

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова
Національної академії наук України
ТОВ «ДТЕК ЕНЕРГО»

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Мірошниченко Вадим Володимирович

УДК 622.8.012.2:658.382.3 (043:3)

ДИСЕРТАЦІЯ

Вдосконалення методів моніторингу аерогазодинамічних параметрів та оцінки
аерологічного ризику вентиляційних систем вугільних шахт з використанням
СМАРТ-технологій

Спеціальність 263 – Цивільна безпека
Галузь знань 26 – Цивільна безпека

Подається на здобуття наукового
ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів
і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

В.В. Мірошниченко

Наукові керівники:

Бунько Тетяна Вікторівна, доктор технічних наук, старший науковий співробітник;
Шевченко Володимир Георгійович, доктор технічних наук, професор.

Дніпро - 2021 р.

АНОТАЦІЯ

Мірошніченко В.В. Вдосконалення методів моніторингу аерогазодинамічних параметрів та оцінки аерологічного ризику вентиляційних систем вугільних шахт з використанням СМАРТ-технологій - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 263 – Цивільна безпека. - Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпро, ТОВ «ДТЕК ЕНЕРГО», Київ, 2021.

Дисертацію присвячено вирішенню актуального наукового завдання вдосконалення методів, встановлення закономірностей та розробки інформаційно-вимірювальних смарт-технологій моніторингу складних аерогазодинамічних мереж вугільних шахт, що має суттєве значення для підвищення рівня безпеки та зниження аварійності у вугільній галузі.

Вперше розроблено метод визначення зон загазування ШВС вугільних шахт при повороті екзогенної пожежі та встановлено закономірності зміни концентрації газоподібних продуктів в першій виробці контуру, в яку безпосередньо надходять газоподібні продукти від вогнища пожежі, від концентрації газоподібних продуктів та витрат повітря у виробці, що подає газоподібні продукти від вогнища пожежі в першу виробку контуру рециркуляції, та сумарних витрат повітря всіх виробок зони загазування.

Концентрація газоподібних продуктів в першій виробці контуру, в яку безпосередньо надходять газоподібні продукти від вогнища пожежі при її повороті, визначається співвідношенням добутку концентрації газоподібних продуктів та витрат повітря у виробці, що подає газоподібні продукти від вогнища пожежі в першу виробку контуру рециркуляції, до сумарних витрат повітря всіх виробок зони загазування, так при концентрації газоподібних продуктів 5 г/м^3 та витратах повітря у виробці, що подає газоподібні продукти, $15 \text{ м}^3/\text{с}$ та сумарних витратах повітря $25 \text{ м}^3/\text{с}$ концентрація газоподібних продуктів в першій виробці контуру досягає значення $3,57 \text{ г/м}^3$.

Вперше розроблено метод визначення ризику раптового викиду вугілля, породи і газу, з урахуванням гірничо-геологічних, гірничотехнічних та людського чинників та встановлено залежності зміни ризику від коефіцієнту усунення порушень, який характеризує вплив людського чинника.

Ризик раптового викиду вугілля, породи і газу, який враховує гірничо-геологічні, гірничотехнічні та людський чинник, обчислюється в залежності від попадання середньозваженого балу, що характеризує небезпеку аварії, у межі одного з діапазонів визначених балів, а вага чинника визначається відношенням рангу чинника до суми рангів всіх чинників у блоці, при цьому людський чинник характеризується коефіцієнтом усунення порушень, який визначається відношенням кількості усунених у строк порушень до кількості виявлених порушень, так при зміні коефіцієнта усунення порушень з 0,81-1 до 0,3 індекс небезпеки викиду зростає від 0 до 1.

Вперше обґрунтовано критерій адекватності інформаційно-вимірювальних смарт-технологій моніторингу складних аєрогазодинамічних мереж - максимальна нев'язка витрат повітря у вузлах модельованої мережі та вирішено задачу структурної ідентифікації аеродинамічних параметрів ШВМ в умовах неповної та недостатньо достовірної інформації.

Критерієм адекватності інформаційно-вимірювальних смарт-технологій моніторингу складних аєрогазодинамічних мереж є максимальна нев'язка витрат повітря у вузлах модельованої мережі, а задача структурної ідентифікації полягає у тому, щоб максимальне відхилення в будь-якому з вузлів реальної і модельованої мереж не перевищувало значення критерію адекватності, пов'язаного з вимірюваннями витрат повітря за умови $\min \{dim G_m\}$ - мінімізації критеріїв розмірності та перетворення мережі, заданої моделюючим графом $G_m(X_m, U_m)$, з відповідною множиною гілок X_m та вузлів U_m ШВМ.

Розроблено інформаційне забезпечення структурно-параметричної реконфігурації системи «вентилятор головного провітрювання – шахтна вентиляційна мережа – вироблений простір». До складу початкової інформації

входить: глибина обладнаних підйомом кліті шахтних стовбурів, швидкість руху судів, їхні геометричні розміри, параметри аеродинамічного удару тощо.

Розроблено технологію поетапної газоізоляції тупиків вентиляційних штрків при зворотньооточному провітрюванні лав, яка складеться зі зведення нової перемички та робіт зі скорочення трубопроводу.

Розроблено та впроваджено інструкцію - корпоративний стандарт, який регламентує безпечне ведення гірничих робіт на вугледобувних шахтах ДТЕК ЕНЕРГО. У ній описано важливий технічний аспект, спрямований на зниження ризиків за газовим фактором, для лав, що відпрацьовують запаси із застосуванням стовпової системи розробки. Запропоновану схему технологічних процесів газоізоляції тупиків вентиляційних штрків апробовано на практиці, Апробація показала хороші результати у плані безпеки і економічної ефективності. Інструкція обов'язкова до застосування на шахтах ДТЕК і може бути рекомендована для інших вугледобувних підприємств, що розробляють газонасні пласти.

Ключові слова: методи моніторингу, аерогазодинамічні параметри, аерологічний ризик, вентиляційні системи, вугільні шахти, смарт-технології.

Список публікацій здобувача за темою дисертації.

Монографії

1. Прогнозирование и предупреждение последствий взрывов метана в целях улучшения защиты шахтной инфраструктуры и критического оборудования. Zdzislaw Dyduch, Robert Hildebrandt, Jacek Skiba, Ksawery Graboś, José Luis Fuentes-Cantillana, Pedro Morillo, Florencio Fernández, Benjamin Truchot, Emmanuel Leprette, Marcin Małachowski, Andrzej Turek, Fernando Ordás, Luis Manuel Álvarez, Klaudiusz Szczurek, М.В. Шишов, В.В. Мирошніченко. Центральный институт горного дела, Plac Gwarków 1, PL-40-166 Katowice, Польша. 2014 – 2017. 90 с.

2. Совершенствование функционирования угольных шахт; вентиляция, кондиционирование, дегазация, экология. А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, И.А. Яценко,

М.В. Шишов, В.В. Мирошніченко, В.Р. Алаб'єв, А.Б. Бокий, Л.А. Новиков, М.Н. Дудник, І.Е. Кокоулін. Дніпро. 2018. 444 с.

Статті у закордонних періодичних виданнях та виданнях, які індексуються у міжнародних наукометричних базах

3. Влияние накопления жидкости на газовые динамические характеристики трубопровода. Т.В. Бунько, Л.А. Новиков, М.Н. Дудник, В.В. Мирошніченко. The scientific method. Польща. 2018. № 17 (1). С. 50-55.

4. Estimation and use materials of the airily-depressed surveys on the coal mines of Ukraine. Tetiana Bunko, Maksym Shishov, Vadim Miroshnychenko, Mykhailo Dudnyk, Ivan Kokoulin. Essays of Mining Science and Practice. E3S Web of ConferencePp. Vol. 109 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1051/E3Sconf/201910900012>.

5. Ground parameters of working standard of reproduction of small speeds of air stream. Mykhaylo Dudnyk, Viktor Veretennyk, Serhii Enhel, Vadym Krytskiy, Vadim Miroshnychenko. Essays of Mining Science and Practice. E3S Web of ConferencePp. Vol. 109 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900021>.

6. Identification zones of influence of exogenous fire damaging factorPp. Tetiana Bunko, Ihor Yashchenko, Ruslan Papirnyk, Anatolii Belikov, Vadym Miroshnychenko, Oleksandr Otchenashev. Essays of Mining Science and Practice. E3S WEB of Conferences, vol. 168(2020). DOI: <https://doi.org/10/1051/e3sconf/202016800049>

Статті у вітчизняних фахових виданнях

7. Інформаційно-вимірювальні СМАРТ-технології моніторингу складних інженерних мереж. Т.В. Бунько, М.В. Шишов, В.В. Мірошніченко, І.Є. Кокоулін. Строительство, материаловедение, машиностроение. Дніпро. 2017. Вип. 101. С. 60-66.

8. К вопросу создания и функционирования участка дегазации угольной шахты. Т.В. Бунько, В.В. Мирошніченко, Л.А. Новиков, І.Е. Кокоулін. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2017. Вип. 132. С. 202-210.

9. Состояние проветривания и противоаварийной защиты шахт ДТЭК и перспективы их совершенствования. Т.В. Бунько, М.В. Шишов, В.В.

Мирошниченко, И.Е. Кокоулин. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2017. Вип. 134. С. 47-58.

10. Інформаційне забезпечення структурно-параметричної реконфігурації системи «вентилятори головного провітрювання - шахтна вентиляційна мережа – вироблений простір». Т.В. Бунько, В.В. Мірошниченко, І.Є. Кокоулін, О.Ш. Жалілов. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2017. Вип. 135. С. 46-55.

11. Стандартизація понять і термінів аварійності і аварійних ризиків вугільних шахт. А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, І.О. Ященко, В.В. Мірошниченко, М.В. Шишов. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2018. Вип. 141. С. 50-60. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2018.141.050>.

12. Estimation and use materials of the airly-depressed survays of the coal mines of Ukraine. T.V. Bunko, M.V. Shyshov, I.Ye. Kokoulin, M.M. Dudnyk, Vadim Miroshnychenko. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2019. Вип. 146. С. 3-17. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/2019>

13. Мирошниченко В.В. Инновационные подходы в организации работы по охране труда и промышленной безопасности на предприятиях ООО «ДТЭК ЭНЕРГО». Геотехнічна механіка. Дніпро. 2019. Вип. 149. С. 89-99. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2019.149.089>.

14. Дослідження чинників, які утворюють аерологічний ризик вугільних шахт. А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, І.О. Ященко, І.Є. Кокоулін, В.В. Мірошниченко, С.А. Головка. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2020. Вип. 150. – С. 3-14. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2020.150.003>.

15. Ризик-орієнтований концепт у філософії техніки. А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, І.Є. Кокоулін, В.В. Мірошниченко. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2020. Вип. 152. - С. 3-21. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2020.152.003>.

16. Кокоулін І.Є., Ященко І.О., Мірошниченко В.В. Використання методу BOW-TIE під час аналізу аерологічних ризиків вугільних шахт. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2021. Вип. 156. С. 165-174. <https://doi.org/10.15407/geotm2021.156.165>

Матеріали конференцій

17. Бунько Т.В., Мирошніченко В.В., Кокоулин И.Е..Методология обнаружения аварий в угольных шахтах. Тезисы докладов VII Всеукраинской научно-практической конференции с международным участием «Чрезвычайные ситуации: безопасность и защита», 20-21 октября 2017 года. Черкасском институте пожарной безопасности им. Героев Чернобыля Национального института гражданской защиты Украины. – Черкасы, 2017. – С. 121-122.

18. Шишов М.В., Мірошніченко В.В. Підвищення рівня безпеки праці як основа енергетичної безпеки України.. Молодь: наука та інновації: Матеріали V Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих учених (Дніпро, 28-29 листопада 2017 року). – Дніпро: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – Т. 10. – С. 53-54.

Публікації в інших виданнях

19. Мирошніченко В.В. Повышение уровня безопасности труда как основа энергетической безопасности Украины. Охорона праці. 2018. № 3.

20. Мирошніченко В.В. Енергетична незалежність вугільної галузі... Досвід дегазації та утилізації метану на підприємствах групи ДТЕК. Охорона праці. 2018. № 4. С. 38-41.

21. Мирошніченко В.В. Основні принципи промислової безпеки на підприємствах ДТЕК ЕНЕРГО. Промислова безпека. 2018. № 12.

ANNOTATION

Miroshnychenko VV Improvement of methods of monitoring of aerogas-dynamic parameters and assessment of aerological risk of ventilation systems of coal mines with the use of smart technologies. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of philosophy on a specialty 263 - Civil safety. - Institute of Geotechnical Mechanics named M.S. Polyakov NAS of Ukraine, Dnipro, DTEK ENERGO LLC, Kyiv, 2021.

The dissertation is devoted to the solution of actual scientific improvement of methods, establishment of regularities and development of information-measuring smart technologies of monitoring of complex aerogas-dynamic networks of coal mines, which is essential for increase of safety level and reduction of accidents in coal sector.

For the first time a method was developed to determine the gassing zones of SHS coal mines when turning exogenous fire and established patterns of change in the concentration of gaseous products in the first circuit, which directly receives gaseous products from the fire, from the concentration of gaseous products and air flow in the supply of gaseous products from fires in the first development of the recirculation circuit, and the total air flow of all workings of the gassing zone.

The concentration of gaseous products in the first development of the circuit, which directly receives gaseous products from the fire when it rotates, is determined by the ratio of the product of the concentration of gaseous products and air flow in the production, supplying gaseous products from the fire in the first development of the recirculation circuit all workings of the gassing zone, so at a concentration of gaseous products of $5 \text{ g} / \text{m}^3$ and air flow in the production, supplying gaseous products, $15 \text{ m}^3 / \text{s}$ and a total flow rate of $25 \text{ m}^3 / \text{s}$, the concentration of gaseous products in the first development of the circuit reaches $3,57 \text{ g} / \text{m}^3$.

For the first time, a method was developed to determine the risk of sudden emissions of coal, rock and gas, taking into account mining and geological, mining and human factors and the dependence of risk change on the elimination factor, which characterizes the human factor.

The risk of sudden release of coal, rock and gas, which takes into account the mining, geological, mining and human factors, is calculated depending on the weighted average score, which characterizes the risk of accident, within one of the ranges, and the weight of the factor is determined by the ratio of factor to sum ranks of all factors in the block, while the human factor is characterized by the elimination factor of violations, which is determined by the ratio of the number of eliminated violations to the number of detected violations, so when changing the elimination factor from 0.81-1 to 0.3, the hazard index increases from 0 to 1.

For the first time the criterion of adequacy of information-measuring smart technologies of monitoring of complex aerogas-dynamic networks - maximum inconsistency of air consumption in the nodes of the simulated network is substantiated and the problem of structural identification of aerodynamic parameters of PCM in the conditions of incomplete and insufficiently reliable information is solved.

The criterion for the adequacy of information and measurement smart technologies for monitoring complex aerogas-dynamic networks is the maximum inconsistency of air flow in the nodes of the simulated network, and the task of structural identification is that the maximum deviation in any of the nodes of real and simulated networks does not exceed adequacy criterion related to air flow measurements under the condition $\min \{dim G_m\}$ - minimization of dimensionality criteria and transformation of the network given by the modeling graph $G_m (X_m, U_m)$, with the corresponding set of branches X_m and nodes U_m of the computer.

The information support of structural and parametric reconfiguration of the system "fan of the main ventilation - mine ventilation network - produced space" is developed. The initial information includes: the depth of the mine shafts equipped with the rise of the cage, the speed of the vessels, their geometric dimensions and parameters of aerodynamic impact, etc.

The technology of stage-by-stage gas insulation of dead-ends of ventilating drifts at back-flow airing of lavas which consists of construction of a new jumper and work on reduction of the pipeline is developed.

An instruction has been developed and implemented - a corporate standard that regulates the safe conduct of mining operations at DTEK ENERGO's coal mines. It describes an important technical aspect aimed at reducing the risks of the gas factor for the ranks of working stocks using the column system of development. The proposed scheme of technological processes of gas insulation of dead ends of ventilation drifts is tested in practice and has shown good results in terms of safety and economic efficiency. It is mandatory for use in DTEK mines and can be recommended for other coal mining companies developing gas-bearing formations.

Key words: monitoring methods, aerogas-dynamic parameters, aerological risk, ventilation systems, coal mines, smart technologies.

List of the applicant's publications on the topic of the dissertation.

Monographs

1. Prognozirovanie i preduprezhdenie posledstvij vzry`vov metana v czelyakh uluchsheniya zashhity` shakhtnoj infrastruktury` i kriticheskogo oborudovaniya. Zdzislaw Dyduch, Robert Hildebrandt, Jacek Skiba, Ksawery Graboś, José Luis Fuentes-Cantillana, Pedro Morillo, Florencio Fernández, Benjamin Truchot, Emmanuel Leprette, Marcin Małachowski, Andrzej Turek, Fernando Ordás, Luis Manuel Álvarez, Klaudiusz Szczurek, M.V. Shishov, V.V. Miroshnychenko. Czentral`ny`j institut gornogo dela, Plac Gwarków 1, PL-40-166 Katowice, Pol`sha. 2014 – 2017. 90 Pp.

2. Sovershenstvovanie funkczionirovaniya ugol`ny`kh shakht; ventilyacziya, kondiczionirovanie, degazacziya, e`kologiya. A.F. Bulat, T.V. Bun`ko, I.A. Yashhenko, M.V. Shishov, V.V. Miroshnychenko, V.R. Alab`ev, A.B. Bokij, L.A. Novikov, M.N. Dudnik, I.E. Kokoulin. Dni`pro. 2018. 444 Pp.

Articles in foreign periodicals and publications included in international scientometric databases

3. Vliyanie nakopleniya zhidkosti na gazovy`e dinamicheskie kharakteristiki truboprovoda. T.V. Bun`ko, L.A. Novikov, M.N. Dudnik, V.V. Miroshnychenko. The scientific method. Pol`sha. 2018. # 17 (1). PP. 50-55.

4. Estimation and use materials of the airly-depressed surveys on the coal mines of Ukraine. Tetiana Bunko, Maksym Shishov, Vadim Miroshnychenko, Mykhailo Dudnyk, Ivan Kokoulin. Essays of Mining Science and Practice. E3S Web of ConferencePp. Vol. 109 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1051/E3Sconf/201910900012> .

5. Ground parameters of working standard of reproduction of small speeds of air stream. Mykhaylo Dudnyk, Viktor Veretennyk, Serhii Enhel, Vadym Krytskiy, Vadim

Miroshnychenko. Essays of Mining Science and Practice. E3S Web of ConferencePp. Vol. 109 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900021>.

6. Identification zones of influence of exogenous fire damaging factorPp. Tetiana Bunko, Ihor Yashchenko, Ruslan Papirnyk, Anatolii Belikov, Vadym Miroshnychenko, Oleksandr Otchenashev. Essays of Mining Science and Practice. E3S WEB of Conferences, vol. 168(2020). DOI: <https://doi.org/10/1051/e3sconf/202016800049>.

Articles in domestic professional publications

7. Informatsiino-vymiriuvalni SMART-tekhnologii monitorynhu skladnykh inzhenernykh merezh. T.V. Bunko, M.V. Shyshov, V.V. Miroshnychenko, I.Ie. Kokoulin. Stroytelstvo, materyalovedenye, mashynostroenye. Dnipro. 2017. Vol. 101. PP. 60-66.

8. K voprosu sozdaniya i funkczionirovaniya uchastka degazaczii ugol`noj shakhty`. T.V. Bun`ko, V.V. Miroshnychenko, L.A. Novikov, I.E. Kokoulin. Geo-technical mechanicPp. Dni`pro. 2017. Vol. 132. PP. 202-210.

9. Sostoyanie provetrivaniya i protivooavarijnoy zashhity` shakht DTE`K i perspektivy` ikh sovershenstvovaniya. T.V. Bun`ko, M.V. Shishov, V.V. Miroshnychenko, I.E. Kokoulin. Geotekhnichna mekhani`ka. Dni`pro. 2017. Vol. 134. PP. 47-58.

10. Informatsiine zabezpechennia strukturno-parametrychnoi rekonfihuratsii systemy «ventyliatory holovnoho provitriuvannia - shakhtna ventyliatsiina meretzha – vyroblenyi prostir». T.V. Bunko, V.V. Miroshnychenko, I.Ie. Kokoulin, O.Sh. Zhalilov. Heotekhnichna mekhanika. Dnipro. 2017. Vol. 135. PP. 46-55.

11. Standartyzatsiia poniat i terminiv avariinosti i avariinykh ryzykiv vuhilnykh shakht. A.F. Bulat, T.V. Bunko, I.O. Yashchenko, V.V. Miroshnychenko, M.V. Shyshov. Heotekhnichna mekhanika. Dnipro. 2018. Vol. 141. PP. 50-60. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2018.141.050>.

12. Estimation and use materials of the airly-depressed surveys of the coal mines of Ukraine. T.V. Bunko, M.V. Shyshov, I.Ye. Kokoulin, M.M. Dudnyk, Vadim Miroshnychenko. Heotekhnichna mekhanika. Dnipro. 2019. Vol. 146. PP. 3-17. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/2019>.

13. Miroshnychenko V.V. Innovacziorny`e podkhody` v organizaczii raboty` po okhrane truda i promy`shlennoj bezopasnosti na predpriyatiyakh OOO «DTE`K E`NERGO». Geotekhnichna mekhanika. Dni`pro. 2019. Vol. 149. PP. 89-99. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2019.149.089>.

14. Doslidzhennia chynnykiv, yaki utvoriuiut aerolohichniy ryzyk vuhilnykh shakht. A.F. Bulat, T.V. Bunko, I.O. Yashchenko, I.Ie. Kokoulin, V.V. Miroshnychenko, PP.A. Holovko. Heotekhnichna mekhanika. Dnipro. 2020. Vol. 150. – PP. 3-14. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2020.150.003>.

15. Ryzyk-orientovanyi kontsept u filosofii tekhniky. A.F. Bulat, T.V. Bunko, I.Ie. Kokoulin, V.V. Miroshnychenko. Heotekhnichna mekhanika. Dnipro. 2020. Vol. 152. - PP. 3-21. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2020.152.003>.

16. Kokoulin I.Ye., Yashchenko I.O., Miroshnychenko V.V. Vykorystannya metodu BOW-TIE pid chas analizu aerolohichnykh ryzykiv vuhil'nykh shakht. Heotekhnichna mekhanika. Dnipro. 2021. Vol. 156. PP. 165-174. <https://doi.org/10.15407/geotm2021.156.165>.

Conference proceedings

17. Bun`ko T.V., Miroshnychenko V.V., Kokoulin I.E..Metodologiya obnaruzheniya avarij v ugol`ny`kh shakhtakh. Tezisy` dokladov VII Vseukrainskoj nauchno-prakticheskoy konferenczii s mezhdunarodny`m uchastiem «Chrezvy`chajny`e situaczii: bezopasnost` i zashhita», 20-21 oktyabrya 2017 goda. Cherkasskom institute pozharnoj bezopasnosti im. Geroev Chernoby`lya Naczional`nogo instituta grazhdanskoj zashhity` Ukrainy`. – Cherkassy`, 2017. – PP. 121-122.

18. Shyshov M.V., Miroshnychenko V.V. Pidvyshchennia rivnia bezpeky pratsi yak osnova enerhetychnoi bezpeky Ukrainy.. Molod: nauka ta innovatsii: Materialy V Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh uchenykh (Dnipro, 28-29 lystopada 2017 roku). – Dnipro: Derzhavnyi VNZ «NHU», 2017. – T. 10. – PP. 53-54.

Other publications

19. Miroshnychenko V.V. Povysheniye urovnya bezopasnosti truda kak osnova energeticheskoy bezopasnosti Ukrainy. Okhorona pratsi. 2018. № 3.

20. Miroshnychenko V.V. Enerhetychna nezalezhnist vuhilnoi haluzi... Dosvid dehazatsii ta utylizatsii metanu na pidpriemstvakh hrupy DTEK. Okhorona pratsi. 2018. № 4. PP. 38-41.

21. Miroshnychenko V.V. Osnovni pryntsypy promyslovoi bezpeky na pidpriemstvakh DTEK ENERHO. Promyslova bezpeka. 2018. № 12.

ЗМІСТ

ВСТУП	16
1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ, МОНІТОРИНГУ ТА КОНТРОЛЮ АЕРОГАЗОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ І ОЦІНКИ РИЗИКУ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ	23
1.1. Підвищення рівня безпеки праці, як основа енергетичної безпеки України	23
1.2. Стан провітрювання і протиаварійного захисту шахт ДТЕК і перспективи їх вдосконалення	28
1.3. Аналіз методів оцінки і керування аварійними ризиками вугільних шахт	38
1.4. Аналіз літературних джерел в галузі підвищення безпеки, моніторингу та контролю аерогазодинамічного параметрів і оцінки ризиків вентиляційних систем вугільних шахт	46
1.5. Висновки по розділу. Мета, завдання та методи досліджень	54
1.6. Список використаних джерел за розділом 1	56
2. ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТА МОНІТОРИНГУ АЕРОГАЗОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ШАХТ	63
2.1. Удосконалення методології виявлення аварій у вугільних шахтах	63
2.2. Метод оцінки і використання матеріалів повітряно-депресійних зйомок на вугільних шахтах.	65
2.3. Інформаційне забезпечення структурно-параметричної реконфігурації системи «вентилятор головного провітрювання – шахтна вентиляційна мережа – вироблений простір».	76
2.4. Задача визначення зон загазування шахтної вентиляційної мережі вугільних шахт при повороті екзогенної пожежі	81
2.5. Висновки по розділу	93
2.6. Список використаних джерел за розділом 2	96
3. ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ АЕРОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ	98

3.1. Дослідження чинників, які утворюють аерологічний ризик у вугільних шахтах	98
3.2. Використання методу bow-tie під час аналізу аерологічних ризиків вугільних шахт	109
3.3. Метод оцінки ризику виникнення раптового викиду вугілля, породи і газу у вугільній шахті	118
3.4. Інформаційно-вимірювальні смарт-технології моніторингу складних аерогазодинамічних мереж	124
3.5. Висновки по розділу	145
3.6. Список використаних джерел за розділом 3	148
4. РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ЗА АЕРОГАЗОДИНАМІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ	152
4.1. Інноваційні підходи в організації роботи з охорони праці та промислової безпеки на вугледобувних підприємствах ТОВ «ДТЕК ЕНЕРГО»	152
4.2. До питання створення та функціонування дільниці дегазації вугільної шахти	161
4.3. Технологія поетапної газоізоляції тупиків вентиляційних штреків при зворотноточному провітрюванні лав	169
4.4. Висновки по розділу	180
4.5. Список використаних джерел за розділом 4	182
ВИСНОВКИ	184
Додаток А. Копії титульних листів методичних документів	188
Додаток Б. Копії документів про впровадження результатів дисертації	191
Додаток В. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	208

ВСТУП

Актуальність теми.

Підвищення рівня безпеки праці на вугільних шахтах вигідно як економічно (вжиття заходів безпеки сприятиме підвищенню економічної та енергоефективності гірничого виробництва, в тому числі і зниження економічних втрат супутніх техногенних аварій), так і в соціальному плані (зниження виробничого травматизму і поліпшення умов праці гірників). Тим самим буде підвищено як якісний рівень, так і кількісні показники ефективності вугільної промисловості України, що забезпечить її енергетичну незалежність.

Основними завданнями досліджень щодо вдосконаленню проектування, експлуатації та реконфігурації вентиляційних систем шахт ДТЕК в даний час є: оцінка шахтного фонду, технологічних систем і сучасних напрямів розвитку вугільного виробництва ДТЕК; оцінка взаємодії вентиляції, дегазації та інших допоміжних технологічних систем у процесі вуглевидобутку і ступеню ризиків, що при цьому виникають; розробка методів багатокритеріальної оцінки при формуванні інтегральних показників оцінки технологічних систем, що проектуються, і реконфігурованих шахт, відповідних імітаційних моделей і програмного забезпечення їх використання; обґрунтування технічних рішень по організації взаємодії і зниженню взаємного негативного впливу допоміжних технологічних систем і провітрювання обраного об'єкта досліджень (однієї з шахт ДТЕК) і оцінка їх ризику; розробка нормативно-методичних документів (СОУ) з оцінки якості проектування і ризику при організації спільного функціонування технологічних підсистем вугільної шахти, і вироблення пропозицій щодо внесення відповідних змін до чинних нормативних документів вугільної галузі.

Всі методи аналізу та оцінки аварійних ризиків вугільних шахт можуть використовуватись ізольовано чи доповнюючи один одного, причому методи якісного аналізу можуть включати кількісні критерії ризиків (в основному, за експертними оцінками з використанням, наприклад, матриці ранжування

небезпеки). Повний кількісний аналіз ризику повинен використовувати результати якісного аналізу небезпек.

Важливим є вдосконалення методів оцінки і використання матеріалів повітряно-депресійних зйомок; дослідження чинників, які утворюють аерологічний ризик у вугільних шахтах, розробка методу оцінки такого ризику та розробка інформаційно-вимірювальних смарт-технологій моніторингу складних аерогазодинамічних систем вугільних шахт.

З огляду на викладене, вдосконалення методів, встановлення закономірностей та розробка інформаційно-вимірювальних смарт-технологій моніторингу складних аерогазодинамічних мереж вугільних шахт є **актуальним науковим завданням**, що має суттєве значення для підвищення рівня безпеки та зниження аварійності у вугільній галузі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами.

Дисертаційна робота виконувалася відповідно до планів науково-дослідних робіт Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України за темами «Наукові засади ризик-орієнтованого керування геотехнічними системами при розробці родовищ твердих корисних копалин» (№ держ. реєстрації 0119U001349), «Дослідження геомеханічних процесів у гранично напруженому вуглепорідному масиві і механізму виникнення газодинамічних явищ і розробка рекомендацій із удосконалення технологій їх запобігання» (№ держ. реєстрації 0120U101399), «Розвиток наукових основ та вдосконалення методів і засобів підвищення ефективності та безпеки ведення гірничих робіт при видобутку уранових руд» (№ держ. реєстрації 0117U004231), у яких автор був виконавцем розділів.

Ідея роботи полягає у використанні встановлених закономірностей зміни параметрів та аерологічного ризику вентиляційних систем для розробки інформаційно-вимірювальних смарт-технологій моніторингу складних аерогазодинамічних мереж вугільних шахт.

Мета і завдання досліджень.

Мета роботи - вдосконалити методи, встановити закономірності та розробити інформаційно-вимірювальні смарт-технології моніторингу складних

аерогазодинамічних мереж вугільних шахт для підвищення рівня безпеки та зниження аварійності у вугільній галузі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розробити методи оцінки і використання матеріалів повітряно-депресійних зйомок на вугільних шахтах та визначення зон загазування ШВМ при повороті екзогенної пожежі та встановити закономірності зміни концентрації газоподібних продуктів в виробці;

- дослідити чинники, які утворюють аерологічний ризик у вугільних шахтах, розробити метод оцінки і встановити закономірності зміни ризику виникнення раптового викиду вугілля, породи і газу у вугільній шахті;

- розробити інформаційно-вимірювальні смарт-технології моніторингу складних аерогазодинамічних мереж та обґрунтувати критерій їх адекватності;

- розробити та впровадити технологію поетапної газоізоляції тупиків вентиляційних штреків при зворотньооточному провітрюванні лав.

Об'єкт дослідження - аерогазодинамічні процеси у шахтних вентиляційних системах.

Предмет дослідження — методи моніторингу параметрів та оцінки аерологічного ризику вентиляційних систем вугільних шахт.

Методи дослідження.

Методи дослідження - для досягнення поставлених завдань у роботі використаний комплексний метод досліджень, що включає: аналіз існуючих літературних джерел і узагальнення науково-технічних досягнень в області підвищення безпеки, моніторингу та контролю аерогазодинамічних параметрів та оцінки аерологічного ризику вентиляційних систем вугільних шахт, теорії ризиків, теорії управління, теорії графів, нелінійного програмування, математичного аналізу, теорії ймовірності та математичної статистики із застосуванням сучасних інформаційних систем і обчислювальних комплексів.

