

ІНДИВІДУАЛЬНИЙ РИЗИК: МОЖЛИВА УНІФІКАЦІЯ ОЦІНКИ**¹Булат А.Ф., ¹Бунько Т.В., ²Яценко І.О., ¹Кокоулін І.Є., ¹Головко С.А.**¹Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, ¹Міністерство енергетики та вугільної промисловості України**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ РИСК: ВОЗМОЖНАЯ УНИФИКАЦИЯ ОЦЕНКИ****¹Булат А.Ф., ¹Бунько Т.В., ²Яценко И.А., ¹Кокоулин И.Е., ¹Головко С.А.**¹Інститут геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, ¹Министерство энергетики и угольной промышленности Украины**INDIVIDUAL RISK: POSSIBLE STANDARDIZATION OF ESTIMATION****¹Bulat A.F., ¹Bunko T.V., ²Yashchenko I.A., ¹Kokoulin I.Ye., ¹Holovko S.A.**¹Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine, ¹Ministry of Power Engineering and Coal Industry of Ukraine

Анотація. Вугільні шахти є небезпечними виробничими об'єктами, які характеризуються наявністю практично всіх існуючих небезпек. Тому ризик, як понятійна категорія, повинен бути однаково зрозумілим усіма фахівцями і уніфікованим для використання в усіх наукових і практичних методах і підходах до безпеки проведення гірничих робіт. Основним чинником ризику є індивідуальний. Індивідуальний ризик багато у чому визначається кваліфікацією і готовністю людини до дій у небезпечній ситуації, її захищеністю. Індивідуальний ризик, як правило, слід визначати не для кожної людини, а для груп людей, що характеризуються приблизно однаковим часом перебування у різних небезпечних зонах і використовують однакові засоби захисту. Основні причини помилок пов'язані зі спробами нормування показників техногенного ризику (в усіх його проявах, від індивідуального до колективного, аерологічного, екологічного тощо) без урахування специфіки джерела небезпеки, конкретизації події, що оцінюється, об'єкту впливу (реципієнта) і території, на яку розповсюджується небезпека і наслідки ризику. Для оцінки ризику багатьма дослідниками пропонується використовувати матрицю ризиків «частота – важкість наслідків», але уніфікованих методів її формування не існує. Пояснюється це тим, що як частота, так і важкість наслідків небезпек, які формують ризик, значною мірою залежать від особливостей конкретного небезпечного виробничого об'єкту і характеристик притаманних йому небезпек. Використання для опису небезпек досить складного математичного апарату теорії імовірності, математичної статистики і теорії випадкових процесів ускладнює і утруднює розуміння процесу оцінки ризиків і потребує розроблення об'єктно-орієнтованих інженерних методів розрахунку складових індивідуального ризику. У статті запропоновано такий метод щодо обчислення, у часі і просторі, розподілу людей по виробках шахтної вентиляційної мережі, що підлягають шкідливому впливу вражаючих чинників екзогенної пожежі з метою оцінки ризику їх аварійної евакуації. Наведено метод конструювання розрахункових формул для обчислення цього показника. Використання запропонованих підходів дозволить більш обґрунтовано здійснювати оцінку індивідуального аварійного ризику гірників.

Ключові слова: індивідуальний ризик, матриця ризиків, екзогенна пожежа, вражаючі чинники, ризик аварійної евакуації людей.

Найсуттєвішим питанням, яке постає нині перед забезпеченням безпеки гірничого виробництва, є зниження ризику ведення гірничих робіт. Вугільні шахти є небезпечними виробничими об'єктами (НВО), які характеризуються наявністю практично всіх існуючих небезпек. Тому ризик, як понятійна категорія, повинен бути однаково зрозумілим усіма фахівцями і уніфікованим для використання в усіх наукових і практичних методах і підходах до безпеки проведення гірничих робіт.

Відносно ризику існує чотири обов'язкових умови:

а) ризик повинен відповідати меті, для досягнення якої на нього погоджуються;

- б) мети цієї неможливо досягти звичайними діями;
- в) ризик не повинен приносити завідомо спричиняти збитки;
- г) об'єктом ризику, як правило, повинні бути матеріальні фактори, а не життя і здоров'я людей.

Ці загальні умови містять декілька протиріч. Вони більшою мірою стосуються виробництва і функціонування підприємств у нормальних умовах і слабо придатні для визначень аварійних ризиків. Тому ризики поділяються на кілька категорій, і понять ризику існує багато [1-3]. Автори намагаються максимально наблизити їх до умов конкретного підприємства, і за рахунок цього визначення стають громіздкими і не підлягають ефективній уніфікації.

