

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧИННИКІВ, ЯКІ УТВОРЮЮТЬ АЕРОЛОГІЧНИЙ РИЗИК У ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ

¹Булат А.Ф., ¹Бунько Т.В., ²Яценко І.О., ¹Кокоулін І.Є., ³Мирошніченко В.В.,
¹Головко С.А.

¹Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, ²Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, ³ТОВ «ДТЕК ЕНЕРГО»

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, СОЗДАЮЩИХ АЭРОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

¹Булат А.Ф., ¹Бунько Т.В., ²Яценко И.А., ¹Кокоулин И.Е., ³Мирошніченко В.В.,
¹Головко С.А.

¹Інститут геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова НАН України, ²Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, ³ООО «ДТЭК ЭНЕРГО»

RESEARCH OF FACTORS, CREATING THE AEROLOGICAL RISK IN COAL MINES

¹Bulat A.F., ¹Bunko T.V., ²Yashchenko I.A., ¹Kokoulin I.Ye., ³Myroshnychenko V.V.,
¹Golovko S.A.

¹Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine, ²Ministry of Power Engineering and Coal Industry of Ukraine, ³DTEK LTD ENERGO

Анотація. Призначення шахтної вентиляційної мережі (ШВМ) полягає у безперервному підтриманні стану шахтної атмосфери, яка за своїм складом, температурою і вологістю повинна забезпечувати нормальну життєдіяльність людини протягом виконання робіт під землею. Відмова ШВМ означає повне або часткове невиконання цієї функції, внаслідок чого вміст отруйних і вибухових газів, а також пилу, перевищує максимально допустимі значення. Формування небезпечних і надзвичайних ситуацій у вентиляційній системі – результат прояву певної сукупності чинників аерологічних ризиків. У статті охарактеризовано основні типи шахтних аварій, які виникають внаслідок відмов ШВМ або призводять до таких відмов, проаналізовано причинно-наслідкові зв'язки між небажаними подіями, що призводять до надзвичайної ситуації, основні чинники аерологічного ризику і засоби їх зниження. Показано, що для кількісної оцінки аерологічного ризику аварій на виїмкових дільницях слід використовувати нормуючі коефіцієнти (ранги), що характеризують долю від найбільш несприятливої ситуації. Найбільш прийнятним для оцінювання ризику є метод експертних оцінок. Інформацію, яку надають експерти, рекомендується обробляти за допомогою методу аналізу ієрархій. Математичний апарат розрахунку ризиків представляє собою обробку рангів значимості чинників аварій з урахуванням їх ваги і внеску у кореневу подію – надзвичайну ситуацію. Ваги чинників підставляються у дерево причинно-наслідкових зв'язків, і з урахуванням взаємозв'язку чинників прораховуються від крайніх гілок (первинні причини) до кореня дерева. Зроблено висновок, що найважливішим завданням підвищення безпеки гірничого виробництва є виявлення усіх чинників аерологічного ризику, їх взаємодії і взаємовпливу, і розробка методів його зниження з використанням сучасних методів моделювання, від математичного до експертного. Тим самим буде отримане рішення основної задачі систем управління охороною праці на небезпечному виробничому об'єкті – забезпечення «прийнятного ризику» усіх ланок вугільного виробництва.

Ключові слова: вугільні шахти, аерологічний ризик, шахтна вентиляційна мережа, допустимий ризик, аварія.

Призначення шахтної вентиляційної мережі (ШВМ) полягає у безперервному підтриманні відповідного умовам безпеки і санітарно-гігієнічним нормам стану шахтної атмосфери, яка за своїм складом, температурою і вологістю повинна забезпечувати нормальну життєдіяльність людини протягом усього часу її знаходження під землею. Відмова ШВМ означає повне або часткове невиконання цієї функції, внаслідок чого вміст

отруйних і вибухових газів, а також пилу, перевищує максимально допустимі значення.

Формування небезпечних і надзвичайних ситуацій у вентиляційній системі – результат прояву певної сукупності чинників аерологічних ризиків, породжуваних відповідними джерелами.

Згідно [1] «Аэрологический риск – вероятностная мера опасности, которая характеризует возможность возникновения аварий, связанных с отклонением параметров шахтной атмосферы от их нормативных значений, и установлена для схемы вентиляции выемочного участка определенной уязвимости». Звідси витікають особливості аерологічного ризику:

а) аерологічний ризик (АР) є аварійною характеристикою ділянки ШВМ;

б) у наведеному формулюванні вона характеризує стан конкретної ділянки – виїмкової дільниці; щоправда, таке визначення не досить коректне, тому що виїмкова дільниця хоч і є найбільш вразливим, але не єдиним місцем у шахті, де може існувати АР;

в) виїмкова дільниця характеризується показником вразливості.

З того ж джерела отримуємо: «Уязвимость схемы проветривания выемочного участка – свойство вентиляционной системы выемочного участка теряют способность к выполнению заданных функций в результате негативных воздействий опасных факторов».