Наукові положення, що виносяться на захист.

1. Концентрація газоподібних продуктів в першій виробчій контуру, в яку безпосередньо надходять газоподібні продукти від вогнища пожежі при її повороті,

визначається співвідношенням добутку концентрації газоподібних продуктів та витрат повітря у виробці, що подає газоподібні продукти від вогнища пожежі в першу виробку контуру рециркуляції, до сумарних витрат повітря всіх виробок зони загазування, так при концентрації газоподібних продуктів 5 г/м^3 та витратах повітря у виробці, що подає газоподібні продукти, $15 \text{ м}^3/\text{с}$ та сумарних витратах повітря $25 \text{ м}^3/\text{с}$ концентрація газоподібних продуктів в першій виробці контуру досягає значення $3,57 \text{ г/м}^3$.

2. Ризик раптового викиду вугілля, породи і газу, який враховує гірничо-геологічні, гірничотехнічні та людський чинник, обчислюється в залежності від попадання середньозваженого балу, що характеризує небезпеку аварії, у межі одного з діапазонів визначених балів, а вага чинника визначається відношенням рангу чинника до суми рангів усіх чинників у блоці, при цьому людський чинник характеризується коефіцієнтом усунення порушень, який визначається відношенням кількості усунених у строк порушень до кількості виявлених порушень; при зміні коефіцієнту усунення порушень з $0,81-1$ до $0,3$ індекс небезпеки викиду зростає від 0 до 1 .

3. Критерієм адекватності інформаційно-вимірювальних смарт-технологій моніторингу складних аєрогазодинамічних мереж є максимальна нев'язка витрат повітря у вузлах модельованої мережі, а задача структурної ідентифікації полягає у тому, щоб максимальне відхилення у будь-якому з вузлів реальної і модельованої мереж не перевищувало значення критерію адекватності, пов'язаного з вимірюваннями витрат повітря за умови $\min \{dim G_m\}$ - мінімізації критеріїв розмірності та перетворення мережі, заданої моделюючим графом $G_m(X_m, U_m)$, з відповідною множиною гілок X_m та вузлів U_m ШВМ.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше розроблено метод визначення зон загазування ШВМ вугільних шахт при повороті екзогенної пожежі та встановлено закономірності зміни концентрації газоподібних продуктів в першій виробці контуру, в яку безпосередньо надходять газоподібні продукти від вогнища пожежі, від концентрації газоподібних продуктів та витрат повітря у виробці, що подає газоподібні продукти від вогнища

пожежі в першу виробку контуру рециркуляції, та сумарних витрат повітря всіх виробок зони загазування.

2. Вперше розроблено метод визначення ризику раптового викиду вугілля, породи і газу, з урахуванням гірничо-геологічних, гірничотехнічних та людського чинників та встановлено залежності зміни ризику від коефіцієнту усунення порушень, який характеризує вплив людського чинника.

3. Вперше обґрунтовано критерій адекватності інформаційно-вимірювальних смарт-технологій моніторингу складних аерогазодинамічних мереж - максимальна нев'язка витрат повітря у вузлах модельованої мережі та вирішено задачу структурної ідентифікації аеродинамічних параметрів ШВМ в умовах неповної та недостатньо достовірної інформації.

Наукове значення роботи полягає розробці методу визначення зон загазування ШВМ вугільних шахт при повороті екзогенної пожежі та встановленні закономірності зміни концентрації газоподібних продуктів в першій виробці контуру, в яку безпосередньо надходять газоподібні продукти від вогнища пожежі; розробці методу визначення ризику раптового викиду вугілля, породи і газу, з урахуванням гірничо-геологічних, гірничотехнічних та людського чинників та встановленні залежностей зміни ризику від коефіцієнту усунення порушень, який характеризує вплив людського чинника; обґрунтуванні критерію адекватності інформаційно-вимірювальних смарт-технологій моніторингу складних аерогазодинамічних мереж - максимальної нев'язки витрат повітря у вузлах модельованої мережі.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Розроблено інформаційне забезпечення структурно-параметричної реконфігурації системи «вентилятор головного провітрювання – шахтна вентиляційна мережа – вироблений простір», яке враховує в якості початкової інформації глибину обладнаних підйомом клітей шахтних стовбурів, швидкість руху судів, їхні геометричні розміри і параметри аеродинамічного удару і т.д.

2. Розроблено технологію поетапної газоізоляції тупиків вентиляційних штреків при зворотньооточному провітрюванні лав, яка складеться зі зведення нової перемички та робіт по скороченню трубопроводу.

Результати дисертаційної роботи знайшли наступне впровадження:

Розроблено та впроваджено інструкцію - корпоративний стандарт, який регламентує безпечне ведення гірничих робіт на вугледобувних шахтах ДТЕК ЕНЕРГО. У ній описано важливий технічний аспект, спрямований на зниження ризиків за газовим фактором, для лав, що відпрацьовують запаси із застосуванням стовпової системи розробки. Пропоновану схему технологічних процесів газоізоляції тупиків вентиляційних штреків апробовано на практиці; отримано хороші результати в плані безпеки і економічної ефективності. Вона обов'язкова до застосування на шахтах ДТЕК і може бути рекомендована для інших вугледобувних підприємств, що розробляють газonosні пласти (затверджено та введено в дію рішення технічної ради дирекції з видобутку вугілля ТОВ «ДТЕК ЕНЕРГО» (протокол від 16.09.2021 р. № 33) та рішенням вченої ради ІГТМ НАН України (протокол від 14.09.2021 р. № 11).

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи підтверджено коректністю постановки і рішення завдань, коректним застосуванням методів теорії ризиків, теорії управління, теорії графів, нелінійного програмування, математичного аналізу, теорії ймовірності та математичної статистики із застосуванням сучасних інформаційних систем і обчислювальних комплексів, статистичною оцінкою достовірності результатів, позитивними результатами впровадження розроблених технологій та стандартів на підприємствах ТОВ «ДТЕК ЕНЕРГО».

Особистий внесок здобувача. Мета і завдання досліджень, ідея роботи, основні наукові положення, висновки і рекомендації сформульовані автором самостійно. Авторіві належить: розробка методів оцінки і використання матеріалів повітряно-депресійних зйомок на вугільних шахтах; розробка методу оцінки і встановлення закономірності зміни ризику виникнення раптового викиду вугілля, породи і газу у вугільній шахті; розробка інформаційно-вимірювальної смарт-

технології моніторингу складних аєрогазодинамічних мереж та обґрунтування критерію їх адекватності. Автор приймав безпосередню участь у розробці та впровадженні технології поетапної газоізоляції тупиків вентиляційних штретів при зворотньоточному провітрюванні лав на підприємствах ТОВ «ДТЕК ЕНЕРГО».

Текст дисертації автором викладений особисто.

Апробація результатів дисертації.

Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і одержали позитивну оцінку на міжнародних конференціях та школах: XIII-XVI Міжнародних науково-практичній конференції з охорони праці та промислової безпеки (м. Бердянськ, 2015-2019, 2021 рр.); Всеукраїнській науково-практичній конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист» (м. Черкаси, 20-21 жовтня 2017 року); V Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Молодь: наука та інновації» (м. Дніпро, 28-29 листопада 2017 року); XXVII Школі підземної розробки (м. Краків, 26-28 лютого 2018 р.); IX Міжнародному енергетичному форумі (м. Київ, 2018 р.); III Міжнародній конференції «Вугільна промисловість України в умовах декарбонізації» (м. Дніпро, 12-14 червня, 2019 р.); II і III Міжнародних конференціях «Нариси гірничої науки і практики» (м. Дніпро, 25-27 червня 2019 р., 21-24 квітня 2020 р.).

Публікації. Основний зміст роботи опубліковано у 21 науковій праці, з яких: 2 монографії, 4 статті у закордонних періодичних виданнях та у виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах, 10 статей у вітчизняних наукових фахових виданнях, 2 - матеріали наукових конференцій, 3 – в інших виданнях, 4 роботи опубліковано без співавторів.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів і висновку. Вона містить 212 сторінок машинописного тексту (150 сторінок основного тексту), включаючи 22 рисунки, 23 таблиці, список використаних джерел з 115 найменувань і три додатки на 24 сторінках.

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ, МОНІТОРИНГУ ТА КОНТРОЛЮ АЕРОГАЗОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ І ОЦІНКИ РИЗИКУ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

1.1. Підвищення рівня безпеки праці, як основа енергетичної безпеки України.

Безпека праці у вугледобувній галузі є визначальним фактором підвищення її ефективності та ресурсозбереження, що є основою енергетичної безпеки України. Особливістю дотримання вимог безпеки є неможливість кількісної оцінки різних чинників, що її визначають: адже в основі всіх порушень лежить людський фактор, що не піддається формалізації. Тому стратегічні напрямки підвищення безпеки праці забезпечуються взаємодією трьох взаємопов'язаних компонентів, представлених на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 - Стратегічні напрямки підвищення безпеки праці

Першим, безумовно, є підвищення культури безпеки: кожен з учасників технологічного процесу повинен усвідомлено дотримуватися її вимог. А значить -

знати і дотримуватися положень нормативів з охорони праці (системи управління виробництвом і охороною праці (СУВОП)). Перші спроби стандартизації її вимог робилися, починаючи з 1979 року; з того часу склад нормативних документів неодноразово вдосконалювався. В даний час вимоги СУВОП регламентуються документом СОУ-П 10.1.00174088.018: 2009 «Система управління виробництвом і охороною праці у вугільній промисловості України (типове керівництво», затвердженим наказом Мінвуглепрому України від 21.01.2010 № 7. Проте з часу вступу його до дії з'явився ряд нових нормативних документів, зокрема НПАОП 10.0-1.01-10 «Правила безпеки у вугільних шахтах», НПАОП 0.00-1.66-13 «Правила безпеки під час роботи з вибуховими матеріалами промислового призначення». Змінилася і законодавча база: скасовано Закони України «Про аварійно-рятувальні служби» та «Про Пожежну безпеку» у зв'язку з прийняттям Кодексу цивільного захисту України. Зміна нормативної і законодавчої бази також вимагає відображення в новій редакції цього СОУ. До роботи над цим документом залучені як організації Міненерго України і приватних вугледобувних компаній, так і головна організація НАН України з питань підвищення безпеки праці в гірничодобувній промисловості - Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова.

Важливим фактором забезпечення безпеки гірничих робіт є також вдосконалення технології їх ведення. Це, в свою чергу, вимагає зміни підходів до оцінки промислової безпеки: нові технології, безумовно, є більш прогресивними, але і створюють прецеденти порушень вимог безпеки, що раніше не враховувалися. Тому її вдосконалення можливе лише шляхом комплексування трьох складових охарактеризованих стратегічних напрямків.

Зазначене комплексування дотримання вимог нормативних документів, підвищення культури безпеки та вдосконалення технології ведення робіт на шахтах ДТЕК принесло певні результати. Зокрема, це проявилось у зниженні кількості аварій і пов'язаного з ними травматизму. Динаміку травматизму приведено на рис. 1.2.

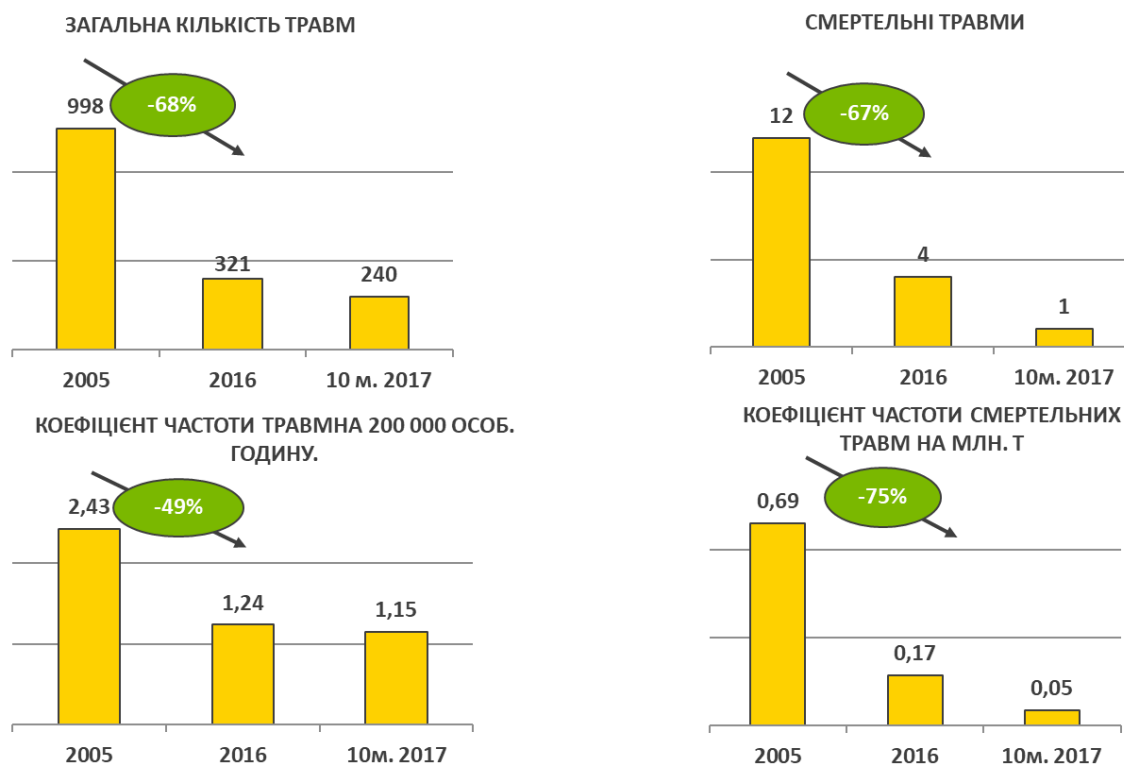


Рисунок 1.2 – Динаміка травматизму

Основним техногенним чинником, що впливає на безпеку ведення гірських робіт, є, безумовно, шахтний метан. Надходячи до шахтної атмосфери, він погіршує її газовий склад. Наслідки цього очевидні: сам по собі метан не є отруйним, але знижує відсоток вмісту кисню у шахтній атмосфері, що не тільки шкідливо позначається на якості дихання людини, але й створює можливість, за умови досягнення гранично допустимої концентрації, вибуху метаноповітряної суміші. Надалі вона стає горючою, і може стати причиною екзогенної пожежі. Тому першою вимогою боротьби з проявами цього шкідливого техногенного фактора є ефективний аерогазодинамічний контроль складу шахтної атмосфери. Він здійснюється двома шляхами: безперервним стаціонарним контролем системою АГК і маршрутним контролем гірничими майстрами дільниці ВТБ шахти. Всі шахти ДТЕК є надкатегорними і III категорії за газом, що свідчить про необхідність всебічного вдосконалення комплексування і вдосконалення зазначених методів контролю.

Середньорічний дебіт метану по шахтах ТОВ «ДТЕК» наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Середньорічний дебіт метану по шахтах ТОВ «ДТЕК»

Шахти ООО "ДТЭК"		Категория по газу	Газообильность		Газоотсос	Дегазация		Система АГК
			Абс, м³/хв	Отн, м³/т		Объем, м³/мин	Засіб	
ПАВЛОГРАДЬКА	Тернівська	Надкатегорна	14,9	15,16	—	—	—	СПИ
	Павлоградська	III категорія	15,2	10,1	—	—	—	СПИ
	им. Героїв космоса	Надкатегорна	58,08	17,92	ВМЦГ-7 УВЦГ2	—	—	КАГИ
	Благодатна	III категорія	18,32	9,68	—	—	—	СПИ
	Степна	Надкатегорна	98	25	—	36,02	ВНС підз. скваж.	СПИ УТАС
	Ювілейна	Надкатегорна	49,63	25,9	—	25,8	ПДУ підз. скваж.	СПИ АСОДУ
	Самарська	III категорія	9,86	8,64	—	—	—	КАГИ
	Дніпровська	Надкатегорна	23,95	15,37	УВЦГ2	—	—	СПИ
	Західно-Донбаська	Надкатегорна	109,5	43,17	—	20,87	ВНС1, ВНС2 підз. скваж.	КАГИ 2 комплекта
	им. Н.І.Сташкова	III категорія	13,39	6,05	ВМЦГ-7	—	—	КАГИ
ДОБРОПІЛЬСКА	Добропільська	Надкатегорна	21,77	46,5	ВМЦГ-7	5,6	ВНС "свечи" в в/п	КАГИ, УТАС
	Алмазна	Надкатегорна	30,4	27,6	ВМЦГ-7	6,79	ВНС "свечи" в в/п	КАГИ УТАС
	Білицька	III категорія	8,34	—	—	—	—	КАГИ
	Новодонецька	III категорія	8,7	14,7	—	2,9	ПДУ "свечи" в в/п	КАГИ
	Піонер	III категорія	8,7	12,6	ПДУ	—	—	КАГИ
	Білозерська	Надкатегорна	22,51	15,98	ВМЦГ-7	1,2	ВНС1, ВНС2 "свечи" в в/п	КАГИ, УТАС

До ДТЭК ЭНЕРГО входят:

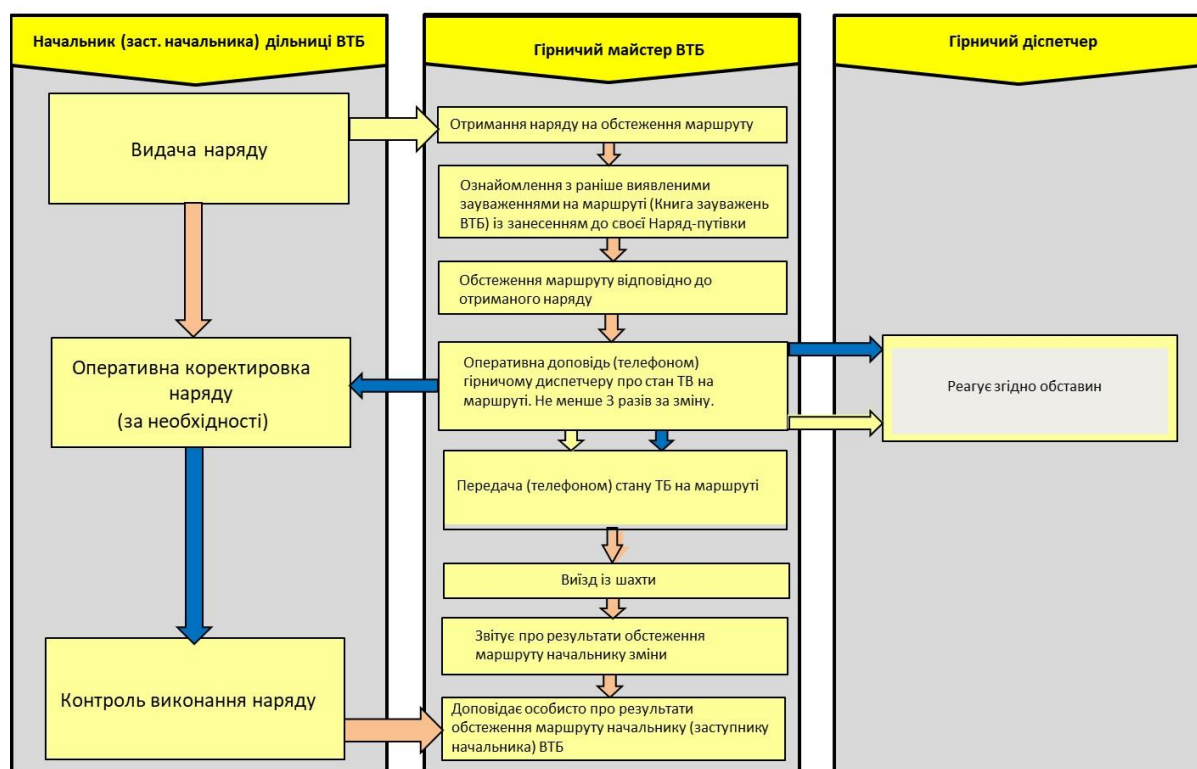
Газових шахт	всього	16
из них:		
Надкатегорні		9
III категорії		7
Шахты с дегазацией		7

Середньорічний дебіт метану, що виділяється в обсязі близько 268 млн м³/рік

Середньорічний обсяг метану, що каптується близько 51 млн м³/год

Завдання маршрутного контролю аерогазового стану шахтної вентиляційної мережі у заданих її ділянках визначаються алгоритмом роботи гірничого майстра дільниці ВТБ (рис. 1.3). Основним є п. 3: «Обстеження маршруту відповідно до отриманого нарядом». В області контролю газодинамічного стану виробок вздовж маршруту їм вирішуються питання: перевірки роботи системи АГЗ і контроль стану рудникової атмосфери переносними засобами контролю.

У разі, якщо гірничим майстром виявлені невідповідності в можливості ефективного аерогазодинамічного контролю навіть комплексуванням двох охарактеризованих методів – під час звіту начальнику зміни він формулює свої рекомендації щодо його вдосконалення, які можуть стати основою для проведення робіт щодо розстановки додаткових датчиків контролю концентрації CH_4 або коригування системи маршрутного контролю.



Риунок 1.3 – Алгоритм роботи гірничого майстра дільниці ВТБ

Основним засобом нормалізації аерогазодинамічного стану атмосфери гірничих виробок є шахтна вентиляція. У цьому напрямку на шахтах ДТЕК здійснюються такі заходи (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 –Заходи з нормалізації аерогазодинамічного стану атмосфери

Техногенний метан є не тільки шкідливим компонентом шахтної атмосфери, а й цінним альтернативним видом палива. За певної концентрації метаноповітряна суміш горить, і з успіхом може замінити більш дорогі важкі вуглеводні як при промисловому використанні, так і у побуті (рис. 1.5). Тому на шахтах ДТЕК велика увага приділяється утилізації каптованого метану, обсяг якого становить близько 31 млн м³ / рік.

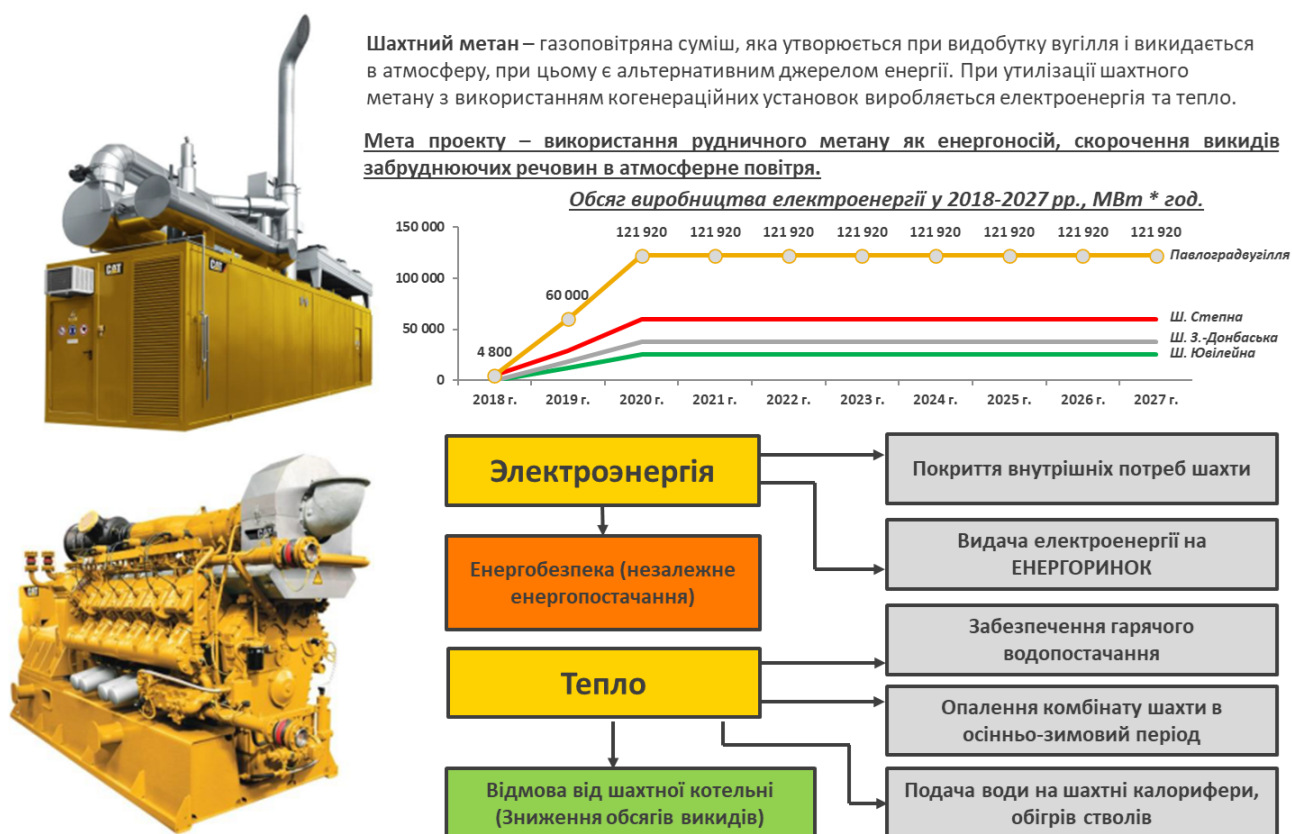


Рисунок 1.5 –Шляхи використання метану в якості енергоносія

Прогнозований обсяг каптуємого метану шахт ТОВ «ДТЕК ЕНЕРГО» наведено у табл. 1.2, технічні засади реалізації проекту використовування його наведено на рис. 1.6.

1.2. Стан провітрювання і протиаварійного захисту шахт ДТЕК і перспективи їх вдосконалення

Коротку характеристику шахт ПрАТ ДТЕК наведено у табл. 1.3, а основну інформацію щодо вентиляторів головного провітрювання (ВГП) – у табл. 1.4.

Таблиця 1.2 – Прогнозований обсяг каптуємого метану шахт ТОВ «ДТЕК ЕНЕРГО»

У ДТЕК ЕНЕРГО параметри газової суміші, що дозволяють її використовувати для когенерації, мають три шахти – «Західно-Донбаська», «Степова» та «Ювілейна». Надалі, при збільшенні навантажень на очисні вибої та покращенні ефективності дегазації, кількість таких шахт можливо збільшуватиметься.

Прогнозований обсяг каптування дегазаційного метану по ш/у Першотравенське															
Шахта	од. вим.	Роки													
		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Степна	м3/хв	33	32	32	31	31	31	27	13	12	12	11			
	% CH ₄	41	41	40	39	39	40	32	31	31	31	32			
	Кіл-ть лав	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1			
Ювілейна	м3/хв	28	13	26	19	19	19	29	20	20	32	39	39	39	39
	% CH ₄	32	32	35	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	Кіл-ть лав	2	1	1	1	1	1	1,5	1	1	2	2	2	2	2
Прогнозований обсяг каптування дегазаційного метану шахтою Західно-Донбаська (ВНС центрального блоку)															
Західно-Донбаська	м3/хв	14	18	18	18	18	18	18	14	14	14	14	14	14	14
	% CH ₄	29	26	26	26	26	26	26	29	29	29	30	29	30	30
	Кіл-ть лав	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1

Когенерація в умовах шахти «Ювілейна» можлива лише після буріння свердловини дегазації на майданчику вентиляційної свердловини №3 та введення в експлуатацію поверхневої вакуум-насосної станції. Кількість метану, що споживається, однією установкою КТЕС:- Установка на 1.2 МВт – 4,8 м3/хв, орієнтовно 193 тис. м3/міс- Установка на 1.56 МВт – 6,2 м3/хв, орієнтовно 247 тис. м3/міс



Ключові передумови успішної реалізації проекту

- Існуюча ресурсна база з нульовою собівартістю
- спіх аналогічних проектів у Німеччині, Англії, Чехії та Польщі
- Реалізація проекту має потенціал IRR >25%
- Активність на глобальному ринку в секторі утилізації шахтного метану



СИТУАЦІЯ «ЯК Є»:

- За останні 10 років ДТЕК робив спроби утилізації шахтного метану, було оголошено низку тендерів, але результату так і не було досягнуто.
- Стримуючі фактори: рента, нестабільність законодавчої бази, зміна моделі енергоринку, відсутність стимулюючих механізмів для інвесторів



РЕНТА – плата за використання надр при видобутку корисних копалин. Відповідно до ст. 252 ПКУ, рента при видобутку природного газу становить 29% від середньої імпоротної ціни природного газу (на 30.10.2017 р. складає близько 1 930 грн/тис. м3).



На сьогодні відсутні прецеденти сплати ренти за схожими проектами

- Виконано компонентний аналіз сировини та отримано висновок від профільної організації (Інститут газу) про те, що газоповітряна суміш дегазації не відповідає параметрам природного газу
- Згідно з актуальними консультаціями ДФС на даний момент механізм визначення бази оподаткування рентною платою шахтного метану не існує
- Зовнішні експерти підтвердили наявність ризику сплати ренти та високої ймовірності судових розглядів.



Для можливості реалізації проекту необхідно ініціювати зміни до Податкового кодексу України щодо звільнення від оподаткування цього виду газу (шахтного метану) або запровадження пільгових коефіцієнтів при сплаті рентної ставки.

