2,4	1,45	1,66
9.4	1,9	1,45	1,31
9.5	1,1	1,59	0,69
9.22	4,6	1,55	2,97
9.27	1	1,28	0,78

Продовження табл. 1

Шифр нещасного випадку	Відстань від вибою до місця настання нещасного випадку, м	Відстань від вибою до границі зони обвалення порід, м	Коефіцієнт зони обвалення порід в привибійному просторі кінцевих ділянок лав
Південна корінна лава центрального похилу пласта l_1 гор. 1136м ВП «Шахта «Капітальна»			
10.1	2,7	1,94	1,39
10.2	2,9	1,94	1,49
10.3	2,2	1,93	1,14
10.4	0,6	1,93	0,31
10.5	1,1	1,93	0,57
3-я південна лава центрального похилу пласта l_1 ВП «Шахта «Капітальна»			
11.1	3,4	1,33	2,56
1-а північна лава центрального похилу пласта l_1 гор. 1136м ВП «Шахта «Капітальна»			
12.1	2,4	0,97	2,47
1-а північна лава групового похилу пласта l_1 бл. №2 гор. 986м ВП «Шахта «Капітальна»			
13.1	1,50	1,00	1,50
10 західна лава пл. c_{18} «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1»			
14.1	1,8	2,34	0,77
14.2	2,8	2,34	1,20
11 західна лава пл. c_{18} «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1»			
15.1	3,4	2,50	1,36
15.2	4,7	2,50	1,88
15.3	5,3	2,50	2,12
12 західна лава пл. c_{18} «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1»			
16.1	0,9	2,41	0,37
25 східна лава пл. c^2_{10} «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1»			
17.1	1,4	2,82	0,50
17.2	5,6	2,82	1,99
51 східна лава пл. c^2_{10} «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1»			
18.1	3,3	2,58	1,28
18.2	2,9	2,58	1,12
18.3	3,6	2,58	1,40
18.4	3,8	2,58	1,47

* в очисних вибоях, де відсутній шифр нещасного випадку, травмувань гірників від обвалень на кінцевих ділянках лави не було

До аналізу приймалися нещасні випадки, які сталися в конкретній лаві, впродовж терміну її відпрацювання з прив'язкою їх до технологічних схем. Для всіх очисних вибоїв було розраховано відстані $l_{обв.}$, які для різних лав змінювались від 1,28 до 4,11 м.

Було проаналізовано 220 «Актів про нещасні випадки, пов'язані з виробництвом», складених за час відпрацювання лав. З цих актів 65 випадків мали місце на кінцевих ділянках лав, в тому числі 39- від обвалень порід покрівлі.

При випадках травмування гірників від обвалення порід на кінцевих ділянках лав визначалися фактичні відстані до місць отримання травми $l_{тр}$ та коефіцієнт $k_{обв.}$. Для різних випадків в різних лавах відстань від кромки пласта до місця травмування

становила від 0,8 до 4,6 м (табл. 1), а коефіцієнт $k_{обв.}$ змінювався від 0,29 до 2,97.

Обвалення порід масові та випадкові, тому для їх прогнозування доцільне використання методів теорії ймовірності та математичної статистики [5, 14, 15, 16, 17]. Процес формування випадків може бути описаний певним законом розподілу. Встановивши вид розподілу, можна визначити ступінь впливу показника $k_{обв.}$ на рівень травматизму.

В роботах [4, 5] вказується, що процеси, які відбуваються в вугільних шахтах, можуть бути описані такими законами розподілу: нормальним, логарифмічно-нормальним, біноміальним, Пуассона, Вейбулла, експоненціальним та гамма-розподілом. Ці закони характеризуються функцією розподілу, щільністю ймовірностей, а також

основними числовими характеристиками [4, 5, 18, 19].

Випадковою величиною Z прийнято показник $k_{обв}$. Було визначено мінімально необхідну кількість вимірювань цієї величини, яка склала 34 (відносна похибка $\varepsilon=10\%$ та надійність $P=0,9$) при 39-ти фактичних (табл. 2).

Попередньо перевіримо узгодженість вибірки з нормальним законом розподілу, як граничним законом, до якого, за певних умов, наближаються деякі інші закони розподілу [18].

Щільність нормального розподілу (щільність ймовірності) величини Z має вигляд

Таблиця 2 – Упорядкована статистична сукупність випадкової величини Z , яка характеризується коефіцієнтом обвалення порід в привибійному просторі кінцевих ділянок лав

Порядкові номери випадкових величин в сукупності	Значення випадкової величини Z , од.	Порядкові номери випадкових величин в сукупності	Значення випадкової величини Z , од.	Порядкові номери випадкових величин в сукупності	Значення випадкової величини Z , од.
1.	0,29	14.	1,03	27.	1,50
2.	0,31	15.	1,03	28.	1,61
3.	0,37	16.	1,12	29.	1,66
4.	0,48	17.	1,14	30.	1,71
5.	0,50	18.	1,20	31.	1,88
6.	0,57	19.	1,28	32.	1,99
7.	0,69	20.	1,31	33.	2,06
8.	0,77	21.	1,31	34.	2,12
9.	0,78	22.	1,36	35.	2,26
10.	0,91	23.	1,39	36.	2,44
11.	0,91	24.	1,40	37.	2,47
12.	0,92	25.	1,47	38.	2,56
13.	1,03	26.	1,49	39.	2,97

$$f(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z-a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (3)$$

де a , σ , σ^2 – відповідно математичне очікування, середньоквадратичне відхилення та дисперсія випадкової величини.