До найбільш небезпечних аварій, які підвищують ступінь АР на вугільних шахтах, відносяться:

а) вибухи газу і вугільного пилу;

б) пожежі (екзогенні і ендогенні);

в) раптові викиди вугілля і газу;

г) гірничі удари і обвалення;

д) прориви види, глини, пульпи;

е) затоплення гірничих виробок;

ж) проникнення токсичних речовин у гірничі виробки;

і) відмова (зупинка) вентиляторів головного провітрювання (ВГП).

Очевидно, всі вони формують складові аерологічного ризику. Аварії типу а) порушують провітрювання шляхом створення ударних хвиль, які руйнують вентиляційні споруди, перекидають вентиляційні струмені, захаращують гірничі виробки уламками, підвищують їх аеродинамічний опір, змінюють склад шахтної атмосфери. До того ж вони можуть викликати виникнення аварій типу б), які підвищують температуру у виробках, загазовують їх шкідливими і небезпечними газами. Дія аварій типу в) на шахтну атмосферу дещо подібна дії вибуху, але додатково супроводжується надходженням до виробок наднормативної кількості метану. Аварії типу г) також супроводжуються виникненням ударних хвиль і зміненням аеродинамічного опору виробок. Аварії типів д) та е) руйнують вентиляційні споруди, типу ж) – здатні привести до критичних змін складу шахтної атмосфери і отруєння персоналу, типу і) – роблять взагалі неможливим провітрювання виїмкових дільниць.

Найбільш значущими за кількістю і смертельним травматизмом є аварії типів а), б) та г), які сумарно складають від 50 до 90% усіх шахтних аварій. Від 50 до 70% аварій і більш ніж 90% загиблих пов'язані з спалахами і вибухами метану і вугільного пилу, до 30% припадає на пожежі, які, у свою чергу, можуть стати причиною вибухів. На раптові викиди припадає близько 10% аварій.

Причинно-наслідкові зв'язки між небажаними подіями, що призводять до надзвичайної ситуації, представлені у вигляді дерева «причина-наслідки» на рис. 1. Коренем дерева є блок «надзвичайна ситуація». Дерево побудовано для трьох аварій – вибуху, екзогенної та ендогенної пожежі. Рухаючись гілками дерева від першопричини, і аналізуючи наслідки кожного кроку, можна відслідкувати зростання аерологічного ризику виникнення аварійної ситуації. Наприклад, одним із причино наслідкових ланцюжків для аварії типу «вибух» є «порушення режиму експлуатації» - «руйнування вентиляційних споруд» - «відмова ШВС» - «загазування». Рухаючись іншим ланцюжком «відкритий вогонь» - «наявність джерел займання», і об'єднуючи його із блоком «загазування», отримуємо на останньому етапі блок «вибух», який і є результатною надзвичайною ситуацією.

Аналогічно, для аварії типу «екзогенна пожежа» на рисунку зображено ланцюжок, пов'язаний з тертям конвеєрної стрічки. Воно виникає внаслідок п'яти можливих причин і призводить, так же як і «коротке замикання» чи «несанкціоноване ведення вогневих робіт», до виникнення екзогенної пожежі.

Розглянуте дерево є спрощеним, ланцюжків причин і наслідків, що викликають аварію, може бути значно більше. До того ж не існує сукупності незалежних гілок для кожної аварії, вони мають пересічні ділянки. Скажімо, причини екзогенної пожежі не провокують утворення загазування, а за його відсутності пожежа на виникне. Тому необхідно аналізувати сукупний вплив чинників «нагрівання конвеєрної стрічки» і «загазування», який, за умови відповідного значення концентрації метану у метаноповітряній суміші, може спричинити або пожежу, або вибух.

Основною пересічною ділянкою ланцюжків дерева «причини-наслідки» є блок «відмова ШВМ». Основними причинами відмови ШВМ є:

- а) помилки під час проектування, конструювання, виготовлення і монтажу об'єкту;
- б) старіння кріплення і пов'язані з ним обвалення у виробках і руйнування вентиляційних споруд;
- в) раптовий збій у роботі вентиляторів головного провітрювання (ВГП);
- г) некваліфіковані дії персоналу;
- д) недостатній рівень виробничого контролю за дотриманням вимог промислової безпеки, станом провітрювання і веденням гірничих робіт на дільниці;
- е) виникнення надзвичайних ситуацій.

На рис. 1 відмову ШВМ зображено, як гілку дерева, що відноситься до ризику аварії типу «вибух». Але, якщо у цьому випадку відмова ШВМ є передумовою аварії, то у випадку пожежі вона є її наслідком.