Рисунок 1.6 - Технічні засади реалізації проекту використання шахтного метану

Таблиця 1.3 - Характеристика шахт ДТЕК по газу і газодинамічним явищам

Шахти ПрАТ «ДТЕК»	Категорія за газом	Пласти, схильні до ГДЯ	Газовість		Газовідсмок- тування	Дегазація	Система АГК
			Абс., м³/хв	Відн. м³/т			
Тернівська	Надкатегорійна	-	14,9	15,16	-	-	СПІ
Павлоградська	III категорія	-	15,2	10,1	-	-	СПІ
Ім. Героїв Космосу	Надкатегорійна	-	58,08	17,92	ВМЦГ-7 УВЦГ2	-	КАГІ
Благодатна	III категорія	-	18,32	9,68	-	-	СПІ
Степова	Надкатегорійна	-	98	25	-	ВНС, підз.св.	СПІ УТАС
Ювілейна	Надкатегорійна	-	49,63	25,9	-	ПДУ, підз.св	СПІ
Самарська	III категорія	-	9,86	8,64	-	-	КАГІ
Дніпровська	Надкатегорійна	-	23,95	15,37	-	-	СПІ
Західно- Донбаська	Надкатегорійна	-	109,49	43,17	-	ВНС1, ВНС2, підз.св.	КАГІ 2 компл
ім. М.І. Сташ- кова	III категорія	-	13,39	6,05	-	-	КАГІ
Добропільська	Надкатегорійна	l_2' угр с гл. 400м l_3 угр з гол. 400 м	16,68	53,7	ВМЦГ-7	ВНС, «свічі» в ВП	КАГІ УТАС
Алмазна	Надкатегорійна	l_2' угр с гл. 400м l_3 угр з відм. - 650м	25,03	38,31	ВМЦГ-7	ВНС, «свічі» в ВП	КАГІ УТАС
Білицька	III категорія	-	9,34	-	-	-	КАГІ
Новодонецька	III категорія	-	10,6	11,1	-	ПДУ, « свічі » в ВП	КАГІ
Піонер	III категорія	m_4^2 угр з відм.- 650м	9,2	13,3	ПДУ	-	КАГІ
Білозерська	Надкатегорійна	-	12,25	17,9	ВМЦГ-7	ВНС1, ВНС2, « свічі » в ВП	КАГІ УТАС

Таблиця 1.4 - Основна інформація щодо вентиляторів головного провітрювання шахт ДТЕК

Шахта	Вентиляційна установка	Розташування	H, мм вод. Ст.	Q ВГП м ³ /хв.	Q до шахти, м ³ /хв	q _{пр} , м ³ /хв..	t, років
Павлоградська	ВОД-30М2	Головний стовбур	290	14245	12510	1735	2
Тернівська	Howden L5N	Головний стовбур	235	8808	10590	2322	2
	ВОД-21М	Вент. Стовбур № 2	220	4518		414	8
	ВОД-21	Вент. Стовбур № 1	Зупинено				
Героїв Космосу	ВРЦД-4,5см	Головний стовбур	400	22668	19374	3294	3
Благодатна	ВОД-30м	Головний стовбур	180	10800	9000	1800	10
Степова	ВОД-30м2	Скіповий стовбур	330	6200	21000	900	4
	ВЦД-47,5у	Вент.стовбур бл. 2	395	16800		1100	12
Ювілейна	ВОД-30м2	Головний стовбур	360	9310	14480	1800	9
	ВЦ-25	Вент. Св. № 1	340	4010		800	22
	ВО-21-14д	Вент. Св. № 3	390	4360		600	2
Ім. М.І. Сташкова	ВЦД-47у	Головний ствол	235	13388	15855	2000	30
	ВЦД-31,5м	Вент. Свердловина	445	5044		527	12
Дніпровська	ВРЦД-4,5	Скіповий стовбур	370	12400	14420	2560	39
	ВЦД-31,5м	Вент. Свердловина	430	5420		840	5
Західно-Донбаська	ВРЦД-4,5	Головний стовбур бл. 1	545	22779	29433	4400	34
	ВЦД-47у	Головний. Стовбур бл. 3	455	13437		2383	16
Самарська	ВЦД-31,5с	Скіповий стовбур	418	13628	15372	2100	29
	ВО-16-10	Вент.стовбур бл. 3	338	4440		596	3
Добропільська	ВОКД-2,4	Стовбур № 1	210	2544	16684	600	40
	ВЦД-31,5	Стовбур № 4	370	8761		1100	33
	ВЦД-31,5м2	Вент. Св. № 5	580	7635		660	8
Алмазна	ВОД-21	Стовбур № 18	160	2820	7500	1070	26
	ВЦД-31,5м2	Стовбур № 20	510	7750		2000	6
	ВЦ-25	Шурф № 39	На весняно-літній період зупинено				42
	ВЦЗ-32	Стовбур № 19	Виведено з експлуатації				43

Продовження табл. 1.4

Білицька	ВРЦД-4,5	Вент. стовбур № 1	120	6480	4790	1690	43
	ВОД-21	Скіповий стовбур	Виведено з експлуатації				26
	ВЦД-32м	Вент. Стовбур № 1	Виведено з експлуатації				39
Новодонецька	ВОКД-2,4	Шурф № 1	240	3885	12665	650	49
	ВОКД-2,4	Шурф № 2	165	3060		550	49
	ВЦД-31,5	Шурф № 3	480	6450		900	34
	ВОД-18	Гол. стовбур	70	1700		330	22
Піонер	ВОД-18	Гол. Стовбур№ 2	342	3960	8050	1130	28
	ВЦД-31,5м	Вент. шурф № 3	Не введено до експлуатації			-	10
	ВЦД-32	Вент. св. пл. ІЗ	585	7020		1800	45
Білозерська	ВЦ-32	Скіп.стовбур № 3	60	2500	11110	700	42
	ВЦ-31,5	Шурф № 3	400	7500		2590	41
	ВЦ-31,5м	Шурф № 4(5)	510	5500		1100	37

На ряді шахт обох ПрАТ ДТЕК ВГП знаходяться в роботі 40 і більше років (ВОКД-2,4 на стовбурі № 1 шахти «Добропільська» з продуктивністю всього 2544 м³/хв; ВРЦД-4,5 на вент. стовбурі № 1 шахти «Білицька»; ВОКД-2,4 на шурфах № 1 і № 2 шахти «Новодонецька», термін служби по 49 років, продуктивність відповідно 3885 і 3060 м³/хв; ВЦ-32 на шахті «Піонер»; ВЦ-32 на скіп. стовбурі № 3 шахти «Білозерська», термін служби 42 роки, продуктивність 2500 м³/хв, і ВЦ-31,5 на шурф № 3 тієї ж шахти). Звичайно, внаслідок розгерметизації надшахтних будівель і каналів ВГП мають місце значні зовнішні притоки повітря (на шахті «Добропільська» - 600 м³/хв, або 23,5% від продуктивності ВГП; на шахті «Білицька» - 26%; на шахті «Новодонецька» - 17%; на шахті «Піонер» - 26%; на шахті «Білозерська» - 34,5%). Це свідчить не тільки про неможливість забезпечувати необхідну кількість повітря в об'єктах-споживачах, а й про неекономічність і високу енергоємність провітрювання. Вживаються заходи щодо вдосконалення провітрювання: на шахті "Тернівська" вентилятор ВОД-21 на вент. стовбурі № 1 зупинено, що, звичайно, спричинить необхідність реорганізації системи провітрювання; виведено з експлуатації застарілий (термін експлуатації 43 роки) ВГП ВЦЗ-32 на стовбурі № 19 шахти «Алмазна»; виведено з експлуатації два з

Продовження табл. 1.5

Технологічних	82	14			95				3	124
Кількість випадків загазування очисних вибоїв у 2017 році (усі до 4%)	72	14			85				1	94
Кількість випадків загазування підготовчих вибоїв у 2017 році (усі до 4%)	10				10				2	30
Кількість розроблюваних шахтопластів, небезпечних за вибуховістю вугі-льного пилу, всього	3	1	2	2	2	2	2	3	1	1
Протяжність виробок, у яких передбачено виконання заходів, спрямованих на попередження вибухів вугі-льного пилу, всього, км	83,15	45	105,2	60,14	76	56,56	74,21	80	88	91,2
Протяжність пожежно-зрошувального трубопроводу, км	83,97	45,2	110,7	61,33	85	79,08	77,11	80	111	107,5
Загальна кількість виробок, потенційно вибухонебезпечних	66	49	87	112	79	104	71	108	86	67
Їх протяжність, км	83,15	45	105,2	60,14	76	56,56	74,21	80	88	91,2
Системи пилоподавлення:										
- на виїмкових комбайнах	4	2	4	2	3	2	3	2	1	2
- на прохідницьких комбайнах	13	6	9	5	12	7	11	8	7	7
- на навантажувальних і перевантажувальних пунктах	43	29	40	24	55	61	22	20	31	27
Випадків неефективності боротьби з пилом, всього	4				10					12
Кількість водяної заслонів	78	51	102	39	132	113	85	95	70	97
Пристроїв для запобігання закорочення вентиляцій-них струменів (шлюзів, кросингів), всього	65	37	191	76	83	76	107	12 5	69	96
У тому числі капітальних, які подають повітря на крило, панель, групу ділянок	4	4	8	8	7	16	19	6	22	21

З таблиці видно, що на 4-х шахтах ПАТ ДТЕК «Павлоградвугілля» (трьох надкатегорійних і однієї III категорії) працюють 8 очисних вибоїв з нісхідним провітрюванням. Оскільки температурний режим в них не порушений (температура

у нормальних умовах не перевищує 26°C), природна тяга, що протидіє вентиляційного потоку, невелика, безпосередньої небезпеки немає, проте на здійснення аварійного вентиляційного режиму слід звернути увагу. Незважаючи на те, що всі очисні вибої шахт ПАТ забезпечені необхідною кількістю повітря, на трьох шахтах («Західно-Донбаська», «Степова» та «Ювілейна») забезпечення безпечного провітрювання істотно залежить від системи дегазації (при відключенні її концентрація метану в вихідному струмені перевищує допустимі значення).

Найнебезпечнішими за загазування гірничих виробок є надкатегорійні шахти «Західно-Донбаська», «Героїв Космосу» та «Ювілейна» (абсолютна метановість становить відповідно 109,49, 58,03 і 49, 63 $\text{м}^3/\text{хв}$, відносна - 43,17, 17, 92 і 25,9 $\text{м}^3/\text{т}$). На них припадає і понад 94% загазування очисних вибоїв (щоправда, всі - з концентрацією метану, що не перевищує 4%). На них же прийшлося 50 з 52 випадків загазування підготовчих вибоїв.

Шахти ПрАТ ДТЕК «Павлоградвугілля» розробляють 19 шахтопластов з вмістом летких речовин 15% і більше, всі вони небезпечні за вибуховістю вугільного пилу. Кількість систем пилоподавлення на виїмкових комбайнах (25), на прохідницьких комбайнах (85), на навантажувальних і перевантажувальних пунктах (352), водяних заслонів (862) відповідає нормам, проте мали місце 26 випадків неефективності боротьби з пилом, усі - на тих же трьох надкатегорійних шахтах; вони були пов'язані з відсутністю або несправністю зрошувальних пристроїв.

Всі шахти забезпечені необхідною кількістю повітря, проте ВГП шахти «Ювілейна» не має резерву по продуктивності і напору.

Характеристику засобів аерогазового контролю на шахтах ПАТ ДТЕК «Павлоградвугілля» представлено у табл. 1.6.

В основному шахти ними забезпечені, проте кількість анемометрів недостатньо для проведення в повній мірі маршрутного контролю витрати повітря.

Таким чином, шахти ДТЕК мають всіма основними особливостями, властивими вугільним шахтам України. Розробка ведеться на середніх глибинах в умовах високої метановості. Майже всі шахти є багатоовентиляторними (від 2 до 4

ВГП), що свідчить про складність організації їх ефективного енергозберігаючого та безпечного провітрювання.

Таблиця 1.6 - Прилади аерогазового контролю на шахтах ПАТ ДТЕК «Павлоградвугілля»

Шахта	ШИ	СШ, СМП, «Сигнал»	СМС	Анеометри
ім. героїв Космосу	359	452	782	19
Благодатна	210	151		10
Павлоградська	343	244	109	16
Тернівська	296	314	344	20
Західно-Донбаська	535	482	1563	18
Самарська	318	400		18
Дніпровська	285	323		19
ім. М.І. Сташкова	464	272		20
Степова	344	348	330	18
Ювілейна	405	433	704	12

У той же час динаміка розвитку шахт, наявність значної кількості виробок, що підтримуються, ставить питання постійної актуалізації даних щодо їх параметрів, зокрема, аеродинамічних опорів виробок. Це, у свою чергу, свідчить про необхідність спільної оптимізації геомеханічних і аеродинамічних параметрів гірничих виробок, оскільки від зміни проявів гірничотехнічних факторів безпосередньо залежить зміна площ їх поперечного перетину, що є визначальним параметром для розрахунку аеродинамічного опору.

Існуючі підходи до організації провітрювання шахти зводяться до спрощеної схеми: організації системи вентиляції з урахуванням (але, як правило, не розглядаючи спільно) роботи системи дегазації - в нормальному режимі; відключення системи дегазації та організації аварійного провітрювання - в збереженому нормальному (з урахуванням проявів аварійних факторів) або аварійному (реверсивному) режимі. Пр цьому не враховуються особливості впливу на процес провітрювання всіх інших складових технологічного процесу шахти. Помилкові рішення закладаються вже на етапі проектування внаслідок:

а) різноплановості технологічних процесів і відсутності методів, що дозволяють оцінити ступінь їх взаємодії і взаємовпливу;

б) невизначеності інформації, необхідної для організації спільного здійснення технологічних процесів. На етапі проектування рівень такої невизначеності високий (у будь-якій проектній організації робота здійснюється окремими проблемно-орієнтованими структурними підрозділами), і зниження його можливо тільки на реальному гірському підприємстві за неодмінної умови спільної роботи допоміжних підрозділів шахти. Навіть при вирішенні розглянутих вище завдань взаємодія двох ділянок шахти - вентиляції і техніки безпеки і профілактичних робіт з техніки безпеки - часто неефективна, а посадові обов'язки персоналу в ряді випадків перетинаються; про результативний контакт з ділянками, що обслуговують роботу інших, які впливають на процес провітрювання, технологічних ланок шахти, мова не йдеться взагалі;

в) ризиків прийняття неправильних, неефективних і небезпечних рішень в процесі проектування, ведення робіт і реконфігурації вентиляційної системи в умовах спільної роботи різних допоміжних служб шахти. Просте якісне врахування невизначеності при цьому недостатнє; необхідно оцінити кількісно ступінь її впливу на рівень ризику, що можна здійснити тільки шляхом використання різних видів багатокритеріального, багатофакторного та багатоваріантного моделювання технологічних процесів, в залежності від рівня невизначеності - математичного (коли невизначеність мінімальна), імітаційного (інформації вистачає для побудови моделі, адекватної у допустимих межах реальному об'єкту), ситуаційного (необхідно порівняння ситуацій для оцінки неточності імітаційної моделі), експертного (невизначеність наближається до максимально допустимої для реальної оцінки роботи системи, і не допускає потрібної формалізації).

Тому основними завданнями досліджень по вдосконаленню проектування, експлуатації та реконфігурації вентиляційних систем шахт ДТЕК в даний час є:

а) оцінка шахтного фонду, технологічних систем і сучасних напрямів розвитку вугільного виробництва ДТЕК;

б) оцінка взаємодії вентиляції, дегазації і інших допоміжних технологічних систем в процесі вуглевидобутку і ступеню ризиків, що при цьому виникають;

в) розробка методів багатокритеріальної оцінки при формуванні інтегральних показників оцінки технологічних систем, що проектуються і діючих (реконфігурованих) шахт, відповідних імітаційних моделей і програмного забезпечення їх використання;

г) обґрунтування технічних рішень щодо організації взаємодії і зниженню взаємного негативного впливу допоміжних технологічних систем і провітрювання обраного об'єкта досліджень (однієї з шахт ДТЕК) і оцінка їх ризику;

д) розробка нормативно-методичних документів (СОУ) з оцінки якості проектування і ризику при організації спільного функціонування технологічних підсистем вугільної шахти, і вироблення пропозицій щодо внесення відповідних змін до чинних нормативних документів вугільної галузі.

Зрозуміло, всі поставлені завдання не нові і в якійсь мірі часткові їх рішення отримано. Зокрема, це відноситься до робіт з вдосконалення вентиляції і дегазації вугільних шахт, що проводяться ІГТМ НАН України. Отримали розвиток методи розрахунку ШВС в умовах невизначеності інформації про їх аеродинамічний стан [1-4], методи ідентифікації структури і аеродинамічних параметрів ШВМ [5,6], оцінки ступеню адекватності імітаційної моделі ШВС її реальному аналогу [7], врахування невизначеності інформації у системах протиаварійного захисту [8], підвищення ефективності роботи дегазаційних систем [9]. Крім того, проводилися дослідження з енергоефективної оптимізації спільної роботи ВГП [10] і врахування впливу на вентиляцію шахтного підйому [11]. Досліджено питання роботи допоміжних підрозділів шахти, які вирішують питання вентиляції і дегазації, і запропонована їх реорганізація і нормативно-методичні СОУ підприємств Мінвуглепрому України, що її регламентують [12]. Тим самим закладено основу для проведення подальших робіт з оптимізації спільного функціонування технологічних підсистем шахт ДТЕК.

1.3 Аналіз методів оцінки і керування аварійними ризиками вугільних шахт

Вугільні шахти відрізняються різноманіттям аварійно-небезпечних чинників, тому вони відносяться до небезпечних виробничих об'єктів (НВО). До існуючої

класифікації включено 31 вид техногенних аварій, на ліквідацію яких потрібно залучати додаткові людські ресурси (пожежні команди, воєнізовані гірничорятувальні підрозділи тощо) та 18 інцидентів, які розслідує підприємство. Найбільш складними, що потребують максимальної уваги і використання засобів вентиляційного впливу, з них є наступні (за тяжкістю ліквідації і наслідками):

- а) вибух газу і вугільного пилу;
- б) пожежа (ендогенна чи екзогенна);
- в) раптовий викид вугілля і газу;
- г) гірничий удар чи обвалення;
- д) прорив води, глини, пульпи;
- е) затоплення гірничих виробок;
- є) проникнення токсичних речовин до виробок;
- ж) відмова (зупинка) вентиляторів головного провітрювання (ВГП).

Кожна аварія характеризується ризиком виникнення. Співвідношення об'єктів ризику і небажаних подій дозволяє розрізнити п'ять основних типів ризиків: індивідуальний, технічний, екологічний, соціальний та економічний (табл. 1.7). Аварійний ризик гірничого підприємства включає усі ці складові.

Керування розглянутими видами ризику дозволяє знаходити оптимальні рішення щодо підвищення безпеки як на рівні вугільної шахти, так и на макрорівнях.

Таблиця 1.7 – Характеристика складових аварійного ризику

Вид ризику	Об'єкт ризику	Джерело ризику	Небажана подія
Індивідуальний	Людина	Умови життєдіяльності	Захворювання, травма, інвалідність, смерть
Технічний	Технічні системи і об'єкти	Технічна недосконалість, порушення правил експлуатації, зовнішні чинники	Аварія, вибух, катастрофа, пожежа, руйнування
Екологічний	Екологічні системи	Техногенні аварії	Антропогенні екологічні катастрофи
Соціальний	Соціальні групи	Аварія	Групові травми, захворювання, загибель людей
Економічний	Матеріальні ресурси	Підвищена небезпека виробництва	Збільшення витрат на безпеку, шкода від недостатньої захищеності

Для цього необхідно вибирати значення прийнятного ризику – такого, що за існуючих суспільних цінностей у даній ситуації може вважатися припустимим.

Аварії звичайно передують відхилення від нормального ходу процесів. Тривалість цієї фази невизначена. Ці відхилення ще не призводять до аварії, але ґрунтують її основи. Людина, що здійснює моніторинг системи, звичайно не помічає цієї фази і не відчуває небезпеки. На другому етапі виникає аварійна ситуація, користувач намагається відновити нормальний хід технологічного процесу, але, внаслідок невизначеності інформації, що надходить, розвиток її може погіршитись. На третьому етапі ще одна небажана подія, іноді зовсім незначна, може стати поштовхом, який спричиняє вихід ситуації з-під контролю людини і виникнення аварії.

Основою для визначення критеріїв прийнятного ризику є: норми і правила промислової безпеки; відомості щодо аварій та інцидентів, які виникли, та їх наслідків; досвід практичної діяльності; соціально-економічна вигода від експлуатації небезпечного виробничого об'єкту.

Процес ідентифікації небезпек і оцінки ризиків представлено на рис. 1.7.

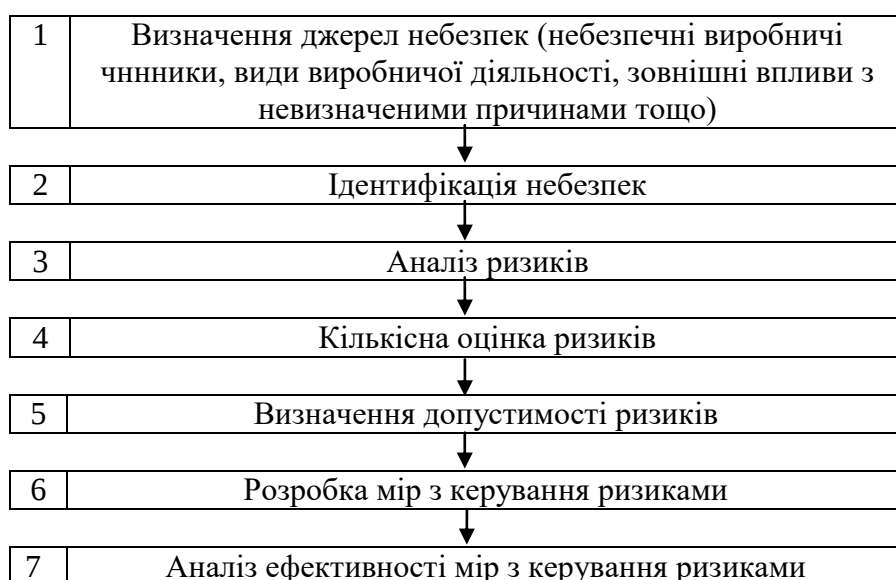


Рисунок 1.7 – Структура процесу ідентифікації небезпек та оцінки ризиків

Визначення джерел небезпек не викликає труднощів – зі списку аварій вибираються можливі до виникнення на шахті.

Основними задачами етапу ідентифікації небезпек є чіткий опис всіх джерел небезпек і сценаріїв зниження їх шкідливого впливу. Необхідно визначити, які елементи, процеси у технологічній системі потребують більш серйозного аналізу. Результатом ідентифікації небезпек є:

а) перелік аварій;

б) опис джерел небезпеки, чинників ризику, умов виникнення і розвитку небажаних подій та сценаріїв можливих аварій;

в) попередні оцінки небезпек і ризику.

Варіантами подальших дій можуть бути:

а) рішення припинити подальший аналіз внаслідок незначності небезпек або достатності отриманих попередніх оцінок;

б) рішення щодо проведення більш детального аналізу небезпек і оцінки ризику;

в) виробка попередніх рекомендацій щодо зменшення небезпек.

Аналіз аварійного ризику - це процес ідентифікації небезпек і оцінки ризиків несприятливих подій для окремих осіб чи груп осіб, майна чи навколишнього середовища. Основною метою ідентифікації і аналізу ризиків є формування у людей, які приймають рішення, цілісної картини ризиків, що загрожують безпеці підприємства, життю і здоров'ю робітників. Загальною є задача визначення допустимого рівня ризиків, стандартів безпеки працюючих. Слід враховувати той факт, що визначення допустимого рівня ризику чиниться в умовах недостатньої інформації.

Під час вибору і використання методів аналізу ризику рекомендується дотримуватись наступних вимог:

а) метод повинен бути науково обґрунтованим;

б) він повинен давати результати у вигляді, що дозволяє краще зрозуміти форми реалізації небезпек і накреслити шляхи зниження ризику;

в) він повинен бути повторюваним і здатним перевірятись.

При цьому необхідно враховувати етапи функціонування об'єкту, мету аналізу, критерії прийнятного ризику, тип небезпечного виробничого об'єкту і характер небезпеки, наявність ресурсів для проведення аналізу, досвід і кваліфікацію виконавців, наявність необхідної інформації тощо. На стадії ідентифікації небезпек і попередніх оцінок ризику рекомендується використовувати методи якісного аналізу і оцінки ризику, що спираються на спеціальні допоміжні засоби (анкети, бланки, опитові аркуші, інструкції) і практичний досвід виконавців.

У нашій країні з 2016 року діє Національний стандарт України ДСТУ ІЕС/ІСО 31010:20 «Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику» [13], узгоджений із європейським стандартом ІЕС/ІСО 31010:2009 “Risk management – Risk assessment techniques”. У ньому наведено відомості щодо концепцій загального оцінювання ризику, процесів загального оцінювання і аналізу ризику. Викладено загальні відомості щодо прийнятих у світі методів оцінки ризиків, чинників їх вибору [13, стор. 11].

Багатообразність методів (європейські країни, як видно з таблиці 2 [13], застосовують їх аж 31), різний ступінь важкості їх застосування і відносно невеликий термін впровадження ДСТУ [13] на українських підприємствах обмежують нині їх впровадження, за рідкими винятками, наступними:

а) методи перевірного аркуша і «Що буде, якщо?» є якісними. Результатом перевірного аркуша є перелік питань і відповідей щодо відповідності НВО вимогам промислової безпеки і вказівок щодо їх забезпечення. Вони найбільш прості, нетрудомісткі і ефективні під час дослідження безпеки об'єктів з відомою технологією праці, і можуть стати основою для подальшого кількісного аналізу виявлених якісно найбільш імовірних і небезпечних ризиків. Недолік їх – відносність і суб'єктивність отриманої інформації;

б) суттєвою рисою методу аналізу видів і наслідків відмов (АВНВ) є розгляд складових частин системи на предмет того, як вони стали несправними і яким був би вплив їх відмови на технічну систему. Стосовно ризику аварій це – яка причина виникнення аварії і яким є вплив її на стан і технологічний процес вугільної шахти;

в) метод аналізу видів, наслідків і критичності відмов (АВНКВ) є розширеною, вже кількісною, модифікацією попереднього. У ньому кожен вид відмови ранжується з урахуванням двох складових критичності – ймовірності (або частоти) і тяжкості наслідків відмови. Систему класифікації відмов за критеріями ймовірності – тяжкості наслідків слід конкретизувати для кожної аварійної ситуації з урахуванням її специфіки. В ході використовування цього методу будується матриця ризиків (один із її варіантів наведено у [14]); у табл. 1.8 використано наступні види критеріїв критичності за ймовірністю і тяжкістю наслідків відмови.

Недоліками методів АВНВ і АВНКВ можна вважати трудомісткість збирання інформації і вузьку спрямованість методів на відмову (не аварійний стан!) технічної системи. Повна картина ризиків на підприємстві цими методами отримана бути не може;

Таблиця 1.8 – Матриця «ймовірність – важкість наслідків»

Відмова	Частота виникнення відмови на рік	Тяжкість наслідків відмови			З нехтувано малими наслідками
		катастрофічного	критичного	некритичного	
Часта	> 1	1	1	1	3
Ймовірна	$1 - 10^{-2}$	1	1	2	3
Можлива	$10^{-2} - 10^{-4}$	1	2	2	3
Рідка	$10^{-4} - 10^{-6}$	1	2	3	4
Практично неймовірна	$< 10^{-6}$	2	3	3	4

г) аналогічним є метод аналізу небезпеки і працездатності (АНП), який, як і АВНКВ, крім ідентифікації небезпек і їх ранжування дозволяє виявити неясності і неточності у інструкціях з безпеки і сприяє їх подальшому вдосконаленню. Недоліки обох методів пов'язані із утрудненістю їх використовування для аналізу комбінацій подій, що приводять до аварії;

д) великі аварії, як правило, характеризуються саме комбінацією випадкових подій, що виникають з різною частотою на різних стадіях виникнення і розвитку аварії (відмови обладнання, помилки людини, непередбачені зовнішні впливи, руйнування, викид, спалахування, вибух, пожежа тощо). Для виявлення причини –

наслідкових зв'язків між цими подіями використовують логіко-графічні методи аналізу «дерев відмов» і «дерев подій».

При аналізі «дерев відмов» виявляються комбінації відмов обладнання, інцидентів, помилок персоналу, нерозрахункових зовнішніх техногенних впливів, що призводять до аварійної ситуації. Метод використовується для аналізу можливих причин виникнення аварійної ситуації і розрахунку її частоти на основі знання частот окремих подій.

Аналіз «дерев подій» проводиться, виходячи із основної події (аварійної ситуації), і використовується для аналізу її розвитку. При цьому частота розвитку аварійної ситуації розраховується шляхом множення частоти основної події на умовну ймовірність кінцевої.

е) методи кількісного аналізу ризиків, як правило, характеризуються розрахунком кількох показників складових аварійного ризику (табл. 1.7). Наприклад, показники технічного ризику визначаються відповідними методами теорії надійності. Показниками індивідуального ризику є кваліфікація і готовність індивідуума до дій у небезпечній ситуації, його захищеність. Соціальний ризик характеризується масштабністю і ймовірністю (частотою) аварій і визначається функцією розподілу шкоди (крива Фармера). Відповідно, критерій прийнятного ризику буде визначатись вже не числом для окремої події, а кривою, побудованою для різних сценаріїв аварії з урахуванням їх імовірності.

Методи кількісного аналізу ризиків – загальна назва комплексу методів а)-д), послідовне використання яких може спиратися на результати один одного. Ці методи можуть ефективно використовуватись під час:

- а) проектування і розміщення НВО;
- б) обґрунтування і оптимізації мір безпеки;
- в) оцінки небезпеки крупних аварій на НВО;
- г) комплексної оцінки небезпеки аварій для людей, майна і навколишнього середовища.

Окремо стоїть найбільш розповсюджений (внаслідок простоти і зрозумілості використання) метод Bow-Tie («краватка-метелик»); у Росії навіть існує

регламентуючий його використання галузевий документ [15]. На наш погляд, доцільно адаптувати цей документ для використання в умовах вугільної промисловості України.

Метод Bow-Tie поєднує дослідження причин події за допомогою дерева несправностей і аналіз наслідків за допомогою дерева подій. Основну увагу у ньому зосереджено на бар'єрах між причинами і небезпечними подіями і наслідками. Метод слід використовувати у ситуації, коли складно провести повний аналіз дерева несправностей або коли дослідження більшою мірою спрямоване на створення бар'єрів або засобів керування для кожного шляху відмов. Він є достатньо наочним і зрозумілим і може бути корисним для обміну інформацією при використанні більш складних методів, а також коли існують точно встановлені шляхи, що приводять до відмови.

Під час і з метою кількісної оцінки ступеню ризику ступінь ризику можна рекомендувати визначати за формулою $R=P \times N \times M$, де P – імовірність небезпеки; N – імовірність наслідків небезпеки (серйозність наслідків); M – особиста думка людей (експертів), які оцінюють ризик. Коефіцієнти визначаються умовно з обов'язковим опитуванням співробітників на місці можливого існування ризику, і оцінюються від 1 до 5. Інакше, це – вага бар'єрів на маршруті «ризик - наслідки». Кінцева ступінь небезпеки у залежності від ступеню ризику R визначається згідно табл. 1.9.

Інтервал змінення R орієнтовно відображає невідкладність мір щодо зниження ступеню ризиків і першочерговість прийняття мір з техніки безпеки.

На етапі проектування рекомендованим є аналог-метод експертних оцінок, побудований на анкетному опитування колективу фахівців. За наявності необхідної проектної документації найбільш придатними є всі інші методи. На етапі введення до експлуатації найбільш придатним є метод «Що буде, якщо?», оскільки проект існує, шахту побудовано, але експериментальні дані щодо її стану ще відсутні. Тому і комплексні методи є найменш придатними навіть за умови придатності кожного з них.

На етапі експлуатації найбільш придатними є методи експертних оцінок, оскільки технологи можуть оцінити таким чином дієвість власних проектних

рішень. На основі реальної інформації про стан шахти (а за наявності статистики щодо її аварійного стану – і на її основі) рекомендується використовувати всі інші методи. На етапі реконструкції уся інформація щодо шахти реальна, тому придатні всі методи аналізу ризиків, а експертні оцінки використовуються лише рекомендаційно, за відсутності тієї чи іншої інформації.

Таблиця 1.9 – Визначення кінцевого ступеню небезпеки

Кінцевий ступінь небезпеки	Ступінь ризику R	Міри контролю, необхідні для зниження ризику
A	$R > 100$ неприпустимий ризик	Постійно існує можливість травми, серйозної аварії. Роботу не можна починати чи продовжувати, поки ризик не буде знижено. Необхідно знову оцінити ризик та прийняти додаткові міри.
B	$51 < R < 100$ небажаний (значний) ризик	Необхідно прийняти міри щодо зниження ризику до прийнятного рівня. Для зниження ризику необхідно виділити необхідні кошти.
C	$11 < R < 50$ середній ризик	Необхідно прийняти міри безпеки.
D	$4 < R < 10$ допустимий (прийнятний) ризик	Ризик є припустимим за згоди керівництва підприємства. Треба постійно контролювати цей ризик, і розробити додаткові міри безпеки.
E	$1 < R < 3$ значний ризик	Ризик, внаслідок своєї незначності, не потребує особливих мір контролю (але це не абсолютна безпека!).

Можна зробити висновок, що всі методи аналізу та оцінки аварійних ризиків вугільних шахт можуть використовуватись ізольовано чи доповнюючи один одного, причому методи якісного аналізу можуть включати кількісні критерії ризиків (в основному, за експертними оцінками з використанням, наприклад, матриці (табл. 1.8) ранжування небезпеки). Повний кількісний аналіз ризику повинен використовувати результати якісного аналізу небезпек.