Україна, на жаль, немає досі комплексу нормативних документів, що регламентували б визначення, аналіз та курування ризиками НВО у нормальних та аварійних умовах експлуатації. Спроби створення його ще за радянських часів фактично припинилися у 1991 році, і продовжувалися лише у Російській Федерації, де аналогічні документи існують (РД 03-418-01, ГОСТ 12.21.004-91, ГОСТ 12.3.047-98 та інші). Однак їх використання у практиці українського гірничого виробництва неможливе, по-перше, внаслідок того, що це – нормативи, дія яких розповсюджується лише на підприємства Російської Федерації, а по-друге – вугільні підприємства України суттєво відрізняються від російських, що відмічалось нами раніше [4]. Адаптувати іноземне законодавство до вітчизняних умов складно, простіше розробити своє. При цьому постає питання уніфікації взагалі відомих питань і підходів і адаптації їх до українських умов [3]. Питання ускладнилося ще й тим, що, починаючи з 2014 року, головна організація з безпеки праці в Україні – МакНДІ – знаходиться на тимчасово окупованій території (у ДНР), і контакти з її фахівцями щодо питань, які розглядаються, фактично припинено.

Основним чинником ризику є індивідуальний. На жаль, у єдиному діючому в Україні нормативному документі, присвяченому визначенню основних понять з охорони праці [1], його визначення відсутнє. Тому будемо вимушено користуватись формулюванням, запозиченим із російського документу РД 03-418-01: «Індивідуальний ризик – частота ураження окремого індивідуума (людини) у результаті впливу чинників небезпеки, що досліджуються». Тобто індивідуальний ризик може бути виражено відношенням кількості постраждалих людей до загальної кількості ризикуючих за певний період часу. При розрахунку розподілу ризику по території навколо потенційно небезпечного об'єкта індивідуальний ризик визначається потенційним територіальним ризиком (частотою реалізації вражаючих чинників у точці території, що розглядається) та імовірністю знаходження людини у районі можливої дії небезпечних чинників. Індивідуальний ризик багато у чому визначається кваліфікацією і готовністю людини до дій у небезпечній ситуації, її захищеністю. Індивідуальний ризик, як правило, слід визначати не для кожної людини, а для груп людей, що характеризуються приблизно однаковим часом перебування у різних небезпечних зонах і використовують однакові засоби захисту. Рекомендується оцінювати індивідуальний ризик окремо для

персоналу об'єкта і для людей, які знаходяться на ділянках, що до нього прилягають, або, за необхідності, для більш вузьких груп, наприклад, для робітників різних спеціальностей.

Індивідуальний ризик не може бути, як відзначає багато дослідників, «нульовим»; відсутність небезпеки, тим паче на НВО, - категорія з галузі фантастики. Ризик може бути лише «прийнятним»; згідно з РД 03-418-01 це – *(цитуюмо мовою оригіналу – авт.)* «риск, уровень которого допустим и обоснован, исходя из социально-экономических соображений. Риск эксплуатации является приемлемым, если ради выгоды, получаемой от эксплуатации объекта, общество готово пойти на этот риск». Визначення, взагалі, є дещо суперечливим: чи правомірною є загибель людей (хоча б кількох) за умови отримання якогось матеріального прибутку? Дискусії тривають давно [5,6]; можливості кількісної оцінки прийняттого ризику досі не визначено.

Основні причини помилок, пов'язані зі спробами нормування показників техногенного ризику (в усіх його проявах, від індивідуального до колективного, аерологічного, екологічного тощо) без урахування специфіки джерела небезпеки, конкретизації події, що оцінюється, об'єкту впливу (реципієнта) і території, на яку розповсюджується небезпека і наслідки ризику. У багатьох публікаціях, деклараціях промислової безпеки і навіть нормативах, пропонується використовувати у якості критеріїв прийнятності ризику результати (такий підхід присутній навіть у, мабуть, найпрактичнішому нормативі Росії РД 03-418-01), обґрунтовані використанням матриці «частота – важкість наслідків», а також значення частоти реалізації небезпек, колективного, соціального ризику, очікуваної шкоди та інших інтегральних показників. Чи правомірним є такий підхід? Звичайно ж, ні. Стандартна матриця ризику є лише інструментом, ґрунтуючись на правилах побудови якого, можна створити практичний посібник для реалізації питань керування ризиком [7].

Використання матриці ризику ґрунтується на трьох основоположних принципах:

а) вона характеризує взаємовідношення імовірності виникнення події та її шкідливих наслідків. Тобто, за визначенням, елемент її - це число з невизначеною розмірністю, для розрахунку якого необхідно чітко окреслити можливості отримання достовірних складових. І мати інструмент їх оцінювання. На жаль, такого, придатного для практичних потреб, інструменту нині не існує [8]. Де в чому спроможна допомогти теорія ігор [9], однак вона орієнтується лише на сприйняття процесу обробки статистичної інформації людиною, і ніяк не враховує спільне функціонування елементів системи «людина – техніка – навколишнє середовище». До того ж відсутні методи використання матричного аналізу у питаннях теорії ризику – матриця не є класичною, і для її аналізу мало придатні методи математичного аналізу;

б) відсутність математичного апарату формування матриці ризиків спрямовує зусилля дослідників на створення більш універсальних, але не вільних від використання методів нечіткої логіки і недостовірної і неповної інформації, а

