

УДК 338.24:622.33+005.4

## ОЦІНКА ВЕЛИЧИНИ ВІДВЕРНЕНОГО ЗБИТКУ ВНАСЛІДОК ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОТИАВАРІЙНИХ ЗАХОДІВ

*О. Г. Вагонова, д. е. н., професор, ДВНЗ «Національний гірничий університет»,  
Л. В. Касьяненко, асистент, ДВНЗ «Національний гірничий університет», OIA\_NGU@mail.ru*

Розглянуто методологічні підходи до визначення величини відверненого збитку при впровадженні заходів, спрямованих на попередження аварій на вугільних шахтах. Запропонована методика визначення величини відверненого збитку при впровадженні заходів з попередження екзогенних пожеж.

**Ключові слова:** витрати, аварії, екзогенні пожежі, вугільні шахти, прогнозування, моделювання, інвестиції.

**Постановка проблеми.** В порівнянні з іншими гірничо-геологічними умовами вугільних родовищ України є одними із найбільш складних. Для них характерні значна глибина розробки, незначна потужність пластів, висока газовість родовищ, нестійкі породи, значний гірський тиск, вибухонебезпечність пилу, значна обводненість родовищ, незначна фільтраційна проникність порід, що ускладнює можливість завчасної дегазації родовищ, тощо. Все це, наряду з інтенсифікацією процесів вуглевидобутку та залученням до видобутку покладів на більших глибинах і більш складних умовах, обумовлює високий рівень аварійності, травматизму та профзахворювань в галузі. Тільки аварій на вугільних шахтах України відбувається щорічно в середньому більше 100, основними з яких є: підземні пожежі, обвалення порід, вибухи газу і вугільного пилу, раптові викиди вугілля і газу, гірські удари. Ці аварії супроводжуються гибеллю і травмуванням гірників, а лише прямі матеріальні збитки, пов'язані з ними, щорічно перевищують 70 млн. грн., що призводить до суттєвого зростання собівартості вугілля.

При визначенні ефективності інвестицій в заходи, спрямовані на попередження аварій, однією із найбільш складних задач є визначення величини відверненого збитку, внаслідок проведення протиаварійних заходів. Єдиного підходу до визначення величини цих збитків, нині не існує.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Виникнення аварій і аварійних ситуацій, як і нещасних випадків, які спричиняють травми, носить імовірний характер. Тому при визначенні величини прогнозованого

збитку від аварій необхідно враховувати як можливі очікувані економічні збитки при виникненні певного виду аварій  $Z(A_i)$ , так і імовірність їх виникнення  $p_i$ . У цьому випадку максимальна величина відверненого збитку внаслідок впровадження заходу, що виключає можливість виникнення *i-go* виду аварії на шахті, має вигляд [33]

$$Z_{\text{аві}} = p_i Z(A_i). \quad (1)$$

У зв'язку з тим, що такі види аварій як вибухи газу та пилу, раптові викиди, пожежі знищують або ушкоджують матеріальні цінності, призводять до загибелі та травмування людей, спричиняють тривалі порушення виробничого процесу очікувані економічні збитки  $Z(A_i)$  складаються з прямих збитків, витрат на ремонт і відновлення об'єктів, витрат, пов'язаних з порушенням виробничо-господарської діяльності шахти, матеріального збитку від травматизму за весь період виплат відповідно до чинного законодавства.

Зважаючи на те, що при визначенні ефективності інвестицій заходів, спрямованих на попередження аварій, від того, настільки вірно здійснено прогноз очікуваних економічних збитків  $Z(A_i)$  та вірогідність виникнення аварії, залежить економічний ефект даного заходу, отримання достовірних прогнозних даних є найбільш важливим і в той же час найбільш складним етапом розрахунків.