Функція розподілу нормального закону має вигляд

$$F(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}} dt. \quad (4)$$

Для випадкової величини Z , крім зазначених числових характеристик a , σ , і σ^2 , використовують: середнє арифметичне ($\bar{z}$), моду (z_{mod}), медіану (z_{med}), асиметрію (β_1), ексцес (β_2) та коефіцієнт варіації (w).

При нормальному законі $z_{mod} = z_{med} = \bar{z}$; $\beta_1 = 0$; $\beta_2 = 0$, а в інших випадках можна говорити про розбіжність емпіричного та

нормального розподілів. Для перевірки узгодженості емпіричного закону розподілу з теоретичним використовують критерій Пірсона χ^2 , який дозволяє перевірити нульову гіпотезу H_0 – наскільки теоретична функція розподілу узгоджується з емпіричною. Для цього розглядається умова

$$\chi_{сп.}^2 \leq \chi_{крит.}^2, \quad (5)$$

у якій $\chi_{крит.}^2$ – табличний показник, який залежить від рівня значущості α та числа ступенів свободи ν [18], а $\chi_{сп.}^2$ – емпіричний, який визначається за формулою

$$\chi_{сп.}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n_{it})^2}{n_{it}}, \quad (6)$$

де n_i , n_{it} – відповідно фактичні та теоретичні значення досліджуваних величин; k – кількість розрядів.

Також говорити про нормальність розподілу можна під час порівняння асиметрії та ексцесу з їх стандартними помилками. Розподіл вважається нормальним, якщо абсолютні величини показників асиметрії та ексцесу менше їх помилок в 3 та більше разів.

Для кількості спостережень випадкової величини, що дорівнює 39 (табл. 2), було побудовано інтервальний ряд, для якого кількість розрядів k визначалася правилом Стерджесса [20, 21]

$$k = 1 + 3,322 \cdot \lg n, \quad (7)$$

тоді $k \approx 7$, звідкіля довжина інтервалів склала

$$h = \frac{z_{\max} - z_{\min}}{k} = \frac{2,97 - 0,29}{7} = 0,383.$$

При інтервальному оцінюванні середнє арифметичне $\bar{z}$ використовується для розрахунку середнього значення інтервалу, тобто $\bar{z}_i = z_i^*$, а характеристиками інтервального ряду є:

$$\text{- вибіркве середнє} \quad \bar{z}_e = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_i z_i^*,$$

$$\text{- вибірква дисперсія} \quad \sigma_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^k n_i (z_i^* - \bar{z}_e)^2}{n},$$

$$\text{- мода} \quad z_{\text{mod}}^* = z_0^* + h \frac{n_2 - n_1}{(n_2 - n_1) + (n_2 - n_3)},$$

$$\text{- медіана} \quad z_{\text{med}}^* = z_0^* + \frac{h}{n_{\text{med}}} \left(\frac{\sum n_i}{2} - S_{\text{med}-1} \right),$$

де z_i^* – середина i -го інтервалу; z_0^* – початок модального інтервалу; n_2 – частота, що відповідає модальному інтервалу; n_1 – передмодальна частота; n_3 – післямодальна частота; n_{med} – частота медіанного інтервалу; $S_{\text{med}-1}$ – накопичена частота передмедіанного інтервалу.

Частота та значення статистичної функції розподілу представлені в таблиці 3.

Таблиця 3- Результати розрахунку значень статистичної функції розподілу

Розряди випадкової величини Z	Частота f_i , од.	Значення статистичної функції розподілу $F^*(z)$, од.
$0,290 < z \leq 0,673$	6	0,154
$0,673 < z \leq 1,056$	9	0,385
$1,056 < z \leq 1,439$	9	0,615
$1,439 < z \leq 1,822$	6	0,769
$1,822 < z \leq 2,205$	4	0,872
$2,205 < z \leq 2,588$	4	0,974
$2,588 < z \leq 2,971$	1	1,000

Результати розрахунку цих показників наведені в таблиці 4.

