

## ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ BOW-TIE ПІД ЧАС АНАЛІЗУ АЕРОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

<sup>1</sup>Кокоулін І.Є., <sup>2</sup>Яценко І.О., <sup>3</sup>Мірошніченко В.В.

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, <sup>1</sup>Міністерство енергетики України, <sup>3</sup>ТОВ «ДТЕК»

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА BOW-TIE ПРИ АНАЛИЗЕ АЭРОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

<sup>1</sup>Кокоулин И.Е., <sup>2</sup>Яценко И.А., <sup>3</sup>Мирошніченко В.В.

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова НАН України, <sup>1</sup>Міністерство енергетики України, <sup>3</sup>ООО «ДТЭК»

## USING THE BOW-TIE METHOD IN ANALYSIS OF AEROLOGICAL RISKS OF COAL MINES

<sup>1</sup>Kokoulin I.Ye., <sup>2</sup>Yashchenko I.A., <sup>3</sup>Miroshnychenko V.V.

<sup>1</sup>Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of NAS of Ukraine, <sup>1</sup>Ministry of Power Engineering of Ukraine, <sup>3</sup>LLC «DFEC»

**Анотація.** Вугільна галузь України залишається однією з найнебезпечніших галузей промисловості. Їй притаманні широкий спектр аварій та аварійних ситуацій, високий рівень виробничого травматизму та професійної захворюваності. Метою підвищення безпеки виробництва є не тільки зниження ризику травматизму і професійної захворюваності (випадки високоїмовірні і малосуттєві), а й шахтних аварій, які виникають відносно рідко, але характеризуються значно вагомішими наслідками. Необхідно розробити і використовувати метод аналізу ризику, який би враховував усі аспекти виникнення і протікання можливої аварії і детально прогнозував би ліквідацію її наслідків. Україна досі не має вичерпного нормативно-правового і методичного забезпечення оцінки і керування аварійними ризиками, а міжнародні стандарти з цих питань, адаптовані до українських умов, не завжди доводяться до практичного використання. Оцінка ризиків, особливо аерологічних, на вугільній шахті, є досить складним процесом, пов'язана з використанням методів роботи в умовах недостатньої інформації, недостатньо фахівців, знайомих з методами експертного оцінювання, тому достатньо відомі за кордоном методи оцінки ризиків застосовуються у вугільній галузі України недостатньо. Одним з таких методів є діаграма BOW-TIE («краватка-метелик»), який дозволяє просто і наочно оцінити рух небезпеки від місця виникнення ризику до події, яка спричиняє небажані наслідки, визначити етапи, на яких необхідно прийняти протиаварійні міри, характер і надійність таких мір. У статті наведено методи побудови діаграм BOW-TIE різного ступеню деталізації, маршрутів руху небезпек, встановлення керуючих ризиком бар'єрів, «мозкового штурму» під час аналізу аерологічних ризиків з метою зниження їх до прийняттого рівня. Наведено приклади користування діаграмою BOW-TIE. Використання у вітчизняній практиці закордонних напрацювань свідчить про перспективність такого підходу і необхідність продовження робіт з метою ширшого впровадження цього методу на вугільних підприємствах України.

**Ключові слова:** вугільна шахта, аерологічний ризик, небезпека, небажаний наслідок, метод BOW-TIE.

Вугільна галузь України залишається однією з найнебезпечніших галузей промисловості. Їй притаманні широкий спектр аварій та аварійних ситуацій, високий рівень виробничого травматизму та професійної захворюваності. Україна досі не має вичерпного нормативно-правового і методичного забезпечення оцінки і керування аварійними ризиками, а міжнародні стандарти з цих питань, адаптовані до українських умов, не завжди доводяться до практичного використання. Тому під час проведення досліджень інколи користуються положеннями іншомовних стандартів з поправкою на вітчизняні

умови (основні положення, звичайно, залишаються незмінними).