Складність прогнозування економічних збитків полягає в тому, що кожна аварія, що виникла на шахті, приносить соціально-економічний збиток, що диференціюється за видом аварії, причинами аварії, ная-

вністю пожежо- або вибухонебезпечних речовин та матеріалів, способами ліквідації аварій, місцем та часом виникнення аварії, видом та часом експлуатації обладнання, підготовленістю працівників шахт та персоналу аварійно-рятувальних підрозділів тощо.

Нині, як правило, прогнозування економічних збитків здійснюють шляхом вивчення наявних статистичних даних про економічні наслідки різного виду аварій та усереднення їх даних за групами шахт, в залежності від гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов [1–4].

Систематичний аналіз матеріального збитку від великих аварій, до ліквідації яких залучалися спеціалізовані аварійно-рятувальні підрозділи, здійснює Державна воєнізована гірничорятувальна служба Міненерговугілля України (ДВГРС). Відомості про них наводяться в чинній звітності ДВГРС, наприклад в [5].

Щодо визначення імовірності виникнення певного виду аварій  $p_i$ , то слід відмітити те, що, незважаючи на значну увагу яку останнім часом приділяють питанням визначення ризику виникнення різних небезпечних подій, та розмаїтті підходів до її визначення, донині відсутні прості та надійні методи її оцінки, які б дозволяли менеджменту шахт здійснювати прогнозування величини відверненого збитку з достатньою надійністю прогнозних даних.

Аналіз літературних джерел з питань безпеки техногенних об'єктів [6,7] та досліджень в сфері управління охороною праці [3,4,8] показує, що існуючі підходи до визначення імовірності виникнення аварій в цілому зводяться або до визначення прогнозних показників шляхом вивчення та екстраполяції на майбутній період часу наявних статистичних даних про аварії різного роду, або шляхом побудови логіко-ймовірнісних моделей виникнення і розвитку аварій та подальшим поелементним розрахунком з врахуванням імовірності виникнення окремих подій.

В найбільш простому випадку імовірність виникнення аварії певного типу визначається шляхом вивчення наявних статистичних даних про такі аварії за певний період

спостережень та екстраполяції цих даних на майбутній період часу. Визначена за такого підходу імовірність виникнення певного виду аварій  $p_i$  не враховує гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов конкретного вугледобувного підприємства, і крім того такий підхід не дає однозначної відповіді на те, як зміниться імовірність події при впровадженні того, чи іншого заходу спрямованого на попередження аварій певного виду.

Більш прийнятним є моделювання за якого імовірність виникнення певного виду аварій  $p_i$  виступає як функція ряду факторів, які характеризують гірничо-геологічні і гірничотехнічні умови підприємства [4]

$$p_i = f(x_1; x_2; \dots; x_n). \quad (2)$$

До таких факторів відносяться: газівість, річний видобуток вугілля, глибина розробки, кут нахилу та середня потужність пластів тощо.

Для побудови таких моделей необхідні великі масиви даних по шахтах та по видам аварій. Враховуючи, що окремі види аварій є досить рідкими подіями, отримані результати такого моделювання мають незначну надійність.

Так, за результатами моделювання, виконаного шляхом статистичної обробки даних за екзогенними пожежами за десять років [4], достатньо тісний зв'язок між імовірністю виникнення екзогенної пожежі і факторами, які характеризують гірничо-геологічні і гірничотехнічні умови підприємства, виявлено тільки з газівістю шахт, і відносно слабкий зв'язок з кутом падіння пластів та глибиною розробки. Враховуючи це, по аналогії з поділом шахт за газівістю при визначенні прогнозного значення збитку від екзогенних пожеж при визначенні ймовірності виникнення екзогенних пожеж усі шахти доцільно поділити на три групи: 1– негазові шахти та шахти I-ї категорії; 2 – шахти II-ї та III-ї категорії; 3– надкатегорні та небезпечні за раптовими викидами. Імовірність виникнення екзогенних пожеж на шахті, що належить до певної групи, в такому разі розраховується за формулою

$$p_i^j = \sum_{i=1}^n \frac{N_{ек.n.i}^j}{N_{у.і}^j}, \quad (3)$$

де  $N_{ек.н.і}^j$  – кількість екзогенних пожеж в  $j$ -й групі шахт в  $i$ -ому році,  $N_{ш.і}^j$  – кількість шахт  $j$ -ї групи в  $i$ -ому році;  $n$  – кількість років, за якими зібрані статистичні дані.

