

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ СТРАХОВОЇ СТАВКИ У ВИПАДКУ АВАРІЙНОГО ВИБУХУ У ВУГІЛЬНІЙ ШАХТІ

С. І. Азаров, докт. техн. наук (Інститут ядерних досліджень НАН України), В. Л. Сидоренко, інж. (Інститут державного управління у сфері цивільного захисту УЦЗ України)

Приведены результаты расчета страховой ставки при аварийном взрыве метановоздушной смеси в угольной шахте.

The results of the insurance rate calculation at the accidental explosion of firedamp in coal mine are set out.

Постановка проблеми. Проблема забезпечення вибухобезпеки гірничих виробок шахт – одна з найактуальніших у вугільній галузі. Незважаючи на проведення комплексу заходів, спрямованих на зменшення кількості аварійних вибухів, ця проблема, як і раніше, не розв'язана, а вибухи метану щорічно забирають сотні людських життів [1]. Вибухопожежонебезпечна ситуація у вугільних шахтах виникає при накопиченні у гірничих виробках метану в такій кількості, яка у суміші з повітрям утворює недопустиму вибухову концентрацію. Дослідження вибухонебезпечних процесів вимагає знання розмірів областей, збурених вибухом, а також багатьох механічних параметрів: швидкості частинок повітря, тиску, густини і температури.

На шахтах України відбувається в середньому три вибухи метаноповітряної суміші в рік [2]. На ліквідацію їхніх наслідків потрібні великі витрати. Під аварійним вибухом розуміється надзвичайно швидке виділення енергії внаслідок раптової зміни стану речовини, яке супроводжується різким звуковим ефектом і приводить до розігріву, руху, стиску продуктів вибуху та навколишнього середовища. Підвищений тиск викликає ударну хвилю з сильним уражаючим ефектом.

При вибуху метаноповітряної суміші більша частина вихідної потенціальної енергії речовини перетворюється, як правило, в енергію нагрітих стиснених газів, а частина залишається у вигляді внутрішньої (теплової) енергії газів, що розширилися. Кількість енергії, що виділилася при вибуху, визначає загальні розміри руйнувань, а її концентрація – інтенсивність руйнувань в осередку вибуху. Ці характеристики залежать від швидкості вивільнення енергії вибухонебезпечною системою, яка обумовлює утворення уражаючої вибухової хвилі.

Аналіз травматизму у вугільній галузі України (рис. 1) при аварійних вибухах (код надзвичайних ситуацій 10240 – пожежі, вибухи у шахтах, підземних та гірничих виробках) показав, що за 7 років мали місце 194 випадки травматизму. Загальна кількість загиблих при аваріях – 1003 особи, матеріальні збитки склали 469 млн. грн. [3].