Таблиця 4 – Результати розрахунку характеристик статистичної функції розподілу для випадкової величини Z

Розряди випадкової величини Z	Середнє значення інтервалу z^*	Частота f_i , од.	$z_i^* f_i$	Накопичена частота Σ	$(z_i^* - \bar{z}_e) f_i$	$(z_i^* - \bar{z}_e)^2 f_i$	Відносна частота f_i/f	$(z_i^* - \bar{z}_e)^3 f_i$	$(z_i^* - \bar{z}_e)^4 f_i$
$0,290 < z \leq 0,673$	0,482	6	2,889	6	5,126	4,38	0,154	-3,742	3,197
$0,673 < z \leq 1,056$	0,865	9	7,781	15	4,242	2	0,231	-0,943	0,444
$1,056 < z \leq 1,439$	1,248	9	11,228	24	0,795	0,0703	0,231	-0,00621	0,000549
$1,439 < z \leq 1,822$	1,631	6	9,783	30	1,768	0,521	0,154	0,153	0,0452
$1,822 < z \leq 2,205$	2,014	4	8,054	34	2,71	1,837	0,103	1,245	0,843
$2,205 < z \leq 2,588$	2,397	4	9,586	38	4,242	4,5	0,103	4,772	5,062
$2,588 < z \leq 2,971$	2,78	1	2,78	39	1,444	2,084	0,0256	3,009	4,343
Разом	-	39	52,1	-	20,328	15,391	1	4,488	13,935
$\bar{z}_e = 1,34$; $\sigma_e^2 = 0,395$; $\sigma_e = 0,63$; $z_{\text{mod}}^* = 1,06$; $z_{\text{med}}^* = 1,25$; $\beta_1 = 0,46$; $\beta_2 = -0,71$; $w = 47,0\%$									

Середнє значення випадкової величини приблизно дорівнює моді та медіані, що свідчить про нормальний розподіл вибірки. Позитивна величина β_1 вказує на наявність правобічної асиметрії, а β_2 - на гостровершинний розподіл.

Для встановлення форми розподілу необхідно порівняння показників β_1 та β_2 з їх середніми квадратичними помилками, які визначаються, відповідно, виразами:

$$s_{\beta_1} = \sqrt{\frac{6(k-2)}{(k+1)(k+3)}},$$

$$s_{\beta_2} = \sqrt{\frac{24k(k-2)(k-3)}{(k+1)^2(k+3)(k+5)}},$$

де k – кількість інтервалів.

$$\text{Тоді } s_{\beta_1} = \sqrt{\frac{6(7-2)}{(7+1)(7+3)}} = 0,61;$$

$$s_{\beta_2} = \sqrt{\frac{24 \cdot 7 \cdot (7-2)(7-3)}{(7+1)^2(7+3)(7+5)}} = 0,66,$$

$$\text{Оскільки при } \frac{\beta_1}{s_{\beta_1}} = \frac{0,46}{0,61} = 0,75 < 3 \text{ та}$$

$$\frac{\beta_2}{s_{\beta_2}} = \frac{-0,71}{0,66} = -1,08 < 3, \text{ відповідно, асиметрія та}$$

відхилення від нормального розподілу несуттєві, можна говорити про нормальний розподіл.

Перевіримо додатково нормальність розподілу за критерієм Пірсона χ^2 за умовою (5).

Теоретичні частоти при нормальному законі розподілу (ймовірність попадання в i -

ий інтервал випадкової величини) можуть бути обчислені за формулою

$$P(z) = \frac{1}{2} \Phi(z_2^*) - \frac{1}{2} \Phi(z_1^*), \quad (8)$$

де $\Phi(z^*)$ – інтегральна функція Лапласа (інтеграл ймовірностей), яка має загальний вигляд

$$\Phi(z^*) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (9)$$

Розрахунок експериментального критерію Пірсона χ^2 наведено в таблиці 5, в якій $\chi_{\text{сп.}}^2 = 3,88$. Табличний критерій згоди для рівня значущості $\alpha=0,05$ та числа ступенів свободи $\nu=k-3=7-3=4$ становить $\chi_{\text{крит.}}^2 = 9,49$ [18], тоді умова (5) виконується, значення статистики Пірсона не влучає в критичну область, тому немає підстав відкидати основну гіпотезу і дана вибірка має нормальний розподіл.

Перевіримо гіпотезу про нормальність розподілу випадкової величини за допомогою правила 3-х сигм (3σ). Оскільки всі значення випадкової величини (від $z_{\min}=0,29$ до $z_{\max}=2,971$) потрапляють в діапазон: $(\bar{z} - 3\sigma; \bar{z} + 3\sigma) = (1,336 - 3 \cdot 0,628; 1,336 + 3 \cdot 0,628) = (-0,548; 3,22)$, то гіпотеза підтверджена.

Таблиця 5 –Результати розрахунку критерію Пірсона відповідності ймовірності травмування гірників від обвалення нормальному закону розподілу

Нижня межа інтервалу $z_{\min}$	Верхня межа інтервалу $z_{\max}$	Середнє значення інтервалу z^*	Частота f_i , од.	$z_1^* = \frac{z_{\min} - \bar{z}}{\sigma}$	$z_2^* = \frac{z_{\max} - \bar{z}}{\sigma}$	Табличні значення інтегральної функції Лапласа		Теоретична частота $p(Z)$	Очікувана частота, $f \cdot p(Z_i)$	Складові статистики Пірсона χ^2
						для нижньої межі інтервалу $\frac{1}{2} \Phi(z_1^*)$	для верхньої межі інтервалу $\frac{1}{2} \Phi(z_2^*)$			
0,290	0,673	0,482	6	-1,6434	-1,0416	-0,4505	-0,3531	0,0974	3,7986	1,2757
0,674	1,056	0,865	9	-1,0416	-0,4398	-0,3531	-0,17	0,1831	7,1409	0,484
1,057	1,439	1,248	9	-0,4398	0,162	-0,17	0,0675	0,2375	9,2625	0,0074
1,440	1,822	1,631	6	0,162	0,7638	0,0675	0,2794	0,2119	8,2641	0,6202
1,823	2,205	2,014	4	0,7638	1,3656	0,2794	0,4147	0,1353	5,2767	0,3088
2,206	2,588	2,397	4	1,3656	1,9674	0,4147	0,4756	0,0609	2,3751	1,1116
2,589	2,971	2,78	1	1,9674	2,5692	0,4756	0,4951	0,0195	0,7605	0,0754
-	-	-	39	-	-	-	-	-	37	3,8831