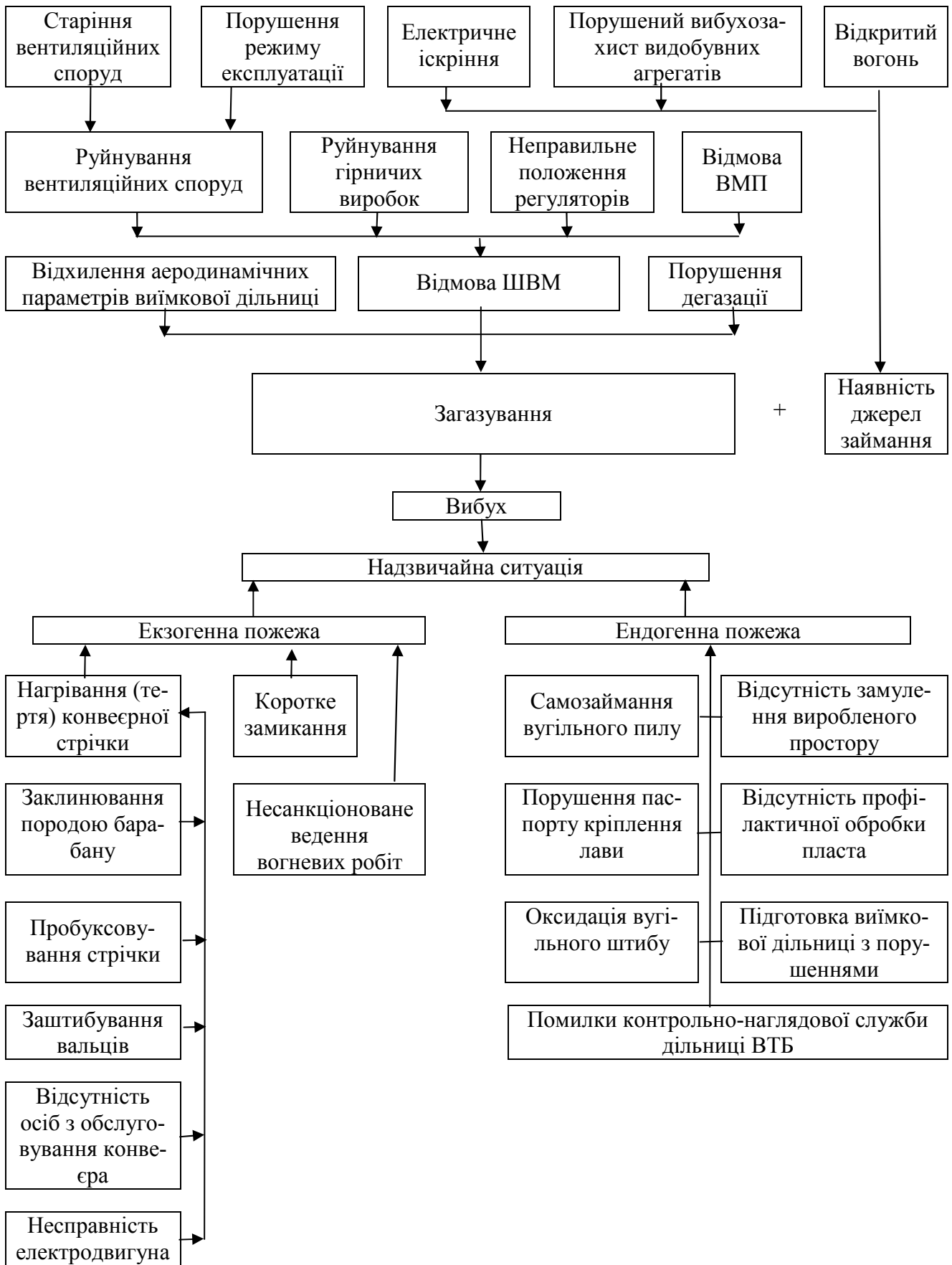


Рисунок 1 – Причинно-наслідкові зв'язки між небажаними подіями, що призводять до надзвичайної ситуації

Пожежа обумовлює погіршення стану аварійної ділянки з можливим переходом у іншу стадію (скажімо, провокуючи вибух метану). Відмова ШВМ сама може бути представлена у вигляді «дерева відмов»; детальніше це питання розглянуто у [2].

Відповідно до визначень, приведених у нормативних документах, промислова безпека є не властивістю НВО, а його станом. Це дозволяє розглядати наступну концептуальну модель виникнення і розвитку аварій, у тому числі і аерологічних, на НВО:

а) для НВО характерною є постійна присутність різних небезпек, до яких відносяться процеси вивільнення енергії та речовини;

б) у ході виробничих процесів (ВП) небезпеки перетворюються на загрози вивільнення енергії і речовини, які неможливо контролювати і керувати ними, можливості реалізації яких у виді аварій характеризуються ризиками;

в) ризики пов'язані із вразливістю НВО, яка безпосередньо впливає на імовірність і величину шкоди і характеризує втрату стійкості НВО до впливу чинників аерологічної небезпеки;

г) звичайно аварії виникають за умови збігу у часі і просторі певних умов (загроз), які можна розділити на ініціюючі умови і події, керувати якими у передаварійний період можна засобами вентиляційного впливу. Для вугільних шахт інструментальний контроль чинників аерологічного ризику забезпечується засобами АСУ ТП (наприклад, УТАС [3,4]; за станом на 2014 рік такі системи діяли на 37 вугільних шахтах України);

д) аварії можуть розвиватися за різними сценаріями, при цьому існують можливості впливати на розвиток аварій також через керування ВП у аварійних режимах (звичайно, за наявності і збереженні відповідних можливостей);

е) небезпеки, загрози, аварії, збитки і ризики можуть розповсюджуватись на весь НВО або його частину.