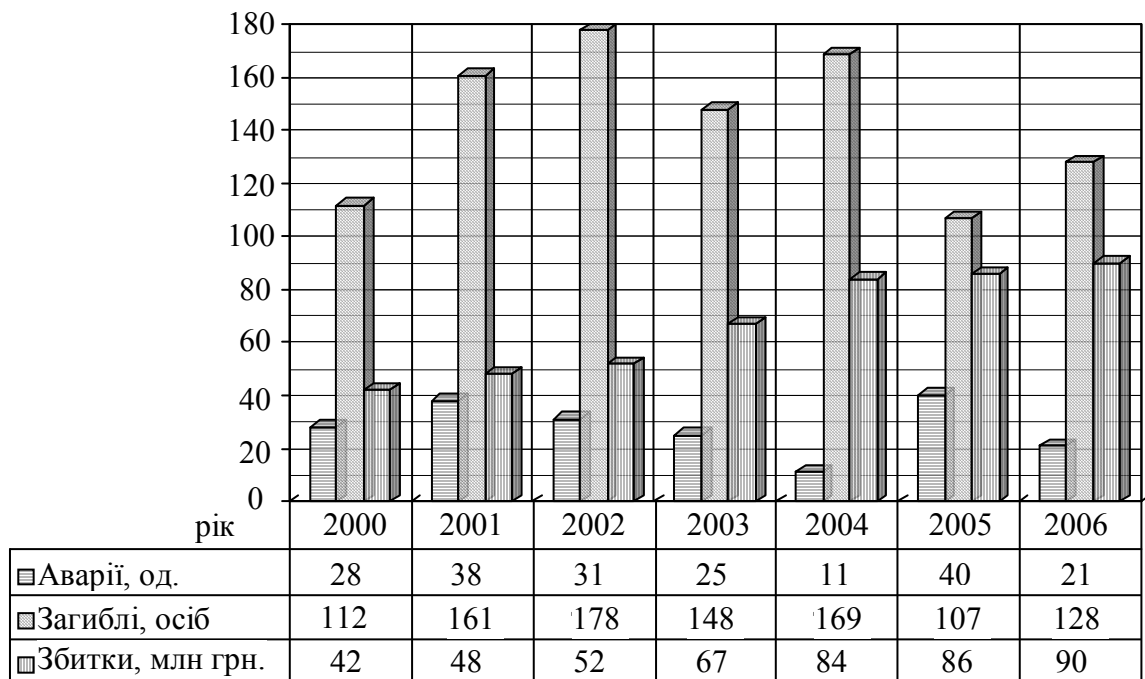


Рис. 1. Кількість аварій, загиблих та збитки впродовж 2000–2006 рр. на вугільних шахтах України

Однією з причин зниження професійних якостей шахтаря при виникненні аварійного вибуху є раптовість перевищення допустимих рівнів безпечних умов праці. Вплив фізичних та хімічних небезпечних факторів аварійних вибухів на ефективність дій шахтарів виявляється у зниженні їх фізичних, психологічних та фізіологічних можливостей. З іншого боку, відсутність соціальних гарантій, системи страхування життя в екстремальних умовах праці також знижували ефективність ведення аварійно-рятувальних робіт у зоні аварії.

Тому актуальним є аналіз впливу фізичних ефектів вибухів і небезпечних факторів продуктів аварії на стан здоров'я шахтарів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні в нашій країні відсутня єдина директивна та нормативна документація щодо системи управління безпекою і ризиками у надзвичайних ситуаціях. Зараз існує кілька методик, на основі яких можна проводити якісну оцінку ризику травмування людини і пов'язаних з ним збитків [4, 5]. Як загальний недолік методик можна відмітити спрощення комплексу розрахунків.

Застосування спрощених методів розрахунку є результатом небажання керівників вугільних шахт використовувати подібні оцінки у процесі ухвалення рішення і трактувати безпеку як категорію, прирівняну до економічних показників діяльності вугільних шахт. Слід зазначити, що незалежно від економічних оцінок існує необхідність розгляду ризику в гуманітарному аспекті для запобігання людським втратам та їх обліку. У літературі зустрічається підтвердження того, що управління безпекою є, по суті, управлінням ризиком.

Сьогодні сформувався такі методи розв'язання дуже непростого завдання визначення вартості людського життя: метод аналогів (на основі вже зроблених компенсаційних виплат); страховий; біологічний (за вартістю пересадки людських органів); оцінка з позицій теорії «людського капіталу»

(втрата вигод родини, суспільства через смерть годувальника); непряма оцінка з урахуванням витрат на запобігання загибелі людини (у порівнянні з сумою витрат і числом загиблих); оцінка за інвестиціями, спрямованими на зниження ризику передчасної смерті окремого індивідуума; оцінка за готовністю фізичних осіб сплачувати за усунення ризику смерті.

Постановка задачі та її розв'язання. Метою даної роботи є виявлення причин, які впливають на імовірнісний показник аварійних подій і нещасних випадків, оцінка обставин і умов, що сприяють виникненню і розвитку травмонебезпечних ситуацій при аварії у вугільній шахті.

Для встановлення зв'язку між джерелом впливу небезпечного фактора аварійного вибуху і ймовірності ураження шахтаря необхідно визначити [6]:

функцію джерела небезпеки (сукупність джерел небезпеки);
закон впливу уражаючого фактора (небезпечний фактор);
ефекти взаємодії (сполучені, комбіновані) факторів ураження різної природи;

сумарний повний наведений ризик і розмір шкоди здоров'ю шахтаря.