саме; імітаційного, ситуаційного і експертного моделювання. У останньому випадку це – оцінювання ризику колективом експертів (для створення цілком машинної експертної системи немає поки достатніх напрацювань, як немає (мають, і не може бути) методів уніфікації експертним чином отриманої не тільки кількісної, а і якісної інформації). Експерти, спираючись на знання конкретного об'єкту і відомості (що важко формалізуються) з суміжних галузей загальнолюдського знання, можуть дати висновок щодо ризику для включення (кількісного) своїх висновків до матриці ризиків конкретного гірничого підприємства;

в) ми навмисне підкреслили конкретність висновків не тільки математичних і імітаційних, але й ситуаційних і експертних. Матриця ризиків не може бути універсальною. Для кожного гірничого підприємства вона будується хоча і за стандартними принципами, але різниться не тільки кількісно (за конкретними значеннями чинників ризику), але й якісно (за ступенем конкретизації показників ризику, тобто кількість строк і стовпчиків матриці різниться). Спроби уніфікації, ігноруючи конкретність деяких чинників, притаманну об'єкту, може привести до невірних (навіть абсурдних) висновків щодо ступеню безпеки, оскільки висновки експертів суттєво залежать від обсягів виробництва, розмірів об'єкту і території, на яких розташовані об'єкти небезпеки, особливостей виникнення і протікання аварійної ситуації тощо. У РД 03-418-01, ГОСТ 27.310-95 спеціально акцентується увага на тому, що систему класифікації відмов за критеріями імовірності-тяжкості наслідків, представлених у матрицях ризику, слід конкретизувати для кожного об'єкта з урахуванням його особливостей. Інтегральні показники (у нашому випадку – для умов групи шахт чи гірничопромислового району) корисні лише для ранжування об'єктів (після оцінки ризику для конкретних їх складових) за показниками ризику з метою встановлення їх пріоритетності з точки зору розподілу ресурсів для забезпечення безпеки визначення обсягів фінансування мір безпеки, але не для висновків щодо ступеню їх безпеки.

На кожній шахті один раз на півріччя складається план ліквідації аварій (ПЛА), у оперативній частині якого викладаються міри та дії щодо евакуації людей з шахти при виникненні аварії та прийняття протиаварійних мір [10,11]. У 70-х – 80-х роках минулого сторіччя у ІГТМ АН УРСР проводились роботи щодо розробки методів і програмних засобів автоматизованого складання оперативної частини ПЛА. Результатом робіт став новий підхід до того, як знизити, використовуючи сучасну технічну мову, індивідуальний ризик робітників при виникненні конкретної аварії, а саме – екзогенної пожежі. Особливістю цього типу аварій є виникнення і існування протягом деякого часу у шахтній вентиляційній мережі (ШВМ) зон зміненого температурного і, що ще небезпечніше, – газового режиму; останній характеризується створенням у ШВМ динамічних зон загазування її ділянок шкідливими і небезпечними пожежними газами (CO_2 , CO , оксидами азоту, воднем тощо). Перебування і рух гірників у такій атмосфері з погіршеним складом і формує їх індивідуальний ризик. Причому саме у формулюванні і роз'ясненні, яке міститься у РД 03-418-01.

Описана ситуація має усі чинники утворення як індивідуального, так і

потенційного територіального ризику. Існує об'єкт ризику – гірник; імовірність ризику може бути розрахована на основі кількості гірників у загазованій зоні і часу їх аварійної евакуації; наслідки – можливим, з медичної точки зору, частковим ушкодженням здоров'ю чи смерті робітників. Власне осередок пожежі може асоціюватися територіально із основним джерелом небезпеки, загрозливі зони загазування ШВМ – з прилеглими до небезпечної зони територіями. Групи людей, що евакуюються, користуються однаковими засобами захисту – саморятівниками. Тобто зниження як індивідуального, так і колективного ризику робітників може бути досягнуто вибором аварійного вентиляційного режиму, який зменшує геометричні розміри зони загазування, тим самим поліпшуючи здійснення аварійної евакуації.

Щодо основного підходу до вибору такого режиму – існує деяка ясність. Правилами безпеки у вугільних шахтах [10] і додатком до них [11] регламентується для усіх випадків виникнення пожежі у надшахтних спорудах повітроподаючих стовбурів, самих стовбурах та прилягаючих до них ділянках ШВМ використовувати режим загальношахтного реверсування вентиляційного струменю. В усіх інших випадках повинен зберігатися нормальний вентиляційний режим, що використовувався до виникнення аварії (тобто коли усі ВГП вугільних шахт працюють на всмоктування).

Ці положення, звичайно, є універсальними і знижуватимуть індивідуальний і колективний ризик працюючих. Але ніяк не сприятимуть його аналізу і оцінці. Практичне використання їх викликає ряд запитань:

а) при виборі вентиляційного режиму ніяк не враховується людина, тобто виключається кількісна оцінка індивідуального ризику;

б) якщо зону загальношахтного реверсування чітко визначено, то зона нормального режиму достатньо розпливчата, і включає, окрім зони, аналогічній для пожежі у вентиляційному стовбурі зони реверсування, ще й складні і значні за топологічною розмірністю ділянки ШВМ усередині загальношахтного вентиляційного струменю. Для них, принципово, можуть використовуватись відмінні від охарактеризованих вище вентиляційні режими (розширення зони реверсування, що навіть знайшло обґрунтування у Коментарях до [10] (1979 і пізніших років видання), використання комбінованого вентиляційного режиму, що допускається за відповідним дозволом, зміна дебіту вентиляційного струменю із збереженням існуючого вентиляційного режиму тощо).