Так, російський стандарт ГОСТ Р 54145-2010 [1] встановлює, що (цитуюмо: *«Методология технического регулирования и оценки рисков и, в первую очередь, для инцидентов с серьезными последствиями, предназначена для характеристики уровня риска с интегрированным индексом, включающим независимые параметры, связанные с оценкой последующей серьезности развития сценариев, эффективностью превентивного менеджмента и оценки подверженности (уязвимости) окружающей среды, и основана на описании чувствительных объектов, потенциально подверженных негативному воздействию»*. І далі: *«Операторы на производствах должны продемонстрировать свои возможности по предотвращению серьезных инцидентов, используя соответствующие меры, как технические, так и программные, как, например, системы менеджмента безопасности. Они должны привести к снижению уровня риска не только для высоковероятных малосущественных инцидентов, но также и для более существенных маловероятных инцидентов»*)

Можна зробити висновок: метою підвищення безпеки виробництва є не тільки зниження ризику травматизму і професійної захворюваності (випадки високоїмовірні і малосуттєві), а й шахтних аварій, які виникають відносно рідко, але характеризуються значно вагомішими наслідками. Необхідно розробити і використовувати метод аналізу ризику, який би враховував усі аспекти виникнення і протікання можливої аварії і детально прогнозував би ліквідацію її наслідків.

Оцінка ризику виникнення і негативних наслідків виробничих аварій є досить складною проблемою, і для її вирішення використовується значна кількість методів і підходів. Існує міжнародний стандарт ІЕС/ISO 31010:2009, адаптований до українських умов документом ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 [2]. Документ регламентує для вирішення проблеми 31 методичний підхід і відповідні алгоритми реалізації, серед яких є і прості для сприйняття, і досить складні, які передбачають використання певного математичного апарату і знань з його використання.

Для використання спеціалістами, які не мають досвіду роботи зі спеціальними методами, можна рекомендувати використовувати для оцінки і керування ризиками аварійних ситуацій у вугільних шахтах метод BOW-TIE (українські джерела визначають його, як «краватка - метелик», російські – «пісочний годинник»).

Підрозділ В.21 [2] визначає спільне використання методів аналізу дерев відмов і дерев подій для створення методу BOW-TIE. Цей метод найбільш придатний, коли ситуація не настільки складна, щоб вимагати повного аналізування дерева відмов (що методом мозкової атаки неможливо – просто не вистачить необхідної інформації і знання учасниками її усіх аспектів її аналізу), або коли акцент робиться головним чином на забезпеченні впевненості у наявності бар'єру чи засобу контролювання для кожного шляху відмови. Таке

аналізування корисне, коли є чіткі та незалежні шляхи, що ведуть від події (аварії, причини) до відмови.

До аналізу аерологічних ризиків вугільної шахти залучаються звичайно спеціалісти різних галузей. Це співробітники дільниць вентиляції і техніки безпеки (ВТБ) (у тому числі відповідальні за складання планів ліквідації аварій і використання засобів системи протиаварійного захисту) і профілактичних робіт з техніки безпеки, служби депресійних зйомок воєнізованої гірничорятувальної служби, технічні працівники для документування робіт і проведення розрахунків. Якщо на шахті у складі дільниці ВТБ існує підрозділ з інформаційно-аналітичного забезпечення вентиляційних розрахунків (ПІЗ) – включення його співробітників до складу робочої групи дозволить, за необхідності, доповнити експертні оцінки ризику розрахунковими даними. Оскільки передбачається виконання експертного оцінювання – можуть залучатися відповідні фахівці-експерти.

Зі спрощеної діаграми, наведеної у [1], видно, що діаграма BOW-TIE складається із двох фрагментів: ліве «крильце метелика» - дерево відмов, праве – дерево наслідків. Таку діаграму креслять безпосередньо у ході мозкової атаки вирішення поставленої проблеми.

Для її побудови використовується наступна схема:

а) ідентифікується подія, яка може стати основою для аналізування можливого ризику. У нашому випадку – виникнення аерологічної аварії. Вона є «вузлом» краватки;

б) перелічуються причини події залежно від джерел ризику. У нас їх чотири, і вони є досить загальними; за можливості їх можна конкретизувати, хоча це дещо ускладнить структуру діаграми на першому етапі аналізу і навряд чи доцільно;

в) у правій частині діаграми ідентифікуються можливі наслідки події. Як бачимо, у нашому прикладі їх більше, ніж причин, що зрозуміло: одна причина може спровокувати виникнення кількох наслідків. Не вдаючись до подробиць, можемо лише зауважити, що, наприклад, недоліки системи вентиляції можуть стати причиною виникнення пожеж (ендогенних чи екзогенних) та/або проникнення токсичних речовин до гірничих виробок.

Така діаграма першого рівня для оцінки і керування аерологічними ризиками має вигляд (рис. 1).