Порівняння емпіричної та теоретичної кривих розподілу випадкової величини Z (рис. 2) показує достатню збіжність експериментальних та розрахункових величин (94,9%). На рисунку 2 показана фігура 4, яка обмежена кривою розподілу та лежить правіше ординати, яка проведена через точку $k_{обв}=1$. Площа цієї фігури дорівнює ймовірності виникнення нещасних випадків від обвалень порід покрівлі при $p(Z)$, од.

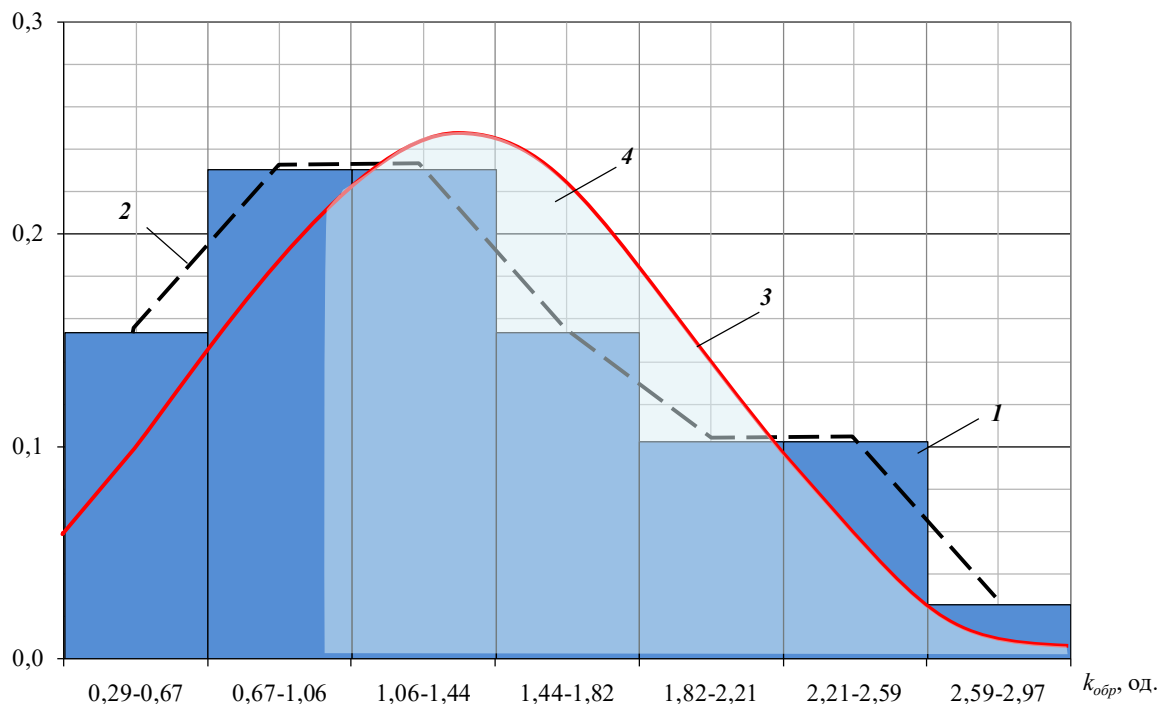


Рис. 2. Гістограма (1) та крива відносної частоти (2) нещасних випадків, що сталися в результаті обвалення порід на кінцевих ділянках лав, крива теоретичної частоти при нормальному законі розподілу (3) та фігура, яка обмежена кривою розподілу (4) та лежить правіше ординати, яка проведена через точку $k_{обв}=1$

інтервалу, яка прийнята згідно правила 3σ).