Реалізація п. б) у нинішній час можлива лише експертним чином, тобто коли рішення щодо вибору нестандартного вентиляційного режиму приймають люди. Пояснити інформаційно-аналітичній комп'ютерній системі необхідність порушення основних алгоритмів розрахунків досить складно, необхідно використовувати для цього аргументи, підкріплені чисельними розрахунками. Термін «математичне очікування знаходження людей у виробках загазованої зони» малоприслужне для створення інженерної методики. Для більш точних розрахунків індивідуального ризику, з урахуванням пересування людини територією, необхідно інтегрувати його індивідуальні ризики загибелі (травмування) від різних джерел небезпеки і з урахуванням імовірності

знаходження його у кожній точці території. Нині ж у практичних роботах наводяться осереднені (за окремими групами ризикуючих) значення індивідуального ризику.

Тому нами запропоновано інший, саме інженерний, підхід до вирішення задач зниження аварійних індивідуальних ризиків, що максимально враховує особливості конкретного гірничотехнічного об'єкту. Формули складових для розрахунку індивідуального і колективного ризику у ньому конструюються безпосередньо технологом на основі знання ним особливостей своєї шахти і прийняття на ній протиаварійних мір.

Сформульовану вище вимогу зниження кількості людей у виробках загазованої продуктами горіння зони ШВМ математично можна записати наступним чином:

$$\lambda = \sum_{(i,j) \in \Theta_3} \lambda(i,j) \rightarrow \min_M, \quad (1)$$

де (i,j) – гірничавиробка, напрям руху газоповітряної суміші у якій – від вузла i до вузла j ; Θ_3 - зона загазування гірничих виробок; $\lambda(i,j)$ – математичне очікування кількості робітників у (i,j) ; M – кількість можливих аварійних вентиляційних режимів, що підлягають аналізу.

Власне, для $\lambda(i,j)$ термін «кількість», як і математично строго визначене поняття «математичне очікування» взагалі непридатні; у російськомовній літературі використовувався у свій час термін «человекоємкость» (на наш погляд, не зовсім вдалий), а в українськомовній він відсутній взагалі. Тому у подальшому викладення будемо користуватись лише математичним позначенням.

Але при цьому не враховується та обставина, що люди рухаються у виробничому процесі, і $\lambda(i,j)$ здатна змінюватись у часі. За відсутності даних щодо такої динаміки у формулі (1) приймається $\lambda(i,j) = \text{const}$. Це, звичайно, теж наближення, але не досить правомірне. При виборі вентиляційного режиму згідно (1) акцент робитиметься на евакуацію великих груп людей, а малочисельні ігноруватимуться, що є протиріччям: одночасному підлягають усі люди у шахті. Тому наступним наближенням розрахунку λ може бути формула

$$\lambda = \sum_{(i,j) \in \Theta} \lambda(i,j) \left[\exp \left(P \sum_{(i',j') \in \mu(i,l)} \frac{C(i',j') \cdot L(i',j')}{v(i',j')} \right) - 1 \right] \rightarrow \min_M, \quad (2)$$

де Θ – множина усіх виробок ШВМ; P – параметр, що характеризує ступінь впливу характеристик маршруту на значення критерію в цілому; $C(i,j)$, $L(i,j)$, $v(i,j)$ – концентрація пожежних газів, довжина виробки (i,j) та швидкість пересування людей по ній; $\mu(i,l)$ – маршрут аварійної евакуації гірників від вузла i до вузла l , що знаходиться на поверхні.

Критерій (2) усуває протиріччя між виробками з великими та малими значеннями $\lambda(i,j)$. Дійсно, у ньому з малості $\lambda(i,j)$ ще не витікає незначність їх впливу на вибір аварійного вентиляційного режиму, оскільки ваговий вплив $\mu(i,l)$ швидко (по експоненті) зростає зі збільшенням його довжини і може стати визнача-

льним; слід лише відповідним чином підібрати значення P . Область його змінення знаходиться на інтервалі $(0,1]$, оскільки при $P < 0$ показник експоненти стає якісно іншим, при $P = 0$ критерій втрачає смисл, а при $P > 1$ слабшає роль P як масштабного множника експоненти і ваговий вплив $\mu(i,l)$ превалює. Значення P у цьому інтервалі можна вибрати довільно, але з практичних міркувань раціональним є $P = \frac{1}{\tau_{c.c.}}$, де $\tau_{c.c.}$. Тоді показник експоненти характеризуватиме

ступінь впливу на величину критерію маршрутів, на яких потрібно організувати пункти переключення у резервні саморятівники [12]; усунення таких маршрутів або хоча б зменшення їх загальної кількості є однією з мір під час складання ПЛА.