Поки це лише якісне відображення можливого розвитку ситуації «відмова – подія - наслідки». Стандарт [2] зауважує, що можливі і певні рівні кількісного подання для діаграми BOW-TIE, коли шляхи крилами метелика є незалежними, імовірність конкретного наслідку відома, а результативність засобу контролювання і керування (спрацьовування бар'єру) може бути кількісно оцінено;

г) наступним етапом аналізу є тому визначення бар'єрів, які здатні не допустити виникнення події (встановлюються у лівій частині діаграми), а якщо вона все ж сталася – зменшити її шкідливі наслідки (місце їх встановлення визначається у правій частині діаграми).



Рисунок 1 – Діаграма BOW-TIE першого рівня

З метою їх класифікації заповнюється (у зручній для практичного використання формі) робоча таблиця BOW-TIE (таблиця заповнюється на цьому етапі частково і доповнюється під час здійснення «мозкового штурму»), до якої заносяться:

- опис небезпечної події;

- аналіз загроз і мір зі зниження імовірності виникнення події (опис джерела ризику з лівої частини діаграми, міри зі зниження імовірності події, бар'єр існує чи його необхідно визначити, ступінь результативності (ризик неспрацювання) бар'єру, особа, що відповідає за надійність бар'єру);

- аналіз наслідків і мір зі зниження тяжкості наслідків (опис можливих наслідків, міри з їх зниження, бар'єр, призначений для цього, існує, чи його необхідно встановити, ступінь результативності, особа, що відповідає за надійність бар'єру). Для цієї категорії мір визначається і заноситься до таблиці (з використанням експертних оцінок) рівень поточного (до встановлення бар'єру) і остаточного (після його спрацювання) ризику. (Прим.: остаточний ризик навряд чи може стати «нульовим», а ступінь «прийнятності», за

бажанням, може бути оцінено розрахунковим шляхом, що виходить за межі використання методу BOW-TIE);

д) готуються додаткові матеріали (схеми, графіки, розрахунки) для формування і оцінки ризиків спрацьовування бар'єрів.

Однак у багатьох ситуаціях шляхи та бар'єри залежні, а їхня результативність, внаслідок цього, нечітко виражена. Тому діаграма повинна будуватись з урахуванням додаткових відомостей щодо конкретизації відмов (джерел ризику) і наслідків, встановлення бар'єрів на шляхах від перших до других і їх ефективності.

Орієнтовно діаграму BOW-TIE, призначену для більш детально аналізу рівня аерологічних ризиків на другому етапі і встановлення відповідних локалізуючих і стримуючих бар'єрів, відображено на рис. 2.

Формування розширеної діаграми полягає у наступному:

а) кожна з відмов лівого крила метелика аналізується, і конкретизуються її складові. Це забезпечить можливість встановлення конкретних регулюючих бар'єрів, що для діаграми рис. 1 досить проблематично. Наприклад, досить важко зрозуміти, як зменшити вплив гірничо-геологічних умов на виникнення гірничого удару, якщо невідомо, що конкретно його спричинило;

б) вибираються місця розташування бар'єрів, направлених на попередження або пом'якшення небажаних наслідків та/або підсилення/зниження і прискорення/сповільнення очікуваних наслідків.

Недоліком такого спрощеного використання методу є те, що він не дозволяє відобразити сукупність причин, що виникають одночасно і викликають кілька наслідків (тобто, один бар'єр ідентифікується в основному для єдиного маршруту на шляху від виникнення причини до спровокованого наслідку). Крім того, виникає небезпека представлення складної ситуації у надто спрощеному вигляді, особливо за умови використання кількісних оцінок небезпеки і наслідків. Однак, по-перше, кількість ланок «крилець» метелика може бути збільшено, це залежить тільки від потреб і знань технолога, а по-друге – кожне «крильце» може теж бути багатоланковим і розгалуженим, лише принцип побудови шляхів (кількість ділянок яких перевищить дві) до досягнення мети залишається незмінним. Це питання висвітлене у російському ГОСТ Р 54144-2010 [4].

У ньому дерево відмов (ліве крильце BOW-TIE) обмежене п'ятьма рівнями, пов'язаними логічними «і/або» у відповідності з наступним правилом: комбінація небажаних подій приводить до детальних прямих причин, які у свою чергу приводять до прямих причин, що викликають прояви необхідних і достатніх причин критичної події (Прим.: досить складне визначення, розтлумачене у [1], просто відповідає елементам наших рис. 1 і 2).