Аерологічна небезпека є найбільш вивченою з тих, які призводять до найтяжчих наслідків. Якісні і кількісні описи чинників небезпеки, зокрема спалахів і вибухів метаноповітряної (МПС) і пилOMETаноповітряної (ПМПС) суміші охарактеризовані у багатьох наукових публікаціях, у відповідності до яких:

а) МПС (умова, що ініціює), що є причиною аерологічного ризику, вибухо-небезпечна при вмісті у ній метану у діапазоні 5÷15 %; при цьому межі діапазону залежать від тиску і температури МПС і температури джерела займання (подія, що ініціює). Найбільші збитки досягаються при вмісті метану 9÷10 %;

б) більшість вибухів виникає за умови настання передаварійного стану шахт-ної атмосфери, викликаного зростанням концентрації метану і вугільного пилу протягом достатньо довгого часу, при цьому поява високоенергетичного джерела призводить до вибуху з імовірністю, що залежить від часу і вмісту метану і вугільного пилу у рудниковій атмосфері;

в) для запобігання утворення небезпечних концентрацій МВС і ПМПС нормативним документом [5] передбачається подання достатньої кількості свіжого повітря, обмежуючи швидкість його руху у підготовчих вибоях до 4 м/с;

г) особливо небезпечними є прояви аерологічної небезпеки, пов'язані із ескалацією аварії (виникненням каскадних явищ типу спалах метану \Rightarrow вибух ПМПС \Rightarrow екзогенна пожежа тощо).

Основні чинники аерологічного ризику і засоби їх зниження представлено на рис. 2.

Крім цих основних чинників аерологічний ризик визначається і дургорядними: кутом закладення виробки; перетином і способом її проведення; газовістю ділянки; навантаженням на очисний вибій; швидкістю посування вибою; правильністю вибору профілактичних мір на стадії проектування; розкриттям і розгазуванням тимчасово зупинених дільниць; наявністю непровітрюваних куполів за кріпленням; неякісним або неправильним встановленням вентиляційних споруд; відсутністю вентиляторів місцевого провітрювання (ВМП) або їх частими зупинками; суфлярними виділеннями метану; низькою трудовою і виконавчою дисципліною тощо.

Грунтуючись на цих міркуваннях, можна перейти до кількісного оцінювання аерологічного ризику. Для кількісної оцінки небезпеки, вразливості, аерологічного ризику аварій для виїмкових дільниць слід використовувати нормуючі коефіцієнти (ранги), що характеризують долю (імовірність) від найбільш несприятливої ситуації, що приймається за одиницю. Тоді ступінь аерологічного ризику за конкретним чинником можна визначити, наприклад, згідно табл. 1.

Таблиця 1 – Ступінь аерологічного ризику аварії

Аерологічний ризик	Коефіцієнт ризику R
Малий (нормальний рівень безпеки)	$< 0,15$
Помірний (понижений рівень безпеки)	$0,15 \leq R \leq 0,3$
Великий (незадовільний рівень безпеки)	$0,3 < R \leq 0,5$
Можливість виникнення аварійної ситуації	$> 0,5$

Фізичний смисл коефіцієнту R полягає у тому, що він є часткою аерологічного ризику, який має місце на виїмкових дільницях за найбільш несприятливих показників небезпеки і вразливості.

Враховуючи, що ризик є імовірнісною характеристикою небезпеки, найбільш прийнятним для його оцінювання є метод експертних оцінок. Структуру його реалізації представлено на рис. 3.

Інформацію, яку надають члени робочої групи, рекомендується обробляти за допомогою методу аналізу ієрархій (МАІ) [6] – нині, мабуть, найбільш зручного в теорії експертних оцінок. Нами він вже використовувався [7,8], і, на наш погляд, для рішення задач оцінки аерологічних ризиків є доволі придатним.

МАІ не визначає особі, що приймає рішення, якогось «правильного» варіанту, а дозволяє йому у інтерактивному режимі знайти такий варіант (альтернативу), який найкраще узгоджується з його розумінням суті проблеми і вимогами до її рішення. Оскільки розрахунки за цим методом досить трудомісткі, для комп'ютерної підтримки МАІ існує кілька програмних продуктів.