Тоді ймовірність травмування гірників в інтервалі $k_{обв}$ від 1,0 до 3,22:

$$\begin{aligned} P(1,0 < Z < 3,22) &= \Phi\left(\frac{3,22-1,34}{0,63}\right) - \Phi\left(\frac{1,0-1,34}{0,63}\right) = \\ &= \Phi(2,9841) - \Phi(-0,5397), \\ \Phi(2,9841) &= 0,49865, \quad \Phi(-0,5397) = 0,2054, \\ P(1,0 < X < 3,22) &= 0,49865 + 0,2054 = 0,70405, \end{aligned}$$

а для інтервалу, в який потрапили експериментальні значення випадкової величини (1,0;2,971):

знаходженні гірників в зоні обвалення, що прогнозується. Її межа визначається виразом (1). Тоді ймовірність травмування гірників від вищезгаданого небезпечного фактору на кінцевих ділянках лав в зоні обвалення буде визначатися з виразу

$$P(\alpha < X < \beta) = \Phi\left(\frac{\beta-a}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha-a}{\sigma}\right), \quad (10)$$

де $(\alpha; \beta)$ – заданий інтервал (верхня межа

$$\begin{aligned} P(1,0 < Z < 2,97) &= \Phi\left(\frac{2,97-1,34}{0,63}\right) - \Phi\left(\frac{1,0-1,34}{0,63}\right) = \\ &= \Phi(2,5873) - \Phi(-0,5397), \\ \Phi(2,5873) &= 0,4953, \\ P(1,0 < Z < 2,97) &= 0,4953 + 0,2054 = 0,70. \end{aligned}$$

Для спрощення розрахунків при прогнозуванні зони обвалення округлимо верхню межу інтервалу до 3, тоді

$$\begin{aligned} P(1,0 < Z < 3,0) &= \Phi\left(\frac{3,0-1,34}{0,63}\right) - \Phi\left(\frac{1,0-1,34}{0,63}\right) = \\ &= \Phi(2,6349) - \Phi(-0,5397), \\ \Phi(2,6349) &= 0,4959, \\ P(1,0 < Z < 3,0) &= 0,4959 + 0,2054 = 0,7013, \end{aligned}$$

в тому числі в інтервалі (1,0;2,0):

$$P(1,0 < Z < 2,0) = \Phi\left(\frac{2,0 - 1,34}{0,63}\right) - \Phi\left(\frac{1,0 - 1,34}{0,63}\right) = \\ = \Phi(1,0476) - \Phi(-0,5397), \\ \Phi(1,0476) = 0,3531, \\ P(1,0 < Z < 2,0) = 0,3531 + 0,2054 = 0,5585.$$

Обговорення результатів.

Як бачимо, незначні варіації значення верхньої межі показали несуттєві зміни ймовірності появи досліджуваної події, тому можна стверджувати, що 70% випадків травмування гірників на кінцевих ділянках лав в результаті обвалення порід покрівлі відбуваються на відстані до вибою від $l_{обв.}$ до $3l_{обв.}$, в тому числі 56% - в інтервалі від $l_{обв.}$ до $2l_{обв.}$. Виходячи з цього можна для конкретних гірничо-геологічних умов встановити параметри зони обвалення з найбільш ймовірними ділянками травмування робітників і запропонувати профілактичні заходи щодо недопущення виникнення даних несприятливих подій. Наприклад, зміцнення порід покрівлі швидкотвердіючими речовинами або анкеруванням, збільшення щільності установки кріпильних елементів, зменшення піддатливості засобу охорони або заміна технологічної схеми.

При виборі заходів щодо запобігання обвалення порід покрівлі на кінцевих ділянках лав необхідно керуватися нормативними документами стосовно зміцнення порід покрівлі у очисних вибоях [10], а також дотримуватись технологічних схем кріплення кінцевих ділянок [10, 22]. Всі ці заходи мають використовуватись у відповідності з областю використання та з урахуванням економічної складової. При проектуванні засобів охорони необхідно враховувати їх умови застосування та піддатливість [12].

Висновок.

За результатами проведених досліджень можна зробити висновок про те, що ймовірність травмування гірників через обвалення й обрушення на кінцевих ділянках лав в залежності від відстані до вибою підпорядковується нормальному закону розподілу. Всі травми мають місце на

відстані від кромки пласта не більше, ніж $3,0l_{обв.}$ (де $l_{обв.}$ - відстань від вибою до межі зони обвалення, що прогнозується), в тому числі, 70% - припадає на ділянку $(1,0 \div 3,0)l_{обв.}$, а 56% - $(1,0 \div 2,0)l_{обв.}$.

Для зменшення рівня травмування гірників від обвалень необхідно в зоні, що прогнозується, застосовувати технологічні рішення щодо перенесення межі цієї зони в бік виробленого простору, забезпечення стійкості порід покрівлі або огороження робочого простору від даного чинника.