Більша деталізація потребує докладнішої інформації і вищої кваліфікації учасників мозкової атаки, а також залучення методів експертного оцінювання; Аналогічним є і формування правого крильця діаграми BOW-TIE. На рис. 2 охоплено лише вторинну і третинну події без урахування подальшої деталізації. Тому перелік встановлених бар'єрів не можна вважати вичерпним.

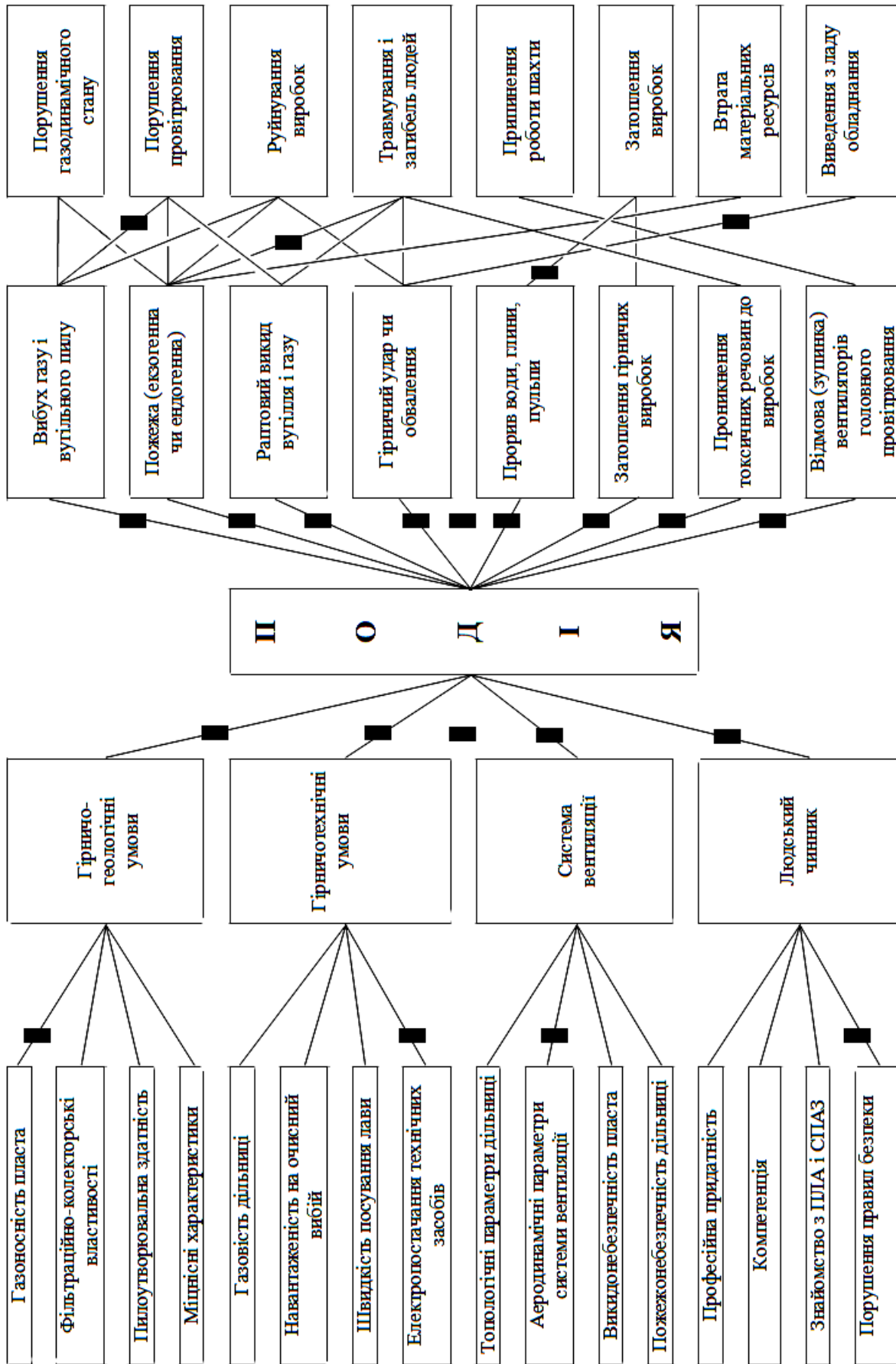


Рисунок 2 – Діаграма BOW-ГПЕ другого рівня

Слід зауважити, що як на шляху від джерела ризику до події, так і на шляху від події до наслідку може розташовуватись кілька бар'єрів, які плануються до спрацьовування послідовно. Бар'єри можуть додатково встановлюватись і після деталізації наслідків (подовження відповідного «крильця»). На кожному етапі «добудови» крильця маршрут може розгалужуватись.