При аварійному вибуху у вугільній шахті істотну роль відіграють такі уражаючі фактори, як тривалість дії ударної хвилі і пов'язані з нею параметри імпульсу вибуху, термічний вплив процесів вибуху і можливої пожежі, механічний вплив при ураженні осколками різної природи та інш. [7]. Ці негативні фактори можуть викликати наслідки різної важкості. Реальний розподіл площини факторів ураження на діаграмі «небезпечний чинник–імовірність ураження шахтаря» складається з зони летального ураження та небезпечної зони, які не мають між собою чіткої межі. Ця стандартна особливість типових діаграм ураження шахтаря при аварійному вибуху у вугільній шахті може бути відображена представленням імовірності досягнення рівня летального результату за допомогою пробіт-функції (функції помилок) [8]:

$$P_{\text{ур}} = f(P_r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\infty}^{P_r^{-5}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt. \quad (1)$$

Верхньою межею інтеграла є так звана пробіт-функція P_r , яка показує зв'язок між імовірністю ураження $P_{\text{ур}}$ і дозою негативного впливу D :

$$P_r = A + B \cdot \ln D, \quad (2)$$

де A і B – константи кожного процесу, які характеризують специфіку і ступінь небезпеки його впливу (визначаються експериментально).

Імовірність ураження шахтаря на певній відстані у результаті вибуху вибухових речовин визначається як [9, 10]

$$P_b(r) = 5 - 0,22 \ln \left[\left(\frac{4 \cdot 10^4}{\Delta P_{\phi}} \right)^{7,4} + \left(\frac{4,6 \cdot 10^2}{I^+} \right)^{11,3} \right], \quad (3)$$

де ΔP_{ϕ} – надлишковий тиск вибуху, кПа; I^+ – імпульс фази стискування, кПа·с.

Умовну ймовірність ураження шахтаря тепловим випромінюванням на відстані l знаходять за формулою [11]

$$P_t(l) = -14,9 + 2,56 \ln \left[t(l) \cdot Q(l)^{1,33} \right], \quad (4)$$

яка показує, що ця величина залежить від ефективного часу експозиції та інтенсивності тепловиділення.

Імовірність ураження шахтаря токсичними газами вибухів і пожеж можна визначити за співвідношенням [12, 13]

$$P_x(l) = a + b \ln \left[\tau \left(\frac{C(273,15 + t)}{12,187 \cdot M} \right)^n \right], \quad (5)$$

де a , b і n – коефіцієнти, які визначаються експериментально для кожної окремої речовини; τ – час впливу, хв.; t – температура суміші, °С; M – молекулярна маса токсиканта; C – концентрація токсиканта у повітрі, мг/л.

Загальний індивідуальний ризик ураження шахтаря в результаті аварійного вибуху метаноповітряної суміші у вугільній шахті становитиме [14]

$$P_i(l) = [P_b(l) \cdot P_1 \cdot P_2 + P_t(l) \cdot P_3 + P_x(l) \cdot P_4] P_n, \quad (6)$$

де P_1 – імовірність виникнення аварії ($\sim 3,2 \cdot 10^{-4}$ рік $^{-1}$); P_2 – імовірність вибуху ($\sim 5,9 \cdot 10^{-3}$ рік $^{-1}$); P_3 – імовірність теплового ураження ($\sim 2,0 \cdot 10^{-3}$ рік $^{-1}$); P_4 – імовірність загазованості повітря при аварії ($\sim 9,2 \cdot 10^{-3}$ рік $^{-1}$); P_n – імовірність перебування шахтаря у даній точці штольні.

На рис. 2 наведені розраховані за формулою (6) залежності сумарного індивідуального ризику ураження шахтаря від відстані l при вибуху метаноповітряної суміші і часу експозиції 10 хв. після аварійного вибуху. Графік показує, що зона санітарного ураження (із стандартним припустимим ризиком ураження від $1,0 \cdot 10^{-4}$ і менше) починається приблизно з 65 м.