1.4. Аналіз літературних джерел в галузі підвищення безпеки, моніторингу та контролю аерогазодинамічного параметрів і оцінки ризиків вентиляційних систем вугільних шахт

З метою контролю стану вентиляції шахт звичайно проводяться систематичні виміри кількості повітря, що циркулює мережею гірничих виробок, проводяться

лабораторні аналізи його складу і виміри загальної депресії шахти, що створюється ВГП. По цим даним можна вирахувати дві величини, що характеризують ступінь важкості вентиляції шахти, а саме:

повний опір руху повітря

$$R_{ш} = \frac{H_{ш}}{Q_{ш}}, \quad \text{кг} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^8,$$

еквівалентний отвір шахти

$$A_{ш} = 0,38 \frac{Q_{ш}}{\sqrt{H_{ш}}} = \frac{0,38}{\sqrt{R_{ш}}}, \quad \text{м}^2,$$

де $H_{ш}$ – депресія ШВМ, мм.вод.ст.;

$Q_{ш}$ – кількість повітря, м³/с.

Більш детальних відомостей щодо стану вентиляції шахти з вказаних вимірів величин $H_{ш}$ і $Q_{ш}$ отримати не можна. Тимчасом для оперативного керівництва провітрюванням шахти, для контролю стану виробок з точки зору їх аеродинамічного опору і знаходження вузьких місць, що утруднюють провітрювання, для виявлення вентиляційних резервів необхідно знати розподіл депресій шляхом руху вентиляційного струменю. Ці питання можуть бути вирішені за допомогою депресійної зйомки шахти. Крім того, депресійні зйомки дають можливість встановити ділянки гірничих виробок з високим аеродинамічним опором, визначити величини втрат тиску у окремих виробках, виявити місцеві опори виробок і здійснити перевірку роботи вентиляторів, включених до ШВМ. Результати роботи слугують вихідними даними при реконструкції системи вентиляції шахт.

Звичайно депресійні зйомки виконують для отримання загальної картини розподілу опорів в усій ШВМ. Базуючись на цьому матеріалі, намічаються заходи для поліпшення системи вентиляції або план її реконструкції. Іноді ставляться спеціальні задачі: зйомка найбільш трудної ділянки руху повітря для виявлення місць з надмірно високим опором; визначення величини втрати напору в окремих виробках чи на місцевих опорах; перевірка роботи вентиляторів, включених

паралельно або послідовно; проведення депресійної зйомки спеціально з науковою метою. Депресійна зйомка дає матеріал для рішення задач методами електричних аналогій (нині - зрідка) і на ПЕОМ. Причому у сучасних умовах, коли провітрювання шахт значно ускладнюється, вироблення науково-обґрунтованих і практично здійснених рекомендацій моніторингу аеродинамічних параметрів гірничих виробок, одним з методів вироблення яких є ПДЗ, стає конче необхідним [16,17].

Часто депресійна зйомка є складовою частиною інших видів спеціальних зйомок: повітряних (тоді має місце назва «повітряно-депресійні зйомки» (ПДЗ); саме у такому вигляді вони найбільш розповсюджені), теплової, пилової, газової, радіометричної. У цьому виді депресійна зйомка допомагає більш обґрунтовано і углублено пояснити характер зміни параметрів вентиляційного струменю, що вивчається під час проведення спеціальної зйомки.

Необхідність проведення ПДЗ нормативно закріплено у [18, розділ 8] (цитуюмо: «На кожній шахті не рідше одного разу на три роки повинні проводитися депресійна та (за необхідності) газова зйомка, результати яких використовуються під час розрахунків вентиляції та розробки заходів щодо забезпечення провітрювання виробок шахти з урахуванням програми розвитку гірничих робіт. На кожній шахті повинні виконуватись розрахунки витрати повітря і повітророзподілу, перевірки стійкості провітрювання, розроблятися заходи із забезпечення провітрювання, що відповідає програмі розвитку гірничих робіт». Також у них законодавчо закріплено міри щодо подальшого використання результатів ПДЗ в галузі вдосконалення провітрювання шахт.

ПДЗ (у подальшому розглядатимемо саме цей вид зйомки) виконуються спеціально навченими і підготовленими підрозділами ПДЗ ДВГРС України.

Порядок робіт при депресійній зйомці наступний:

а) вивчення вентиляційного хазяйства шахти, схеми вентиляції і підземних робіт, збирання матеріалів, що характеризують геологію, схему розкриття і гірничі роботи шахти;

б) вибір маршрутів і напрямів зйомки і вимірних станцій, а також отримання (у маркшейдерському відділі) висотних відміток вимірних станцій;

в) вибір спорядження і підготовка його до роботи.

Оскільки у кожній вимірній станції необхідно визначити тиск повітря, температуру, швидкість руху повітря, то для зйомки потрібні:

а) прилади для виміру тиску повітря. В залежності від наявності приладів і поставленого завдання використовують депресіометри Комарова-Гескіна, мікробарометри і мікроманометри з гумовою трубкою;

б) анемометри для виміру швидкості повітряного струменю;

в) термометр або психрометр для виміру температури повітря з ціною ділення шкали не більш ніж $0,5^{\circ}\text{C}$;

г) секундомір і годинник;

д) рулетка;

е) книжка для запису спостережень.

Прилади а)-б) не уніфіковані, під час проведення ПДЗ на різних шахтах і у різних регіонах країни у різні часи використовувались різні види її різновиди приладів; докладну інформацію про них наведено у [19]. Єдина вимога: перед зйомкою усі прилади повинні бути перевірені, таровані і мати паспорт.

Останнім часом багато застарілих приладів замінюються сучасним електронним анемометром АПР-2 (у російському та українському виконанні) [20,21,22], яким, у комплекті з насадками для виміру депресії гірничих виробок і вентиляційних споруд, оснащено більшість вугільних шахт ДТЕК.

Виявлення вузьких місць у ШВМ, а також витрати часу і коштів на проведення ПДЗ залежать від правильного вибору вимірних станцій і маршрутів руху між ними. Їх вибирають таким чином, щоб протягом однієї зміни можна було провести зйомку на всіх намічених станціях (за умови зйомки барометричним приладом внаслідок можливості коливання атмосферного тиску між змінами). У виключних випадках можна приймати довжину маршруту такою, щоб його обхід могли здійснити дві бригади, що послідовно змінюють одна одну.

В залежності від характеру завдання, яке вирішується, маршрути зйомки намічають або по усім відгалуженням мережі, або лише по деяким з них.

При виборі місць розташування вимірних станцій необхідно керуватись наступними міркуваннями%

а) вимірні станції повинні вибиратись не дуже близько від стовбурів і вентиляційних дверей, щоб коливання тиску від руху підйомних посудин і від закривання/відкривання дверей для пропуску транспортних засобів менше відбивались на показниках приладів;

б) враховувати межі шкали і точність приладів, що вимірюють тиск і швидкість повітря;

в) враховувати швидкість руху повітря виробкою. У виробках з великою швидкістю вимірні станції слід розміщувати частіше;

г) стан вентиляційної виробки і ступінь її захаращеності; бажано мати точки вимірів перед і після звуження (розширення) і захаращених ділянок виробки;

д) наявність висотних відміток у точках вимірів;

е) наявність вентиляційних пристроїв і місцевих опорів.

Звичайно, за відсутності ділянок виробки з сильно змінним перетином, вентиляційних дверей або інших вентиляційних пристроїв у них або інших місцевих опорів, вимірні станції намічаються на початку виробки і у кінці її. Так, при вимірі депресії штреку перша вимірна станція розташовується на пересіченні штреку з бремсбергом або ухилом, а друга - у лави тощо. Якщо на шляху руху повітря є вентиляційна споруда, ділянка з перемінним перетином або захаращена, різке повертання струменю тощо, то на таких ділянках намічаються дві додаткові вимірні станції: до і після місцевого опору.

Під час вибору оптимальних маршрутів у складних вентиляційних мережах добрі результати дає застосування теорії графів, оскільки за топологічними властивостями вентиляційну мережу можна представити як граф. Однак дослідження з цього приводу досі не доведено до загальноприйнятого завершення.

Загальні положення ПДЗ, з метою забезпечення виконання вимог нормативних документів [18,23,24], регламентуються [25], а найбільш повну характеристику

інструментальних засобів і методів проведення ПДЗ (щоправда, дещо застарілу) наведено у [19]. Щодо необхідності більш повного врахування сучасних вимог до параметрів ШВМ пишуть і автори [26]. Депресійна служба ДВГРС, як відмічає автор [27], є основним постачальником даних для розрахунків і керування ШВМ у нормальних і аварійних режимах провітрювання, особливо у сучасних умовах ускладнення процесів вуглевидобутку. У випадку, коли модель лише коригується (ПДЗ не проводиться «з чистого аркушу», є попередні результати) і технологам добре відомі особливості ШВМ, адекватність моделі забезпечується внесенням до неї актуалізуючих змін. У цьому значну роль відіграє дільниця ВТБ шахти [57], оскільки у період між проведеннями ПДЗ участь ДВГРС у цьому процесі обмежено, щодо чого, наприклад, свідчить результат [28]. У [19,29] наведено способи проведення ПДЗ, надано характеристику приладів, що використовуються для аеродинамічних вимірів, і їхній перелік, викладено методику проведення зйомок, методику визначення значень аеродинамічних параметрів (витрат повітря, депресій, швидкостей повітря, аеродинамічних опорів), методику опрацювання результатів ПДЗ, наведено розрахункові формули для кожного способу виміру з урахуванням необхідних поправок. У [19] також наведено способи виміру природної тяги і формули для її розрахунку. У [30] описано більш сучасні, у порівнянні з [19], прилади для аеродинамічних вимірів, викладено методику проведення вимірів, приведено деякі розрахункові формули для обробки результатів. У [31] надано характеристику приладу для проведення, у ході ПДЗ, вимірів перепаду тиску на вентиляційних спорудах шахти. У [19] відмічено, що достовірність отримання результатів ПДЗ істотно залежить від місця проведення вимірів, вибір яких повинен бути прив'язаний до топологічної структури шахти –з метою полегшення отримання результатів і обґрунтованої мінімізації базису вимірних станцій. Це буде сприяти і пошуку порушень у організації провітрювання шахти, пов'язаних з дублюванням вимірів у топологічно залежних точках ШВМ приборами з різним ступенем точності і їх неузгодженістю за часом. Незважаючи на прийняття ефективних мір щодо аерогазового контролю тупикових виробок, проблема оперативного визначення їх аеродинамічних параметрів, як відмічається у [32], залишається актуальною. Одним

із питань, розглянутих у [33, 34], є обробка матеріалів ПДЗ з використанням ПК. Тим же питанням присвячені і роботи іноземних дослідників [35-40]. У них відмічається, що, незважаючи на наявність великої кількості теоретичних досліджень і нормативних документів щодо визначення аеродинамічних параметрів ШВМ аналітичне вирішення цієї задачі не може бути визнане єдино правильним, оскільки для нього необхідне точне визначення вихідних даних, що у шахті практично неможливо, а також необхідно проведення безпосередніх вимірів [41].

Дотримуючись основних положень нормативних документів і з урахуванням сучасних реалій, розроблюються нові підходи до організації ПДЗ вугільних шахт.

У роботі [42] запропоновано новий метод визначення аеродинамічних параметрів стовбурів глибоких рудників на основі ПДЗ. Метод запропоновано для рудників Уралу, але можна сподіватись на його перспективність і для вугільних шахт України.

Автором [43] пропонується новий підхід до побудови імітаційних моделей ШВМ зі спрощенням її з метою оптимізації базису вимірних станцій. Запропонований підхід, на нашу думку, сприятиме підвищенню адекватності імітаційних моделей ШВМ їх реальному аналогу, що підвищить якість ПДЗ і спростить коригування їх результатів у період між проведенням зйомок.

У [44] проведено детальний аналіз етапів проведення ПДЗ і їх недоліків на сучасному етапі гірничого виробництва. Приділено увагу газовій зйомці, що проводиться паралельно ПДЗ з метою визначення абсолютної газовості гірничих виробок, нерівномірності газовиділення, газового балансу виїмкових діляниць, крил, горизонтів і шахти в цілому. Увагу приділено вибору місць розташування вимірних станцій у межах виїмкової діляниці (однак лише на основі досвіду керівництва СДЗ ДВГРС, без застосування автоматизованих методів). Сформульовано основні функції моделі газо- і повітророзподілу у гірничих виробках шахт. На основі досвіду, отриманого спеціалістами НДІГД, запропонована побудова проекту Методичних рекомендацій з проведення ПДЗ у вугільних шахтах. На жаль, контакти з цією організацією обмежені внаслідок знаходження її на тимчасово окупованій території Донбасу.

У Російській Федерації здійснено спроби створення імітатора проведення ПДЗ на імітаційній моделі [45,46,47], але доцільність і адекватність такого моделювання досі не доказано.

Оскільки доцільність оптимізації ПДЗ науково доведено, курс лекцій щодо її проведення введено до дисциплін курсу НТУ «Дніпровська політехніка» [48]. Вони включають загальні положення, характеристику приладів для виконання ПДЗ, методiku проведення ПДЗ і обробки їх результатів. Окремим розділом до них включено виконання ПДЗ на спеціальних установках у лабораторних умовах. Методичні рекомендації передбачають ознайомлення користувачів з нормативно-методичними документами [25,48], за можливості – [49], хоча рекомендації останнього дещо застаріли.

Методи обробки матеріалів ПДЗ з використанням ЕЦОМ розроблялись ІГТМ АН УРСР і активно спроваджувались на шахтах і рудниках, починаючи з 70-х років минулого століття [50]. Потім ці роботи було призупинено. З новітніх досліджень слід відзначити [51,52], у яких запропоновано інтерактивний метод планування проведення і обробки результатів ПДЗ (щоправда, для рудників Уралу, але він може бути з мінімальними доробками і для вугільних шахт України). У них відмічено, що у практиці проведення ПДЗ має місце як надлишок, так і дефіцит вимірних даних, що цілком зрозуміло, оскільки відсутні реальні результати науково-обґрунтованого планування ПДЗ (маршрутів і вимірних станцій). Якщо у першому випадку надлишкові дані можуть бутит виключені за критерієм найменшої достовірності, то у другому їх необхідно чимось доповнити. В основу способу такого доповнення, запропонованого у [53], закладено принцип мінімізації сумарних відхилень значень опорів виробок від їх проектних значень, що визначаються за типом і геометричними розмірами виробок. За відсутності експериментальних даних такий підхід є найбільш раціональним для їх отримання і подальшого використання у розрахунках. Аналогічними міркуваннями користуються і автори робіт [54,55,56].

Таким чином, на сьогодні існує, хоча й дещо застаріла, нормативно-методична, організаційна база проведення і обробки матеріалів ПДЗ і імітаційні моделі ШВМ, придатні для ідентифікації зйомок і зниження ризику отримання

неправильної аеродинамічної інформації. Необхідно продовження робіт у частині вдосконалення призначення вимірних станцій, використання сучасніших приладів вимірів, узгодження результатів планових ПДЗ з даними стаціонарних систем моніторингу аеродинамічних параметрів тощо [57, 58].

1.5. Висновки по розділу. Мета, завдання та методи досліджень.

1. Підвищення рівня безпеки праці на шахтах ДТЕК зазначеними способами вигідно як економічно (вжиття заходів безпеки сприятиме підвищенню економічної та енергоефективності гірничого виробництва, у тому числі і зниження супутніх техногенних аварій економічних втрат), так і в соціальному плані (зниження виробничого травматизму і поліпшення умов праці гірників). Тим самим буде підвищено якісний рівень, так і кількісний показники ефективності вугільної промисловості України, що забезпечить її енергетичну незалежність.

2. Аналіз стану провітрювання і протиаварійного захисту шахт ДТЕК дозволив визначити перспективи їх вдосконалення. Основними завданнями досліджень з вдосконалення проектування, експлуатації та реконфігурації вентиляційних систем шахт ДТЕК в даний час є: оцінка шахтного фонду, технологічних систем і сучасних на-правлінь розвитку вугільного виробництва ДТЕК; оцінка взаємодії вентиляції, дегазації і інших допоміжних технологічних систем в процесі вуглевидобутку і ступеня виникають при цьому ризиків; розробка методів багатокритеріальної оцінки при формуванні інтегральних показників оцінки технологічних систем шахт, що проектуються і реконфігуруються, відповідних імітаційних моделей і програмного забезпечення їх використання; обґрунтування технічних рішень з організації взаємодії і зниженню взаємного негативного впливу допоміжних технологічних систем і провітрювання обраного об'єкта досліджень (однієї з шахт ДТЕК) і оцінка їх ризику; розробка нормативно-методичних документів (СОУ) з оцінки якості проектування і ризику при організації спільного функціонування технологічних підсистем вугільної шахти, і вироблення пропозицій щодо внесення відповідних змін до чинних нормативних документів вугільної галузі.

3. Проведений аналіз методів оцінки і керування аварійними ризиками вугільних шахт показав, що усі методи аналізу та оцінки аварійних ризиків вугільних шахт можуть використовуватись ізольовано чи доповнюючи один одного, причому методи якісного аналізу можуть включати кількісні критерії ризиків (в основному, за експертними оцінками з використанням, наприклад, матриці ранжування небезпеки). Повний кількісний аналіз ризику повинен використовувати результати якісного аналізу небезпек.

4. Аналіз літературних джерел в галузі показав важливим є вдосконалення методів оцінки і використання матеріалів повітряно-депресійних зйомок,; дослідження чинників, які утворюють аерологічний ризик у вугільних шахтах, розробка методу оцінки такого ризику та розробка інформаційно-вимірювальних смарт-технологій моніторингу складних аерогазодинамічних систем вугільних шахт.

З огляду на викладене, вдосконалення методів, встановлення закономірностей та розробка інформаційно-вимірювальних смарт-технологій моніторингу складних аерогазодинамічних мереж вугільних шахт є **актуальним науковим завданням**, що має суттєве значення для підвищення рівня безпеки та зниження аварійності у вугільній галузі.

Мета роботи - вдосконалити методи, встановити закономірностей та розробити інформаційно-вимірювальні смарт-технології моніторингу складних аерогазодинамічних мереж вугільних шахт для підвищення рівня безпеки та зниження аварійності у вугільній галузі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити **наступні завдання**:

- розробити методи оцінки і використання матеріалів повітряно-депресійних зйомок на вугільних шахтах та визначення зон загазування ШВМ при повороті екзогенної пожежі та встановити закономірності зміни концентрації газоподібних продуктів в виробці;

- дослідити чинники, які утворюють аерологічний ризик у вугільних шахтах, розробити метод оцінки і встановити закономірності зміни ризику виникнення раптового викиду вугілля, породи і газу у вугільній шахті;

- розробити інформаційно-вимірювальні смарт-технології моніторингу складних аерогазодинамічних мереж та обґрунтувати критерій їх адекватності;
- розробити та впровадити технологію поетапної газоізоляції тупиків вентиляційних штреків при зворотноточному провітрюванні лав.

Методи дослідження. У роботі використано комплексний метод досліджень, що включає: аналіз існуючих літературних джерел і узагальнення науково-технічних досягнень в області підвищення безпеки, моніторингу та контролю аерогазодинамічного параметрів та оцінки аерологічного ризику вентиляційних систем вугільних шахт, теорії ризиків, теорії управління, теорії графів, нелінійного програмування, математичного аналізу, теорії ймовірності та математичної статистики із застосуванням сучасних інформаційних систем і обчислювальних комплексів.

Основні результати, одержані в даному розділі, відображено у наступних роботах автора [59, 60].

1.6. Список використаних джерел за розділом 1

1. Методологические основы совершенствования шахтной вентиляционной системы / А.Ф. Булат, И.А. Ефремов, В.Г. Илюшенко, Б.В. Бокий, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин // Геотехническая механика: межвед. сб. научных трудов. – Днепропетровск, 2002. – вып. 37. - С. 23-30.

2. Булат А.Ф. Методология поиска рациональных параметров шахтной вентиляционной системы в условиях неопределенности / А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин. - Геотехническая механика: межвед. сб. научных трудов. – Днепропетровск, 2005. – вып. 56. - С. 3-8.

3. Бунько Т.В. Учет неопределенности топологических и аэродинамических параметров вентиляционных систем при расчете технических возможностей шахты по вентиляции / Т.В. Бунько // Геотехническая механика: межвед. сб. научных трудов. – Днепропетровск, 2006. – вып. 63. - С. 200-206.

4. Методологічні основи розрахунку вентиляційних систем з невизначеними структурою та аеро-динамічними параметрами / А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, І.Є.

Кокоулін, І.О. Ященко // Геотехническая механика: межвед. сб. научных трудов. – Днепропетровск, 2012. – вып. 102. - С. 306-313.

5. Булат А.Ф. Шахтная вентиляционная сеть как объект идентификации / А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин // Уголь Украины. – 2002. - № 11. – С. 25-27.

6. Булат А.Ф. Структурная идентификация шахтной вентиляционной сети / А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин // Уголь Украины. – 2004. - № 1. – С. 31-35.

7. Бунько Т.В. Критерии адекватности математических моделей вентиляционных сетей угольных шахт с неопределенной структурой и аэродинамическими параметрами / Т.В. Бунько // Геотехническая механика: межвед. сб. научных трудов. – Днепропетровск, 2005. – вып. 59. - С. 176-183.

8. Кокоулин И.Е. Неопределенность в системах противоаварийной защиты угольной шахты / И.Е. Кокоулин, Т.В. Бунько // Геотехническая механика: межвед. сб. научных трудов. – Днепропетровск, 2006. – вып. 64. - С. 21-30.

9. Повышение эффективности работы дегазационных систем угольных шахт / Т.В. Бунько, Л.А. Новиков, И.Е. Кокоулин, Б.В. Бокий // Геотехническая механика: межвед. сб. научных трудов. – Днепропетровск, 2005. – вып. 51. - С. 120-126.

10. Влияние положения сосудов в стволах на работу вентиляторов главного проветривания в условиях шахты «1/3 Новогородовская» / Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин, А.Ш. Жалилов // Геотехническая механика: межвед. сб. научных трудов. – Днепропетровск, 2016. – вып. 127. - С. 186-196.

11. Анализ взаимного влияния вентиляторов главного проветривания вентиляционной системы угольной шахты / Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин, М.Н. Дудник, А.Ш. Жалилов // Znanstvena misel – Ljubljana, 2017.- no. 5. – Vol. 2. - pp. 65-71.

12. Нормативное обеспечение вентиляционных и дегазационных расчетов угольных шахт / А.Ф. Булат, В.Г. Красник, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин. - Геотехническая механика: межвед. сб. научных трудов. – Днепропетровск, 2005. – вып. 59. - С. 3-9.

13. ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику. Надано чинності наказом Мінекономрозвитку України від 11.12.2013р. № 1469.

14. Булат А.Ф., Бунько Т.В., Кокоулин И.Е., Ященко И.А. Управление показателями аварийности и травматизма с использованием матрицы рисков // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. 2016. Вип. 128. С. 19-30.

15. М-16.07.01-02 версия 02. Методические указания по анализу и оценке рисков ПЭБ, ОТ и ГЗ с использованием метода «Bow-Tie».

16. Депрессионная служба ГВГСС: задачи усложняются, проблемы остаются / Заболотный А.Г., Комков А.М., Хоруженко О.И., Адоньев Г.А. // Уголь Украины. 1999. № 2. С. 32-34.

17. Перепелица В.Г., Панов Н.С. Депрессионные съемки шахт и контроль рудничной вентиляции // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. трудов / ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, 2004. Вып. 48. С. 61-66.

18. НПАОП 10.0-1.01-10 Правила безпеки у вугільних шахтах. Затверджено наказом Державног комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 22 березня 2010 р. № 62. Київ, 2010. 211с.

19. Абрамов Ф.А., Милетич А.Ф., Стрейманн В.Э. Инструментальные средства и методы депрессионных съемок шахт. М.: Недра, 1974. 144с.

20. Каледина Н.О. Сравнительная оценка приборов, используемых для проведения депрессионных съемок / Н.О. Каледина, Д.А. Мещеряков, С.С. Кобылкин, О.И. Гашенко // Безопасность труда в промышленности. 2012. № 3. С. 50-52.

21. Булат А.Ф. Совершенствование функционирования угольных шахт: вентиляция, кондиционирование, дегазация, экология / А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, И.А. Ященко [и др.]. Днепр: Журфонд, 2018. 444с.

22. Мещеряков А.А. Электронный анемометр АПР-2 и оснащение им шахт // Уголь. 2001. № 6. С. 63-65.

23. Инструкция по расчету количества воздуха, необходимого для проветривания действующих угольных шахт. М.: Недра, 1975. 80 с.

24. СОУ 10.1-00185790-002-2005. Правила технічної експлуатації вугільних шахт. Київ: Мінвуглепром України, 2006. 354с.
25. Депресійні та газові зйомки у вугільних шахтах. Методи проведення: Настанова. Затв. Директором Департаменту вугільної промисловості Міністерства палива та енергетики України 22.09.2005р. Київ, 2005. 89с.
26. Клебанов Ф.С., Карагодина Э.В., Блохина Л.П. Современные требования к параметрам вентиляционных систем угольных шахт // Науч. сообщения ИГД им. А.А. Скочинского. М.: 1985. Вып. 236. С. 10-14.
27. Заболотный А.Г. Депрессионная служба ГВГСС: задачи усложняются, проблемы остаются. Уголь Украины. 1990. № 2. С. 32-34.
28. Потемкин В.Я. Компьютерная технология проектирования, оперативного контроля и управления проветриванием на угольных шахтах / В.Я. Потемкин, П.Л. Лимаренко, Т.В. Пономаренко [и др.] // Сб. науч. тр. / НГАУ. Днепропетровск, 1999. Вып. 5. С. 85-87.
29. Абрамов Ф.А., Тянь Р.Б. Методы и алгоритмы централизованного контроля и управления проветриванием шахт. Киев: наук. Думка, 1973. 184с.
30. Абзель М.Д., Карагодин Л.И., Павлов А.Ф. Новые возможности систем аэрогазового контроля в угольных шахтах // Уголь. 1997. № 2. С. 51.
31. Аэродинамическая приставка к анемометру АПР-2 / Н.В. Безкровный, П.Л. Лимаренко, Т.В. Бунько [и др.] // Уголь Украины. 2003. № 3. С. 18-19.
32. Бусыгин К.К., Кошман А.В. Повышение эффективности аэрогазового контроля в тупиковых выработках // Уголь. 2001. № 7. С. 34.
33. Онищенко А.М., Белоножко. Обработка информации в горном деле. М.: ЦНИЭИуголь, 1991. 220с.
34. Преслер В.Т., Гарнага А.В. Программно-техническая основа компьютеризации системы контроля рудничной атмосферы // Природа и интеллект. ресурсы Сибири: Сибресурс-99: Матер. 3-й Междунар. науч.-практ. конф. Кемерово. 16-18 нояб. 1999. Кемерово, 1999. С. 123-127.
35. Demel Tadeusz. Oporu catkowite rejonow wentylacyjnych jako funkcja wzajemnego polozenia pzodkow wybierkowych // Prz. Gorn. 1979. № 3. Pp. 120-123.

36. Fraczek Ryszard. Fraczek Ryszard. Uwagi dotyczace okreslania oporu aerodynamicznego wyrobok gorniaczych z uwzglednieniem wymiany ciepla // Prz.gorn. 1999. 55, №1. Pp. 24-29, 37-40.
37. Jones A. The environmental Monitoring and remote control Scheme for Monton Colliery // Mining Eng. 1975. №8 Pp. 169—178.
38. Krawczyk Jerzy. Komputerowa symulacja zatrzymania i rozruchu wentylacji // Arch. Mining Sci. 1999. 44, № 2. Pp. 183-201.
39. Rosiek F., Sikora M., Urbansky J. Wyznaczanie oporow bocznic dla potrzeb budowy cyfrowych modeli kopalnianych sieci wentylacyjnych // Prz. gorn. 1993. 49, №6. Pp. 12-17.
40. Struminski Andrzej, Madeja-Struminska B. Praktyczny sposob wyznaczania oporow aerodynamicznych bocznic kopalnianych sieci wentylacyjnych // Prz. gorn. 1997. 53, №6. Pp. 8-12.
41. Казаков Б.П. Автоматизированная обработка данных воздушно-депресссионной съемки для построения корректной математической модели вентиляционной сети рудников / Б.П. Казаков, А.Г. Исаевич, С.В. Мальцев, А.М. Семин // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2016. № 1. С. 22-30.
42. Мальцев С.В. Определение аэродинамических параметров стволов глубоких рудников на основании данных воздушно-депресссионной съемки // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сборник научных трудов. Пермь, 2013. Вып. 11. С. 256-257.
43. Мальцев С.В. Совершенствование методов построения моделей рудничных вентиляционных сетей сложной топологии на основе автоматизации обработки данных воздушно-депресссионных съемок // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сборник научных трудов. Пермь, 2015. Вып. 13. С. 277-280.
44. Карнаух Н.В., Захлебин В.В., Агарков А.В. Совершенствование нормативного и организационно-методического обеспечения для проведения воздушно-депресссионных и газовых съемок в угольных шахтах // Вестник Академии гражданской защиты. 2018. Вып. 4(16). С. 136-144.

45. Костюк С.Г. Этапы создания устройства для проведения воздушно-депресссионной съемки в Прокопьевском филиале КузГТУ / С.Г. Костюк, Н.Т. Бедарев, О.В. Любимов, В.Г. Астафьева // Вестник КузГТУ. 2016. № 2. С. 30-34.

46. Бедарев Н.Т., Ситников Г.А., Камалов В.М. Производство депрессионной съемки на демонстрационном стенде. Методические указания к контрольной работе по дисциплине «Вентиляция шахт». Прокопьевск, 2009. 15с.

47. Бедарев Н.Т. Устройство для проведения воздушно-депресссионной съемки в лабораторных условиях / Н.Т. Бедарев, С.Г. Костюк, Камалов В.М. [и др.]. Патент на полезную модель RUS 14458 26.05.2014.

48. Шибка Н.В., Алексеенко С.А. Методические рекомендации к лабораторной и самостоятельной работе на тему «Воздушно-депресссионная съемка шахт» по дисциплине «Аэрология горных предприятий». Днепропетровск, 2013. 17с.

49. Временная методика депрессионных съемок угольных шахт микробарометрами с согласованными начальными отсчетами (дополнение к «Руководству по производству депрессионных и газовых съемок в угольных шахтах»). Утв. начальником ВУВГСЧ Минуглепрома СССР 15.11.1979. Донецк, 1980. 28с.

50. Аврамчук Р.Н. Автоматизированная система обработки материалов воздушно-депресссионных съемок на ЭЦВМ «Минск-22» / Р.Н. Аврамчук, В.В. Корольский, Р.Б. Тянь [и др.] // Горный журнал. 1972. № 12.

51. Казаков Б.П. Разработка методов прогнозирования, профилактики и борьбы с аварийными нарушениями проветривания горнодобывающих предприятий / Б.П. Казаков, А.В. Шалимов, Е.Л. Гришин [и др.] // Вестник ПФИЦ. 2020. № 4. С. 23-40.

52. Казаков Б.П., Шалимов А.В. Интерактивный метод планирования проведения и обработки результатов воздушно-депресссионной съемки рудника // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2018. Вып. 3. С. 248-256.

53. Казаков Б.П., Исаевич А.Г., Мальцев С.В., Семин М.А. Автоматизированная обработка ланных воздушно-депресссионной съемки для

построения корректной математической модели вентиляционной сети рудников. Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2016. № 1. С. 22-30.

54. Бунько Т.В. Метод идентификации вентиляционных сетей с неопределенными аэродинамическими параметрами // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. трудов / ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, 2005. Вып. 57. С. 233-238.

55. Бунько Т.В. Поиск нарушений в организации проветривания угольной шахты // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. трудов / ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, 2005. Вып. 58. С. 219-224.

56. Бунько Т.В., Кокоулин И.Е., Новиков Л.А. К вопросу анализа достоверности определения аэродинамических параметров горных выработок // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. трудов / ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, 2004. Вып. 50. С. 244-252.

57. Положение об участке вентиляции и техники безопасности (ВТБ) шахты. Макеевка-Донбасс, 1993. 23с.

58. Методические указания по составлению отчетов по депрессионным съемкам шахт. Утв. ГВГСС Украины 9.07.99. Донецк, 1999. 16с.