Розраховане за наявними статистичними даними [5] значення імовірності виникнення екзогенної пожежі на шахтах різних категорій наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Імовірність виникнення екзогенної пожежі на шахті

Категорія шахти за метаном	Імовірність пожежі $p_i^j$
Негазові шахти та шахти I-ї категорії	0,057
Шахти II-ї та III-ї категорії	0,066
Надкатегорні та небезпечні за раптовими викидами	0,081

Групування шахт за газовістю дозволяє дещо підвищити достовірність прогнозування імовірності виникнення екзогенної пожежі на шахті, але і в цьому випадку не враховується цілий ряд факторів притаманних конкретному гірничому підприємству.

**Формулювання мети статті.** Мета статті – вдосконалити методологічні підходи до визначення величини відверненого збитку при впровадженні заходів спрямованих на попередження аварій на вугільних шахтах

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Збитки від аварій, наведені в [5], не враховують соціальних витрат, пов'язаних з аварією, оскільки такі витрати здійснюються в основному за рахунок фондів. В той же час в окремих випадках соціальні витрати суттєво перевищують усі інші складові витрат. Слід відмітити також те, що збитки від аварій, наведені в матеріалах ДВГРС, визначені лише з врахуванням витрат шахти та ДВГРС на ліквідацію аварії та матеріальних втрат шахти під час аварії, у тому числі від припинення видобутку вугілля, пошкодження обладнання, гірничих виробок тощо. При визначенні наведеної в [5] величини матеріальних втрат шахти не враховані витрати на після аварійне відновлення шахти, а втрати від припинення видобутку вугілля розраховані тільки на період ліквідації аварії. Тому фактична величина збитків від аварій, навіть без врахування соціальної складової, суттєво перевищує наведені в [5] значення.

Враховуючи викладене, при прогнозуванні очікуваних збитків від аварій нами запропоновано керуватися наступними методичними положеннями:

– величина прогнозованого збитку повинна бути диференційована в залежності від виду аварій та рівня суб'єкта прогнозування (підприємство, галузь, держава);

– в якості базового прогнозованого значення величина збитку вугільного підприємства від певного виду аварій може бути прийняте середньостатистичне значення збитків за час ліквідації аварії визначене за результатами аналізу аварій, виконаного ДВГРС;

– розрахункове значення величини прогнозованого збитку вугільного підприємства повинне враховувати його базове значення, скориговане в залежності від гірничо-геологічних (газовість шахти, вибухонебезпечні властивості пилу, схильність вугілля до самозаймання, потужність пластів, обводненість тощо) та гірничотехнічних умов (обсяги видобутку, навантаження на лави, темпи проведення гірничих виробок, вартість обладнання, насиченість засобами пожежогасіння тощо);

– корекція величини прогнозованого збитку повинна здійснюватись у випадку встановлення залежності між величиною фактичних збитків та чинниками, які характеризують гірничо-геологічні та гірничотехнічні умови на шахті;

– розрахункове значення величини прогнозованого суспільного збитку від аварії повинне враховувати прогнозований збиток вугільного підприємства, скоригований з врахуванням соціальних витрат, витрат держави на утримання аварійно-рятувальних формувань, наукових, проектних та інших установ, які залучаються до ліквідації аварій та їх наслідків, витрат на

післяаварійне відновлення підприємства, витрат з місцевих бюджетів, а також моральних збитків заподіяних суспільству внаслідок аварії;

– прогнозна соціальна складова збитку від аварії повинні визначатися шляхом поділу між аваріями середньорічного значення загальної величини соціального збитку від усіх аварій пропорційно відносній чисельності потерпілих від цих аварій.