В обох випадках основною складовою критерію, який фактично характеризує прийнятний ризик спасіння людей при виникненні екзогенної пожежі, є $\lambda(i,j)$. Тому необхідно розробити предметно-орієнтований інженерний метод її наближеного визначення з урахуванням динаміки змін у аварійній ситуації.

Незважаючи на окремі відмінності, структура вугільних підприємств має загальні основні і допоміжні підрозділи: експлуатаційні ділянки (ЕД), ділянки внутрішньошахтного транспорту (ВШТ), вентиляції і техніки безпеки (ВТБ), гірничокапітальних робіт (ГКР), ремонту гірничих виробок (РГВ), електромеханічного устаткування (ЕМУ), свердлових робіт (СВР) тощо. Чисельність робітників цих підрозділів визначається масштабом підприємства, прийнятою технологією вуглевидобутку, рядом гірничо-геологічних і гірничо-технічних умов і протягом часу між черговими складаннями ПЛА практично не знає змін.

Для представлення у вигляді математичної моделі розподілу підземних гірників за множинами виробок різних типів протягом робочого циклу тривалістю T доцільно у залежності від технологічного призначення розділити виробки на категорії, для кожної з яких задати спосіб визначення $\lambda(i,j)$.

До I категорії слід віднести очисні і підготовчі вибої. Тут прийнято бригадну форму праці з відносно стабільним робочим місцем протягом зміни. Крім робочих вибою у них протягом виробничого циклу можуть знаходитись робітники допоміжних служб з індивідуальною формою організації праці – підричники, електрослюсарі ділянки ЕМУ, газовимірники, співробітники інспекторської служби. Кількість і тривалість перебування таких людей у виробках I категорії можуть бути визначені приблизно, ймовірнісним шляхом, оскільки відома лише загальна чисельність робітників допоміжних служб, час їхнього перебування у шахті та виробки, у яких вони можуть знаходитись протягом цього часу.

До II категорії можуть бути віднесені навколостовбурні двори і головні квершлаги, що практично усіма службами шахти використовуються як відрізок маршруту під час руху до робочих місць. До цієї ж категорії відносяться різні камери, гараж-зарядні, склади ВМ, у яких розосереджені постійні робочі місця людей з індивідуальною формою організації праці. Оскільки ці допоміжні приміщення при підготовці розрахункової схеми ШВМ інколи не беруться до ува-

У таблиці прийнято наступні позначення: ПРМ – бригадні та індивідуальні постійні робочі місця; ТРМ – тимчасові робочі місця (протягом зміни, кількох змін); М – виробка використовується як маршрутна; О – перебування людей у виробці неможливе.

Для визначення $\lambda(i, j)$ різних виробок шахти необхідно задавати: загальну чисельність підземних гірників N ; численність робітників різних служб n_1, n_2, \dots, n_k ; кількість робітників в усіх очисних і підготовчих вибоях $m(i, j)$; загальну кількість робітників в усіх камерах та інших виробках з уособленим провітрюванням; кількість підготовчих і робочих змін P протягом періоду T .

Конструювання розрахункової формули розглянемо на прикладі виробки I типу. Формула має вигляд

$$\lambda'(i', j') = \frac{1}{T} \sum_{j=1}^P m_j(i', j') \tau_{cj} + \frac{\sum_{j=1}^H \tau_{cj}}{T} \left[\frac{n_4 - \sum n_4^{ind}}{\sum_{i=1}^3 k_i} + \frac{n_5}{k_1 + k_3} + \frac{n_6 + n_7}{k_1 + k_3 + k_5} \right] + \frac{(n_8 + n_9)L'(i', j')}{k_1 v_a T} \quad (3)$$

Як видно з табл. 1, кожна з виробок I категорії є постійним робочим місцем для робітників ЕД та ГКР. Множачи їх сумарну чисельність $m_j(i', j')$ у виробці (i', j') на тривалість зміни τ_{cj} , підсумовуючи за кількістю змін P і ділячи на тривалість безперервного функціонування очисного вибою T , отримуємо перший доданок формули.

Частина другого доданку у квадратних дужках характеризує ступінь участі виробки (i', j') у функціонуванні ділянок ЕМУ, ВТБ, РГВ, СВР. Оскільки тимчасовим робочим місцем для робітників ділянки ВТБ може бути, крім виробок I категорії, і будь-яка виробка III категорії, кількість робітників підсумовується і ділиться на сумарну кількість виробок I і III категорій. Для спрощення припускається, що усі виробки I і III категорії використовуються робітниками ділянки ВТБ однаковою мірою.

Аналогічно формується доданок у дужках для ділянок РГВ та СВР і категорій виробок I, III, IV.

Для частини робітників ділянки ЕМУ виробки II категорії є постійним робочим місцем. Ця частина робітників виключається з n_4 . Надалі доданок формується аналогічно іншим доданкам у квадратних дужках.

Весь вміст дужок помножується на сумарний час робочих змін і ділиться, як і перший доданок, на T .