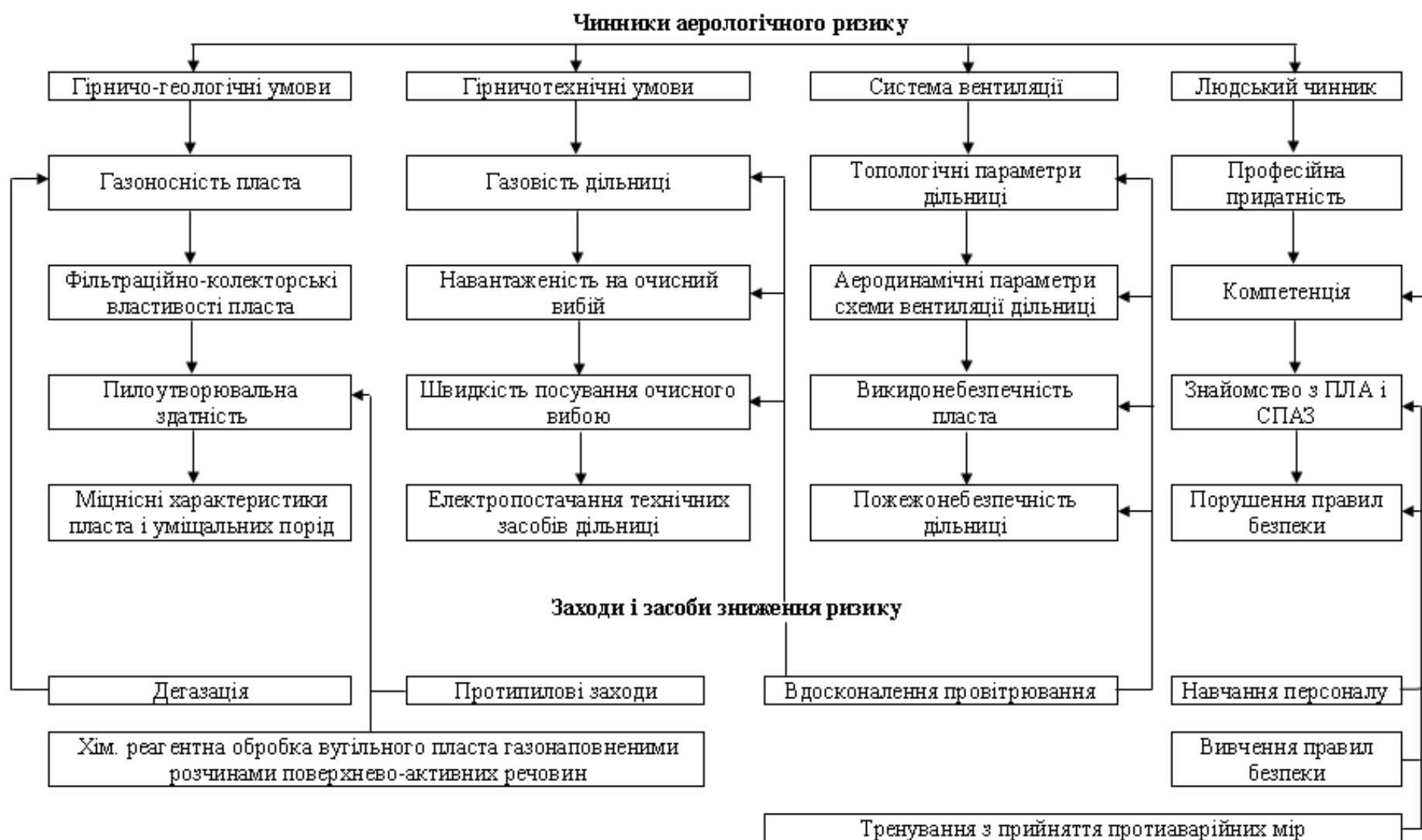


Рисунок 2 – Основні чинники аерологічного ризику і засоби їх зниження

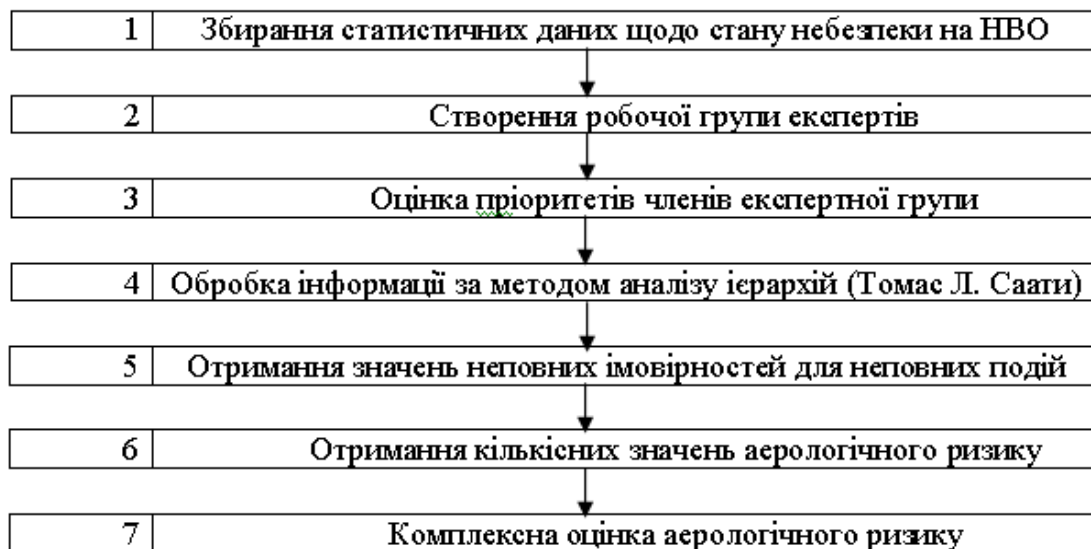


Рисунок 3 – Структура використання методу експертних оцінок для визначення аерологічного ризику аварій

Аналіз проблеми прийняття рішень у МАІ починається з побудови ієрархічної структури, що містить мету, критерії, альтернативи та інші чинники, що розглядаються і впливають на вибір. Така структура відображає розуміння проблеми особами-експертами, що приймають рішення.