Наступний етап – «мозковий штурм» і аналіз діаграми BOW-TIE:

а) у лівій частині діаграми визначаються усі загрози, що здатні привести від джерела ризику до події. Загроза розуміється як шлях (маршрут діаграмою) від прояву небезпеки до виникнення небезпечної події;

б) визначаються продовження цих маршрутів від виникнення небезпечної події до отримання небажаних наслідків;

в) після визначення усіх загроз, шляхів ескалації і наслідків для кожного наслідку визначається рівень поточного ризику. Причому таких ризиків може бути більшим, ніж кількість наслідків – адже, як видно з рис. 2, від кількох джерел ризику можна побудувати маршрути до одного і того ж наслідку із правої частини діаграми. Тому імовірність одного наслідку необхідно розглядати як суму імовірностей, пов'язаних з кількома ризиками;

г) визначаються існуючі бар'єри і ступінь їх результативності;

д) визначаються місця застосування нових бар'єрів і оцінюється їх можлива результативність;

е) оцінюється рівень остаточного ризику. На цьому завершується формування таблиці оцінки BOW-TIE;

ж) робоча група проглядає остаточну таблицю і оформлює схему оцінки BOW-TIE (за необхідності - декілька), на якій показано маршрути оцінки (наша схема рис. 2 містить пересічні ділянки, тому не досить наочна);

е) складений звіт передається керівництву шахти.

Можна навести наступні приклади аналізу аерологічних ризиків вугільної шахти за викладеним методом.

**Приклад 1.** Рухаючись лівим крильцем метелика від «аеродинамічні параметри системи вентиляції» до «система вентиляції», можна зауважити, що порушення подачі повітря до об'єктів-споживачів може спровокувати виникнення небезпечних подій кількох типів із правого крильця метелика. Вже на першому етапі можна ліквідувати негативні наслідки встановленням відповідного бар'єру – поданням необхідної кількості повітря до споживачів (звісно, не порушуючи вимог Правил безпеки [3]). Якщо ж цю вимогу все ж неможливо задовольнити – необхідно здійснити обмеження для вибуху газу і вугільного пилу – не допустити вибухонебезпечної їх концентрації. Тим самим – не допустити порушення провітрювання, газодинамічного стану і руйнування виробок. Відповідно – необхідно оцінити можливість реалізації цих вимог, їх економічну доцільність, а за неможливості усунення небезпеки – ступінь втрат. Якщо є можливість – недосяжність виконання необхідно деталізувати за умови мінімізації негативних наслідків (у межах «прийнятного» ризику).

**Приклад 2.** Вплив людського чиннику. Цей показник, мабуть, найважливіший: керування станом людини у виробничому процесі

непередбачуване, її професійні придатність і компетентність важко підлягають оцінці, тому використання методу BOW-TIE навряд чи буде доцільним. Однак деякі рекомендації виробити можливо. Найважливішим бар'єром на шляху зниження аварійності є не додержання правил безпеки. Існують Правила [3], безліч посадових інструкцій, що неявно передбачають досяжність «нульового» виробничого (а можливо, і аварійного, що взагалі парадоксально) ризику. Маршрути діаграмою призводять до пожежі, травмування і загибелі людей, припинення роботи шахти, виведення з ладу обладнання тощо. Усунути вплив людського чинника навряд чи можливо. Зниження його може бути досягнуто неухильним виконанням вимог планів ліквідації аварій, планів попередження аварій, вміння користуватися засобами системи протиаварійного захисту і самозбереження. Встановлення і використання відповідних бар'єрів – у компетенції фахівців служб охорони праці шахт. Їх неможливо регламентувати, тому існує широке поле діяльності, а значить – значні можливості у вдосконаленні системи промислової безпеки і зниження аварійності.