Третій доданок характеризує частину $\lambda(i', j')$, привнесену до нього робітниками решти ділянок, що використовують (i', j') на маршруті руху до робочих місць. Сумарна кількість таких робітників множиться на $L(i', j')$, оскільки від довжини залежить, при незмінній (що припускається) швидкості пересування людей виробкою, час їхнього перебування у (i', j') , ділиться на швидкість пересування, чим і визначається вказаний час, і, як і раніше, на T .

Підсумовування таким чином сформованих доданків і визначить $\lambda'(i', j')$ -

аналог математичного очікування кількості людей у (i', j') у будь-який момент з інтервалу T . Але більш зрозумілий і придатний до використання у шахтних умовах.

Формули для інших категорій виробок конструюються аналогічно і не потребують детальних коментарів. Розрахунок $\lambda^i(i', j')$, $i = 2, 3, 4, 5$ здійснюється за формулами

$$\lambda^{II}(i', j') = \frac{\sum_{j=1}^P \tau_{cj}}{T} \left[\frac{n_3 - \sum_{M^{II}} n_3^{in0}}{k_1 + k_3} + \frac{n_4 - \sum_{M^{II}} n_4^{in0}}{\sum_{i=1}^3 k_i} + \frac{\sum_{M^{II}} (n_3^{in0} + n_4^{in0})}{k_2} \right] + \frac{1}{T} \cdot \frac{2(N - n_3^{in0} - n_4^{in0})L^{II}(i', j')}{k_2 v_{\pi}}; \quad (4)$$

$$\lambda^{III}(i', j') = \frac{\sum_{j=1}^P \tau_{cj}}{T} \left[\frac{n_3 - \sum_{M^{III}} n_3^{in0}}{k_2 + k_3} + \frac{n_4 - \sum_{M^{III}} n_4^{in0}}{\sum_{i=1}^3 k_i} + \frac{n_5}{k_1 + k_3} + \frac{n_6 + n_7}{k_1 + k_3 + k_5} \right] + \frac{1}{T} \cdot \frac{2(N - n_3 - n_4)L^{III}(i', j')}{k_3 v_{\pi}}; \quad (5)$$

$$\lambda^{IV}(i', j') = \frac{\sum_{j=1}^P \tau_{cj}}{T} \cdot \frac{n_2}{k_4 + k_5} + \frac{8NL^{IV}(i', j')}{k_4 v_{\kappa T}}; \quad (6)$$

$$\lambda^V(i', j') = \frac{\sum_{j=1}^P \tau_{cj}}{T} \cdot \left[\frac{n_5}{k_4 + k_3} + \frac{n_6 + n_7}{k_1 + k_3 + k_5} \right] + \frac{n_5 L^V(i', j')}{k_3 v_{\pi} T}; \quad (7)$$

$$\lambda^{VI}(i', j') = 0, \quad (8)$$

де τ_c – тривалість зміни, ч.; M_i – множина виробок i -ої категорії (верхній римський індекс всюди означає номер категорії виробки); n_3^{in0}, n_4^{in0} – чисельність гірників ділянок ВШТ і ЕМУ, розосереджених у виробках II категорії; v_{π} – швидкість пересування людини виробкою, м/с; v_{κ} – швидкість руху кліті у стовбурі, м/с.

Запропонована методика розрахунку $\lambda(i', j')$, як видно з вищевикладеного, не є універсальною. Для проведення розрахунків у кожному конкретному випадку необхідно заповнити таблицю, аналогічну табл. 1, до якої включаються тільки категорії гірників, що задіяні на шахті у період часу, що розглядається. З урахуванням отриманих даних коригуються формули (3) – (8), і за ними розраховується $\lambda(i', j')$ всіх виробок шахти.