Кожен елемент ієрархії може представляти різні аспекти задачі, яка вирішується, причому до уваги приймаються як матеріальні, так і нематеріальні чинники, вимірювані кількісні параметри і якісні характеристики, об'єктивні дані і суб'єктивні експертні оцінки.

Наступним етапом аналізу є визначення пріоритетів, що представляють відносну важливість або кращість елементів побудованої ієрархічної структури, за допомогою процедури парних порівнянь. Безрозмірні пріоритети дозволяють обґрунтовано порівнювати відмінні чинники. На заключному етапі аналізу виконується синтез пріоритетів на ієрархії, внаслідок якої вираховуються пріоритети альтернативних рішень відносно головної мети. Найкращою вважається альтернатива з максимальним значенням пріоритету.

Важливою особливістю методу експертних оцінок є можливість отримання значень неповних імовірностей для неповних подій – адже аерологічні ризики саме і відображають неповноту і недостатню достовірність інформації для їх визначення. Не вдаючись у подробиці, слід лише відзначити, що найбільш придатними для цілей аналізу чинників аерологічних ризиків є методи нечіткої логіки, які, на відміну від класичної теорії, яка однозначно встановлює належність елементу до множини, передбачають «зважування» даних, тобто визначають ступінь упевненості у цій належності. Це дає можливість уникнути суб'єктивності експертних рішень, даючи можливість маневру у деяких межах. Цим можуть бути уточнені і результати, отримані методом аналізу ієрархій.

Математичний апарат розрахунку ризиків представляє собою обробку рангів значимості чинників аварій з урахуванням їх ваги і внеску у кореневу подію (у нашому випадку – «надзвичайну ситуацію», рис. 1), взаємозв'язку, приведення

до неповних імовірностей (блок 5 на рис. 3), отриманих діленням рангів значущості на часовий чинник. Останні підставлятимуться у дерево причино-наслідкових зв'язків (рис. 1) і з урахуванням взаємозв'язку чинників прораховуватимуться від крайніх гілок (первинні причини) до кореня дерева.

Експертами [9] проведено дослідження в частині визначення ваги чинників (рангів) аерологічного ризику для різних вугледобувних регіонів Російської Федерації. Проходячи причино-наслідковим ланцюжком і сумуючи ранги чинників аерологічного ризику, можна отримати його інтегральне кількісне значення. Наприклад, для аварії типу «вибух метану і пилу» авторами [9] отримано для вугільних шахт Уралу наступні результати:

- для підготовчих виробок – 1,1;
- для виїмкових дільниць (власне аерологічний ризик у нормативному розумінні) – 1,5;
- для конвеєрних виробок – 1,6 (мабуть, на думку експертів, транспортування вугілля більш вибухонебезпечне, ніж його видобуток);
- для інших виробок – 1,5;
- загальне по шахті – 1,7 (не якесь усереднене значення, як слід було б вважати за класичним підходом, а найбільше – адже на всьому циклі вуглевидобутку ланцюжки дерева «причини наслідки» мають пересічні ділянки з підсиленням можливого впливу окремих проміжних чинників).

На наш погляд, такий підхід до комплексного врахування різних чинників аерологічного ризику слід вважати прогресивним, і, адаптуючи його до умов вугільних шахт України (які значно відрізняються не тільки від шахт Російської Федерації, але й між вугільними регіонами України), використати під час розробки відповідної української методики.

Оцінка чиннику людської діяльності утруднюється відсутністю достатніх знань щодо взаємозв'язку різних чинників аерологічного ризику і поведінкою людини у аварійних умовах, і відсутністю методологічної бази з урахування впливу людського чинника під час оцінювання аерологічної безпеки.

Типовими складовими «людського чинника» є:

- а) хибні проектні рішення і рішення з керування, об'єктивний контроль за якими може бути забезпечений за допомогою АСУ ТП;
- б) невиконання посадових інструкцій, у тому числі з обслуговування технологічного обладнання і технічних засобів автоматизованих і вимірювальних систем, об'єктивний контроль якого частково може бути організований;
- в) порушення техніки безпеки і вимог [5], об'єктивний автоматизований контроль за якими утруднений або неможливий і вимагає організаційних заходів.

Помилки людини викликаються головним чином незнанням безпечних прийомів праці, норм і вимог з техніки безпеки, а також невмінням прогнозувати хід технологічних процесів. Практично у всіх актах розслідування аварій і нещасних випадків відмічається низька виробнича і технологічна дисципліна, нехтування організаційними і технічними заходами безпечного виконання робіт

на НВО і правилами поведінки у аварійній ситуації, невміння користуватись засобами самозахисту тощо.

