

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ РИЗИКУ ТРАВМУВАННЯ

С. І. Азаров, канд. техн. наук, Р. Р. Перімов, інж. (ІЯД НАН України)

Описана математическая модель оценки риска травмирования горнорабочих. Изложена новая методика определения условной вероятности поражения.

Аналіз обставин і причин травматизму на вугільних шахтах України показує [1], що в більшості випадків (до 75 %) травмування гірників викликане організаційними причинами:

- похибками в плануванні забезпечення безпеки операцій, що виконуються;
- відсутністю узгодження в діях між гірниками під час виконання спільних робіт;
- недостатнім контролем керівника за дотриманням гірниками технологічної дисципліни;
- недооцінкою небезпеки;
- невиконанням вимог правил безпеки та охорони праці, закладених в посадові інструкції;
- свідомим порушенням гірниками трудової та технологічної дисципліни.

Причинами травмування можуть бути також морально застаріла техніка та обладнання, недосконалість технології та ін.

Розроблені моделі оцінки ризику травмування ґрунтуються на імовірнісному підході з використанням формальної структури прийняття рішень, при якому для оцінки імовірності одержання травми використовується розподіл Пуансона. Однак такі моделі мають ряд недоліків:

можливі помилки в інтерпретації розглянутих аварійних ситуацій;
розглядаються лише дві категорії загроз: вихідна подія, що являє собою причину аварії, і вихідна подія, що приводить до потрапляння у небезпечну зону;

не розглядаються питання поділу на категорії ризику травмування людини при різних сценаріях розвитку аварій.

Застосування таких моделей не забезпечує достовірного і всебічного аналізу ризику травмування людини. Тому питання розроблення нових підходів до моделювання процесу виникнення та розвитку небезпечних і шкідливих факторів аварії у вугільній шахті є актуальним.

Мета цієї роботи – моделювання умовної ймовірності ураження гірників при аварії у вугільній шахті.

Для попередження та зменшення кількості нещасних випадків (НВ) серед гірників необхідно всебічно проаналізувати причинний ланцюг виникнення

небезпечних ситуацій. Небезпека може проявитись у результаті несанкціонованого або некерованого впливу уражаючих факторів аварії на організм людини. Виникнення НВ є наслідком розвитку причинного ланцюга уявлень, ініціаторами та складовими частинами якого є уражаючі фактори аварії–небезпечна обставина–небезпечні дії, небезпечні умови–небезпечна зона ураження–небезпечна ситуація–НВ (виробнича травма, професійна хвороба).

Уражаючий фактор аварії – це виробничий фактор, дія якого на гірника може призвести до виробничої травми або захворювання [4, 5].

Небезпечна обставина – це аварійний процес, що характеризується можливістю небезпечних впливів або небажаним випадковим звільненням накопиченої енергії (механічної, теплової, хімічної, енергії вибуху, електричної, радіаційної та ін.).

Небезпечні умови визначаються рівнем організації робіт, наявністю порушень трудової та технологічної дисципліни (людський фактор), надійністю систем життєзабезпечення, а також психофізичним станом гірників та рівнем їх професійної підготовки.

Небезпечна дія – це дія гірника, що суперечить науково обґрунтованим нормам і правилам професійної поведінки при виконанні робіт у вибої.

Небезпечна зона ураження – це простір, в якому можливий вплив уражаючого фактора аварії на гірника.