Використання запропонованого методу розрахунку складових ризику аварійної евакуації людей з шахти при виникненні екзогенної пожежі підвищить ефективність оцінки ризику і підвищенню безпеки праці гірників.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 2293:2014 Охорона праці: Терміни та визначення основних понять. [Дійсний від 01 травня 2015 р.]. Київ, 2015. 8с. (Нормативний документ Мінекономрозвитку України. Стандарт).
2. Горное дело: терминологический словарь / Под научной редакцией акад. РАН К.Н. Трубецкого, чл.-кор. РАН Д.Р. Каплунова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во «Горная книга», 2016. 635с.
3. Булат А.Ф., Бунько Т.В., Яценко І.О. и др. Стандартизація понять і термінів аварійності і аварійних ризиків вугільних шахт // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України. Дніпро, 2018. Вип. 141. С. 47-56.
4. Булат А.Ф., Яценко І.О., Круковський О.П. та ін. Стан аварійності, травматизму і перспективи вдосконалення протиаварійного захисту шахт Міненерговугілля України // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України. Дніпро, 2019. Вип. 144.
5. Гражданкин А.И., Лисанов М.В., Печеркин А.С. Количественная оценка риска аварий в декларациях промышленной безопасности опасных производственных объектов топливно-энергетического комплекса // Безопасность труда в промышленности, 2005, № 1, с. 46-48.
6. Гражданкин А.И., Печеркин А.С., Сидоров В.И. Допустимый риск – мера неприемлемой опасности промышленной аварии // Безопасность труда в промышленности, 2015, № 3, с. 66-70.
7. Булат А.Ф., Бунько Т.В., Кокоулин І.Е., Яценко І.А. Управление показателями аварийности и травматизма с использованием матрицы рисков // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України. Дніпро, 2016. Вип. 128. С. 19-30.
8. Лисанов М.В. О техническом регулировании и критериях приемлемого риска // Безопасность труда в промышленности, 2004, № 5, с. 11-13.
9. Булат А.Ф., Бунько Т.В., Кокоулин І.Е., Яценко І.А. Критерии использования матрицы рисков при совершенствовании системы управления производством и охраной труда на угольных шахтах // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України. Дніпро, 2017. Вип. 133. С. 228-238.
10. НПАОП 10.0-1.01-10 Правила безпеки у вугільних шахтах. [Дійсний від 22.03.2010]. Офіційне видання. Київ: Основа, 2010. 212 с. (Нормативний документ Мінвуглепрому України. Стандарт).
11. ДНАОП 1.1.30-5.17-96. Інструкція зі складання планів ліквідації аварій. Київ, 1996. с. 12-23.
12. Кокоулин І.Е., Яценко І.А., Клименко А.А. Система коллективного спасения горнорабочих при возникновении аварий в угольной шахте // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України. Дніпро, 2018. Вип. 139. С. 166-178.

REFERENCES

1. Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine (2015), *DSTU 2293:2014 Okhorona pratsi: terminy ta vyznachennya osnovnykh ponyat* [DSTU 2293:2014 Labour protection: Terms and determinations of basic concepts], Kyiv, UA.
2. *Gornoye delo: Terminologicheskii slovar / Pod nauchnoy redaktsiyey akad. RAN K.N. Trubetskogo, chl.-kor. RAN D.R. Kaplunova. 5-e izd., pererab. i dop.* [Mining art. Terminology dictionary / Under the scientific release of akad. RAS K.N. Trubetskoy, corr.-member of RAS D.P. Kaplunov. 5th publ., converted and add.] (2016), Published «Mining book», Moscow, RU.
3. Bulat A.F., Bunko T.V., Yashchenko I.O. [and others] (2018), "Standardization of concepts and terms of accident rate and emergency risks of coal mines", *Geo-Technical Mechanics*, no. 141, pp. 47-56.
4. Bulat A.F., Yashchenko I.O., Krukovskiy O.P. [and others] (2019), "State of accident rate, traumatism and prospect of perfection of against-accident defence mines of Ministry of Power Engineering and Coal Production of Ukraine", *Geo-Technical Mechanics*, no. 144.
5. Grazhdankin A.I., Lisanov M.V. and Pecherkin A.S. (2005), "Quantitative estimation of risk of emergencies in declarations of industrial safety of dangerous production objects of fuel and energy complex", *Safety of labour in industry*, no. 1, pp. 46-48.
6. Grazhdankin A.I., Pecherkin A.S. and Sidorov V.I. (2015), "The possible risk is the measure of unacceptable danger of industrial emergency", *Safety of labour in industry*, no. 3, pp. 66-70.
7. Bulat A.F., Bunko T.V., Kokoulin I.Ye. and Yashchenko I.O. (2016), "Control by the indexes of accident rate and traumatism with the use of matrix of risks", *Geo-Technical Mechanics*, no. 128, pp. 19-30.
8. Lisanov M.V. (2004), "About the technical adjusting and criteria of acceptable risk", *Safety of labour in industry*, no.5, pp.11-13.
9. Bulat A.F., Bunko T.V., Kokoulin I.Ye. and Yashchenko I.O. (2017), "Criteria of the use matrix of risks at perfection of the control system by production and labour protection on coal mines", *Geo-Technical Mechanics*, no. 133, pp. 228-238.
10. Ministry of Coal Industry of Ukraine (2010), *NPAOP 10.0-1.01-10 Pravyla bezpeky u vugilnykh shakhtakh* [NLAASL 10.0-1.01-10 Rules of safety in coal mines], Osnova, Kiev, UA.
11. *DNAOP 1.1.30-5.17.96 Instruksiya zi skladannya planiv likvidatsii avaryi* [DNAOP 1.1.30-5.17.96 Instruction from drafting plans of liquidation of emergencies], Kyiv, UA.
12. Kokoulin I.Ye., Yashchenko I.O. and Klimenko G.O. (2017), "System of collective rescue of miners at origin of emergencies in a coal mine", *Geo-Technical Mechanics*, no. 139, pp. 166-178.