59. Состояние проветривания и противоаварийной защиты шахт ДТЭК и перспективы их совершенствования. Т.В. Бунько, М.В. Шишов, В.В. Мирошниченко, И.Е. Кокоулин. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2017. Вип. 134. С. 47-58.

60. Шишов М.В., Мірошніченко В.В. Підвищення рівня безпеки праці як основа енергетичної безпеки України.. Молодь: наука та інновації: Матеріали V Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих учених (Дніпро, 28-29 листопада 2017 року). – Дніпро: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – Т. 10. – С. 53-54.

2 ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТА МОНІТОРІНГУ АЕРОГАЗОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ШАХТ

2.1 Вдосконалення методології виявлення аварій у вугільних шахтах

Усі шахти ДТЕК оснащено системами і засобами автоматичного контролю протікання основних і допоміжних технологічних процесів; до числа останніх відноситься і шахтна вентиляція. На шахтах діють системи аерогазового контролю (АГК) типів СПИ, КАГИ, УТАС, АСОДУ, одним із завдань яких, відповідно до вимог Правил безпеки у вугільних шахтах і Тимчасового керівництва по впровадженню і експлуатації системи АГЗ, є виявлення аварійних ситуацій, пов'язаних зі зміною складу шахтної атмосфери.

Сучасний підхід до організації стаціонарних систем аварійного контролю аерогазодинамічних параметрів гірничих виробок базується на принципі встановлення датчиків у місцях найбільш ймовірного виникнення аварій, пов'язаних з виділенням до шахтної атмосфери отруйних газів за умови значного дебіту повітряного потоку, що ними протікає. Саме так і організовуються системи стаціонарного контролю, які повинні містити кількість вимірних станцій, достатню для максимального охоплення зон зі змінним при аварії газовим режимом.

Однак, хоч які величезні можливості систем АГК і АГЗ, контроль ними всіх потенційно можливих аварійних ділянок ШВМ нездійснений внаслідок неповноти і неточності інформації про аварійні умови реального процесу вуглевидобутку. Тому необхідно періодичне рішення двох взаємопов'язаних завдань: перевірки відповідності наявного на шахті базису датчиків-детекторів, що сигналізують про аварію, що виникла, за зміною концентрації у шахтній атмосфері оксиду вуглецю (СО), потребам контролю потенційно аварійних ділянок, що змінюються у ході гірничих робіт [59], і доповнення новими датчиками ділянок ШВМ, що вийшли з існуючої зони моніторингу.

Існуючі методи розстановки датчиків в основному розраховані на виявлення зміни складу шахтної атмосфери при виникненні аварійних ситуацій, тобто

виконують роль детектора, що сигналізує щодо необхідності прийняття протиаварійних заходів. Подальший контроль протікання аварійної ситуації за зміною концентрацій шкідливих газів в шахтній атмосфері не передбачається, хоч і представляє собою актуальне, але більш важке завдання. Від кількості датчиків такої системи контролю залежить, з одного боку, час виявлення та оперативність реагування на зміну газового складу атмосфери (введення в дію аварійної позиції плану ліквідації аварії та локалізації зон дії її вражаючих факторів), а з другого - відстеження динаміки аномалії, яка виникла. Вирішення другого завдання вимагає розробки методу визначення маршрутів поширення газів, що генеруються осередком аварії, у ШВС, і в той же час дозволить, за умов наявної інформації щодо геометричних та аеродинамічних параметрів гірських виробок, оцінити ступінь ризику різних варіантів ліквідації аварії, складання і реалізації заходів оперативного ПЛА. Імітаційне моделювання роботи такої системи моніторингу дозволить також оцінювати ступінь ризику виникнення можливої аварії і вживати відповідні заходи щодо її недопущення.

Система маршрутного контролю газодинамічних параметрів шахтної атмосфери формується з практичних міркувань, в тому числі і на основі даних стаціонарної системи контролю. Використання даних, що надходять від датчиків стаціонарної системи, дозволить актуалізувати систему маршрутного контролю і більш ефективно локалізувати у ШВМ місця найбільш можливого виникнення аварій; більш точний маршрутний моніторинг дозволить виявити можливу аварію ще до реакції стаціонарної системи контролю, причому не за фактом виникнення аварії, а за непрямими ознаками (скажімо, займанню горючих матеріалів в конвеєрних штреках передусь нагрів конвеєрної стрічки внаслідок її тертя об металоконструкції конвеєра) . В ході профілактичних обстежень гірничих виробок шахт ДТЕК персоналом ДВГРС в травні-липні 2018 року було здійснено 7 пов'язаних з порушенням вимог Правил безпеки припинень ведення гірських робіт, з яких 4 були пов'язані саме з виникненням такої ситуації. Аварійну ситуацію було відвернуто, але реакції на її можливе виникнення з боку стаціонарної системи не було.

Таким чином, виявлення аварії в шахті має ґрунтуватися на трьох основних принципах:

а) стаціонарна система контролю (АГК) сигналізує про поточний стан газового режиму шахти, в основному орієнтуючись на зміну в шахтному повітрі концентрації метану. Власне виникнення аварійної ситуації в повній мірі прогнозувати вона не може. Датчики-детектори СО констатують лише факт її виникнення;

б) використання маршрутного контролю сприяє прогнозуванню аварійної ситуації за непрямими ознаками, чим і відрізняється від стаціонарної системи;

в) використання стаціонарної системи контролю вмісту СО в шахтній атмосфері дозволить відстежити, за умови створення відповідного алгоритму її роботи, зміну складу атмосфери за ходом поширення аварійної зони, і вжити заходи щодо оперативної ліквідації аварії.

Таким чином, спільне використання систем стаціонарного і маршрутного контролю складу шахтної атмосфери є найбільш ефективним засобом управління аерогазодинамічними аспектами її протікання і ліквідації.

2.2 Метод оцінки і використання матеріалів повітряно-депресійних зйомок на вугільних шахтах

В умовах інтенсивного розвитку гірничих робіт вентиляційні мережі вугільних шахт стають більш протяжними і розгалуженими, внаслідок чого ускладнюється задача коректного прогнозування їх провітрювання. Розрахунки повітророзподілу у ШВМ неможливі без використання сучасної обчислювальної техніки, а значить – створення математичної моделі (ММ) ШВМ для проведення вентиляційних розрахунків.

Для створення коректних ММ ШВМ необхідно вирішити кілька взаємозв'язаних задач:

а) створити розрахункову схему ШВМ, тобто намалювати на папері в умовному вигляді сукупність виробок шахти (у виді гілок мережі), вентиляційних споруд та ВГП;

б) визначити на ній місця потрібного виміру (базис) аеро- (за необхідності – і газодинамічних) параметрів, сукупність яких надасть вичерпне уявлення про аеродинамічний стан ШВМ;

в) провести виміри аеродинамічних параметрів у гірничих виробках і їх геометричних параметрів;

г) поєднавши результати робіт пп а)-в), створити ММ ШВМ;

д) оцінити структурно-параметричну адекватність отриманої ММ ШВМ її реальному аналогу, що в цілому є необхідною, а ступінь її – достатньою умовою використання отриманої ММ при розрахунках повітророзподілу у ШВМ, а надалі – і під час керування нею у нормальних та аварійних умовах.

Роботи пп а)-в) у виробничих умовах виконуються в процесі проведення ПДЗ підрозділами Державної воєнізованої гірничорятувальної служби (ДВГРС), а у регламентований період між їх проведеннями на шахті (три роки) – співробітниками дільниці ВТБ шахти. Отримані результати потребують подальшої обробки, яка здійснюється методами структурної і параметричної ідентифікації, значна частина яких створена у ІГТМ НАН України. Досягаючи при створенні ММ ШВМ необхідного ступеню її адекватності реальній вентиляційній мережі, можна отримати інформаційну базу для керування вентиляцією шахти.

Для регламентування проведення ПДЗ існує відповідний нормативний документ; останньою його версією є Керівний нормативний документ Міністерства палива та енергетики України «Депресійні та газові зйомки у вугільних шахтах. Методи проведення. Настанова», затверджений 21.09.2005 р. Фактично він регламентує лише методи проведення робіт п. в), залишаючи вирішення попередніх (пп а)-б)) і подальших (пп г)-д)) робіт на розсуд керівництва і персоналу шахти. Тому нині існує багато підходів до створення ММ ШВМ, а програмна реалізація вирішення окремих її задач здійснюється кількома програмними комплексами, розробленими ІГТМ НАН України, НДІГС, Дон НТУ та ін. Загального регламентованого підходу до створення ММ ШВМ взагалі не існує Тому необхідна підготовка нової версії документу, який регламентував би основні етапи створення ММ ШВМ і врахував зміни, які сталися останнім часом у методичних підходах до

отримання інформації щодо аеродинамічного стану ШВМ, і розробка методів вирішення наукових і практичних задач, які при цьому виникають.

Проведення досліджень базувалось на тому, що загальний підхід до використання результатів ПДЗ залишається незмінним, а коригується вирішення окремих її задач. Тому дослідження організовано наступним чином (рис. 2.1).

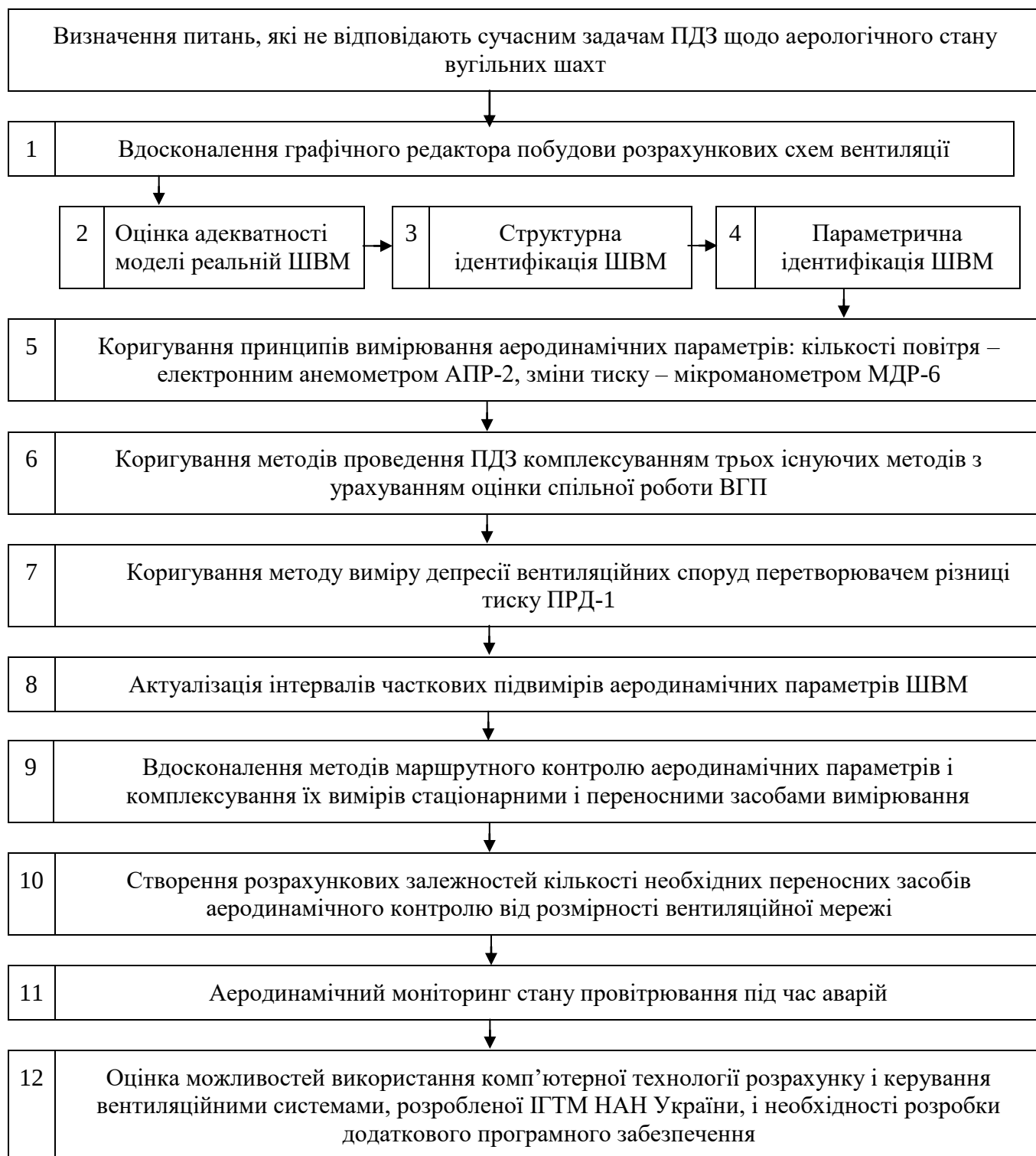


Рисунок 2.1 – Структурна схема вдосконалення проведення та обробки результатів ПДЗ

З рис. 2.1 видно, що, в результаті визначення питань, відсутніх у старих методах проведення і обробки матеріалів ПДЗ, виділено 12 основних, що потребують як вдосконалення існуючих методів (блоки 1,5,6,7,11,12), так і пошуку нових рішень (блоки, що залишилися).

Основні результати робіт зводяться до наступного.

1. До нинішнього часу формування розрахункових схем вентиляції проводилося вручну, а графічний редактор, у переважній кількості випадків, використовувався лише для візуалізації (будуючи електронний варіант схеми на основі накресленого) і покращення сприйняття. Багато питань автоматизації створення розрахункової схеми залишилися поза увагою, або не були досі вирішені внаслідок складності (побудова об'ємної схеми, обертання схеми навколо координатних осей, виділення частини схеми шляхом поділу графа мережі тощо).

Але навіть вручну побудувати розрахункову схему досить складно. Схемою, що використовується як первинна для її побудови, є маркшейдерська дволінійна схема шахти. Вона дає уяву якщо не про просторове представлення виробок шахти, то хоча б про вигляд проекції горизонту чи панелі на горизонтальну площину. Та ще й з реальною, у прийнятому масштабі, довжиною виробок, і їх взаємним розташуванням. Але ця схема має істотні недоліки, зокрема: присутність ряду ділянок, аеродинамічні параметри яких неможливо визначити внаслідок недоступності для вимірів; наявність ділянок, які не приймають участі у провітрюванні (тупики, виробки технологічного призначення, де внаслідок відсутності людей кількість повітря не потребує регулярного контролю тощо). До того ж відзнакою вентиляційної системи є те, що вона не є сукупністю лише реально існуючих виробок, а містить ще й невизначені ділянки (частини виробленого простору лав, зони обвалення). На маркшейдерській схемі їх, звісно, немає, але у процесі провітрювання вони певну участь приймають. Тому побудова розрахункової схеми є не технічною роботою, а певним чином мистецтвом, яке неможливо повністю формалізувати. Внаслідок притаманних складачу особливостей мислення схема також не може бути універсальною і потребуватиме деяких умовних спрощень. Для полегшення таких дій використовуються на етапі побудови розрахункової схеми два комплекси критеріїв і методів, а саме: методи оцінки

адекватності розрахункової схеми, що будується, її реальному аналогу (у межах інформації, представленої розрахунковою схемою, і власного досвіду і сприйняття реального об'єкту технологом) і методи структурної ідентифікації ШВМ.

2. Методи оцінки структурної адекватності докладно описано у [60]. Скорочено сукупність критеріїв структурної адекватності можна охарактеризувати наступним чином: наскільки, у якісному і кількісному плані, реальна ШВМ співпадає з моделюючим аналогом (кількість, відносне розташування елементів, їх сполучення тощо), а у прийнятому масштабі, якщо є у цьому потреба, - наскільки відносно точно відображаються їх геометричні характеристики.

Якщо мережі визнано структурно адекватними із заданим ступенем точності – потрібно перевірити їх параметричну адекватність методом, наведеним у тому ж джерелі [60]. Оскільки основними аеродинамічними параметрами елементів ШВМ є витрата повітря і депресія гірничих виробок, критерії параметричної адекватності орієнтовано на мінімізацію відхилень значень для мереж, що аналізуються на адекватність, саме для цих параметрів.

Критерії структурно-параметричної адекватності моделюючої ШВМ її реальному аналогу з невизначеною структурою і аеродинамічними параметрами наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Критерії структурно-параметричної адекватності

Найменування критерію	Аналітичний вираз	Зміст виразу
Топологічна адекватність		
Топологічна адекватність	$\lambda(G_m, G_u) = \frac{\vec{G}_m}{\vec{G}_u}$	Відношення топологічної подібності
Структурна адекватність	$\lambda(G_m, G_u) = \frac{ U'_o }{n_{ou}}$	Відношення структурної подібності
Функціональна адекватність	$\lambda(G_m, G_u) = \frac{\mu(U_o^m)}{\mu(U_o^u)}$	Відношення функціональної подібності

Продовження табл. 2.1

Параметрична адекватність		
Витрата повітря	$\frac{1}{(\delta_{(j,j)}^q)^2} (Q(i, j) - Q^*(i, j))^2$	Співвідношення між розрахунковим і вимірним значеннями
Депресія	$\frac{1}{(\delta_{(j,j)}^h)^2} (H(i, j) - H^*(i, j))^2$	Те ж
Аеродинамічний опір	$\frac{1}{(\delta_{(j,j)}^r)^2} (R(i, j) - R^*(i, j))^2$	Співвідношення між розрахунковим і істинним значеннями

Задача структурної ідентифікації ШВМ полягає у встановленні відповідності між елементами реальної ШВМ та її ММ шляхом виявлення основних аеродинамічних зв'язків між їх елементами.

Метод розв'язання задачі структурної ідентифікації для випадку ШВМ з невизначеною структурою представлено на рис. 2.2.

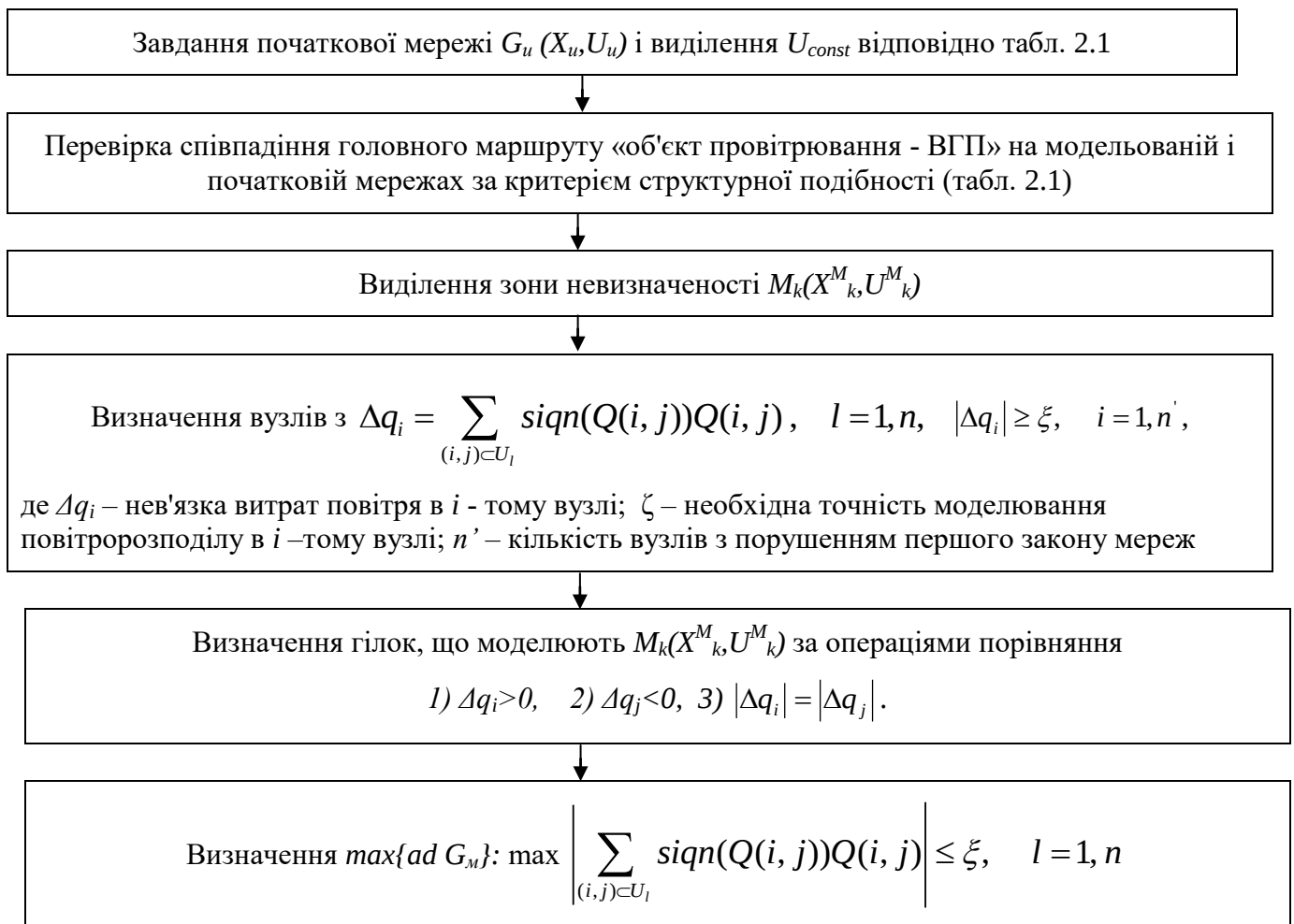


Рисунок 2.2 – Алгоритм структурної ідентифікації ШВМ

Таким чином, задача структурної ідентифікації полягає в тому, щоб максимальне відхилення в будь-якому з вузлів реальної і модельованої мереж, не перевищувало значення критерію адекватності, пов'язаного з вимірюваннями витрат повітря за умови $\min \{dim G_m\}$ - мінімізації критеріїв розмірності та перетворення мережі.

Внаслідок вирішення задачі за розрахунковими або експериментальними даними визначаються значення аеродинамічних опорів, розподілу депресій і витрат повітря у всіх виробках ШВМ, що задовольняють мережним законам.

Математична постановка задачі ідентифікації аеродинамічних параметрів ШВМ [60] полягає у мінімізації функціоналу:

$$F = \sum_{(i,j) \in U} \left[\frac{1}{(\delta_{(j,j)}^q)^2} (Q(i,j) - Q^*(i,j))^2 + \frac{1}{(\delta_{(j,j)}^h)^2} (H(i,j) - H^*(i,j))^2 \right] \rightarrow \min \quad (2.1)$$

за обмежень:

$$\sum_{(i,j) \in U_l} \text{sign}(Q(i,j))Q(i,j) = 0, \quad l = 1, m, \quad (2.2)$$

$$\sum_{(i,j) \in U_\mu} (\text{sign}(Q(i,j))R(i,j)Q^2(i,j) \pm h_e) - \sum_{(i,j) \in (U_\mu \cap U_b)} H(i,j) = 0, \quad \mu = 1, n - m + 1, \quad (2.3)$$

$$H(i,j) = a(i,j) - b(i,j)Q^2(i,j), \quad (i,j) \in U_b, \quad (2.4)$$

$$H(i,j) \leq H_{\text{норм}}, \quad (i,j) \in U_b, \quad (2.5)$$

$$R(i,j) = \frac{\alpha(i,j)L(i,j)P(i,j)}{S^{2,5}(i,j)}, \quad (i,j) \in U_x, \quad (2.6)$$

$$Q(i,j) = S(i,j)V(i,j), \quad (i,j) \in U \setminus U_b, \quad (2.7)$$

$$V^{\min}(i,j) \leq V(i,j) \leq V^{\max}(i,j), \quad (i,j) \in U \setminus U_b, \quad (2.8)$$

$$R^{\min}(i,j) \leq R(i,j) \leq R^{\max}(i,j), \quad (i,j) \in U \setminus U_b \quad (2.9)$$

$$Q^{\min}(i,j) \leq Q(i,j) \leq Q^{\max}(i,j), \quad (i,j) \in U \setminus U_b, \quad (2.10)$$

$$H^{\min}(i,j) \leq H(i,j) \leq H^{\max}(i,j), \quad (i,j) \in U \setminus U_b, \quad (2.11)$$

де U_l - множина гілок, інцидентних l -тому вузлу; U_μ - множина гілок, що належать μ -тому незалежному контуру; U_b - множина гілок, що відображають ВГП; h_e - величина природної тяги, що діє в μ -тому незалежному контурі; $L(i,j)$ - довжина виробки, м; $S(i,j)$, $S^{min}(i,j)$, $S^{max}(i,j)$ - відповідно площа поперечного перетину виробки, його мінімально і максимально припустимі значення, $м^2$; $Q(i,j)$, $Q^{min}(i,j)$, $Q^{max}(i,j)$ - відповідно витрата повітря у виробці, її мінімально і максимально припустимі значення, $м^3/з$; $H(i,j)$, $H^{min}(i,j)$, $H^{max}(i,j)$ - відповідно депресія виробки, її мінімально і максимально припустимі значення, Па; $H_{норм}$ - обмеження на величину загальношахтної депресії, Па; $V(i,j)$, $V^{min}(i,j)$, $V^{max}(i,j)$ - відповідно швидкість руху повітря у виробці, її мінімально і максимально припустимі значення, $м/с$; $R(i,j)$, $R^{min}(i,j)$, $R^{max}(i,j)$ - відповідно аеродинамічний опір виробки, його мінімально і максимально припустимі значення, одиниць СІ; α - коефіцієнт аеродинамічного опору виробки; $\delta^q(i, j)$, $\delta^h(i, j)$ - відповідно значення вірогідності завдання величин $Q(i,j)$, $H(i,j)$ у виробці; $a(i,j)$ $b(i,j)$ - коефіцієнти апроксимації характеристик ВГП, $Q^*(i,j)$, $H^*(i,j)$ - вимірювані значення витрат повітря і депресій гірничих виробок відповідно.

Дослідження необхідних та достатніх умов існування мінімуму функціонала (2.1) при обмеженнях (2.2) і (2.3) показало, що функція цілі (2.1) є опуклою, тому що являє собою суму опуклих функцій виду

$$\frac{1}{(\delta_{(j,j)}^q)^2} (Q(i, j) - Q^*(i, j))^2 \text{ і } \frac{1}{(\delta_{(j,j)}^h)^2} (H(i, j) - H^*(i, j))^2,$$

тобто функція має єдиний екстремум.

Постановка задачі ідентифікації аеродинамічних параметрів ШВМ в умовах неповної та недостатньо достовірної інформації повинна бути доповнена двосторонніми обмеженнями на змінні (2.8) – (2.11). У цьому випадку передбачається, що за розрахунковими формулами і експериментальними залежностями зміни аеродинамічного опору можна одержати оцінку верхньої та нижньої межі зміни аеродинамічних параметрів ШВМ.

У постановці задачі вперше враховується $P(i,j)$ -якісна характеристика стану виробки. Для цього множина виробок розбивається на 3 групи залежно від стану виробки: I - добре (виробки без істотної деформації); II - задовільне (виробки з частково деформованим кріпленням); III - погане (аварійно деформовані виробки, або зі значною кількістю породи та устаткування). Кількісна оцінка аеродинамічного опору цих виробок визначається за формулою (6). Більш докладно якісну характеристику виробок і урахування її під час розрахунку ШВМ охарактеризовано у [61].

Основними етапами методу ідентифікації невизначених аеродинамічних параметрів ШВМ є наступні (рис. 2.3):

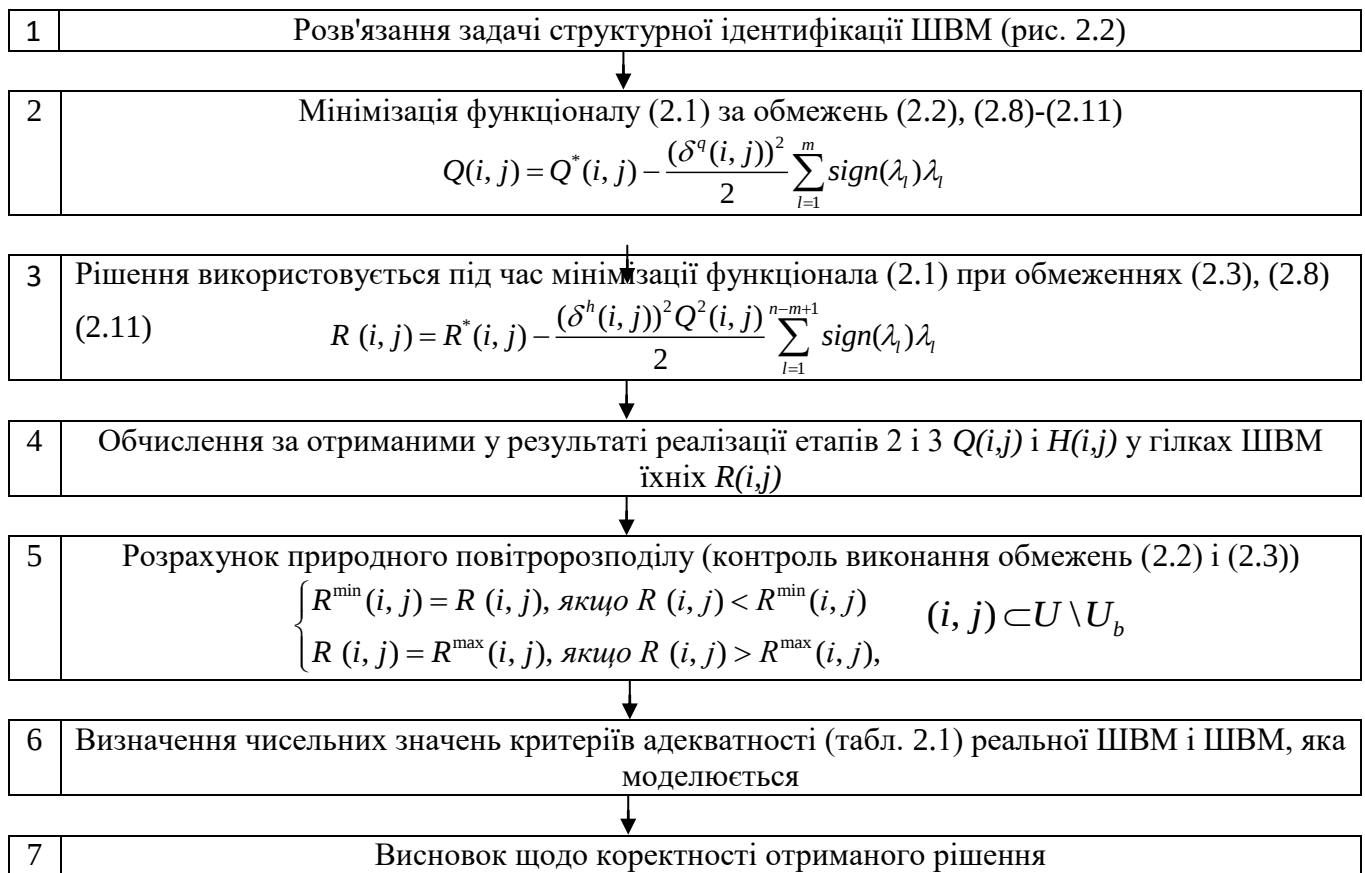


Рисунок 2.3 – Алгоритм параметричної ідентифікації ШВМ

Таким чином вирішуються задачі блоків 2 -4 (рис. 2.1), які раніше не використовувалися під час обробки результатів ПДЗ.

3. ПДЗ, хоча і надають майже вичерпну інформацію про аеродинамічний стан ШВС, є вельми трудомісткими і витратними, тому термін їх проведення на шахті

встановлено 1 раз на три роки. Внаслідок того, що шахта є об'єктом, аеродинамічні параметри якого безперервно і динамічно змінюються, найближчим після проведення ПДЗ часом отримані виміри застарівають, і для використання у аеродинамічних розрахунках потрібне їх коригування.