Максимальна величина відверненого збитку (1) досягається в тому випадку коли внаслідок впровадження заходу повністю виключається можливість виникнення *i*-го виду аварії на шахті. В реальності ні один захід, яким би він коштовним не був, не в змозі повністю виключається можливість виникнення аварії. Тому при визначенні ефективності заходів, спрямованих на попередження аварій, мова може йти лише про зменшення імовірності їх виникнення. В цьому випадку величина відверненого збитку внаслідок впровадження заходу  $\zeta_{\text{vai}}$  визначається як

$$Z_{\text{vai}} = (p_i - p_i^b) Z(A_i), \quad (4)$$

де  $p_i, p_i^b$  - вірогідність виникнення аварії на об'єкті *i*-го типу, відповідно, до впровадження і після впровадження заходів.  $\zeta(A)$  – величина очікуваного збитку від аварій *i*-го типу.

Позначимо різницю вірогідності як

$$\Delta p_i = p_i - p_i^b \quad (5)$$

і представимо вираз (1) в виді

$$Z_{\text{vai}} = \Delta p_i Z(A_i). \quad (6)$$

З (6) випливає, що для визначення величини відверненого збитку необхідно мати достовірну інформацію щодо зниження вірогідності виникнення аварії на об'єкті, при цьому обмеженість обсягів статистичної інформації про аварії, що впливає на достовірність прогнозування імовірності виникнення аварій певного виду на шахті, буде суттєво менше впливати на визначену величину відверненого збитку. В свою чергу для визначення величини  $\Delta p_i$  може бути здійснено з використанням відомих методів мате-

матичного моделювання та фізичних моделей виникнення і розвитку аварії.

Вугільна шахта з точки зору моделювання аварійних процесів є структурно-складною системою, яку при математичному описі складно звести до простих послідовних, паралельних або деревовидних структур [7]. У таких системах аварії мають логіко-вірогіднісну природу.

На рис. 1 наведена можлива схема виникнення і розвитку екзогенної пожежі в шахті. Безпосередньою причиною пожежі, наприклад при роботі вугледобувного обладнання, можуть бути: коротке замикання в кабелі чи в обмотках електродвигунів; загоряння в пусковому електроустаткуванні і контролюючих апаратах і пристосуваннях, що виникає із-за короткого замикання або нагріву; тертя робочих органів комбайна об тверді породи (пісковик, колчедан і т. д.); перегрів обладнання внаслідок перевантаження та неспрацювання захисту.

Вихід розжарених продуктів горіння з обладнання призводить до загорання вугілля, деревини та метану в обрушеному просторі. Процес горіння розповсюджується на очисну дільницю, а в наступному, при несвоєчасній локалізації та ліквідації осередку горіння, і на усю шахту. Вірогідність виникнення і розвитку екзогенної пожежі в даному випадку залежить від вірогідності виникнення трьох незалежних подій: короткого замикання, перегріву обладнання та перегріву в зоні різання внаслідок тертя робочих органів комбайна об тверді породи. Впровадженням певних заходів можна з розглянутих причин екзогенної пожежі може бути усунена чи зменшена її вірогідність. Усунення однієї з причин екзогенної пожежі зменшує в цілому вірогідність її виникнення на об'єкті  $\Delta p_i$ .

Для визначення  $\Delta p_i$  представимо шахту, як сукупність *n* об'єктів, наприклад видобувних та підготовчих дільниць. Позначимо ймовірність виникнення екзогенної пожежі на будь-якому з об'єктів як  $p_j$ .



Рис. 1. Схема виникнення і розвитку екзогенної пожежі в шахті

Оскільки виникнення пожежі на одній із дільниць призводить до зупинки усєї шахти, а ймовірність одночасного виникнення пожежі на кількох дільницях близька до нуля, то ймовірність виникнення пожежі на шахті в цьому випадку може бути представлена в виді [7]

$$p_i = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - p_j). \quad (7)$$

Предствимо вираз (7) у вигляді

$$p_i = 1 - (1 - p_{n-1})(1 - p_j), \quad (8)$$

де  $p_{n-1}$ ,  $p_j$  – відповідно, ймовірність виникнення екзогенної пожежі на шахті, визначена без врахування  $j$ -ї дільниці, та ймовірність пожежі на  $j$ -й дільниці.