Сучасний розвиток виробництва з використанням високопродуктивних машин і обладнання, систем контролю і слідкування за технологічними процесами, управління їх параметрами підвищив долю нервово-психічних навантажень на трудівників і потребує реалізації пам'яті, мислення, уваги, швидкого прийняття безпомилкових рішень, правильної реакції на будь-яку інформацію. Інакше кажучи, людський чинник стає у нинішніх умовах дуже важливим у зниженні аерологічних ризиків, значною мірою сприяючи правильному і ефективному застосуванню націлених на це організаційних і технічних мір.

Висновки.

Аерологічний ризик є найважливішим серед усіх ризиків гірничого виробництва на НВО, тому що, існуючи як у нормальних умовах, так і під час аварійного стану ШВМ, він провокує небезпеку отруєння, травмування чи навіть смерті працівників шахти. Не всі його чинники піддаються ефективному контролю і керуванню, тому найважливішим завданням підвищення безпеки гірничого виробництва є виявлення усіх чинників аерологічного ризику, їх взаємодії і взаємовпливу, і розробка методів його зниження з використанням сучасних методів моделювання, від математичного до експертного. Тим самим буде наблизене вирішення основної задачі систем управління охороною праці на НВО – забезпечення «прийняттого ризику» усіх ланок вугільного виробництва.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. Ушаков В.К., Баловцев С.В. Информационно-организационное обеспечение процедуры анализа аерологического риска горного приозводства // ГИАБ: Тематическое приложение «Безопасность». И.: МГГУ, 2005. С. 147-152.
3. Типовое руководство по эксплуатации унифицированной телекоммуникационной системы диспетчерского контроля и автоматизированного управления горными машинами и технологическими комплексами УТАС. Донецк, 2005. 36с.
4. Александров С.Н., Булгаков Ю.Ф., Яйло В.В. Охрана труда в угольной промышленности. Донецк: РИА «ДонНТУ», 2012. 480 с.
5. НПАОП 10.0-1.01-10 Правила безпеки у вугільних шахтах. - [Дійсн. від 22.03.2010]. – Офіційне видання. – Київ: Основа, 2010. – 212 с. (Нормативний документ Мінвуглепрому України. Стандарт).
6. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1989. 316 с.
7. В.Я. Потемкин, И.Е. Кокоулин, И.В. Юшина Применение метода анализа иерархий для принятия решений при возникновении чрезвычайной ситуации // Безопасность труда в промышленности. 1994. № 3. С. 34-37.
8. Кокоулин И.Е. Метод анализа иерархий в задачах плана ликвидации аварий // Безопасность труда в промышленности. 1996. № 5. С. 20-23.
9. Аношина И.М. Расчет техногенного риска аварий на угольных шахтах // ГИАБ: Тематическое приложение «Безопасность». М.: МГГУ, 2005. С. 130-138.

REFERENCES

1. *Gornoye delo: Terminologicheskij 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.
2. Ushakov V.K. and Balovtsev S.V. (2005), « Informatively-organizational providing of procedure of analysis of aerological risk of mine industry», *Mine information-analytical bulletin. Thematic appendix «Safety»*, pp. 147-152.
3. *Tipovoye rukovodstvo po ekspluatatsii unifitsirovannoy telekommunikatsionnoy sistemy dispetcherskogo kontrolya i avtomatizirovannogo upravleniya gornymi mashinami I yekhnologicheskimi kompleksami UTAS* [Model guidance on exploitation of the compatible telecommunication controller's checking and automated management by mine machines and technological complexes UTAS system] (2005), Donetsk, UA.
4. Aleksandrov S.N., Bulgakov Yu.F. and Yaylo V.V. (2012), *Okhrana truda v ugolnoy promyshlennosti* [Labour protection in coal industry], RIA «DonNTU», Donetsk, UA.

5. Ministry of Coal Industry of Ukraine (2010), *НПАОП 10.0-1.01-10 Правыла безпеки у вугільних шахтах* [NLASL 10.0-1.01-10 Rules of safety in coal mines], Osnova, Kiev, UA.
6. Saaqi T.L. (1989), *Prinyatiye resheniy. Metod analiza ierarkhiy* [Acceptance of decisions. Method of analysis of hierarchies], Radio i svyaz, Moscow, SU.
7. Potemkin V.Ya., Kokoulin I.Ye and Yushina I.V. (1994), « Application of method of analysis of hierarchies for acceptance of decisions in case of occurring of extraordinary situation », *Safety of labour in industry*, n0/ 3, pp. 34-37.
8. Kokoulin I.Ye. (1996), « Method of analysis of hierarchies in the tasks of plan of liquidation of failures », *Safety of labour in industry*, no. 6 < pp, 20-23.
9. Anoshina I.M. (2005), «Calculation of technogen risk of failures on coal mines», *Mine information-analytical bulletin. Thematic appendix «Safety»*, pp. 130-138.