Таке коригування здійснюється ділянками ВТБ вугільних шахт шляхом постійного (щоденного) контролю гірничими майстрами ділянки, які, рухаючись встановленими маршрутами, проводять виміри аеродинамічних параметрів гірничих виробок переносними приладами контролю. Маршрути моніторингу не є постійними, і коригуються начальником дільниці ВТБ згідно поточних потреб.

З іншого боку, багато шахт України оснащено уніфікованими телекомунікаційними автоматизованими системами диспетчерського контролю та управління гірничими машинами і технологічними комплексами (УТАС) [62]. Однією з функцій її є контроль аеродинамічного стану виробок ШВМ, з метою якого до системи включено комплекс датчиків швидкості повітряного струменя TX1322 (або TX1322Ц (цифрових)) та комплекс датчиків тиску TX6101. Звичайно, такий контроль не є основною функцією УТАС, і кількість таких датчиків обмежена, але наявний їх базис дозволяє без додаткового втручання отримати інформацію щодо аеродинамічного стану основних пунктів контролю і передати її гірничому диспетчеру шахти. Таким чином, з'являється можливість організувати комплексний контроль аеродинамічних параметрів елементів ШВМ, безумовними перевагами якого є наступні.

По-перше, такий комплексний контроль сприятиме зменшенню необхідних вимірів і скороченню потрібних пунктів маршрутного контролю аеродинамічних параметрів, чим, безумовно, підвищиться його надійність і ефективність за умови скорочення трудовитрат.

По-друге, якщо маршрут контролю вимушено охопить зону дії датчиків УТАС - з'явиться можливість оцінки ефективності обох складових контролю і правильності розташування датчиків УТАС у гірничих виробках. Слід враховувати, що точність вимірів аеродинамічних параметрів сучасними засобами контролю порівнянна чи навіть перевищує чутливість датчиків УТАС.

Таким чином, впровадження запропонованого підходу дозволить врахувати переваги і вилучити недоліки обох складових системи контролю аеродинамічних параметрів, скоротивши трудовитрати і сприяючи підвищенню безпеки праці гірників. Крім того, з'явиться можливість оптимізувати кількість необхідних для одночасної експлуатації приладів стаціонарного контролю аеродинамічних параметрів (див. блок 10 рис. 2.1), що, внаслідок обмеженості їх виробництва і зростання потреб шахт, є важливим.

4. Аеродинамічний моніторинг стану провітрювання під час аварій (блок 11 рис. 2.1) є досить складною проблемою внаслідок як складності використання існуючих приладів у аварійній ситуації (важко уявити користування манометром із гумовою трубкою у пожежному осередку), так і здійснення оперативного контролю аеродинамічного стану останнього і особливо ізольованих пожежних ділянок. Ефективність УТАС у цих умовах сумнівна, тому моніторинг з використанням сучасних приладів контролю набуває суттєвої ваги.

5. Останнім, завершуючим етапом оцінки і використання результатів ПДЗ є обробка їх з використанням інформаційно-аналітичних технологій. Цим питанням присвячено декілька програмних продуктів. Це, зокрема, найбільш розповсюджений в Україні, розроблений НДІГС (м. Донецьк) програмний комплекс «Вентиляція шахт» [63], програма РППОД [64], програмний комплекс «IRS Вентиляція – ПЛА» (розробка ДонНТУ) [65], російські комплекси «Рудникова аерологія (Вентиляція)» [66] та «Аеромережа» [67]. Однак використання всіх їх із зрозумілих причин в Україні обмежене; до того ж вони не придатні для реалізації прогресивних підходів, охарактеризованих вище. Найбільш повним, який до того ж реалізує задачі структурно-параметричної ідентифікації ШВМ, тим самим вдосконалюючи використання результатів ПДЗ, є розробка ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України - Інформаційно-аналітична технологія проектування і перспективного планування систем вентиляції вугільних шахт» [68]. Однак для більш повного охоплення кола питань використання результатів ПДЗ (а також, звісно, і результатів функціонування комплексної системи аеродинамічного контролю (дивись п. 3)) вона

потребує деякого доопрацювання. В першу чергу це стосується організації гнучкого графічного інтерфейсу системи, що і є найближчим завданням наших досліджень.

Таким чином, можна зробити висновок, що у питаннях використання результатів ПДЗ і актуалізації аерологічної інформації у період між їх проведеннями досягнуті певні успіхи. Але існує ряд питань, які підлягають оперативному вирішенню, що сприятиме підвищенню якості провітрювання вугільних шахт і безпеці праці гірників.

2.3 Інформаційне забезпечення структурно-параметричної реконфігурації системи «вентилятор головного провітрювання – шахтна вентиляційна мережа – вироблений простір»

Рішення будь-якої гірничотехнічної задачі з використанням оригінального програмного забезпечення вимагає організації певного інформаційного інтерфейсу. Першим етапом при цьому є підготовка початкової інформації для вирішення поставленої задачі, і далі робота будується за стандартною схемою: формуються інформаційні масиви, в результаті рішення задачі на імітаційних моделях отримуються деякі проміжні результати, вони аналізуються користувачем і, з урахуванням внесених поправок, проводиться повторне рішення задачі з отриманням остаточного результату. З метою можливості повторення і уточнення результатів розрахунку вони поміщуються в базу інформаційно-аналітичної системи.

Інакше організується система, що реконфігурується; у нашому випадку це – стан вентиляційної системи у період між проведеннями ПДЗ. Комплексування системи «ВГП – ШВМ» спочатку з виробленим простором (ВП), а потім і з іншими підсистемами технологічного процесу шахти виявили необхідність врахування взаємовпливу як елементів системи «ВГП – ШВМ - ВП», так і системи в цілому з іншими технологічними операціями, пов'язаними з провітрюванням, які представлені, для різних технологічних періодів роботи шахти, у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Технологічні операції шахти, пов'язані з провітрюванням

Технологічний період	Технологічна операція, пов'язана з провітрюванням
Розкриття	а) проходка гірничих виробок б) підтримання гірничих виробок в) підйом
Підготовка	а) проходка гірничих виробок б) підтримання гірничих виробок в) охорона гірничих виробок г) гірничий транспорт д) підйом
Відпрацьовування	а) проходка гірничих виробок б) підтримання гірничих виробок в) погашання гірничих виробок г) відбудовування гірничих виробок д) охорона гірничих виробок е) гірничий транспорт ж) підйом и) врахування температурних умов провітрювання к) взаємовплив ВГП на вихідному струмені повітря л) дегазація

Подальші дії передбачають вивчення змін, що відбулися, їх комплексування, оцінку рівня їх впливу на вентиляційну систему (і прогнозування при цьому зворотного зв'язку), і підготовку нової, принципово відмінної початкової інформації, попутно вирішивши ряд додаткових задач щодо визначення її елементів, послідовно знімаючи обмеження загальної постановки і підводячи до рішення основної задачі з конкретно вентиляційними обмеженнями. Тому підготовка початкової інформації повинна розбиватися на ряд етапів (а сама інформація - на три класи).

Структуру початкової інформації для вирішення задач комплексування вентиляційної системи «ВГП – ШВМ - ВП» представлено у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Структура вхідної інформації для вирішення задач комплексування вентиляційної системи «ВГП – ШВМ - ВП» з метою вдосконалення проведення ПДЗ

№ п/п	Тип інформації	Ідентифікатор	Розмірність	max об'єм	Клас	Періодичність підготовки	Коментарі
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Топологічна : - вузол - гілка (виробка) шахти	i, j (i, j)		1400 ($m_{ш}$) 2000 ($n_{ш}$)	I, III	I- за необхідності III – за умовами реконфігурації	Періодичність визначається технологом При переході до наступного квазістабільного періоду ($I_{ст} \pm III_{нов} = I_{нов}$)
2	Коефіцієнт аеродинамічного опору	$\alpha(i, j)$		2000 (за необх.)	II	одноразово	Використовується для розрахунку $R(i, j)$ за відсутності даних ПДЗ (або в деяких випадках реконфігурації)
3	Аеродинамічний опір (i, j)	$R(i, j)$	од. СИ	2000	I	за необхідності	За результатами ПДЗ або за частковими підвимирами у період між ними
4	Довжина виробки	$L(i, j)$	м	2000	I, III	Те ж	За погоризонтною схемою шахти, матеріалами ПДЗ, під час реконфігурації – у відповідності до її характеристик
5	Площа поперечного перетину виробки	$S(i, j)$	м ²	2000	I, III	"	Те ж
6	Депресія природної тяги	$h_e(i, j)$	од. СИ	~100	I	"	Розраховується або задається за необхідності для вертикальних або похилих виробок

Продовження табл. 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8
7	Аеродинамічний опір у реверсивному режимі	$R(i,j)$	од. СІ	2000	I	за необхідності	За результатами ПДЗ під час планового реверсування або (у проміжках між ними, за появи місцевих опорів або під час реконфігурації) аналітичним методом
8	Коефіцієнти напірної характеристики ВГП	a, b		10 (N_6)	II, III	одноразово (III – за необхідності)	III – під час реконфігурації, пов'язаної із зміненням режиму роботи ВГП. Коефіцієнт «a» має умовну розмірність аеродинамічного опору, «b» - депресії
9	Елементи $R(i,j)$, що є стовбуром, оснащеним підйомом	R_c R_{noc} R_{arm}	Од. СІ Те ж "	~10	II	одноразово	Опір власне стовбура, підйомних посудин (для кожного) і напрямного армування відповідно. Диференціація використовується для імітаційного моделювання руху посудин у прив'язці до графіка роботи підйому
10	Параметри ВП	$L_{ВП}$ $S_{ВП}$	м м ²	кількість ВП	III	у кожному періоді роботи ділянки	Параметри умовні, використовуються для контролю змін ВП протягом квазістабільного періоду роботи ділянки
11	Топологія і параметри ділянки, що реконфігурується	(i,j) $L(i,j)$ $S(i,j)$ $R(i,j)$	м м ² од. СІ	у об'ємі ділянок, що реконфігуруються	III	1 раз у кожному квазістабільному періоді (змінення «ШВМ- ВП»)	Використовуються під час реконфігурації ШВМ в цілому (виключаючи опис елементів ВП). Реконфігурація стосується інформації пп 1,3,4,5

Продовження табл. 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8
12	Кластери ВП	<i>I,II,III</i>		Те ж	III	Те ж	Спільно з інформацією п. 10 використовується під час кластерного моделювання квазістабільного періоду створення і зміни топології і параметрів ВП і визначення $R_{ВП}$, Z_n
13	Додаткові параметри теоретико множинної моделі системи «ВГП – ШВМ – ВП»	<i>HOR</i> <i>NIME</i> <i>TIPE</i> ΔR C_{CH_4}	од. СІ %	2000 2000 2000 N_{PPB}	I,III	одноразово Те ж " " розрахункове	Не використовуються у вентиляційних розрахунках (крім ΔR , яке на етапах I и III характеризує змінення повного $R(i,j)$ у різних квазістабільних періодах), а призначена для організації графічного інтерфейсу, друку проміжної інформації, визначення переліку основних і додаткових споживачів повітря
14	Підсхеми провітрювання ВГП	U_i		невизначена	I,III	1 раз у кожному квазістабільному періоді (змінення «ВГП – ШВМ»)	Спершу визначається за результатами ПДЗ, згодом використовується для вибору оптимального режиму спільної роботи ВГП у кожному квазістабільному періоді функціонування системи (тобто інформації п. 8) і під час рішення вентиляційних задач

До складу початкової інформації входить також ряд елементів, які є не масивами даних, а змінними параметрами. Це, наприклад, реальні значення $n_{ш}$, $m_{ш}$, $N_{ВГП}$, $N_{РКП}$, C_{CH_4} на Z_n , глибина обладнаних клітьовим підйомом шахтних стовбурів, швидкість руху судів, їхні геометричні розміри і параметри аеродинамічного удару тощо. Їх підготовка не вимагає особливих навиків; слід просто керуватись вказівками інструкцій з підготовки початкової інформації для функціонування інформаційно-аналітичної системи розрахунку вентиляції системи «ВГП – ШВМ – ВП».

2.4 Задача визначення зон загазування шахтної вентиляційної мережі вугільних шахт при повороті екзогенної пожежі

Екзогенна пожежа у вугільній шахті є одним з найбільш складних і небезпечних видів підземних аварій, що володіє найбільшою кількістю вражаючих факторів. До числа їх відносяться зміна теплового режиму пожежного вогнища і прилеглих ділянок шахтної вентиляційної мережі (ШВМ) і освіту динамічних зон її загазування газоподібними продуктами горіння.

Планом ліквідації аварій (ПЛА) передбачається, як первооче-редною заходи, евакуація з шахти всіх людей, в першу чергу опинилися в аварійному і загрозованих (тобто піддаються загазуванню) ділянках ШВС. Тому ідентифікація таких ділянок є неодмінною умовою безпеки евакуації, а мінімізація зони загазування θ_z сприятиме підвищенню її ефективності.

Правила безпеки у вугільних шахтах [1] обмежуються вимогою виходу, після отримання сигналу про виникнення аварії, людей з аварійної зони, слідуючи за ходом вентиляційного струменя до чистого ділянки ШВС. Вимога, безумовно, правильне, але не містить достатніх відомостей для ефективної організації аварійної евакуації. Якщо в якості аварійного зберігається нормальний, що існував до аварії, вентиляційний режим, - зона загазування, досягнувши вентиляційних стовбурів, стабілізується, і в подальшому відомості про її конфігурації можуть використовуватися для вирішення завдань ПЛА. Якщо ж передбачається

реверсування вентиляційного струменя - протягом деякого часу зона буде динамічно змінюватися, і використання маршрутів аварійної евакуації людей буде істотно залежати від співвідношення часу переходу на реверсивний вентиляційний режим і часу початку евакуації.

Якщо пожежа виникає в межах ухилом поля - на ділянках з низхідним провітрюванням теплова депресія пожежного вогнища здатна ініціювати перекидання вентиляційного струменя і рециркуляцію пожежних газів, що унеможливить використання згаданої вимоги [1]. Включення таких ділянок в маршрути аварійної евакуації недоцільно. Але їх потрібно попередньо обґрунтовано визначити.

Необхідно керуватися і наступним міркуванням. Ділянка ШВС вважається загазованих, якщо концентрація умовного оксиду вуглецю в ньому перевищує гранично допустиме значення. Однак це значення можна порівняти з точністю приладу контролю, тому навіть умовно незагазовані ділянки ШВС Правила безпеки рекомендують долати в саморятувальниках. Просто при формуванні маршрутів аварійної евакуації їх слід по можливості уникати.

Наявність зазначених складнощів при ідентифікації аварійних і загрозливих ділянок ШВС зумовило значний інтерес вітчизняних і зарубіжних дослідників [4-9, 13]. В Україні навіть розроблений нормативний документ з розрахунку зон загазування ШВС продуктами горіння під час пожежі [3]. Однак до практичного використання отримані результати не завжди придатні.

Методика досліджень базувалася на таких основних положеннях:

а) існує математична модель ШВС, що представляє собою сукупність-ність гілок (i, j) , які задають вироблення (їх частини або сукупності) шахти, і вузлів - їх перетинів;

б) для кожної гілки задані її довжина $L(i, j)$ і аеродинамічний опір $R(i, j)$, а для вентиляторів головного провітрювання (ВГП) - їх натиск і продуктивність;

в) проводиться розрахунок природного розподілу повітря в ШВС, тобто визначаються витрати повітря і напрямки його руху у всіх виробках шахти (гілках ШВС) і, отже, швидкості руху повітря $V(i, j)$ в них;

г) проводиться розрахунок розподілу повітря в ШВС для реверсивного режиму провітрювання;

д) вважається відомим місце виникнення екзогенного пожежі - гілка (i^*, j);

е) передбачається, що утворюється в осередку горіння газоповітряна суміш має нульовий дебіт, тобто наявність її в вентиляційному струмені є лише качестиментом і не змінює початкового дебіту повітря в ній.

Подальші дослідження базувалися на властивостях сільносвязний графа ШВС і мережевих законах руху повітря в її елементах.

У ШВС можуть виникнути такі аварійні зони:

а) зона загазування при нормальному режимі провітрювання θ_n ;

б) зона θ_p , що утворюється при реверсивному режимі провітрювання, і аналогічних в фізичному сенсі зоні θ_n ;

в) проміжна зона загазування θ_n , що виникає в результаті осу-ществлення реверсивного режиму через деякий час після початку пожежі. У неї входять вироблення, чисті при нормальному режимі, але загазованих в результаті реверсування продуктами горіння, які надходять із зони θ_n , існуючої в шахті від моменту виникнення пожежі до початку здійснення аварійного вентиляційного режиму.

Рішення завдання вибору аварійного вентиляційного режиму вимагає перегляду окремих випадків описаних зон на кінцевому відрізку часу τ з урахуванням динаміки їх взаємодії.

Встановлення нового вентиляційного режиму відбувається не миттєво, а з деяким запізненням, що визначаються цілою низкою чинників: часом τ_1 виявлення пожежі, передачі інформації гірничий диспетчер і прийняття рішення відповідно до плану ліквідації аварій, часом τ_2 інерційності системи вентиляції, часом τ_3 розгазування зони θ_n , що утворилася протягом часу $\tau_1 + \tau_2$, і часом τ_4 розгазування утворилася в результаті реверсування зони θ_n .

Рішення завдання полягає у визначенні всіх виробок за ходом вентиляційного струменя від початкового вузла i^* вироблення, в якій знаходиться вогнище пожежі, яких можуть досягти газоподібні продукти горіння за час τ .

На першому кроці знаходяться всі вироблення (j^*, j_k) ; для них

$$\tau(j^*, j_k) = \tau - \tau(i^*, j^*) - \frac{L(j^*, j_k)}{V(j^*, j_k)}, \quad (2.12)$$

$$\text{де } V(j^*, j_k) = \frac{Q(j^*, j_k)}{S(j^*, j_k)}.$$

Якщо $\exists \tau(j^*, j_k) > 0$, приймається $(j^*, j_k) \in \theta_3$, і триває розгляд відно-сительно вузла j_k аналогічно проведенням для j^* ; формула (1) при цьому замінюється на

$$\tau(j_k, j_l) = \max \tau(i_k, j_k) - \frac{L(j_k, j_l)}{V(j_k, j_l)}. \quad (2.13)$$

Розрахунок закінчується, коли $\forall \tau(i_l, j_k) \leq 0$. Таким чином, зона загазування є

$$\theta_3 : \left\{ (i_k, j_k), \sum_{(i_k, j_k) \in \mu(i^*, i_p)} \frac{L(i_k, j_k)}{V(i_k, j_k)} \leq \tau \right\}. \quad (2.14)$$

Максимального розміру зона загазування досягне в момент

$$\tau_{\max} = \begin{cases} \tau, & \tau < \tau_5 \\ \max \sum_{(i_k, j_k) \in \mu(i, j_m)} j_m \in M_1, & \tau \geq \tau_5 \end{cases} \quad (2.15)$$

де τ_5 - час, за яке θ_3 стає постійною, і продукти горіння досягають виходу з вентиляційних стовбурів.

Час, протягом якого вироблення $(i_k, j_k) \in \theta_3$, може бути розраховане по формулі

$$\begin{aligned} \tau'(i_k, j_k) = \tau - \min \sum_{(i_m, j_m) \in \mu(i, i_k)} \frac{L(i_m, j_m)}{V(i_m, j_m)} + \\ + \max \sum_{(i_m, j_m) \in \mu(i', i'')} \frac{L(i_m, j_m)S(i_m, j_m)}{V(i_m, j_m)} + \frac{L(i_k, j_k)S(i_k, j_k)}{Q(i_k, j_k)}, \end{aligned} \quad (2.16)$$

$$\text{де} \quad i' \in M'' : \{j, \forall (i_p, j) \in \theta_3, \exists (j, j_n) \in \theta_3\} \quad (2.17)$$

Динаміка зон загазування, що утворюються при зміні режиму провітрювання в ШВС в довільний момент часу $\square\square$, може бути описана наступним чином:

$$\theta_n^{(\tau')} = \begin{cases} \emptyset, & \tau' = 0 \\ \theta_n, & 0 < \tau' \leq \tau_1 + \tau_2 \\ \theta_n^{\tau_1 + \tau_2} \setminus \theta_n^{\tau' - (\tau_1 + \tau_2)}, & \tau_1 + \tau_2 < \tau' \leq \tau_3 \\ \emptyset, & \tau' > \tau_3 \end{cases}$$

$$\theta_p(\tau') = \begin{cases} \emptyset, & 0 \leq \tau' + \tau_1 + \tau_2 \\ \theta_p^{\tau' - (\tau_1 + \tau_2)}, & \tau_1 + \tau_2 < \tau' < \tau_5 \\ \theta_p, & \tau' \geq \tau_5 \end{cases}$$

$$\theta_n(\tau') = \begin{cases} \emptyset, & 0 \leq \tau' + \tau_1 + \tau_2 \\ \theta_n^{\tau'} & \tau_1 + \tau_2 < \tau' < \tau_4 \\ \theta_p, & \tau' \geq \tau_4 \end{cases}$$

Дослідження показали, що, якщо τ_1 досить велике, зона θ_n може охопити великий обсяг виробок. Отже, при дослідженні ефективності аварійного вентиляційного режиму необхідно порівнювати ні величину зон θ_n і θ_p , а величину зон $\theta_n(\tau)$ и $\theta_p(\tau) \cup \theta_n^{\tau_1 + \tau_2} \cup \theta_n^{\tau_4}$ (якщо $\tau_4 > \tau$ - остання зона замінюється на θ_n^{τ}).

Зона $\theta_n^{\tau_1 + \tau_2} \cup \theta_n^{\tau_4} = \theta_6$ може бути названа зоною тимчасового загазування ШВС.

Основним завданням дослідження динаміки зон загазування ШВС при ре-

версіюванні вентиляційного струменя є аналіз розмірів і часу розгазі-вання □в; Останнім визначається співвідношенням $\tau_{разг} = \max\{\tau_3, \tau_4\}$.

Узлы верхней границы зоны θ_6 составляют множество M'' , определяемое из формулы (6) при $\theta_3 = \theta_6$; верхняя граница зоны определяется как $M':\{j, \forall(j,j_k) \in \theta_p, \exists(i,j) \in \theta_p\}$

Так як газоподібні продукти горіння переміщуються всередині θ_6 за маршрутами від вузлів верхньої межі θ_6 (яких досягли газоподібні продукти до моменту встановлення реверсивного вентиляційного режиму) до вузлів нижньої, досягнення свіжими струменями нижньої межі зони θ_6 , що збігається з межею зони θ_p , і означає розгазування зони θ_6 .

Вузлы верхньої межі зони θ_6 складають безліч M'' , яке визначається з формули (6) при $\theta_3 = \theta_6$; верхня межа зони визначається як $M':\{j, \forall(j,j_k) \in \theta_p, \exists(i,j) \in \theta_p\}$.

Тоді

$$\tau_{разг} = \max \left\{ \sum_{(i_k, j_k) \in \mu(i, j)} \frac{L(i_k, j_k)}{V(i_k, j_k)}, (i_k, j_k) \in \mu(i, j), i \in M'', j \in M' \right\}. \quad (2.18)$$

Методика розрахунку $\tau_{разг}$ ряду наступна: для вузлів $i_k \in M'''$ визначаються $(i_k j_k)$ і розраховуються $\tau(i_k j_k)$. Те ж повторюється для j_k , тобто на кожному кроці для кінцевих вузлів розглянутих виробок розраховується параметр буде часом розгазування максимального маршруту від $i_k \in M'''$ до даного вузла. Коли в якості j_k будуть розглянуті $\forall j \in M''$, максимальне значення параметра і визначить $\tau_{разг}$.

Моделювання зон загазування ШВС передбачає стійкість руху повітря в усіх, в тому числі і аварійних і загрозливих, ділянках ШВС. Інакше кажучи, при реалізації аварійного вентиляційного режиму передбачається, що перекидання вентиляційного струменя у виробках ШВС визначається виключно за рахунок зміни (зміни знака) депресії ВГП і (або) зміни $R(i, j)$ коштів місцевого регулювання вентиляційних потоків. При цьому поле концентрацій убиває від місця виникнення пожежі i^* у напрямку до воздуховидаючим стовбурах. Поле концентрацій після закінчення регулювання з метою встановлення аварійного вентиляційного режиму залишається

статичним протягом всього часу ліквідації пожежі (природно, за умови $C(i^*, j) = \text{const}$), і концентрації пожежних газів в вузлах за ходом вентиляційного струменя розраховуються за формулою

$$C_i = \frac{\sum C(j_k, i) Q(j_k, i)}{\sum Q(j_k, i)} \quad (2.19)$$

Однак така ситуація може з абсолютною достовірністю моделюватися лише при виникненні пожежі в горизонтальних або слабонаклонних ділянках ШВС. У разі ж виникнення пожежі, що супроводжується виділенням тепла, в похилій або вертикальній виробці з низхідним провітрюванням або прилеглих до неї виробках можливо [10] перекидання вентиляційного струменя у них і освіту контуру рециркуляції - сукупності виробок з кільцевих рухом повітряного потоку [9,11,12]. У загальному випадку таких контурів може бути кілька. Вони утворюють зону рециркуляції, яка входить у зони загазування.

У ШВС можуть виникнути два типи контурів рециркуляції: контур безпосередній рециркуляції, що включає вироблення, в якій знаходиться вогнище пожежі, і контур непрямої рециркуляції, на якому лише позначається вплив теплової депресії вогнища пожежі.

Приклад утворення контуру безпосередній рециркуляції наведено на рис. 2.4.

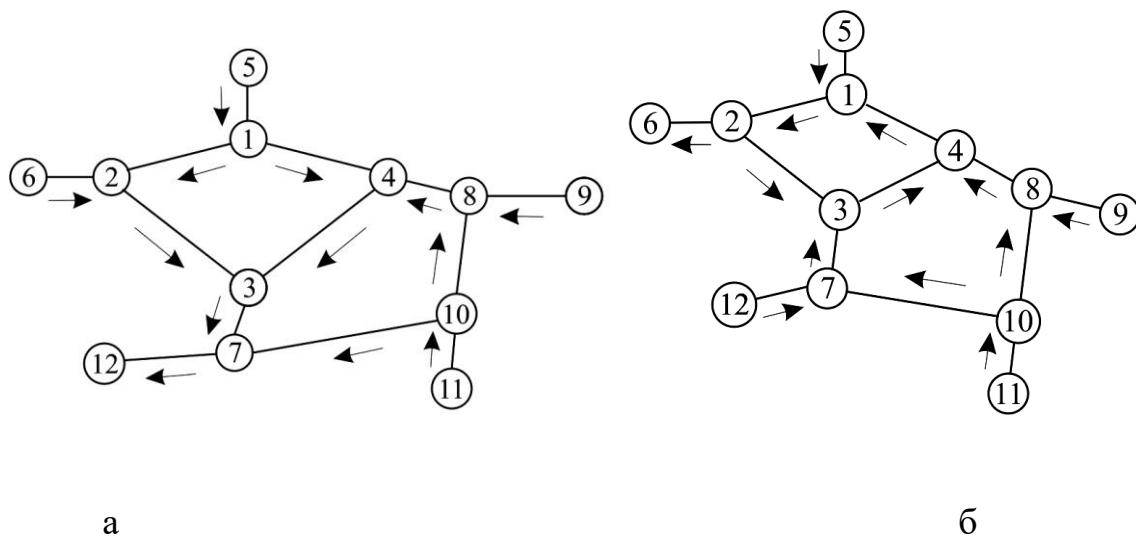


Рисунок 2.4 – Утворення контуру безпосередній рециркуляції

Поле напрямків повітряних потоків в обраному ділянці ШВС представлено на рис. 1а. При виникненні пожежі у виробках (4, 3) за умови $H_3 < H_4$ у міру його розвитку відбувається поступове зниження депресії вироблення (теплова депресія протидіє в вентиляторах), а потім вентиляційна струмінь перекидається (див. Рис. 1б). Утворюється контур безпосередній рециркуляції K_n : $\{(1,2), (2,3), (3,4), (4,1)\}$.

Якщо прийняти $C(3,4)$ постійною і рівною C , то концентрація в решті виробок контуру може бути розрахована за формулою (7). $C(3,4) \neq C(2,3)$, і можна вважати її рішенням задачі безпосередній рециркуляції.

Розглянемо контур непрямої рециркуляції, наведений на рис. 2.5.

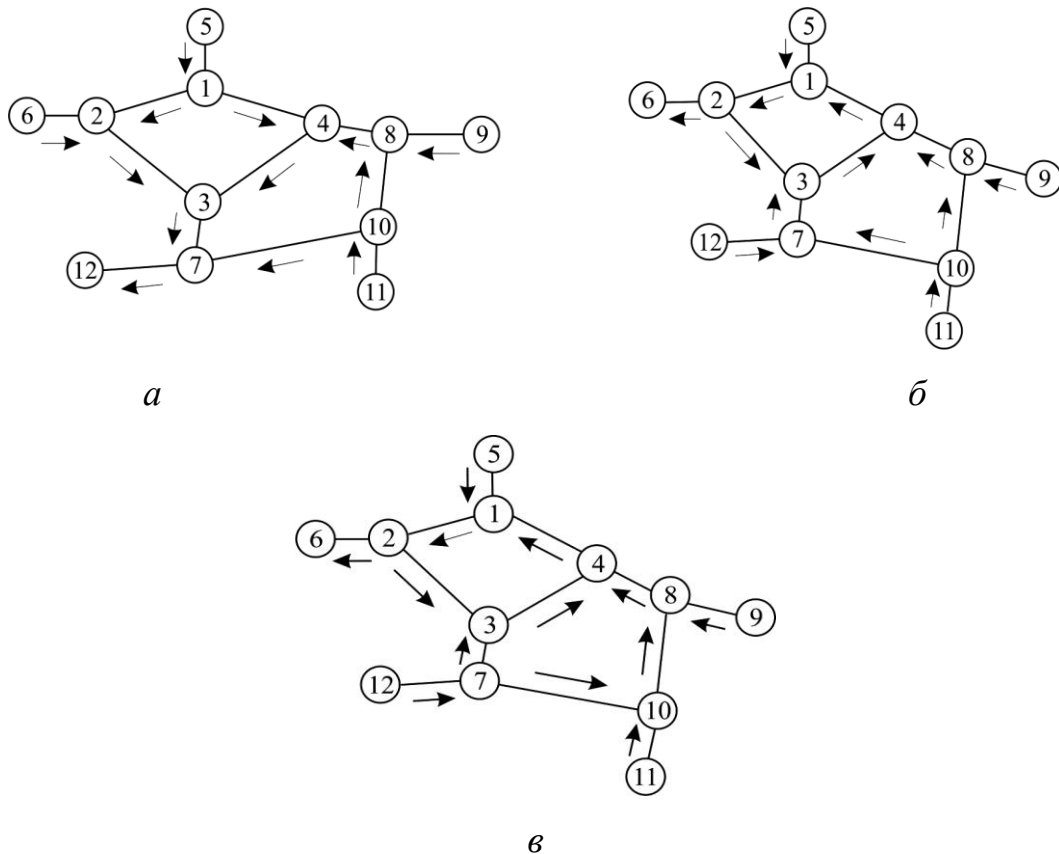


Рисунок 2.5 - Утворення контуру непрямої рециркуляції

Поле напрямків повітряних потоків до пожежі представлено на рис. 2а. При виникненні пожежі у виробках (7,12) за умови $H_{12} < H_7$ відбувається перекидання струменя у виробленні (3,7), що викликає утворення контуру $K_k \{(1,2), (2,3), (3,4), (4,$

1)», представленого на рис. 2.б. У нього ззовні входить лише одна вироблення (7,3), що містить газоподібні продукти з концентрацією

$$C(7,3) = \frac{CQ(12,7)}{Q(12,7) + Q(10,7)} = C_1. \quad (2.20)$$

Згодом, однак, виявиться загазованому і вироблення (2,3). Тим самим зміниться $C(3,4)$, що, в свою чергу змінить $C(2,3)$. Описана особливість виключає використання формули (7) для розрахунку концентрації газоподібних продуктів в контурі рециркуляції.