У випадку, коли впровадження заходу знижує ймовірність виникнення пожежі тільки на  $j$ -й дільниці, а на решті об'єктів шахти вона залишається без змін вираз (8) можна представити у вигляді

$$p_i^6 = 1 - (1 - p_{n-1})(1 - p_j^6), \quad (9)$$

де  $p_j^e$  – ймовірність виникнення екзогенної пожежі на  $j$ -й ділянці після впровадження заходу з її попередження.

Різниця вірогідностей (5) у цьому разі складає

$$\Delta p_i = (1 - p_{n-1})(p_j - p_j^e). \quad (10)$$

Оскільки величина  $p_{n-1} \ll 1$ , то вираз (10) (з похибкою не більше 8%) можна представити як

$$\Delta p_i = p_j - p_j^e. \quad (11)$$

В свою чергу ймовірність виникнення екзогенної пожежі на  $j$ -й ділянці до і після впровадження заходу, наприклад зрошення зони різання комбайну водою під високим тиском, що виключає можливість загорання внаслідок тертя робочих органів комбайна об тверді породи, зважаючи на незалежність появи подій визначається як

$$p_j = 1 - (1 - p_1)(1 - p_2)(1 - p_3), \quad (12)$$

$$p_j^e = 1 - (1 - p_2)(1 - p_3), \quad (13)$$

де  $p_1, p_2, p_3$  – ймовірність виникнення екзогенної пожежі, відповідно, внаслідок тертя робочих органів комбайна об тверді породи, короткого замикання чи перегріву обладнання.

Зважаючи на те, що при невеликій кількості подій та незначній величині ймовірності їх виникнення, операції логічного сумування можна замінити звичайним арифметичним сумуванням [7], вирази (12) та (13) можна записати як

$$p_j = p_1 + p_2 + p_3, \quad (14)$$

$$p_j^e = p_2 + p_3. \quad (15)$$

В такому випадку

$$\Delta p_i = p_j - p_j^e = p_1 \quad (16)$$

Таким чином, досить складна процедура визначення зниження вірогідності виникнення екзогенної пожежі на шахті може бути зведена до оцінки вірогідності події, яка є причиною виникнення пожежі й усувається впровадженням відповідного заходу. При визначенні величини вірогідності конкретної події (короткого замикання, перегріву

тощо) можна використати існуючі результати досліджень в галузі вибухопожежобезпеки рудникового обладнання та результати статистичної обробки даних про аварії та причини їх виникнення (напр., [6,7,9]).

**Висновки.** Проведене дослідження дозволяє зробити висновки:

1. Виникнення аварій і аварійних ситуацій, рівно, як і нещасних випадків, носить імовірний характер. При визначенні величини прогнозованого збитку необхідно враховувати як можливі очікувані збитки при виникненні певного виду аварій, так і ймовірнісну природу їх виникнення. Прогнозна оцінка матеріального збитку внаслідок аварій на шахтах повинна диференціюватися за видом аварії, місцем та часом її виникнення, станом та часом експлуатації обладнання, підготовленістю працівників до ліквідації аварій, оснащеністю та станом обладнання, призначеного для її ліквідації.

2. В якості базового прогнозованого значення величини збитку від певного виду аварії може бути прийняте середньостатистичне значення збитків за час ліквідації аварії, визначене за результатами аналізу аварій, виконаного ДВГРС. Розрахункове значення величини прогнозованого збитку враховує його базове значення, скориговане у залежності від гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов. Корекція здійснюється у випадку встановлення залежності між величиною фактичних збитків та чинниками, які характеризують гірничо-геологічні та гірничотехнічні умови на шахті.