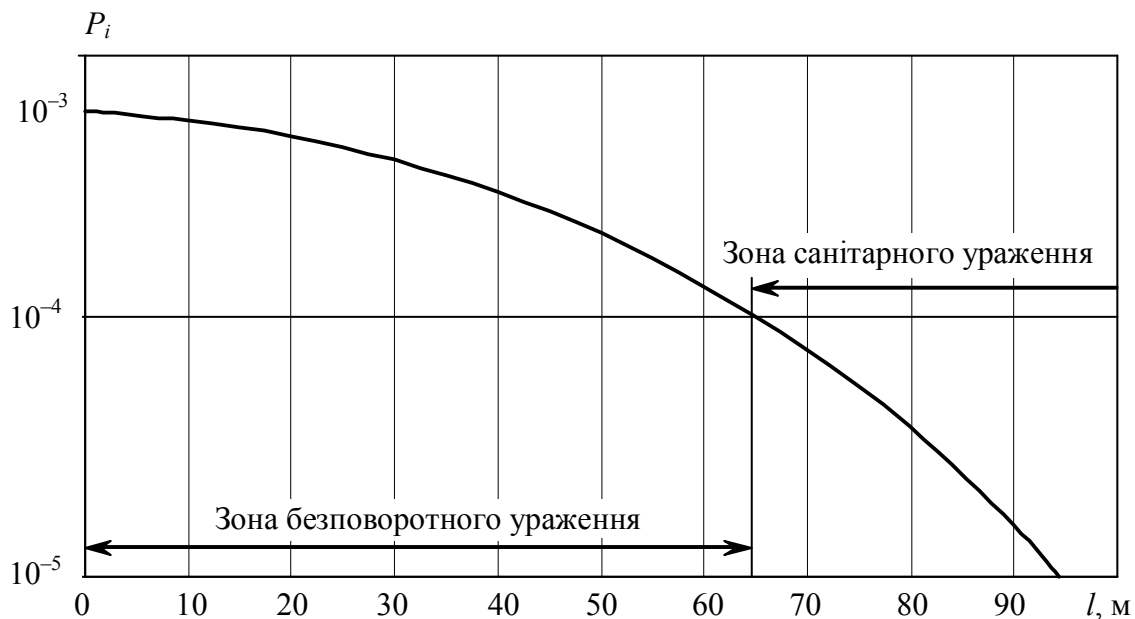


Рис. 2. Сумарний індивідуальний ризик ураження шахтаря залежно від місця вибуху метаноповітряної суміші у штольні

Сьогодні на міжнародному рівні ризик розглядається як сполучення ймовірності виникнення небажаної події та розмірів завданого збитку. Що стосується випадку, в якому ймовірність належить до одного виду і величини збитку, то ризик дорівнює добутку ймовірності на збиток.

Збитки від аварії у вугільній шахті можна виразити формулою [8]

$$З = \sum_{i=1}^L N_i(l) R_i(l) S_i, \quad (7)$$

де L – кількість нещасних випадків; $N_i(l)$ – кількість шахтарів, які знаходяться у зоні безповоротного ураження; $R_i(l)$ – ризик ураження шахтаря від аварії у штольні (див. рис. 2); S_i – середня вартість життя (визначається за нормами страхування життя); l – довжина зони ураження (див. рис. 2).

Середню вартість людського життя S можна визначити за формулою

$$S = \Pi_{\text{втр}} + \Pi_3, \quad (8)$$

де $\Pi_{\text{втр}}$ – недовироблений ВВП, тис. грн.; Π_3 – сума витрат, пов'язаних із загибеллю шахтаря; недовироблений ВВП ($\Pi_{\text{втр}}$) розраховується за формулою

$$\Pi_{\text{втр}} = \text{ВВП} / \text{Ч}_{\text{зе}} - 12 \cdot \text{З}_c (\text{В}_п - \text{В}_c), \quad (9)$$

де ВВП – валовий внутрішній продукт (млн грн.); $\text{Ч}_{\text{зе}}$ – кількість працівників, зайнятих в економіці України; З_c – середня зарплата шахтарів; $\text{В}_п$ – середній пенсійний вік шахтарів; В_c – середній вік загиблого.

Витрати S , пов'язані із загибеллю людини (Π_3), розраховуються за формулою

$$\Pi_3 = S_{\text{пох}} + 12 \cdot \text{З}_c \cdot \text{Ч}_y (18 - \text{В}_{\text{cy}}) / (1 + \text{Ч}_y), \quad (10)$$

де $S_{\text{пох}}$ – середні витрати за виплатою допомоги на поховання загиблих; Ч_y – число утриманців на одного зайнятого в економіці України; В_{cy} – середній вік утриманців.

Результати розрахунку вартості людського життя у вугільній галузі України за формулами (8–10) станом на 01.01.2004 р. наведені у таблиці.