Поводячи розрахунки для загального випадку, коли контур рециркуляції складається з до виробок, отримаємо, що на n -му кроці ітераційного процесу концентрація газоподібних продуктів в першій виробленні контуру (першої вважається вироблення (i_1, j_1) , в яку безпосередньо надходять газоподібні продукти від вогнища пожежі ; в описаному випадку (3,4) - перша вироблення контуру) може бути визначена у вигляді

$$C^n(i_1, j_1) = \frac{C_1 Q_1 \sum_{p=1}^n \left(\prod_{i=1}^k \sum Q(i', j_i)^{p-1} \left(\prod_{i=1}^k \sum Q(i', i)^{n-p} \right) \right)}{\sum Q(i', j_i)^n \left(\prod_{i=2}^k \sum Q(i', i)^{n-1} \right)}, \quad (2.21)$$

де C_1 , Q_1 - концентрація газоподібних продуктів і витрата повітря у виробці, що подає газоподібні продукти від вогнища пожежі в першу вироблення контуру рециркуляції. Вузли контуру нумеруються, починаючи з початкового вузла першої його вироблення.

Ітераційний процес є збіжним, якщо

$$|C^{n+1}(i_1, j_1) - C^n(i_1, j_1)| < |C^n(i_1, j_1) - C^{n-1}(i_1, j_1)|. \quad (2.22)$$

Підстановка в (9) значень $C^{n+1}(i_l, j_l)$, $C^n(i_l, j_l)$, $C^{n-1}(i_l, j_l)$ перетворює його до виду

$$\prod_{i=1}^k Q(i, j_i) < \prod_{i=1}^k \sum Q(i', i). \quad (2.23)$$

Останнє очевидно, оскільки суворе нерівність може бути порушено лише в разі відсутності входять в контур рециркуляції ззовні виробок. Значить, процес є збіжним, і критерієм оцінки його збіжності може служити величина відхилення результатів двох послідовних ітерацій. Коли вона виявиться менше обраної з практичних міркувань величини ε , розрахунок вважається закінченим.

Однак в більш загальному випадку контур рециркуляції може виникнути в будь-якому місці загазованої зони та містити ряд вузлів, що мають приплив газоподібних продуктів. На рис. 2в представлений випадок, коли в результаті пожежі у виробках (12,7) струмінь перекидається, крім вироблення (7,3), ще й у виробленні (7,10). Газоподібні продукти починають надходити в контур рециркуляції через вузол 4, унеможливаючи використання формули (8). Дослідження показали, що для розглянутого випадку концентрація газів в першій виробленні контуру визначається у вигляді

$$\begin{aligned} C^n(i_1, j_1) = & \frac{\sum C(i', j_1) Q(i', j_1) \left(\prod_{i=1}^k \sum Q(i', i)^{n-1} \right)}{\left(\sum Q(i', j_1)^n \right) \left(\prod_{i=2}^k \sum Q(i', i)^{n-1} \right)} + \\ & + \frac{\sum_{p=1}^k \sum C(i', i_p) Q(i', i_p) \sum_{j=1}^{n-1} \left(\prod_{l=1}^p Q_j(i_l, j_l) \left(\sum Q(i', i_l)^{n-j-1} \right) \right)}{\left(\left(\sum Q(i', j_i)^n \right) \left(\prod_{i=2}^k \sum Q(i', i)^{n-1} \right) \right)} \times \\ & \times \prod_{l=p+1}^k Q^{j-1}(i_l, j_l) \left(\sum Q(i', j_l)^{n-j} \right). \end{aligned} \quad (2.24)$$

Після необхідних перетворень отримуємо

$$\lim_{n \rightarrow \infty} C^n(i_1, j_1) = \frac{C_1 Q_1}{\sum Q(i', j_1)} \frac{\prod_{i=1}^k Q(i', i)}{\prod_{i=1}^k Q(i', i) - \prod_{i=1}^k Q(i_i, j_i)}. \quad (2.25)$$

Перший співмножник формули (12) є аналогом (2.19), другий - завжди кінцеве число, з чого можна зробити висновок про те, що нескінченного наростання концентрації пожежних газів в виробках контуру рециркуляції не відбувається.

Використання формули (2.25) замість (8) для розрахунку концентрації в першій виробленні контуру рециркуляції виключає необхідність інтуїтивного завдання величини n , отже, формула (2.25) є більш точною і обґрунтованою.

Запропонований метод можна проілюструвати прикладом розрахунку контуру рециркуляції (4,11), (11,8), (8,7), (7,6), (6,4) (рис. 2.6). Вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці 2.4. Контур рециркуляції утворюється при перекиданні струменя у виробленні (7,8).

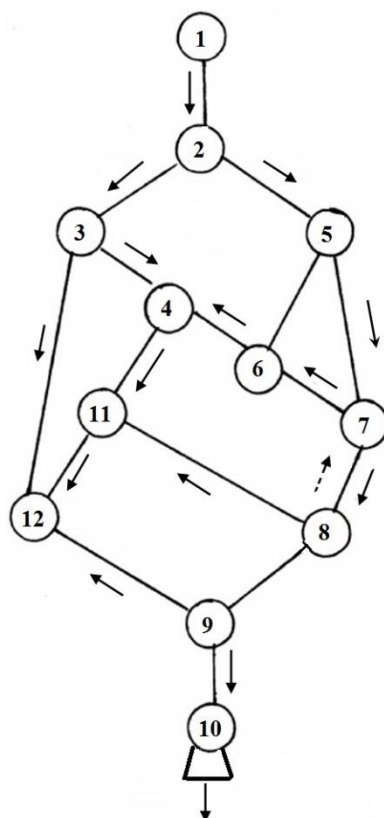


Рисунок 2.6 - Приміром розрахунку концентрації пожежних газів в контурі рециркуляції

Таблиця 2.4 - Вихідні дані для розрахунку концентрації газу в контурі рециркуляції *

Початковий вузол	Кінцевий вузол	Витрата повітря	
		до пожежі	при пожежі
1	2	50,0	50,0
2	3	44,0	44,0
2	5	6,0	6,0
3	4	34,0	15,0
6	4	2,0	10,0
4	11	36,0	25,0
11	8	7,0	15,0
7	8	4,0	4,0**
7	6	1,0	5,0
5	6	1,0	5,0
5	7	5,0	1,0
3	12	10,0	29,0
12	9	39,0	39,0
8	9	11,0	11,0
9	10	50,0	50,0
11	12	29,0	10,0

* Концентрація газів до початку розрахунку дорівнює 5

** При пожежі (8,7)

Вузлом входу в контур рециркуляції є 4, а першою виробленням - (4,11). Зона загазування, яка формується за описаною вище методикою, включає вироблення (3,4), (4,11), (11,8), (8,7), (7,6), (6,4), (11, 12), (12,9), (8,9), (9,10). Застосовуючи формулу (12), отримаємо

$$C(4,11) = \frac{5,0 \cdot 15,0}{15 + 10,0} \cdot \frac{(15 + 10) \cdot 25 \cdot 15 \cdot (4 + 1) \cdot 10}{25 \cdot 25 \cdot 15 \cdot 5 \cdot 10 - 25 \cdot 3000} = 3,57.$$

За формулою (7) отримаємо далі: $C(11,12) = C(11,8) = 3,57$; $C(12,9) = 0,92$; $C(8,9) = C(8,7) = 3,57$; $C(7,6) = 2,86$; $C(6,4) = C(6,4) = 1,43$; $C(9,10) = 1,5$.

Для перевірки, з урахуванням отриманих результатів, можна обчислити

$$C(4,11) = \frac{1,43 \cdot 10,0 + 5,0 \cdot 15,0}{10,0 + 15,0} = 3,57.$$

Настільки значні значення концентрації оксиду вуглецю в виробках загазованої зони прийняті штучно, лише для наочності розрахунків; реально вони значно менше і в багатьох випадках сумірні з точністю приладів контролю.

За результатами проведених досліджень сформульовано **перше наукове положення** дисертації: Концентрація газоподібних продуктів в першій виробці контуру, в яку безпосередньо надходять газоподібні продукти від вогнища пожежі при її повороті, визначається співвідношенням добутку концентрації газоподібних продуктів та витрат повітря у виробці, що подає газоподібні продукти від вогнища пожежі в першу виробку контуру рециркуляції, до сумарних витрат повітря всіх виробок зони загазування, так при концентрації газоподібних продуктів 5 г/м^3 та витратах повітря у виробці, що подає газоподібні продукти, $15 \text{ м}^3/\text{с}$ та сумарних витратах повітря $25 \text{ м}^3/\text{с}$ концентрація газоподібних продуктів в першій виробці контуру досягає значення $3,57 \text{ г/м}^3$.

Новизна наукового положення полягає в тому, що вперше розроблено метод визначення зон загазування ШВС вугільних шахт при повороті екзогенної пожежі та встановлено закономірності зміни концентрація газоподібних продуктів в першій виробці контуру, в яку безпосередньо надходять газоподібні продукти від вогнища пожежі, від концентрації газоподібних продуктів та витрат повітря у виробці, що подає газоподібні продукти від вогнища пожежі в першу виробку контуру рециркуляції, та сумарних витрат повітря всіх виробок зони загазування.

2.5. Висновки по розділу.

1. Удосконалено методологію виявлення аварій у вугільних шахтах. Виявлення аварії в шахті має ґрунтуватися на трьох основних принципах: стаціонарна система контролю (АГК) сигналізує про поточний газовий режим

шахти, в основному орієнтуючись на зміну в шахтному повітрі концентрації метану. Власне виникнення аварійної ситуації в повній мірі прогнозувати вона не може. Датчики-детектори CO констатують лише факт її виникнення; використання маршрутного контролю сприяє прогнозуванню аварійної ситуації за непрямими ознаками, чим і відрізняється від стаціонарної системи; використання стаціонарної системи контролю вмісту CO в шахтній атмосфері дозволить відстежити, за умови створення відповідного алгоритму її роботи, зміну складу атмосфери по ходу поширення аварійної зони і вжити заходів щодо оперативної ліквідації аварії. Спільне використання систем стаціонарного і маршрутного контролю складу шахтної атмосфери є найбільш ефективним засобом управління аерогазодинамічними аспектами її протікання і ліквідації.

2. Розроблено метод оцінки і використання матеріалів повітряно-депресійних зйомок на вугільних шахтах. Критерієм адекватності інформаційно-вимірювальних смарт-технологій моніторингу складних аерогазодинамічних мереж є максимальна нев'язка витрат повітря у вузлах модельованої мережі, а задача структурної ідентифікації полягає у тому, щоб максимальне відхилення в будь-якому з вузлів реальної і модельованої мереж не перевищувало значення критерію адекватності, пов'язаного з вимірюваннями витрат повітря за умови $\min \{dim G_m\}$ - мінімізації критеріїв розмірності та перетворення мережі, заданої моделюючим графом $G_m(X_m, U_m)$, з відповідною множиною гілок X_m та вузлів U_m ШВМ. Розроблені методи структурно-параметричної ідентифікації шахтної вентиляційної мережі дозволяють створити її математичну модель, яку, за умови достатньої адекватності реальній мережі можна бути ефективно використано під час розрахунків вентиляції. Пропонується замінити застарілі пристрої контролю аеродинамічних параметрів на більш сучасні, розроблені у ІГТМ НАН України. Оскільки інтервал між проведенням ПДЗ на шахті дуже значний, пропонується новий підхід до актуалізації інформації, який полягає у комплексуванні вимірювань стаціонарними та переносними приладами контролю. Пропонуються методи структурно - параметричної ідентифікації та вимірювальні пристрої контролю аеродинамічних параметрів нового технічного рівня. Використання запропонованих методів та

засобів обробки результатів ПДЗ дозволить підвищити якість отриманої аеродинамічної інформації.

3. Розроблено інформаційне забезпечення структурно-параметричної реконфігурації системи «вентилятор головного провітрювання – шахтна вентиляційна мережа – вироблений простір». До складу початкової інформації входить ряд елементів, які є не масивами даних, а змінними параметрами. Це, наприклад, реальні значення $n_{ш}$, $m_{ш}$, $N_{ВГП}$, $N_{РКП}$, C_{CH_4} на Z_n , глибина обладнаних підйомом кліті шахтних стовбурів, швидкість руху посудин, їхні геометричні розміри, параметри аеродинамічного удару тощо. Їх підготовка не вимагає особливих навиків; слід просто керуватись вказівками інструкцій з підготовки початкової інформації для функціонування інформаційно-аналітичної технології розрахунку вентиляції системи «ВГП – ШВМ - ВП».

4. Отримано найбільш загальне рішення задачі визначення зон загазування ШВС вугільної шахти при виникненні екзогенного пожежі. Воно дозволяє отримати результати як для постійного, так і реверсивного аварійного вентиляційного режиму з урахуванням впливу теплової депресії на стійкість вентиляційних потоків. Рішення є як якісним, так і кількісним, оскільки дозволяє оцінити не тільки ризик аварійної евакуації людей при аварії, але і ступінь цього ризику, а значить - вибрати і оцінити кількісно доцільність реалізації вилайливого вентиляційного режиму з урахуванням не тільки мінімізації впливу вражаючих факторів пожежі, а й підвищення безпеки якомога більшої кількості працюючих людей. Рішення не прив'язане до особливостей конкретної шахти, тому може бути рекомендований до широкомасштабну-штабному впровадження.

5. Встановлено, що концентрація газоподібних продуктів в першій виробці контуру, в яку безпосередньо надходять газоподібні продукти від вогнища пожежі при її повороті, визначається співвідношенням добутку концентрації газоподібних продуктів та витрат повітря у виробці, що подає газоподібні продукти від вогнища пожежі в першу виробку контуру рециркуляції, до сумарних витрат повітря всіх виробок зони загазування, так при концентрації газоподібних продуктів 5 г/м^3 та витратах повітря у виробці, що подає газоподібні продукти, $15 \text{ м}^3/\text{с}$ та сумарних

витратах повітря $25 \text{ м}^3/\text{с}$ концентрація газоподібних продуктів в першій виробчій контуру досягає значення $3,57 \text{ г}/\text{м}^3$ [69-72].

Основні результати, одержані у даному розділі, відображено у наступних роботах автора [69-72].

2.6. Список використаних джерел за розділом 2

59. Ященко И.А. Оценка эффективности системы обнаружения экзогенного пожара на угольной шахте / И.А. Ященко // Геотехническая механика: меж-вед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины.- Днепропетровск, 2007.- Вып. 68.- С. 156-158.

60. Булат А.Ф., Бунько Т.В., Ященко И.А. и др. Совершенствование функционирования угольных шахт: вентиляция, кондиционирование, дегазация, экология. Дніпро: Журфонд, 2018. 444 с.

61. Булат А.Ф., Круковский А.П., Бунько Т.В. и др. Оценка опасности шахт с использованием теории рисков // Геотех-ническая механика: межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. 2017. Вып. 135. С. 3-15.

62. Радченко В.В., Малеев Н.В., Мартынов А.А. и др. Перспективы повышения уровня промышленной безопасности угольных шахт при использовании системы диспетчерского контроля (УТАС) // Горный информационно-аналитический бюллетень. МГГУ: 2005. Тематический выпуск «Безопасность». С. 31-43.

63. Кравченко М.В., Кравченко Н.М. Опыт внедрения программного комплекса «Вентиляция шахт» // Уголь Украины. 2003. № 2. С. 26-28.

64. Руководство по эксплуатации программной системы РЕВОД. Версия 4.2. Донецк: Академия горных наук Украины, Донбасский научный центр, 1999. 71 с.

65. Трофимов В.А., Романченко С.Б. Методические указания по практическим занятиям «Моделирование шахтных вентиляционных сетей». Донецк: ДонНТУ, 2005. 28 с.

66. Палеев Д.Ю., Лукашов О.Ю. Программа расчета вентиляционных режимов в шахтах и рудниках // Горная промышленность. 2007. № 6. С. 20.

67. Казаков Б.П., Круглов Ю.В., Исаевич А.Г., Левин Л.Ю. Разработка программно-вычислительного комплекса «АэроСеть» для расчета вентиляционных сетей шахт и рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень. Темат. прил. Аэрология. 2006. С. 21-32.

68. Полтавец В.И., Булат А.Ф., Бунько Т.В. и др. Использование компьютерных технологий при проектировании вентиляции угольных шахт. Луганск-Днепропетровск: Норд-компьютер, 2003. 343 с.

69. Estimation and use materials of the airily-depressed surveys on the coal mines of Ukraine. Tetiana Bunko, Maksym Shishov, Vadim Miroshnychenko, Mykhailo Dudnyk, Ivan Kokoulin. Essays of Mining Science and Practice. E3S Web of Conferences. Vol. 109 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1051/E3Sconf/201910900012>.

70. Інформаційне забезпечення структурно-параметричної реконфігурації системи «вентилятори головного провітрювання - шахтна вентиляційна мережа – вироблений простір». Т.В. Бунько, В.В. Мірошніченко, І.Є. Кокоулін, О.Ш. Жалілов. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2017. Вип. 135. С. 46-55.

71. Estimation and use materials of the airily-depressed surveys of the coal mines of Ukraine. T.V. Bunko, M.V. Shyshov, I.Ye. Kokoulin, M.M. Dudnyk, Vadim Miroshnychenko. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2019. Вип. 146. С. 3-17. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/2019>.

72. Бунько Т.В., Мірошніченко В.В., Кокоулін І.Е..Методология обнаружения аварий в угольных шахтах. Тезисы докладов VII Всеукраинской научно-практической конференции с международным участием «Чрезвычайные ситуации: безопасность и защита», 20-21 октября 2017 года. Черкасском институте пожарной безопасности им. Героев Чернобыля Национального института гражданской защиты Украины. – Черкасы, 2017. – С. 121-122.

3 ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ АЕРОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

3.1 Чинники, які утворюють аерологічний ризик у вугільних шахтах

Призначення 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 [69] «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 ділянки; щоправда, таке визначення не досить коректне, тому що виїмкова ділянка хоч і є найбільш вразливим, але не єдиним місцем у шахті, де може існувати АР;

в) виїмкова ділянка характеризується показником вразливості.

З того ж джерела отримуємо: «Уязвимость схемы проветривания выемочного участка – свойство вентиляционной системы выемочного участка терять 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 води, глини, пульпи;
- е) затоплення гірничих виробок;
- ж) проникнення токсичних речовин у гірничі виробки;
- і) відмова (зупинка) 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 змінням 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 ділянок.

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, представлено у вигляді дерева «причина-наслідки» на рис. 3.1.

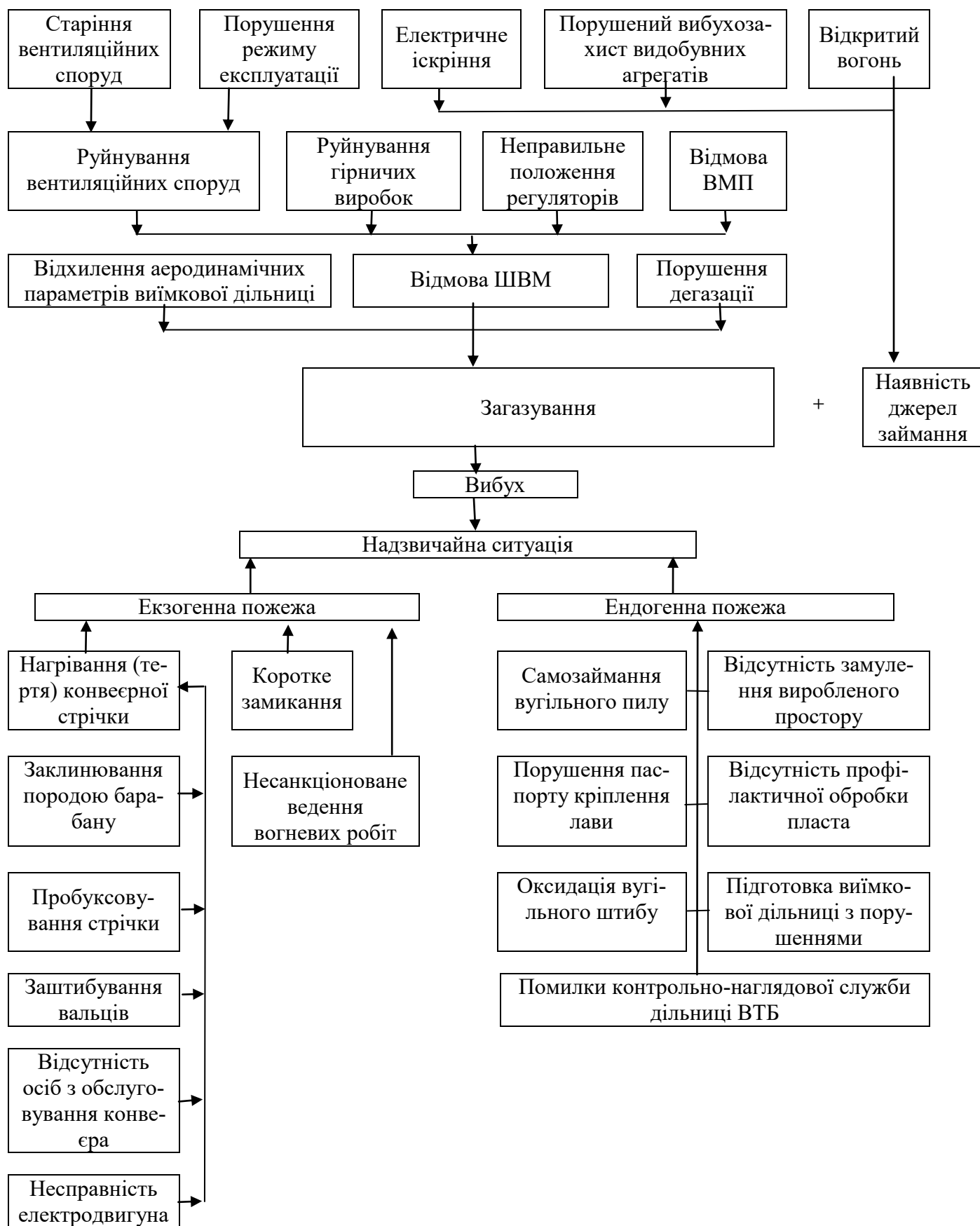


Рисунок 3.1 – Причинно-наслідкові зв'язки між небажаними подіями, що призводять до надзвичайної ситуації

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 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. 3.1 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.

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 [70].

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 [71,72]; 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 пилометаноповітряної (ПМПС) суміші охарактеризовані у багатьох наукових публікаціях, у відповідності до яких:

а) МПС (умова, що ініціює), що є причиною аерологічного ризику, вибухонебезпечна 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 шахтної атмосфери, викликаного зростанням концентрації метану і вугільного пилу протягом достатньо довгого часу, при цьому поява вискоенергетичного 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 [73] 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 ⇒ вибух ПМПС ⇒ екзогенна пожежа тощо).

Основні чинники аерологічного ризику і засоби їх зниження представлено на рис. 3.2. Крім цих основних чинників аерологічний ризик визначається і дугорядними: 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

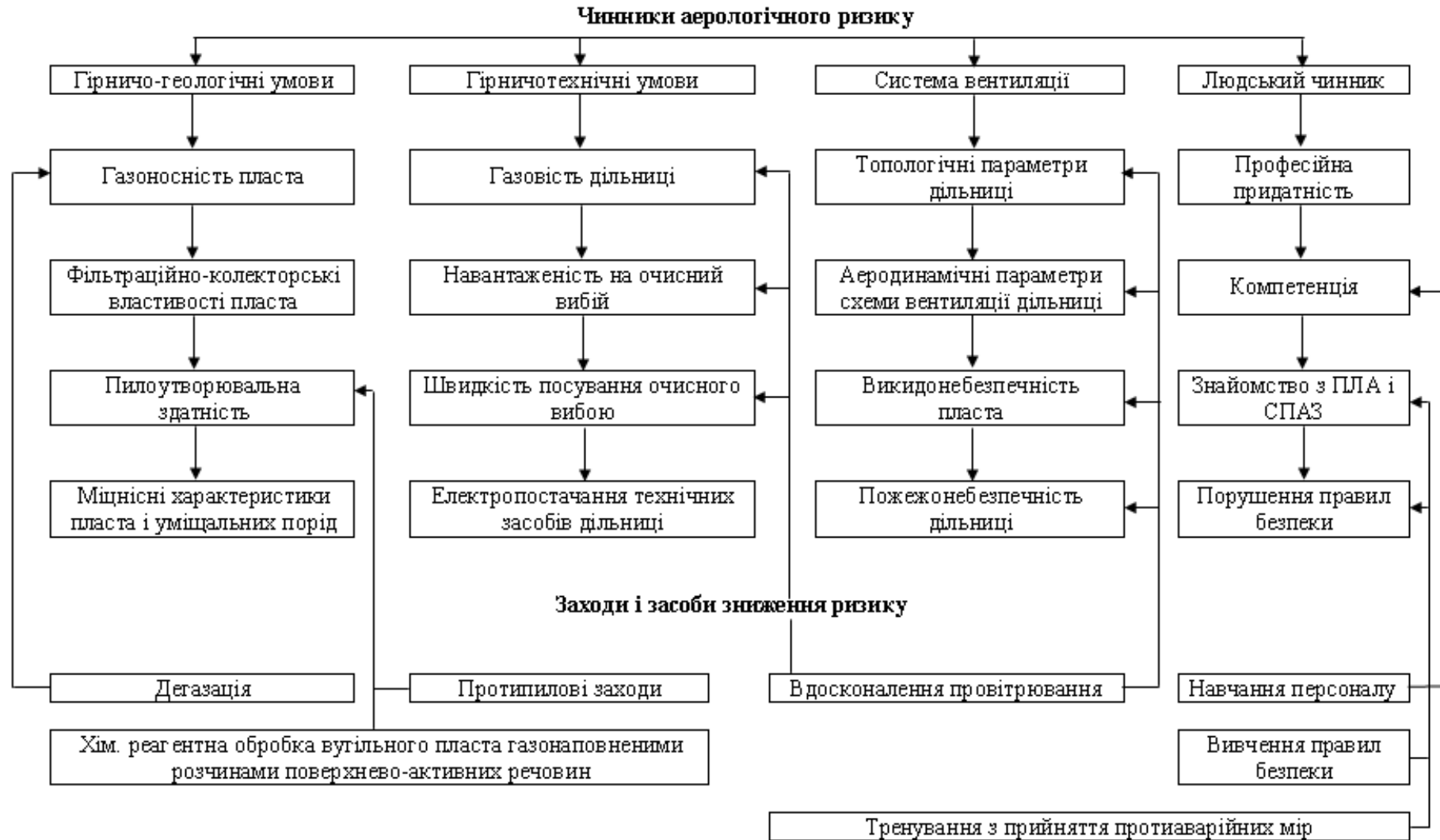


Рисунок 3.2 – Основні чинники аерологічного ризику і засоби їх зниження

Грунтуючись на цих міркуваннях, можна перейти до кількісного оцінювання аерологічного ризику. Для кількісної оцінки небезпеки, вразливості, аерологічного ризику аварій для виїмкових ділянок слід використовувати нормуючі коефіцієнти (ранги), що характеризують долю (імовірність) від найбільш не-сприятливої ситуації, що приймається за одиницю. Тоді ступінь аерологічного ризику за конкретним чинником можна визначити, наприклад, згідно табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – 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 ділянках 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. 3.3.

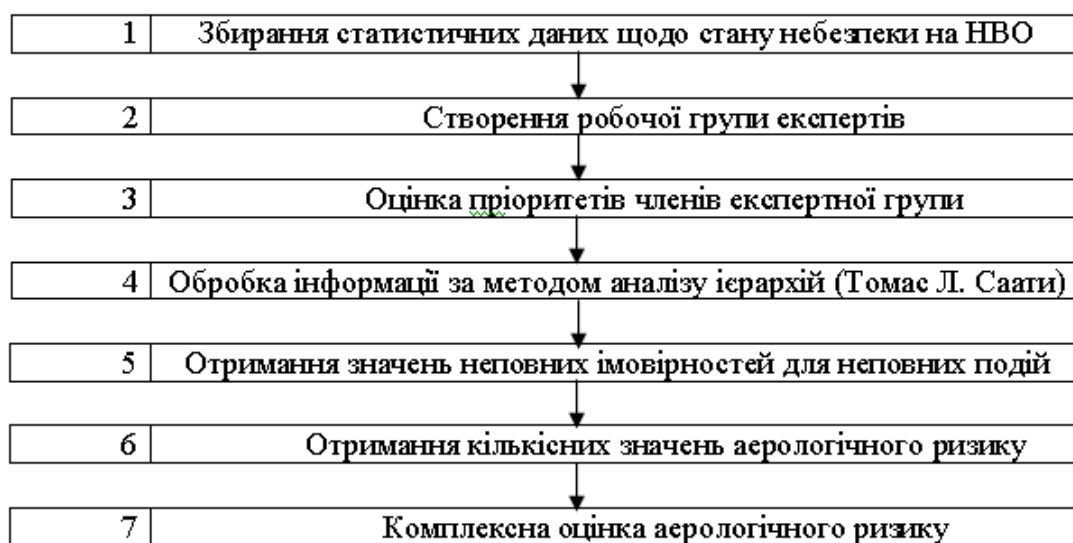


Рисунок 3.3 – Структура використання методу експертних оцінок для визначення аерологічного ризику аварій

Інформацію, яку надають члени робочої групи, рекомендується обробляти за допомогою методу аналізу ієрархій (MAI) [74] – нині, мабуть, найбільш зручного в теорії експертних оцінок. Нами він вже використовувався [75,76], і, на наш погляд, для рішення задач оцінки аерологічних ризиків є доволі придатним.

MAI 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 MAI існує кілька програмних продуктів.

Аналіз проблеми прийняття рішень у MAI 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. 3.1), взаємозв'язку, приведення до неповних імовірностей (блок 5 на рис. 3.3), отриманих діленням рангів значущості на часовий чинник. Останні підставлятимуться у дерево причино-наслідкових зв'язків (рис. 3.1) і з урахуванням взаємозв'язку чинників прораховуватимуться від крайніх гілок (первинні причини) до кореню дерева.

Експертами [77] 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 [77] 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 враховування 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 [73], об'єктивний автоматизований контроль виконання яких 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.

Таким чином, 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 наближене вирішення основної задачі систем управління охороною праці на НВО – забезпечення «прийняттого ризику» усіх ланок вугільного виробництва.

3.2. Використання методу BOW-TIE під час аналізу аерологічних ризиків вугільних шахт

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 [78] 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 IEC/ISO 31010:2009, адаптований до українських умов документом ДСТУ IEC/ISO 31010:2013 [79]. 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 впровадження.

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 [79] 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 ВТБ (у тому числі відповідальні за складання планів ліквідації аварій і використання засобів системи протиаварійного захисту) і профілактичних робіт з техніки безпеки, служби ПДЗ 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 [78,81], 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.

Діаграма першого рівня для оцінки і керування аерологічними ризиками має вигляд (рис. 3.4).

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. Поки це лише якісне відображення можливого розвитку ситуації «відмова – подія - наслідки».



Рисунок 3.4 – Діаграма BOW-TIE першого рівня

Стандарт [79] 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).

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 спрацювання бар'єрів.

Однак у багатьох ситуаціях шляхи та бар'єри залежні, а їхня результативність, внаслідок цього, нечітко виражена. Тому діаграма повинна добудовуватись 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. 3.5.