Список літератури

1. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» // Затв. наказом МОЗ України №248 від 08.04.2014.
2. Неррей Т.А. Исследование условий труда шахтеров при выполнении основных производственных процессов. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2016. №2(39). С. 108-116. (doi.org/10.31474/1999-981x-2016-2-108-116).
3. Кузьменко М.С. Развитие научных основ обвалованости пород и запобігання травматизму в очисних виробках вугільних шахт: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.26.01. Макіївка, 2007. 36 с.
4. Предотвращение травматизма от обвалов и обрушений на угольных шахтах / В.В. Радченко, Э.Н. Медведев, Н.С. Кузьменко, Ю.В. Кудинов, О.И. Кашуба, С.А. Крутенко. Киев: УкрНИИпроект, 2010. 372с.
5. Левкин Н.Б. Предупреждение аварий и травматизма. Донецк: Донбасс, 2002. 392 с.
6. Грядущий, Ю.Б. Геомеханические основы управления вывалоопасными кровлями в очистных забоях. Киев: Техника, 1998. 100с.
7. Stanisław Prusek, Sylwester Rajwa, Aleksander Wrańa & Alicja Krzemień (2017) Assessment of roof fall risk in longwall coal mines, *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 31:8, 558-574, (doi.org/10.1080/17480930.2016.1200897).
8. Duzgun H.S.B., Einstein H.H., Assessment and management of roof fall risks in underground coal mines // *Safety Science*, Volume 42, Issue 1, 2004, Pages 23-41. ([doi.org/10.1016/S0925-7535\(02\)00067-X](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(02)00067-X)).
9. Sanjay Kumar Palei, Samir Kumar Das, Logistic regression model for prediction of roof fall risks in bord and pillar workings in coal mines: An approach // *Safety Science*, Volume 47, Issue 1, 2009, Pages 88-96. (doi.org/10.1016/j.ssci.2008.01.002).
10. КД 12.01.01.503-2001. Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35°. Руководство, Киев, 2002. 141с.
11. Нерпій Т.О., Сахно І.Г., Нерпій С.Г. Вплив енерговитрат шахтарів на рівень безпеки праці. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: «Нові рішення в сучасних технологіях». 2017. Вип. 7 (1229). С. 81-90. (doi.org/10.20998/2413-4295.2017.07.11).

12. Негрій С.Г. Негрій Т.О., Волков С.В. Безпека ведення робіт на кінцевих ділянках лав. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2018. №1(42). С. 31-38. (doi.org/10.31474/1999-981x-2018-1-31-38).

13. Вывалообразования в горных выработках шахт Донбасса / К.В. Кошелев и др.; общ. ред. К.В. Кошелев. Киев: Техніка, 1994. 135с.

14. Pugachev V. S. (1984) Probability Theory and Mathematical Statistics for Engineers. Pergamon Press, Oxford, 468.

15. Eugene Lukacs (1972) Probability and Mathematical Statistics: An Introduction. Academic Press, New York and London, 254. (doi.org/10.1016/C2013-0-11105-1)

16. Harisha Kinilakodi, R. Larry Grayson, (2011) A methodology for assessing underground coal mines for high safety-related risk, Safety Science, Volume 49, Issue 6, Pages 906-911

(doi.org/10.1016/j.ssci.2011.02.007).

17. J. Maiti, Vivek V. Khanzode, Development of a relative risk model for roof and side fall fatal accidents in underground coal mines in India // Safety Science, Volume 47, Issue 8, 2009, Pages 1068-1076. (doi.org/10.1016/j.ssci.2008.12.003).

18. Применение математической статистики в нефтегазопромысловой геологии / Л.Ф. Деметьев, М.А. Жданов, А.Н. Кирсанов. Москва: Недра, 1977. 255с.

19. Шарапов И.П. Применение математической статистики в геологии. Москва: Недра, 1965. 260с.

20. James E. Gentle, Wolfgang Karl Härdle, Yuichi Mori Handbook of Computational Statistics: Concepts and Methods (2012) Springer Science & Business Media. London, New York.– 1192p.

21. Rao C.R., Wegman E.J., Solka J.L. Data Mining and Data Visualization (2005). Elsevier B.V. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokio, 800p.

22. СОУ-П 10.1.00185790.013:2009. Кінцеві ділянки та сполучення лав з підготовчими виробками. Технологічні схеми. ДонВУГІ, Донецьк, 2010. 55с.

References

1. State sanitary norms and rules "Hygienic classification of labor on the harmfulness indexes and danger factors of the production environment, the severity and intensity of the labor process" [Derzhavni sanitarni normy ta pravyla «Hihienichna klasyfikatsiia pratsi za pokaznykamy shkidlyvosti ta nebezpechnosti faktoriv vyrobnychoho seredovyshcha, vazhkosti ta napruzhenosti trudovoho protsesu»] // Approved by Order of the Ministry of Health of Ukraine No. 248 dated 04/08/2014 (in Ukrainian)

2. Nehrii T. (2016) Study of working conditions of miners at implementation of main industrial processes [Issledovanie usloviy truda shahterov pri vyipolnenii osnovnykh proizvodstvennykh protsessov] // Journal of Donetsk Mining Institute, No. 2 (39), pp. 108-116. (in Russian). (doi.org/10.31474/1999-981x-2016-2-108-116).

3. Kuzmenko M.S. (2007) Development of scientific principles of rock falling capacity and injury prevention in underground coal faces [Rozvytok naukovykh osnov obvaliuvnosti porid i zapobihannia travmatyzmu v ochysnykh vyrobkakh vuhilnykh shakht] // Dr. Tech. Sci, MakNDI, 36 p. (in Ukrainian).

4. Radchenko V.V., Medvedev E.N., Kuzmenko N.S., Kudynov Yu.V., Kashuba O.Y. and Krutenko S.A. (2010) Prevention of injuries from collapses and collapses in coal mines [Predotvraschenie travmatizma ot obvalov i obrusheniya na ugolnykh shakhtakh] // Kiev, 372 p. (in Russian).