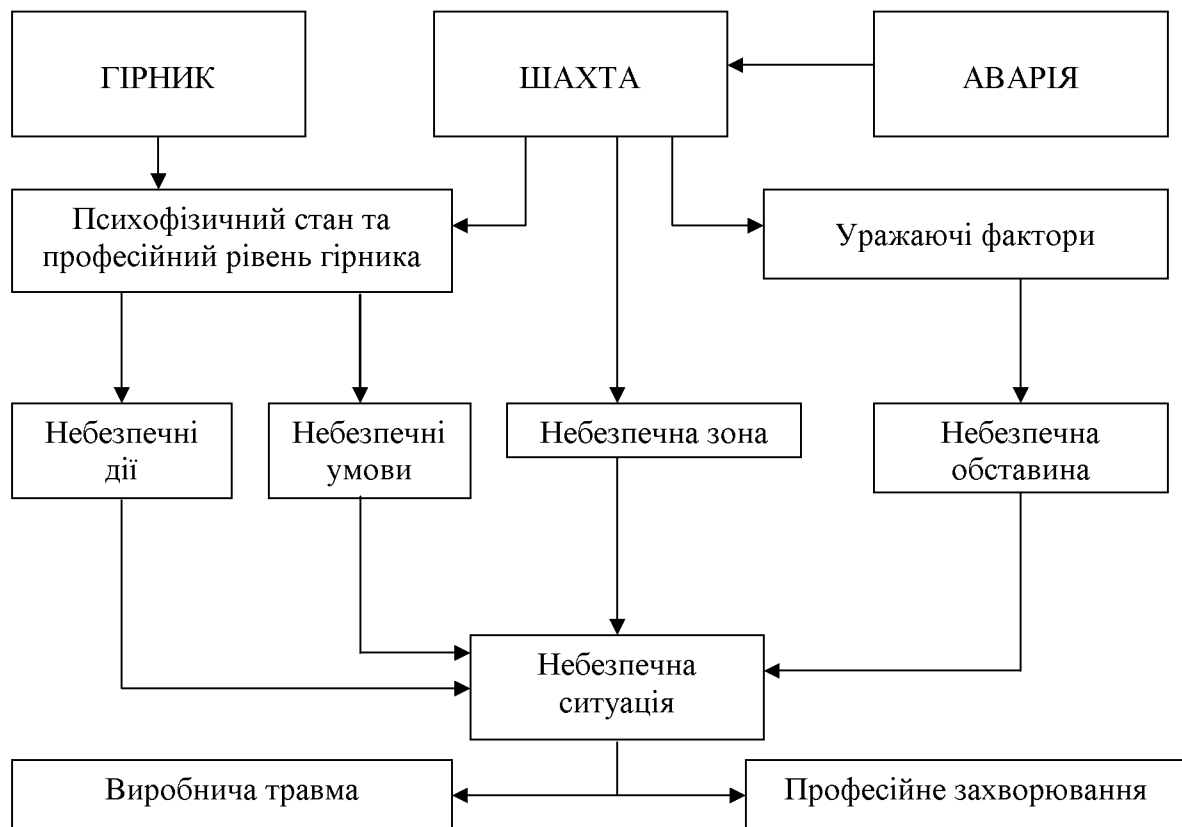
Небезпечна ситуація – це поєднання небезпечних умов з обставинами, в які може потрапити гірник після допущених небезпечних дій, коли існує реальна загроза його здоров'ю.

Здоров'я – це стан організму та свідомості гірника, який забезпечує його достатню працездатність, нормальну тривалість життя і необхідну її якість.

Нещасний випадок – це несподіване ненавмисне зовнішнє або внутрішнє пошкодження різного ступеня (легке, середнє, тяжке, смертельний випадок, миттєва смерть), що виникає у результаті уражаючого фактора аварії і протидіє нормальному продовженню професійної діяльності гірника.

Виробнича травма – це порушення анатомічної цілісності організму людини внаслідок дії уражаючого фактора аварії.

Взаємозв'язок перелічених елементів структурно-логічної моделі формування нещасного випадку показано на рисунку.



Структурно-логічна модель формування нещасного випадку

Для моделювання умовної ймовірності ураження гірника застосуємо імовірнісний (стохастичний) метод, який дозволяє оцінити ймовірність виникнення і розвитку різних варіантів небезпечних ситуацій. Небезпечні ситуації характеризуються ймовірною частотою виникнення, важкістю і ступенем небезпеки для гірника, часом від моменту виникнення небезпечної обставини до отримання травми, а також імовірністю отримання смертельної травми.

Імовірність виникнення НВ дорівнює ймовірності поєднання (суми) усіх можливих перетинів (добутків) множин випадкових подій, причин виникнення уражаючих факторів аварії, небезпечних дій та умов, процесів утворення небезпечних зон ураження та ситуацій [6]:

$$F(\text{НВ}) = F \left[\bigcup_{k=1}^K \bigcup_{n=1}^N \bigcup_{m=1}^M \bigcup_{l=1}^L (\Pi U_k \Omega \text{НДУ}_n \Omega \text{НЗ}_m \Omega \Pi_l) \right], \quad (1)$$

де K – кількість уражаючих факторів аварії; N – кількість небезпечних дій та умов; M – кількість типів утворення небезпечних зон ураження; L – кількість типів утворення небезпечних ситуацій; \bigcup – спеціальний символ поєднання (суми) нещасних випадків; Ω – спеціальний символ перетинів (добутків) множин випадкових подій; ΠU_k – подія утворення k -ї небезпечної обстановки; НДУ_n – подія проявлення n -х небезпечних дій та умов; НЗ_m – подія утворення m -ї небезпечної зони; Π_l – подія утворення l -ї небезпечної ситуації.

У випадку, коли розглядані події не пов'язані одна з одною, ймовірність виникнення НВ можна обчислити за такою формулою (апроксимація) [7]:

$$F(\text{НВ}) = 1 - F \left[\prod_{k=1}^K \prod_{n=1}^N \prod_{m=1}^M \prod_{l=1}^L 1 - F(\text{П}Y_k) F(\text{НД}Y_n) F(\text{НЗ}_m) F(\text{П}_l) \right]. \quad (2)$$

Утворення уражаючих факторів аварії та виникнення небезпечної обстановки обумовлені сукупною появою випадкової (некерованої) кількості небезпечних та шкідливих факторів аварії з урахуванням параметрів стану навколишнього середовища. Ймовірність утворення k -го уражаючого фактора аварії обчислюємо за формулою

$$F(\text{П}Y_k) = F(\text{НФ}_k) \cdot F(\text{ШФ}_k) \cdot F(\text{НО}_k), \quad (3)$$

де $F(\text{НФ}_k)$ – ймовірність появи k -го небезпечного фактора аварії; $F(\text{ШФ}_k)$ – ймовірність появи k -го шкідливого фактора аварії; $F(\text{НО}_k)$ – ймовірність появи k -ї небезпечної обстановки.