Про авторів

Булат Анатолій Федорович, академік Національної академії наук України, доктор технічних наук, професор, директор інституту, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, gtm.bulat@gmail.com

Бунько Тетяна Вікторівна, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, bunko2017@ukr.net

Ященко Ігор Олексійович, кандидат технічних наук, заступник начальника управління охорони праці, промислової безпеки, фізичного і громадянського захисту Міністерства енергетики і вугільної промисловості України, Київ, Україна

Кокоулін Іван Євгенович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник у відділі проблем розробки родовищ на великих глибинах, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С.Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна

Головко Софія Асхатівна, магістр, молодший науковий співробітник відділу механіки гірничих порід, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, sofyag16@gmail.com

About the authors

Bulat Anatolii Fedorovich, Academician of the National Academy of Science of Ukraine, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Director of the Institute, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnepr, Ukraine, gtm.bulat@gmail.com

Bunko Tetyana Viktorivna, Doctor of Technical Sciences (D.Sc), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of problems of underground mines in great depths, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, bunko2017@ukr.net

Yashchenko Ihor Oleksiovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Deputy Chief of the Department of Labour Protection, Industrial Safety, Physical and Civil Defence, Ministry of Power Engineering and Coal Industry of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

Kokoulin Ivan Yevhenovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of problems of underground mines in great depths, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine

Golovko Sofiia Ashativna, Master of Science, Junior Researcher of Rocks Mechanics Department, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov NAS of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, sofyag16@gmail.com

Аннотация. Угольные шахты являются опасными производственными объектами, характеризующимися наличием практически всех существующих опасностей. Поэтому риск, как понятийная категория, должен быть одинаково понятным всеми специалистами и унифицированным для использования во всех научных и практических методах и подходах к безопасности проведения горных работ. Основным фактором риска является индивидуальный. Индивидуальный риск во многом определяется квалификацией и готовностью человека к действиям в опасной ситуации, его защищенностью. Индивидуальный риск, как правило, следует определять не для каждого человека, а для групп людей, характеризующихся приблизительно одинаковым временем пребывания в разных опасных зонах и использующих одинаковые средства защиты. Основные причины ошибок связаны с попытками нормирования показателей техногенного риска (во всех его проявлениях, от индивидуального до коллективного, аэрологического, экологического и т. п.) без учета специфики источника опасности, конкретизации оцениваемого события, объекта влияния (реципиента) и территории, на которую распространяются опасность и последствия риска. Для оценки риска многими исследователями предлагается использовать матрицу рисков «частота – тяжесть последствий», но унифицированных методов ее формирования не существует. Объясняется это тем, что как частота, так и тяжесть последствий опасностей, формирующих риск, в значительной мере зависят от особенностей конкретного опасного производственного объекта и характеристик присущих ему опасностей. Использование для описания опасностей достаточно сложного математического аппарата теории вероятности, математической статистики и теории случайных процессов усложняет и затрудняет понимание процесса оценки рисков и нуждается в разработке объектно-ориентированных инженерных методов расчета составляющих индивидуального риска. В статье предложен такой метод для определения, во времени и пространстве, распределения людей по выработкам шахтной вентиляционной сети, подвергающихся вредному влиянию поражающих факторов экзогенного пожара с целью оценки риска их аварийной эвакуации. Приведен метод конструирования расчетных формул для вычисления этого показателя. Использование предложенных подходов позволит более обоснованно осуществлять оценку индивидуального аварийного риска горняков.

Ключевые слова: индивидуальный риск, матрица рисков, экзогенный пожар, поражающие факторы, риск аварийной эвакуации людей.

Annotation. Coal mines relate to dangerous production objects characterized by the presence of practically all of the existent risks. Therefore, risk, as a concept category, should be identically understood by all specialists as a unified notation, which can be used in all scientific and practical methods for and approaches to safety of the mining works. Individual factor of risks is the basic one, which, in a great deal, is determined by qualification and preparation of a man for acting in a dangerous situation, and by his/her security. Normally, individual risk should be determined not for one person, but for the groups of people who are characterized by approximate the same duration of being in different

dangerous areas and who use the same facilities of defense. Principal error of attempts to standardize indexes for technogeneous risk (in all its manifestations, from individual to collective, aerological, ecological, etc.) is that they do not take into account specifics of the danger source and concretization of the estimated event, object under the dangerous impact (recipient) and territory, on which the danger and consequences of the risk spread. For estimating risk, many researchers propose to use a risk matrix «frequency - weight of consequences», but no unified methods are available today. It is explained by the fact that both frequency and weight of consequences of dangers that form the risk greatly depend on specific features of a concrete dangerous production object and typical risks for characteristic this object. Use of difficult mathematical apparatus of probability theory, mathematical statistics and theory of random processes for describing dangers complicates and hampers understanding of process of the risk estimation and, therefore, needs development of the object-oriented engineering methods for calculating components of individual risk. In the article, such method is proposed for calculating distribution of people in time and in space throughout the workings in accordance with the mine vent network for cases when they can be under the harmful action of damaging factors of exogenous fire with the purpose of estimating risk of the people emergency evacuation. Besides, a method for constructing formulas for calculating this index is presented. The proposed approaches make estimation of individual risk of miners in case of emergency more grounded.

Keywords: individual risk, matrix of risks, exogenous fire, damaging factors, risk of emergency evacuation of people

Стаття надійшла до редакції 16.09. 2019.

Рекомендовано до друку чл.-кор. НАН України О.П. Круковським.