5. Lovkyn M.B. (2002) Accident and injury prevention [Preduprezhdenie avariiv i travmatizma] // Donetsk, 392 p. (in Russian).

6. Gryaduschiy Yu.B. (1998) Geomechanical fundamentals of the management of the disposal of dangerous roofs in working faces [Geomechanicheskie osnovy upravleniya vyvaloopasnyimi krovlyami v ochistnykh zaboyah]. Kiev, 100 p. K (in Russian).

7. Stanisław Prusek, Sylwester Rajwa, Aleksander Wrana & Alicja Krzemień (2017) Assessment of roof fall risk in longwall coal mines, International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 31:8, 558-574, (doi.org/10.1080/17480930.2016.1200897).

8. Duzgun H.S.B., Einstein H.H., Assessment and management of roof fall risks in underground coal mines // Safety Science, Volume 42, Issue 1, 2004, Pages 23-41. ([doi.org/10.1016/S0925-7535\(02\)00067-X](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(02)00067-X)).

9. Sanjay Kumar Palei, Samir Kumar Das, Logistic regression model for prediction of roof fall risks in bord and pillar workings in coal mines: An approach // Safety Science, Volume 47, Issue 1, 2009, Pages 88-96. (doi.org/10.1016/j.ssci.2008.01.002).

10. KD 12.01.01.503-2001. Control of the roof and fixing in longwall of coal seams with an angle of incidence up to 35 degrees [Upravlenie krovlej i kreplenie v ochistnykh zaboyah na ugol'nykh plastakh s uglom padeniya do 35°] // Rukovodstvo, Kiev, 2002. 141 p. (in Russian).

11. Nehrii T., Sakhno I., Nehrii S. (2017) The influence of the energy expenditure on the miners' safety level [Vplyv enerhovytrat shakhtariv na riven bezpeky pratsi] Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology. Issue 7 (1229), pp. 81-90. (in Ukrainian) (doi.org/10.20998/2413-4295.2017.07.11).

12. Nehrii S., Nehrii T., Volkov S. (2018) Safety of working at the end portions longwall faces [Bezpeka vedennia robiv na kintsevykh diliankakh lav] // Journal of Donetsk Mining Institute, No. 1 (42), pp. 31-38. (in Ukrainian). (doi.org/10.31474/1999-981x-2018-1-31-38).

13. Koshelev K.V., Burma I.I., Herasymchuk D.A. and Koshelev O.K. (1994). Falling rocks in mine workings of Donbass [Vyivalooprazovaniya v gorniykh vyirobotkakh shaht Donbassa] // Tekhnika, Kiev, 135p. (in Russian)

14. Pugachev V. S. (1984) Probability Theory and Mathematical Statistics for Engineers. Pergamon Press, Oxford, 468.

15. Eugene Lukacs (1972) Probability and Mathematical Statistics: An Introduction. Academic Press, New York and London, 254. (doi.org/10.1016/C2013-0-11105-1)

16. Harisha Kinilakodi, R. Larry Grayson, (2011) A methodology for assessing underground coal mines for high safety-related risk, Safety Science, Volume 49, Issue 6, Pages 906-911

(doi.org/10.1016/j.ssci.2011.02.007).

17. J. Maiti, Vivek V. Khanzode, Development of a relative risk model for roof and side fall fatal accidents in underground coal mines in India // Safety Science, Volume 47, Issue 8, 2009, Pages 1068-1076. (doi.org/10.1016/j.ssci.2008.12.003).

18. Dementev L.F. Zhdanov M.A., Kirsanov A.N. (1977) The use of mathematical statistics in oil and gas geology [Primenenie matematicheskoy statistiki v neftegazopromyshlovooy geologii]. Moscow, 255 p. (in Russian).

19. Sharapov I.P. (1965) The usage of mathematical statistics in geology [Primenenie matematicheskoy statistiki v geologii]. Moscow, 260p. (in Russian).

20. James E. Gentle, Wolfgang Karl Härdle, Yuichi Mori Handbook of Computational Statistics: Concepts and Methods (2012) Springer Science & Business Media. London, New York.– 1192p.

21. Rao C.R., Wegman E.J., Solka J.L. Data Mining and Data Visualization (2005). Elsevier B.V. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokio, 800p.

22. SOU-P 10.1.00185790.013:2009. The finite areas and combinations of longwall faces with preparatory workings. Technological schemes [Kintsevi dilianky ta spoluchennia lav z pidhotovchymy vyrobkamy. Tekhnologichni skhemy]. Donetsk, 2010. 55p. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції 25.12.2018

Рецензент канд. техн. наук, доц. В.М. Нестеренко.

Негрій Тетяна Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Охорона праці» Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна), <https://orcid.org/0000-0002-4239-3178>.

Email: tetiana.nehrii@donntu.edu.ua.

Негрій Сергій Григорович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Розробка родовищ корисних копалин» Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна), <https://orcid.org/0000-0002-3195-8401>.

Email: serhii.nehrii@donntu.edu.ua.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗОН ОБРУШЕНИЕ ПОРОД НА КОНЦЕВЫХ УЧАСТКАХ ЛАВ

Цель: установление закономерностей травмирования горнорабочих от обрушений пород кровли на концевых участках лав.