Можна зробити наступні **висновки**:

1. Метод BOW-TIE, яким широко користуються закордонні дослідники і технологи, дозволяє приблизними методами оцінити виробничі і аварійні ризики. Існує ряд державних і міжнародних стандартів, які регламентують його використання, однак в Україні діє лише один такий стандарт - ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013, який лише наводить коротку характеристику методу і не містить рекомендацій і методики його застосування.

2. Використання методу і склад групи з організації «мозкової атаки» існує лише у конкретних методичних рекомендаціях (наприклад, М-16.07.01-02 ПАО «Газпромнефть» [5]), і не може бути рекомендоване для міжгалузевого використання.

3. Необхідним є проведення додаткових досліджень і розробка «Методичних рекомендацій...» з використання методу BOW-TIE під час вироблення рекомендацій зі зниження аерологічних (а за умови відповідних доповнень – і взагалі промислових) ризиків у вугільній галузі України.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ГОСТ Р 54145-2010. Менеджмент рисков. Руководство по применению организационных мер безопасности и оценки рисков. Общая методология. Нормативный документ Российской Федерации, введен в действие 21.12.2010. М., 2010. 17с.
2. ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику. К.: Мінекономрозвитку України, 2015. 74с. (Національний стандарт України).
3. 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).
4. ГОСТ Р 54144-2010. Менеджмент рисков. Руководство по применению организационных мер безопасности и оценки рисков. Идентификация инцидентов. Национальный стандарт российской федерации. М., 2010. 34с.
5. М-16.07.01-02. версия 01.Методические указания по анализу и оценке рисков ПЭБ, ОТ и ГЗ с использованием метода BOW-TIE. М.: 2016. 13с.

#### REFERENCES

1. Federal Agency of the Russian Federation for Technical Regulation and Metrology (2010), *GOST R 54145-2010 Menedzhment riskov. Rukovodstvo po primeneniyu organizatsionnykh mer bezopasnosti i otsenki riskov. Obshchaya metodologiya* [GOST R 54145-2010 Risk management. Guidelines for the application of organizational security measures and risk assessment. General methodology], Moscow, RU.



2. Ministry of Economic Development of Ukraine (2015), *DSTU IEC/ISO 31010:2013 Keruvannya ryzykom. Metody zahal'noho otsinyuvannya ryzyku* [DSTU IEC/ISO 31010:2013 Risk management. Methods of general risk assessment], Kyiv, UA.
3. Ministry of Coal Industry of Ukraine (2010), *NPAOP 10.0-1.01-10 Pravyla bezpeky u vugilnykh shakhtakh* [NLASL 10.0-1.01-10 Rules of safety in coal mines], Osnova, Kiev, UA.
4. Federal Agency of the Russian Federation for Technical Regulation and Metrology (2010), *GOST R 54144-2010 Menedzhment riskov. Rukovodstvo po primeneniyu organizatsionnykh mer bezopasnosti i otsenki riskov. Identifikatsiya intsidentov* [GOST R 54144-2010 Risk management. Guidelines for the application of organizational security measures and risk assessment. Identification of incidents], Moscow, RU.
5. Public Joint Stock Company "Gazprom Neft" (2016), *M-16.07.01-02. versiya 01. Metodicheskiye ukazaniya po analizu i otsenke riskov PEB, OT i GZ s ispol'zovaniyem metoda BOW-TIE* [M-16.07.01-02. version 01 Guidelines for the Analysis and Assessment of HSE, Occupational Health and Safety risks using the BOW-TIE method], Moscow, RU

---

### Про авторів

**Кокоулін Іван Євгенович**, кандидат 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](mailto:bunko2017@ukr.net)

**Ященко Ігор Олексійович**, кандидат технічних наук, начальник управління охорони праці, промислової безпеки та цивільного захисту Міністерства енергетики України, Київ, Україна

**Мірошніченко Вадим Володимирович**, магістр, начальник відділу вентиляції і дегазації Департаменту з технічного розвитку Дирекції з видобутку вугілля, Товариство з обмеженою відповідальністю «ДТЕК», Київ, Україна, [miroshnichenkovl@dtek.com](mailto:miroshnichenkovl@dtek.com)

### About the authors

**Kokoulin Ivan Yevhenovych**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Problems of Underground Mining at Great Depths, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, [bunko2017@ukr.net](mailto:bunko2017@ukr.net)