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 у відділі проблем розробки родовищ на великих глибинах, 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 та цивільного захисту Міністерства енергетики та вугільної промисловості України, Київ, Україна

Кокюлін 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

Мирошніченко Вадим Владиславович, магістр, начальник відділу вентиляції і дегазації Департаменту з технічного розвитку Дирекції з видобутку вугілля ДТЕК ЕНЕРГО, Київ, Україна, miroshnichenkovvl@dtok.com

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 Sciences of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Institute, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, gtm.bulat@gmail.com

Bunko Tetiana Viktorivna, Doctor of Technical Sciences (D.Sc), Senior Researcher, Senior Researcher in the Department of Mineral Mining at 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 Oleksiiovych, Candidate of Technsical Sciences (Ph.D.), Deputy Chsef of the Department of Labour Protection, Industrial Safety and Civil Defence, Ministry of Power Engineering and Defence of Environment of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

Kokoulin Ivan Yevhenovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher in the Department of Mineral Mining at Great Depths, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine

Myroshnychenko Vadym Volodymyrovych, Master of Science, Head of Ventilation and Degassing group Technical Development Department of Coal Production directorate DFEK Energy, Kyiv, Ukraine, miroshnichenkovvl@dtok.com

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

Аннотация. Назначение шахтной вентиляционной сети (ШВС) заключается в непрерывном поддержании состояния шахтной атмосферы, по своему составу, температуре и влажности обеспечивающего нормальную жизнедеятельность человека на протяжении выполнения работ под землей. Отказ ШВМ означает полное или частичное невыполнение этой функции, в результате чего содержание ядовитых и взрывчатых газов, а также пыли в ней превышает максимально допустимые значения. Формирование опасных и чрезвычайных ситуаций в вентиляционной системе – результат проявления определенной совокупности факторов аэрологических рисков. В статье охарактеризованы основные типы шахтных аварий, возникающих в результате отказов ШВМ, или приводят к таким отказам, проанализированы причинно-следственные связи между нежелательными событиями, приводящим к чрезвычайной ситуации, основные факторы аэрологического риска и средства их снижения. Показано, что для количественной оценки аэрологического риска аварий на выемочных участках следует использовать нормирующие коэффициенты (ранги), характеризующие долю от наиболее неблагоприятной ситуации. Наиболее приемлемым для оценивания риска является метод экспертных оценок. Информацию, предоставляемую экспертами, рекомендуется обрабатывать методом анализа иерархий. Математический аппарат расчета рисков представляет собой обработку рангов значимости факторов аварий с

учетом их веса и вклада в корневое событие - чрезвычайную ситуацию. Веса факторов подставляются в дерево причинно-следственных связей, и с учетом взаимосвязи факторов просчитываются от крайних ветвей (первичные причины) к корню дерева. Сделан вывод о том, что важнейшей задачей повышения безопасности горного производства является выявление всех факторов аэрологического риска, их взаимодействия и взаимовлияния, и разработка методов его снижения с использованием современных методов моделирования, от математического до экспертного. Тем самым будет получено решение основной задачи систем управления охраной труда на опасном производственном объекте – обеспечение «приемлемого риска» всех звеньев угольного производства.

Ключевые слова: угольные шахты, аэрологический риск, шахтная вентиляционная сеть, допустимый риск, авария

Annotation. Purpose of mine vent network (MVN) operation is maintenance of permanent state of mine atmosphere by its composition, temperature and humidity for providing normal vital activity of people during their working under ground. The MVN failure means complete or partial non-fulfillment of this function resulting in content of toxic and explosive gases and dust exceeding the maximum permitted values. Formation of dangerous and extraordinary situations in the vent system is the result of manifestation of a certain aggregate of factors of aerological risks. In this article, the main types of emergencies, which arise up in the mine as a result of or lead to the MVN failure, are described, and cause-effect relations between undesirable events resulting in an extraordinary situation, basic factors of aerological risk and ways of their minimization are analyzed. It is shown that for quantitative estimation of aerological risk of emergencies in winning areas, it is necessary to apply rationing coefficients (ranks), which characterize its share in creation of the most unfavorable situation. The method of expert evaluation is the most suitable for the risk estimation. It is recommended to process the information given by experts by the method of analysis of hierarchies. Mathematical body of the risk calculation assumes processing of ranks of emergency factor meaningfulness by taking into account their weight and contribution to the root event – the extraordinary situation. The factor weights are put in the tree of cause-effect relations and are calculated from extreme branches (primary causes) to the root of tree with taking into account interrelations between the factors. It is concluded that the major task for improving safety of the mining works is to reveal all factors of aerological risk, their interrelation and interaction and to develop methods for risk minimization with the use of modern methods of simulation - from mathematical method to expert evaluation. Thereby, the major task of the labour protection control systems in dangerous production object – to ensure an «acceptable risk» in all units of the coal production - will be solved.

Keywords: coal mines, aerological risk, mine vent network, possible risk, emergency.

Стаття надійшла до редакції 06.01. 2020

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