Методика: анализ основных производственных процессов; анализ и обработка актов о несчастных случаях, связанных с производством; обработка результатов исследований методами математической статистики.

Результаты: на основе актов по форме Н-1 рассмотрен производственный травматизм от обрушений пород в очистных забоях шахт Покровского и Южнодонецкого угледоугольных районов. Определены параметры зон обрушения пород на концевых участках лав и предложен к использованию относительный показатель, по значению которого можно определять опасные зоны по ширине призабойного пространства. По результатам расчетов, изучения горнотехнической документации и актов о несчастных случаях были получены исходные данные для прогнозирования зон обрушения пород на концевых участках лав. На основе математической обработки этих данных установлено, что вероятность травмирования горнорабочих из-за обвалов и обрушений пород кровли на концевых участках лав, в зависимости от расстояния до забоя, подчиняется нормальному закону распределения. При этом 70% травм получены на участке от кромки пласта $(1,0 \pm 3,0)l_{обв.}$ (где $l_{обв.}$ - расстояние от забоя до границы прогнозируемой зоны обрушения), в том числе 56% - на участке $(1,0 \pm 2,0)l_{обв.}$. Параметры этих участков определяются по установленной зависимости с учетом мощности пласта, величины критических смещений пород кровли в призабойном пространстве и смещений на кромке пласта, а также категории пород кровли по обрушаемости. По результатам прогнозирования зон обрушения возможно эффективное применение профилактических мероприятий по недопущению травмирования горнорабочих от обрушений пород.

Научная новизна: установлены закономерности травмирования горнорабочих от обрушений пород кровли на концевых участках лав.

Практическое значение: установленные закономерности могут быть использованы для прогнозирования травмоопасных участков на концевых участках лав и разработки мероприятий по уменьшению уровня производственного травматизма в очистных забоях.

Ключевые слова: производственный травматизм, обрушение горных пород, концевой участок лавы, прогнозирование, закон распределения.

Негрей Татьяна Александровна – кандидат технических, доцент кафедры «Охрана труда» Государственного высшего учебного заведения «Донецкий национальный технический университет» (пл. Шибанкова, 2, г. Покровск, 85300, Украина), <https://orcid.org/0000-0002-4239-3178>.

Email: tetiana.nehrii@donntu.edu.ua.

Негрей Сергей Григорьевич – кандидат технических, доцент, доцент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Государственного высшего учебного заведения «Донецкий национальный технический университет» (пл. Шибанкова, 2, г. Покровск, 85300, Украина), <https://orcid.org/0000-0002-3195-8401>.
Email: serhii.nehrii@donntu.edu.ua.

PREDICTING OF THE ROCK-FALL ZONE AT THE FINITE AREAS OF LONGWALL FACES

Purpose: to establish the regularities of injury of miners from the rock-falls at the finite areas of longwall faces.

Methodology: analysis of basic production processes; analysis and processing of accidents related to production; processing of research results by methods of mathematical statistics.

Results: on the basis of the acts by the form of H-1 the occupational injuries from the rock fallouts in the clearing faces of the Pokrovsky and Yuzhnodonbass coal mining districts were considered. The parameters of rock-fall zones on the finite areas of longwall faces have been determined and a relative index has been proposed for use, the value of which can be determined by the danger zones along the width of the bottomhole area. According to the results of the calculations, the study of mining technical documentation and acts of accidents, the source data were obtained for predicting rock fall zones on the finite areas of longwall faces. On the basis of mathematical processing of these data, it was established that the probability of injury to miners due to rock-fall and roof collapse at the finite areas of longwall faces, depending on the distance to the face, subordinates the normal distribution law. At the same time, 70% of injuries were received on the plot from the edge of the formation $(1,0 \div 3,0)l_{\text{об}}$, (where the log is the distance from the face to the boundary of the predicted collapse zone), including 56% - on the plot $(1,0 \div 2,0)l_{\text{об}}$. Parameters of these plots are determined by the established formula taking into account the thickness of the formation, the magnitude critical displacement of rocks in the bottomhole area and displacements on the edge of the formation, as well as the category of roof rocks after the collapse. According to the results of forecasting of areas of collapse there is an opportunity of the effective use of preventive measures for injury avoidance of miners from rock falls.

Scientific novelty: the regularities of the miners' trauma are determined from the collapse of the rocks of the roof at the finite areas of longwall faces.

Practical significance: the established regularities can be used to predict traumatic zones at the finite areas of longwall faces and to develop measures to reduce the level of occupational injuries in the treatment faces.

Key words: industrial injuries, rock disintegration, finite area of longwall face, distribution law, forecasting.

Nehrii Tetiana – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Public higher education institution Donetsk National Technical University (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine), <https://orcid.org/0000-0002-4239-3178>.
Email: tetiana.nehrii@donntu.edu.ua.

Nehrii Serhii – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Public higher education institution Donetsk National Technical University (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine), <https://orcid.org/0000-0002-3195-8401>.
Email: serhii.nehrii@donntu.edu.ua.