Результати розрахунків вартості життя шахтаря

№ з/п	Найменування показника, одиниця виміру	Позначення	Результат
1.	Внутрішній валовий продукт, млн грн.	ВВП	8135,9
2.	Число зайнятих у вугільній галузі України (чисельність шахтарів), тис. осіб	Ч _{зе}	500,0
3.	Середня зарплата по вугільній галузі, грн.	З _с	868,9
4.	Середній пенсійний вік шахтаря, років	В _п	45,0
5.	Середній вік загиблого, років	В _с	38,49
6.	Недовироблений ВВП, тис. грн.	П _{втр}	23,44
7.	Середні витрати за виплатами допомоги на поховання, грн.	S _{пох}	837,0
8.	Число утриманців на одного зайнятого у економіці, осіб	Ч _у	0,67
9.	Середній вік утриманців, років	В _{су}	12
10.	Витрати, пов'язані із загибеллю людини, тис. грн.	П _з	25,94
11.	Середня вартість людського життя, тис. грн.	S	49,38

Примітки. Пункти 1, 2, 3, 8 – дані Держкомстату України; 4 – прийнято, виходячи з необхідного стажу у вугільній галузі; 5, 9 – розрахунок виконано МакНДІ виходячи з даних, отриманих з актів розслідування аварій на вугільних шахтах за 2004 р.; 10 – у розрахунок прийняті особи, не старші 23 років; 7 – відповідно до законодавства України.

Висновки. Аналіз аварій і пов'язаного з ними виробничого травматизму показує необхідність подальшого вивчення джерел і причин аварійності та умов виникнення надзвичайних ситуацій у вугільній галузі України з метою розроблення практичних заходів щодо їх усунення.

На підставі виконаних розрахунків можна зробити висновок, що вартість людського життя залежить у першу чергу від добробуту нації, сімейного стану загиблого і фінансового стану організації, в якій працював робітник. В Україні науковий напрям страхування від нещасних випадків на виробництві тільки починає розвиватися, але процес його становлення є незворотним, оскільки лише за допомогою розглянутої методології можна адекватно оцінити збитки від техногенних та інших аварій у вугільній шахті, у тому числі від можливих соціальних катастроф, точно врахувати матеріальну сторону пропонуваніх наукових і технічних рішень, тобто по суті оптимізувати планування шляхом мінімізації витрат і зняття суспільної напруги.

1. Азаров С. І., Святун О. В. Аварійність і травматизм у вугільних шахтах України // Національна безпека і оборона. – № 8, 2003. – С. 13–15.

2. Азаров С. І., Святун О. В. Анализ несчастных случаев на угольных шахтах Украины // Гігієна праці. – Зб. наук. праць. – К.: 2003. – С. 831–838.

3. Азаров С. І., Сорокин Г. А. Сравнительный анализ аварий и травматизма на шахтах Украины и России // Уголь Украины. – 2004. – С. 29–30.

4. *Русак О. Н., Малаян К. Р., Занько Н. Г.* Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пос. / Под ред. О. Н. Русака. – С.-Пб., 2000. – 180 с.
5. *Откидач В. В., Темнохуд В. А., Несторенко А. Н.* Вероятностный подход к оценке производственного травматизма // Наука–практика ДонГТУ. – 1998. – № 11. – С. 43–45.
6. *Азаров С. И.* Оценка опасности сочетанного действия техногенных факторов при авариях // Гігієна праці: Зб. наук. праць ІГП. – К., 2000. – №31. – С. 110–114.
7. *Азаров С. И.* Оценка поражающих факторов при аварийном взрыве в шахте // Уголь Украины. – 2001. – № 6. – С. 31–33.
8. *Азаров С. И.* Оценка страховой ставки при аварии в угольной шахте // Уголь Украины. – 2001. – № 10. – С. 46–47.
9. *Азаров С. И., Сорокин Г. А.* Чисельний розрахунок області вибуху метану в гірничій виробці шахти // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – Зб. наук. праць. – К., 2004. – Вип. 10. – С. 142–146.
10. *Азаров С. И., Сорокин Г. А.* Моделирование параметров аварийного взрыва метана в шахте // Уголь Украины. – 2004. – № 6. – С. 44–46.
11. *Азаров С. И.* Анализ риска при пожаре в угольной шахте // Уголь Украины. – 2001. – № 2–3. – С. 43–45.
12. *Азаров С. И., Азарова О. В., Сорокин Г. А.* Дослідження процесу виділення канцерогенних речовин при горінні вугілля // Вісник НТУУ «КПІ». Сер. «Гірництво». – Зб. наук. праць. – К., 2006. – Вип. 13. – С. 120–124.
13. *Азаров С. И., Перимов Р. Р.* Оценка вредности дыма при подземном пожаре // Уголь Украины. – 2005. – № 1. – С. 37–41.
14. *Азаров С. И., Святун О. В.* Анализ условной вероятности возникновения производственных травм при авариях // Гігієна праці. – Зб. наук. праць ІГП. – К., 2004. – № 35. – С. 129–138.