Ймовірність подій утворення небезпечних дій та умов

$$F(\text{НД}Y_n) = F(\text{НД}_n) \cdot F(\text{НУ}_n), \quad (4)$$

де $F(\text{НД}_n)$ – ймовірність утворення n -ї небезпечної дії; $F(\text{НУ}_n)$ – ймовірність утворення n -ї небезпечної умови.

Ймовірність утворення m -го типу небезпечної зони ураження

$$F(\text{НЗ}_m) = F(\text{ЗЕ}_m) \cdot F(\text{МП}_m) \cdot F(\text{Д}_m), \quad (5)$$

де $F(\text{ЗЕ}_m)$ – ймовірність наявності накопиченої енергії m -го типу, достатньої для утворення небезпечного середовища; $F(\text{МП}_m)$ – ймовірність реалізації m -го механізму передачі енергії від джерела накопиченої енергії до навколишнього середовища; $F(\text{Д}_m)$ – ймовірність утворення джерела небезпеки.

Ймовірність реалізації l -ої причини виникнення небезпечної ситуації можна обчислити за формулою

$$F(\text{П}_l) = 1 - \prod_{m=1}^M \prod_{l=1}^L [1 - F(\text{НЗ}_m) F(\text{В}_l)], \quad (6)$$

де $F(\text{НЗ}_m)$ – ймовірність утворення m -ої небезпечної зони ураження з l -ої причини її виникнення; $F(\text{В}_l)$ – ймовірність перебування гірника в осередку ураження з l -ої причини.

Нехай є i конкуруючих незалежних причин появи події НВ. Тоді легко показати справедливність тотожності [7]

$$R(t) = \sum_{i=1}^J R(t)_i = \sum_{i=1}^J \int_0^t \left\{ h(t)_i \prod_{j \neq i} F[(\text{НВ})(\tau)] d\tau \right\}, \quad (7)$$

де $R(t)$ – повний ризик НВ; $R(t)_i$ – ризик виробничого травматизму з i -ї причини аварії; $h(t)_i$ – середня щільність розподілу НВ за час τ з i -ї причини аварії.

З формули (7) випливає, що ризик характеризує вклад певної i -ї причини аварії в формування небезпеки НВ і є безрозмірною величиною, що належить інтервалу $[0-1]$.

Ризик ураження гірника при аварії умовно можна поділити на такі категорії (таблиця):

Категорія	Ризик ураження	Характеристика ризику
0	$R \geq 10^{-7}$	Нульовий ризик НВ
I	$10^{-6} \leq R \leq 10^{-7}$	Прийнятний (допустимий) ризик НВ
II	$10^{-4} \leq R \leq 10^{-5}$	Ризик, що випереджає НВ
III	$10^{-2} \leq R \leq 10^{-3}$	Небезпечний ризик НВ
IV	$R \leq 10^{-1}$	Недопустимий ризик НВ

Запропонована методика визначення ризику травмування дозволить оцінювати аварійні ситуації, пов'язані з ними небезпечні та шкідливі фактори аварії і шляхи їх впливу на гірників. Методика може бути використана для оперативного керування охороною праці та визначення тривалості роботи гірників згідно з вимогами правил техніки безпеки. Простота інженерних розрахунків при моделюванні причин і умов виникнення виробничого травматизму на вугільних шахтах дозволяє використовувати її для оцінювання ризику ураження на інших об'єктах підвищеної небезпеки, для атестування робочих місць за умовами праці та при страхуванні від НВ.

1. *Азаров С. И., Сорокин Г. А.* Сравнительный анализ аварий и травматизма на шахтах Украины и России // Уголь Украины. – 2004. – № 1. – С. 29–30.
2. *Русак О. Н., Малаян К. Р., Занько Н. Г.* Безопасность жизнедеятельности. Учеб. пос. / Под ред. О. Н. Русака. – Санкт-Петербург, 2000. – 180 с.
3. *Оттидач В. В., Темнохуд В. А., Нестеренко А. Н.* Вероятностный подход к оценка производственного травматизма // Наука – практика ДонГТУ. – 1998. – № 11. – С. 43–45.
4. *Азаров С. И.* Анализ риска при пожаре в угольной шахте // Уголь Украины. – 2001. – № 2–3. – С. 43–45.
5. *Азаров С. И.* Оценка поражающих факторов при аварийном взрыве в шахте // Уголь Украины. – 2001. – № 6. – С. 31–33.
6. *Азаров С. И.* Оценка страховой ставки при аварии в угольной шахте // Уголь Украины. – 2001. – № 10. – С. 46–47.
7. *Азаров С. И.* Оценка опасности сочетанного действия техногенных факторов при авариях // Гігієна праці: Зб. наук. праць – К., 2000. – Вип. 31. – С. 110–114.