**Yashchenko Ihor Oleksiovych**, Candidate of Technscal Sciences (Ph.D.), Chief of the Department of Labour Protection, Industrial Safety and Civil Defence, Ministry of Power Engineering of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

**Miroshnychenko Vadym Volodymyrovych**, Master of Science, Head of Ventilation and Degassing group Technical Development Department of Coal Production, Limited Liability Company «DFEC», Kyiv, Ukraine, [miroshnichenkovl@dtek.com](mailto:miroshnichenkovl@dtek.com)

**Аннотация.** Угольная отрасль Украины остается одной из самых опасных отраслей промышленности. Ей присущи широкий спектр аварий и аварийных ситуаций, высокий уровень производственного травматизма и профессиональной заболеваемости. Целью повышения безопасности производства является не только снижение риска травматизма и профессиональной заболеваемости (случаи высоковероятные и малосущественные), но и шахтных аварий, возникающих относительно редко, но характеризуются значительно более весомыми последствиями. Необходимо разработать и использовать метод анализа риска, который бы учитывал все аспекты возникновения и протекания возможной аварии и подробно прогнозировал ликвидацию ее последствий. Украина до сих пор не имеет исчерпывающего нормативно-правового и методического обеспечения оценки и управления аварийными рисками, а международные стандарты по этим вопросам, адаптированные к украинским условиям, не всегда доводятся до практического использования. Оценка рисков, особенно аэрологических, на угольной шахте является достаточно сложным процессом, связанным с использованием методов работы в условиях недостаточной информации, недостаточно специалистов, знакомых с методами экспертного оценивания, поэтому достаточно известные за рубежом методы оценки рисков применяются в угольной отрасли Украины недостаточно. Одним из таких методов является диаграмма BOW-TIE («галстук-бабочка»), который позволяет просто и наглядно оценить движение опасности от места возникновения риска к событию, которое вызывает нежелательные последствия, определить этапы, на которых необходимо принять противоаварийные меры, характер и надежность таких мер. В статье приведены методы построения диаграмм BOW-TIE разной степени детализации, маршрутов движения опасностей, установления управляющих риском барьеров, «мозгового штурма» при анализе аэрологических рисков с целью снижения их до приемлемого уровня. Приведены примеры использования диаграммой BOW-TIE. Использование в отечественной практике зарубежных разработок свидетельствует о перспективности такого подхода и необходимости продолжения работ с целью более широкого внедрения этого метода на угольных предприятиях Украины.

**Ключевые слова:** угольная шахта, аэрологических риск, опасность, нежелательный результат, метод BOW-TIE.

**Abstract.** The coal industry in Ukraine remains one of the most dangerous industries. It is characterized by a wide range of accidents and emergencies, a high level of industrial injuries and occupational morbidity. The aim of improving production safety is not only to reduce the risk of injury and occupational morbidity (cases of high probability and insignificant), but also mine accidents, which occur relatively rarely, but are characterized by much more significant

consequences. It is necessary to develop and use a risk analysis method that would take into account all aspects of the occurrence and course of a possible accident and would forecast in detail the elimination of its consequences. Ukraine still does not have an comprehensive legal and methodological support for assessing and managing emergency risks, and international standards on these issues, adapted to Ukrainian conditions, are not always brought to practical use. Risk assessment, especially aerological analysis, of a coal mine is a rather complicated process associated with the use of working methods in conditions of insufficient information, there are not enough specialists familiar with the methods of expert assessment, therefore, risk assessment methods well-known abroad are not used in the coal industry of Ukraine in full measure. One of these methods is the BOW-TIE diagram, which allows to simply and visually assess the advancing of a hazard from the place of the risk occurrence to the event that causes undesirable consequences, to determine the stages at which it is necessary to take emergency measures, the nature and reliability of such measures. The article presents the methods for constructing the BOW-TIE diagrams with different level of detail, routes of hazards advancing, establishment of risk control barriers, "brainstorming" during the analysis of aerological risks in order to reduce them to the acceptable level. Examples of using the BOW-TIE diagram are given. The use of foreign developments in domestic practice indicates the promising nature of this approach and the need to continue the work with the aim of wider introduction of this method at coal enterprises in Ukraine.

**Keywords:** coal mine, aerological risk, hazard, unwanted outcome, BOW-TIE method.

*Стаття надійшла до редакції 02.02.2021*