3. Розрахункове значення величини прогнозованого суспільного збитку від аварії враховує прогнозований збиток вугільного підприємства, скоригований з урахуванням витрат фондів, витрат, що фінансуються з державного та місцевих бюджетів, а також моральних збитків, заподіяних суспільству через аварії.

4. Величина відверненого збитку враховує очікувані економічні збитки при виникненні певного виду аварій та ймовірність їх виникнення. Ймовірність виникнення аварії певного типу визначається шляхом вивчення наявних статистичних даних про такі аварії та екстраполяції цих даних на майбутній період часу. Однак, за такого підходу

не враховуються гірничо-геологічні і гірничотехнічні умови конкретного вугледобувного підприємства, і не визначено, як зміниться імовірність події при впровадженні заходів, спрямованих на попередження аварій певного виду.

5. Найбільш прийнятним є моделювання, за яким імовірність виникнення певного виду аварії є функцією ряду факторів, що характеризують гірничо-геологічні і гірничотехнічні умови підприємства. При цьому процедура визначення зменшення вірогідності аварії може бути зведена до оцінки вірогідності події, яка є причиною її виникнення і усувається при впровадженні відповідного заходу.

### Література

1. Вагонова А. Г. К вопросу прогнозирования экономических последствий аварийности и травматизма / А. Г. Вагонова // 36. наук. пр. НГУ. – Дніпропетровськ: НГУ – 2007. – № 27. – С. 216–233.
2. Амоша А. И. Методические подходы к оценке эффективности противоаварийных мероприятий / А. И. Амоша, В. Е. Нейенбург, Ю. З. Драчук и др. // Проблемы повышения эффективности функци-

онирования предприятий различных форм собственности: сб. науч. тр. – Донецк: ИЭП НАН Украины, 2002. – С.13–26.

3. Драчук Ю. З. Эффективность инноваций и безопасность производства: монография / Ю. З. Драчук. – Донецк: ИЭП НАН Украины, 2006. – 272 с.

4. Кучеба П. К. Организационно-экономический механизм управления охраной труда на шахтах / П. К. Кучеба. – Донецк: ИЭП НАН Украины, 1997. – 288 с.

5. Аварийность на угольных шахтах Украины в 2001– 2008 гг.: анализ аварий и горноспасательных работ на шахтах, обслуживаемых ГВГСС Минуглепрома Украины за 2001– 2008 гг. – Д.: ГВГСС Минуглепрома Украины, 2009. – 271 с.

6. Ткачук С. П. Взрывопожаробезопасность горного оборудования / С. П. Ткачук, В. П. Колосюк, С. А. Ихно, – К.: Основа, 2000. – 695 с.

7. Управління техногенною безпекою об'єктів підвищеної небезпеки / В. Ф. Стоєцький, Л. В. Дранишников, А. Д. Єсипенко та ін. – Тернопіль: Видавництво Астон, 2005. – 408 с.

8. Мартякова Е. В. Охрана труда и экономика предприятия / Е. В. Мартякова // НАН Украины. Ин-т эконом. пром-ти. – Донецк: 2000. – 228 с.

9. Левкин Н. Б. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины / Н. Б. Левкин. – Макеевка: МакНИИ, 2002. – 392 с.

Рассмотрены методологические подходы к определению величины предотвращенного ущерба при внедрении мероприятий, направленных на предупреждение аварий на угольных шахтах. Предложена методика определения величины предотвращенного ущерба при внедрении мероприятий по предупреждению экзогенных пожаров.

**Ключевые слова:** экономическая оценка, расходы, условия труда, угольные шахты, классификация, инвестиции

Different methodological approaches to calculation of avoided expenses through introduction of failure preventive measures at coal mines are considered. The method of determining the amount of avoided expenses through introduction of exogenous fires preventive measures is offered.

**Keywords:** expenses, failures, exogenous fires, coal mines, forecast, modeling, investments.

*Рекомендовано до друку д. е. н., проф. Амошею О. І.*