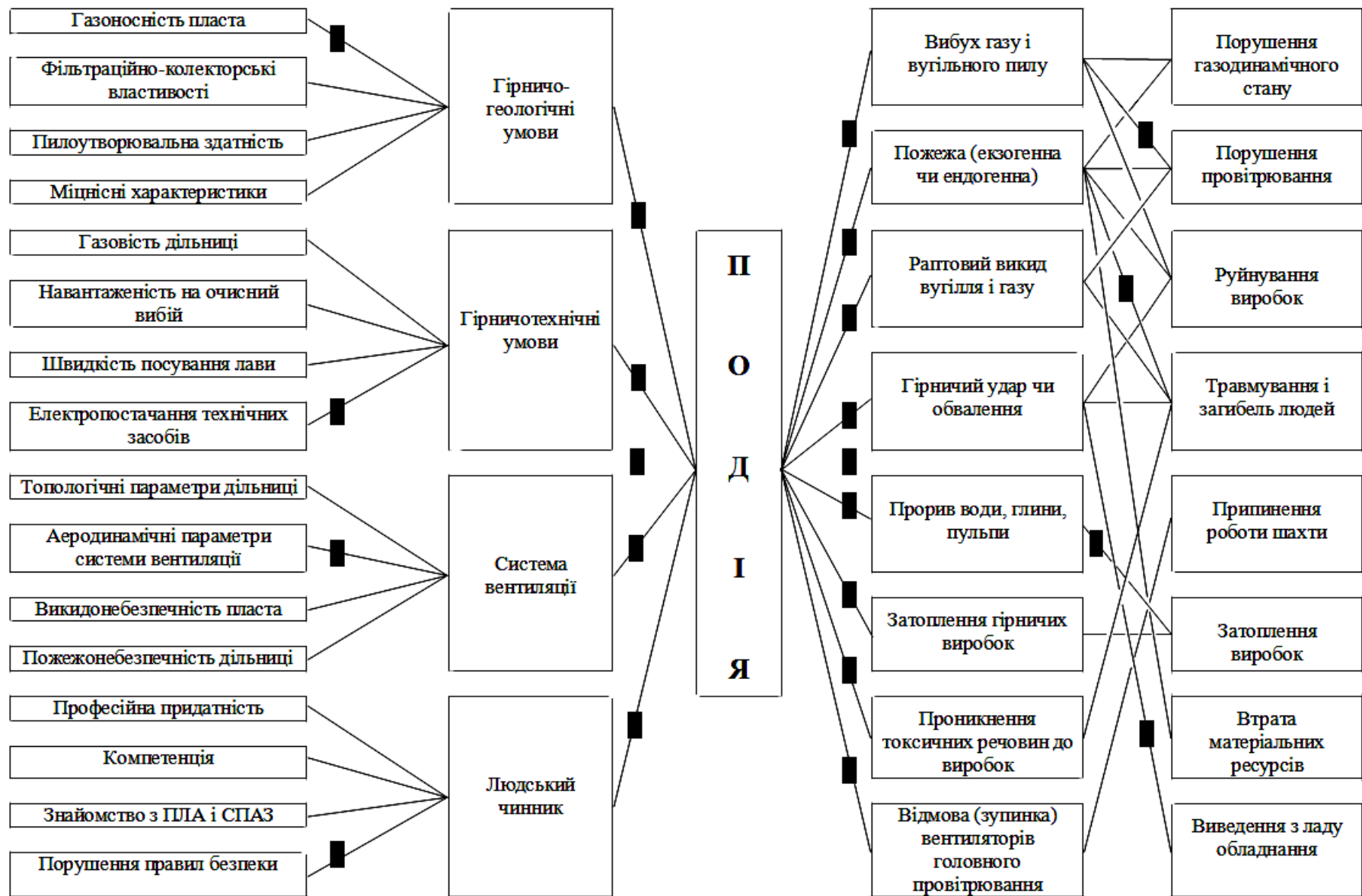


Рисунок 3.5 – Діаграма BOW-TIE другого рівня

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. 3.4 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 [80].

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 [78], просто відповідає елементам наших рис. 3.4 і 3.5*).

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. 3.5 охоплено лише вторинну і третинну події без урахування подальшої деталізації. Тому перелік встановлених бар'єрів не можна вважати вичерпним.

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 кількість таких ризиків може бути більшою, ніж кількість наслідків – адже, як видно з рис. 3.4, 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. 3.5 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 [73]). 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 «прийняттого» ризику).

Приклад 2. Вплив людського чинника. 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 [73], велика кількість 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.

3.3. Метод оцінки ризику виникнення раптового викиду вугілля, породи і газу у вугільній шахті

Раптовий викид вугілля, породи і газу є однією з найнебезпечніших підземних аварій, що супроводжується великими матеріальними збитками і загрожує здоров'ю і навіть життю людей. Викид супроводжується частковим або повним руйнуванням вибою, бурхливим виділенням газу і утворенням потоку вугілля або породи, суспендованого у газі. Причому суспензія має настільки тонкий "помел", що наводить на думку, що гірничий масив зруйнувався не тільки від напруження гірничого масиву, але й через викид внутрішньомолекулярного, раніше зв'язаного, газу.

Фізичну природу викиду до кінця не з'ясовано, можна лише впевнено зробити висновок, що він викликається як гірничо-геологічними, так і гірничотехнічними причинами. Тому вивченню і зниженню ризику виникнення і шкідливого впливу викиду на навколишнє середовище приділяється нині значна увага ряду дослідників [82,83].

Повністю усунути ймовірність виникнення аварій у шахті, звичайно, неможливо, тому шахта готується до їх попередження і ліквідації заздалегідь. На всіх шахтах функціонує система протиаварійного захисту [73,84], складаються плани ліквідації аварій [85], міри яких вибираються і оптимізуються з використанням сучасних інформаційно-аналітичних технологій [86,87,88]. Однак ефективність мір, що приймаються, значною мірою знижується відсутністю методів оцінки ступеню ризику виникнення і шкідливого впливу шахтних аварій, зокрема раптових викидів вугілля, породи і газу.

Доведено, що до небезпечних за раптовими викидами вугілля, породи і газу відносяться пласти у межах шахтного поля, на яких виникали ці газодинамічні явища (ГДЯ) або поточним прогнозом встановлювалась небезпека їх виникнення, яка підтверджується комплексною оцінкою згідно додатку Е [89].

У окремих випадках виділяють особливо викидонебезпечні вугільні пласти або ділянки, що характеризуються підвищеною частотою і інтенсивністю викидів: у зонах тектонічних порушень, активних за викидами; у зонах підвищеного гірського тиску, ускладнених геологічними порушеннями; у випадку пересічення гірничими виробками створів з крайовими частинами ціликів або зупинених вибоїв на сусідніх пластах.

Границя викидонебезпечності вугільного пласта при панельній або погоризонтній підготовці шахтного поля встановлюється з ізогіпси, що проходить на відстані 100 м по пласту вище від мітки першого викиду вугілля і газу або викидонебезпечної зони, виявленої прогнозом і підтвердженої комплексною оцінкою викидонебезпечності.

При поверховій підготовці шахтного поля ця границя не повинна бути нижче відмітки вентиляційного штреку горизонту, на якому вперше виник викид або прогнозом виявлено викидонебезпечну зону.

До загрозливих за раптовими викидами вугілля і газу відносяться пласти з глибин розробки (табл. 3.2) з урахуванням природної газоносності і комплексного показника ступеню метаморфізму вугілля M , виходу летючих речовин V^{daf} або логарифму питомого опору антрацитів ρ , що визначається згідно ГОСТ 4668.

Таблиця 3.2 – Показники віднесення пластів до загрозливих за раптовими викидами

Вихід летючих речовин V^{daf} , %	Комплексний показник ступеню метаморфізму вугілля M , ум. од.	Природна газоносність пласту x , м ³ /т с.б.м.	Глибина розробки пласту H , м
> 29	Від 26,3 до 27,7	8 і більше	400
	Від 24л до 26,2	9 і більше	380
Від 9 до 29	Від 23,7 до 27,6	10 і більше	380
	Від 17,6 до 23,6	11 і більше	320
	Від 13,5 до 17,5	12 і більше	270
	Від 9,0 до 13,4	13 і більше	230
< 9 (але $lg \rho > 3,3$)	-	15 і більше	150

Комплексний показник ступеню метаморфізму вугілля M в умовних одиницях розраховується за формулами:

- при $9\% < V^{daf} < 29\%$

$$M = V^{daf} - 0,16y$$

де y – товщина пластичного шару, мм (для вугілля, не схильного до спікання, $y = 0$) у відповідності до ГОСТ 1186;

- при $V^{daf} > 29\%$

$$M = \frac{4V^{daf} - 91}{y + 2,9} + 24.$$

Якщо глибина розробки або газоносність пласту менше, ніж вказано у табл.1, а також, якщо $M > 27,7$ ум. од. або $lg \rho < 3,2$, незалежно від глибини розробки і газоносності, пласт не відноситься до небезпечних за раптовими викидами вугілля і газу.

Під час проведення аналізу ризику раптового викиду вугілля, породи і газу рекомендується послідовно виконувати наступні етапи:

- а) збирання відомостей щодо гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов розробки вугільного родовища;
- б) планування і організація робіт щодо забезпечення промислової безпеки;
- в) визначення чинників, що впливають на безпеку викиду, і індексів безпеки викиду (ІНВ) по кожній з них;
- г) оцінка ризику викиду;
- д) розробка (коригування) мір щодо зниження ризику викиду за виявленими небезпеками.

Чинники, що впливають на безпеку викиду та ІНВ на стадії експлуатації вугільної шахти слід вибирати згідно [90] (табл. 3.3).

Перелік їх не претендує на вичерпність. Чинники, які впливають на безпеку викиду і відповідні ІНВ можуть змінюватись і доповнюватись у залежності від умов експлуатації конкретної вугільної шахти, ступеню впровадження багатофункціо-

нальної системи безпеки (БФСБ), організації і здійснення моніторингу дотримання вимог промислової безпеки тощо.

Для оцінки ризику рекомендовано бальний метод, який передбачає розбиття чинників, які впливають на небезпеку викиду (табл. 3.3), на блоки і надання чинникам рангів, що характеризують значимість чинника для розвитку аварії, їх ваги і розбиття чинників за градаціями.

Таблиця 3.3 – Чинники небезпеки і ІНВ для викиду вугілля, породи і газу

№ п/п	Чинник небезпеки	ІНВ	Примітки
Аварія			
1	Раптовий викид вугілля, породи чи газу	0	За попередній трирічний період викидів не було
		1	За цей час мав місце хоча б один викид
Прогноз викидонебезпечності			
2	Прогнозу викидонебезпечності немає	1	За кожен випадок виникнення викиду оцінка збільшується на 0,5, у разі загибелі людей – на 1.
3	Існує автоматизований прогноз викидонебезпечності	-0,3	
4	Є ручний і автоматизований прогноз	-0,2	
5	Є ручний прогноз	-0,1	
Контроль стану гірничого масиву			
6	Є контроль стану гірничого масиву засобами БФСБ	- 0,5	На не небезпечних пластах на проводиться
Гірничо-геологічний стан			
7	На шахті немає викидонебезпечних пластів	0	
8	На шахті є пласти, загрожувані за раптовими викидами	0,3	
9	Шахта має пласт, небезпечний за раптовими викидами	0,5	
10	На шахті усі пласти небезпечні	1	

Одним із варіантів градації може бути п'ятирівнева, а саме: ДН – «дуже низький рівень ризику», фіксований первинний бал для подальшого експертного оцінювання і уточнення 0,1; Н - «низький», бал 0,3; С – «середній», бал 0,5; В = «високий», бал 0,7; ДВ – «дуже високий», бал 0,9.

Проводячи подальше експертне уточнення, і сумуючи бали по кожному блоку чинників за градаціями, і обчислюючи середнє значення, можна отримати підсумковий бал. При цьому вага k – того чинника P_k обчислюється за формулою

$$P_k = \frac{r_k}{\sum_{i=1}^n r_i},$$

де r_k – ранг k – того чинника, n – кількість чинників у блоці. Тоді небезпека аварії оцінюється як середньозважений бал по блоку чинників з найбільшим підсумковим балом.

Усі необхідні дані для проведення розрахунків (експертні оцінки умовні) наведено у табл. 3.4. Номери чинників – з табл. 3.3. Тоді ризик рівня аварії на вугільній шахті можна обчислити у залежності від попадання середньозваженого балу, що характеризує небезпеку аварії, у межі одного з діапазонів балів, наведених у табл. 3.5.

Таблиця 3.4 – Вхідні дані для розрахунку ризику раптових викидів

Номер чинника у табл. 2	Ранг чинника	Вага чинника	Градація чинників				
			ДН	Н	С	В	ДВ
1	3	0,375	0	-	-	-	1
2-6	2	0,250	-0,3	-0,3÷-0,2	-0,2÷-0,1	-0,1÷0	>0
7-10	1	0,125	<0,3	0,3÷0,5	0,5÷0,7	0,7÷0,9	>0,9

Таблиця 3.5 – Діапазони балів і відповідні рівні ризиків

Діапазон балів	Рівень ризику
0÷0,1	ДН
0,11÷0,39	Н
0,4÷0,51	С
0,52÷0,59	В
0,6÷1	ДВ

Разом з тим, на виникнення викиду впливають не тільки гірничо-геологічні та гірничотехнічні, а і людський чинник. Щоправда, людина навряд чи зможе безпосередньо спровокувати раптовий викид, як це може статися у випадку екзогенної пожежі або вибуху, але опосередковано такий вплив проявитися може. Тому і у цьому випадку є необхідність вираховування ІНВ і його врахування під час

оцінки рівня ризику виникнення викиду. Дані для цього – у табл. 3.6, аналогічній табл. 3.3.

Таблиця 3.6 – Дія людського чинника при виникненні раптового викиду

№ п/п	Чинник небезпеки	ІНВ	Примітки
1	$K_y = \frac{N_y}{N_g}$ Коефіцієнт усунення порушень кількість усунених у строк порушень, N_g – кількість виявлених порушень	1	$K_y \leq 0,3$
		0,8	$K_y = 0,3 \div 0,5$
		0,4	$K_y = 0,51 \div 0,8$
		0	$K_y = 0,81 \div 1$
2	Контроль стану електроустаткування	1	Не здійснюється
		0,5	Епізодично
		0	З необхідною періодичністю
3	Використання індивідуальних газоаналізаторів, що контролюють вміст у шахтній атмосфері CH_4 , CO та O_2 на робочих місцях	1	Робітники не забезпечені
		0	Робітники використовують
4	Контроль пронесення у шахту речей, що можуть викликати аварію	0	Існує
		1	Не існує
5	Виявлення робітників у стані алкогольного, наркотичного чи токсичного сп'яніння	0	Здійснюється
		1	Не здійснюється

За результатами проведених досліджень сформульовано **друге наукове положення** дисертації: Ризик раптового викиду вугілля, породи і газу, який враховує гірничо-геологічні, гірничотехнічні та людський чинник, обчислюється в залежності від попадання середньозваженого балу, що характеризує небезпеку аварії, у межі одного з діапазонів визначених балів, а вага чинника визначається відношенням рангу чинника до суми рангів всіх чинників у блоці, при цьому людський чинник характеризується коефіцієнтом усунення порушень, який визначається відношенням кількості усунених у строк порушень до кількості виявлених порушень, так при зміні коефіцієнта усунення порушень з 0,81-1 до 0,3 індекс небезпеки викиду зростає від 0 до 1.

Новизна наукового положення полягає в тому, що вперше розроблено метод визначення ризику раптового викиду вугілля, породи і газу, з урахуванням гірничо-геологічних, гірничотехнічних та людського чинників та встановлено залежності зміни ризику від коефіцієнту усунення порушень, який характеризує вплив людського чинника.

3.4. Інформаційно-вимірювальні СМАРТ-технології моніторингу складних аерогазодинамічних мереж

Товариство з обмеженою відповідальністю «Донецька паливно-енергетична компанія» (ДПЕК) – найбільший в Україні приватний виробник вугілля. До складу ДПЕК (за нинішнім станом, враховуючи знаходження частини підприємств компанії на тим-часово окупованій території Донбасу) входить ПрАТ «Павлоградвугілля» (10 шахт) і ПрАТ «Добропіллявугілля» (6 шахт). Всі шахти є багатогазовими (над-категорійних – 9, III категорії - 7). Газоносність їх складає: абсолютна – майже до 110 м³/хв, відносна – до 54 м³/тонну видобутого вугілля. Поступаючи до діючих виробок шахтної вентиляційної мережі (ШВМ), метан погіршує стан безпеки працюючих, створюючи умови для виникнення аварійних ситуацій. Тому боротьба з метаном на шахтах ДПЕК є важливою науково-технічною і практичною проблемою. Вона вирішується двома шляхами: засобами вентиляції, яка сприяє розрідженню метаноповітряної суміші до безпечних концентрацій, і системою дегазації, яка видаляє надлишки метану з метою його подальшої утилізації. На 10 шахтах діють системи дегазації (газовідсмоктувачі ВМЦГ-7, УВЦГ2, ПДУ; дегазація здійснюється ВНС, ПДУ, підземними свердловинами, «свічками» у виробленому просторі). Спільна робота двох цих підсистем є досить складною, і вимагає постійного ефективного моніторингу аерогазодинамічного стану гірничих виробок.

Всі шахти ДПЕК обладнані системами аерогазового контролю (АГК). Характеристику їх наведено у табл. 3.7.

Крім того, згідно вимог «Правил безпеки у вугільних шахтах» [73] гірничим майстрами дільниці ВТБ проводиться маршрутний контроль стану безпеки, до складу якого входять виміри аерогазодинамічних параметрів переносними приладами контролю. Наявність їх на шахтах ПрАТ «Павлоградвугілля» представлено у табл. 3.8.

Таблиця 3.7 – Системи АГК на шахтах ДТЕК

Шахта	Категорія по газу	Система АГК
Тернівська	Надкатегорійна	СПІ
Павлоградська	III категорія	СПІ
ім. Героїв Космосу	Надкатегорійна	КАГІ
Благодатна	III категорія	СПІ
Степова	Надкатегорійна	СПІ, УТАС
Ювілейна	Надкатегорійна	СПІ
Самарська	III категорія	КАГІ
Дніпровська	Надкатегорійна	СПІ
Західно-Донбаська	Надкатегорійна	КАГІ 2 компл.
ім. М.І. Сташкова	III категорія	КАГІ
Добропільська	Надкатегорійна	КАГІ, УТАС
Алмазна	Надкатегорійна	КАГІ, УТАС
Білицька	III категорія	КАГІ
Новодонецька	III категорія	КАГІ
Піонер	III категорія	КАГІ
Білозірська	Надкатегорійна	КАГІ, УТАС

Таблиця 3.8 – Прилади аерогазового контролю на шахтах ПрАТ «Павлоградвугілля»

Шахта	ШИ	СШ, СМП, Сигнал	СМС	Анемометри
ім. Героїв Космосу	359	452	782	19
Благодатна	210	151		10
Павлоградська	343	244	109	16
Тернівська	296	314	344	20
Західно-Донбаська	535	482	1563	18
Самарська	318	400		18
Дніпровська	285	323		19
ім. М.І. Сташкова	464	272		20
Степова	344	348	330	18
Ювілейна	405	433	704	12

Перевірки, проведені ДВГРС, свідчать, що кількість переносних приладів аерогазодинамічного контролю (крім, може сучасних анемометрів АПР-2 [91], розроблених у ІГТМ НАН України, питання придбання яких зараз оговорюються) достатня для їх оперативного аерогазодинамічного моніторингу. Тому розробка

методів комплексування стаціонарних і маршрутних приладів контролю, яка дозволить вдосконалити моніторинг кожним із типів, є актуальною.

Таким чином, можна здійснювати наступні дії:

а) на основі стаціонарних вимірів аерогазодинамічних параметрів скоригувати імітаційну модель (ІМ) ШВМ;

б) з метою підвищення ступеню адекватності моделі реальній ШВМ регулярно коригувати її за результатами маршрутного контролю;

в) на отриманій ІМ проводити вентиляційні розрахунки щодо вдосконалення аерогазодинамічного стану ШВМ.

Саме таким чином і будується, згідно вимог [92], Керівництва з проектування вентиляції вугільних шахт [93] і Тимчасового керівництва з впровадження і експлуатації системи АГЗ, робота дільниці ВТБ. Однак є декілька не до кінця вирішених питань, які, у разі задовільного вирішення, сприятимуть оптимізації провітрювання шахти.

а) сучасний підхід до організації стаціонарної системи контролю аерогазодинамічних параметрів гірничих виробок базується на принципах встановлення датчиків у місцях найбільш імовірних та інтенсивних метановиділень за умови значного дебіту повітряного потоку. Таким умовам насамперед відповідають виробки виїмкових ділянок. Однак місць виділення метану у шахті багато, і не всі вони можуть ефективно прогнозуватися. Система стаціонарного контролю повинна містити максимальну кількість вимірних станцій з метою максимального охоплення зон із змінюваним газовим режимом;

б) існує ряд методів розміщення датчиків контролю вмісту газів у шахтному повітрі у виробках ШВМ. В основному вони розраховані на виявлення зміни складу шахтної атмосфери під час виникнення аварійних ситуацій, тобто виконують роль детектора, що сигналізує при необхідності прийняття протиаварійних мір. При цьому не передбачається подальший контроль протікання аварійної ситуації за зміною концентрацій шкідливих газів у шахтній атмосфері. Контроль концентрації метану у шахтній атмосфері у нормальному режимі повинен вирішувати обернену задачу: не виявити його наявність у повітрі, а керувати складом шахтної атмосфери

з метою підвищення безпеки праці і недопущення аварійних ситуацій. Від кількості датчиків системи такого контролю залежить, з одного боку, час виявлення і оперативність реагування на зміну газового складу атмосфери, а з іншого – локалізація місця аномалії, яка виникла. Рішення другої задачі потребує розробки методу визначення маршрутів розповсюдження метаноповітряної суміші (МПС) вентиляційною мережею (отже, і зони зміненого газового режиму), і у той же час дозволить, за умови наявності інформації щодо геометричних параметрів гірничих виробок, швидкості і витрати МПС у них, визначити концентрацію метану у аномальній точці, тобто можливому осередку аварії, розрахувати ступінь ризику її виникнення і прийняти відповідні міри щодо її недопущення;

в) використання існуючої на всіх шахтах системи маршрутного контролю аерогазодинамічних параметрів переносними приборами дозволить оперативно уточнювати дані стаціонарної системи моніторингу, а також контролювати аерогазодинамічний стан ділянок ШВМ, де контрольних точок стаціонарної системи немає. Виникнення таких ділянок неминуче, з одного боку, внаслідок неможливості урахувати завчасно змінення газової ситуації у шахті у процесі ведення гірничих робіт і створити універсальну адаптивну систему моніторингу, а з іншої – реальною обмеженістю розмірності стаціонарної системи контролю внаслідок високої вартості окремих її елементів і неможливості їх встановлення в усіх загрозливих за газовим чинником ділянках мережі (а також точного прогнозування виникнення додатково таких ділянок);

г) система маршрутного контролю формується з практичних міркувань з урахуванням даних стаціонарної системи. Однак останні використовуються не в повній мірі. Статистичні дані щодо змін газової ситуації, які поступають від датчиків стаціонарної системи, дозволять актуалізувати систему маршрутного контролю, більш ефективно локалізувати у ШВМ місця найбільш небезпечних метановиділень і організувати їх раціональний моніторинг. З іншого боку, використання результатів контролю шахти переносними приборами дозволить вдосконалити систему стаціонарного контролю у плані зміни її топологічної структури і розмірності і виробити рекомендації щодо проектування систем

стаціонарного контролю на гірничотехнічних об'єктах з аналогічними умовами видобутку вугілля;

д) такий взаємозв'язок стаціонарної і маршрутної систем аерогазодинамічного контролю дає можливість вважати перспективним комплексування їх роботи, що дозволить досягти як соціальних, так і економічних результатів;

е) на основі комплексування стаціонарної і маршрутної систем контролю з урахуванням попередніх змін аерогазодинамічних параметрів можна буде побудувати прогнозу траєкторію такого змінення, що дозволить підвищити надійність, оптимізувати структуру контролю і більш обґрунтовано прогнозувати виникнення аварійних ситуацій;

ж) оскільки досягти повної адекватності імітаційної моделі функціонування ШВМ її реальному аналогу навряд чи можливо (завжди знайдуться чинники, які не враховано або взагалі неможливо врахувати), актуальними залишаються питання структурно-параметричної ідентифікації ШВМ за результатами недостатньо повної вимірної інформації;

и) оскільки поставити і вирішити таку багаточинникову задачу існуючими методами важко – необхідно використати для цього принципи SMART-технологій і SMART-критерії, яким повинна відповідати мета роботи.

SMART-критеріїв існує п'ять, відповідно першим літерам англійської аббревіатури SMART:

- а) specific (конкретний);
- б) measurable (вимірний);
- в) attainable (досяжний);
- г) relevant (значущий);
- д) time-bounded (обмежений за часом).

Якщо постановка задачі (проблеми) відповідатиме цим критеріям – отримане рішення буде наближеним до оптимального, оскільки вся необхідні чинники буде враховано.

Чинник конкретності одразу ставить питання: чого конкретно ми очікуємо від результатів вирішення задачі? Просто констатувавши, що комплексування

стаціонарного і маршрутного контролю дозволить знизити ступінь невизначеності інформації замало, необхідно конкретизувати кількісні показники рішення. І максимально зменшити кількість понять «за умовчанням», тобто очевидних – адже не для всіх технологів вони можуть бути очевидними!

Чинник вимірності передбачає наявність критеріїв того, чи досягнуто поставлену ціль. У нашому випадку це – достовірність отриманих результатів і кількісна оцінка зменшення ступеню невизначеності інформації, яка використовується під час імітаційного моделювання. Враховуватись можуть багато факторів:

а) можливість аналізу повторюваності подій (співвідношення інформації з стаціонарних і переносних приладів і його ефективності);

б) середні показники (коли результат досягається не максимізацією кількості задіяних вимірних засобів, а дещо меншою їх кількістю з отриманням додаткових економічних результатів);

в) час (інтервал часу контролю, протягом якого потрібно комплексування (чи роздільне використання) приладів різних типів);

г) заборона (за якимись додатковими обмеженнями кращого результату досягти неможливо), тощо.

Чинник досяжності потребує відповіді (з попередньою оцінкою) на запитання: чи досягне рішення задачі? Адже треба врахувати, що, незважаючи на комплексування стаціонарних і маршрутних систем контролю, у ШВМ може залишитися багато непідконтрольних ділянок, а організація маршрутного контролю лише з метою уточнення даних стаціонарного – найбільш вірогідно недоцільна.

Чинник значущості обмежується коротким питанням: «Навіщо?». Адже комплексування, яке нами розглядається, має як позитивні, так і негативні сторони. Якщо стаціонарний контроль не дає позитивних результатів – підтримка його за рахунок маршрутного доцільна. Якщо ж стаціонарного контролю вистачає (найбільш сучасна система УТАС, яка впроваджується на шахтах України (див. табл. 3.7), має досить широкі і гнучкі можливості в цьому плані) – можливо, слід

скоригувати маршрути контролю в напрямку спрощення. Отриманий результат не зменшить точність подальших розрахунків.

Чинник обмеженості часу у задачах контролю не має вирішального значення (крім, звичайно, випадків необхідності контролю аерогазодинамічних параметрів у аварійній ситуації). Адже комплексування вимірів передбачається для нормальних умов функціонування шахти, і єдиним часовим параметром, який необхідно враховувати, є інтервал взаємокоригування комплексованих вимірів.

Якщо всі п'ять СМАРТ-критеріїв розглянуто, і питання комплексування стаціонарного і маршрутного контролю якимось чином вирішене – вхідну інформацію для подальшого моделювання аерогазодинамічного стану ШВМ можна вважати придатною. Марно сподіватись на отримання оптимального результату – якась невизначеність у розрахунках завжди буде присутня. Задачею є визначення ділянок ШВМ, параметри яких у найбільшій мірі впливають на кінцевий результат, тобто структурна і параметрична ідентифікація ШВМ.

При проектуванні вентиляційної системи ставиться завдання забезпечення заданих умов у робочій зоні по температурі, переміщенню повітряних потоків, хімічного складу повітря, фракційному складу аерозолів, вологості. У гірничих виробках і поверхневому комплексі є велика кількість різноманітних джерел тепла, забруднюючих домішок, пристроїв повітрообміну. Виникають задачі раціонального розміщення різних технічних пристроїв і керування їх роботою. Тому важливою є задача ідентифікації вентиляційних систем, зокрема у аварійних умовах, шляхом моделювання течій газів у застосуванні до різних задач провітрювання. Окремо стоїть при цьому задача контролю і моніторингу потенційно небезпечних станів рудникової атмосфери з використанням стаціонарних і переносних приладів.

Контроль провітрювання виробок вугільних шахт є основною гарантією безпеки праці підземних гірників і обслуговуючого персоналу. Найбільш точним засобом такого контролю є повітряно-депресійні зйомки (ПДЗ) [94,95]. Але вони є вельми трудомісткими і тому проводяться лише 1 раз на три роки і не спроможні дати чітку інформацію щодо стану вентиляційних систем вугільних шахт у

проміжний між ними період. Тому в цей період організується оперативний контроль стану ШВС.

Велика кількість шахт України (більш ніж 15) обладнано досить ефективними системами УТАС [96], які забезпечують контроль основних технологічних процесів вуглевидобутку. Однією з функцій їх є контроль аеродинамічного стану виробок ШВМ, з метою якого до системи включено комплекс датчиків швидкості повітряного струменю TX1322 (або TX1322Ц) та комплекс датчиків тиску TX6101. Звичайно, такий контроль не є основною функцією УТАС, і кількість таких датчиків обмежена, але наявний базис їх дозволяє без додаткового втручання отримати інформацію щодо аеродинамічного стану основних пунктів контролю і передати її гірничому диспетчеру шахти.

В той же час монтаж системи УТАС на шахтах зустрічає певні труднощі. Великі обсяги приладової бази, кабельного господарства і систем передачі даних і зворотного зв'язку не дозволяють ефективно контролювати навіть усі небезпечні ділянки ШВМ, базуючись на комплексній оцінці ризикоутворюючих чинників. Тому потрібно забезпечити, додатково до автоматизованого контролю, маршрутний контроль аерогазодинамічних параметрів шахти, організуючи його таким чином, щоб отримана інформація доповнювала інформацію УТАС, за можливості оперативно уточнюючи, але не дублюючи її.

По-перше, такий комплексний контроль сприятиме зменшенню необхідних вимірів і скороченню потрібних пунктів маршрутного контролю аеродинамічних параметрів, чим, безумовно, підвищиться його надійність і ефективність за умови скорочення трудовитрат.

По-друге, якщо маршрут контролю вимушено охопить зону дії датчиків УТАС, - з'явиться можливість оцінки ефективності обох складових контролю і правильності розташування датчиків УТАС у гірничих виробках. Слід враховувати, що точність вимірів аеродинамічних параметрів сучасними засобами контролю порівнянна чи навіть перевищує чутливість датчиків УТАС.

Таким чином, впровадження запропоновано підходу дозволить врахувати переваги і вилучити недоліки обох складових системи контролю аеродинамічних

параметрів, скоротивши трудовитрати і сприяючи підвищенню безпеки гірників. Крім того, з'явиться можливість оптимізувати кількість необхідних для одночасної експлуатації приладів стаціонарного контролю аеродинамічних параметрів, що, внаслідок обмеженості їх виробництва і зростання потреб шахт, є важливим.

З метою уніфікації подальшого викладення слід сформулювати деякі визначення і властивості.

Визначення 1. Базис стаціонарних датчиків контролю аерогазодинамічних параметрів (у нашому випадку це місця розташування відповідних датчиків УТАС) задаються згідно вимог [73] і відображаються множиною гілок $D^i \in V \subset F(U, V)$, де $F(U, V)$ – граф ШВМ.

Визначення 2. Точки вимірів аеродинамічного моніторингу переносними приладами контролю визначаються методами, викладеними у [97] і відображаються множиною гілок $D^p \in V \subset F(U, V)$.

Очевидно, що, якщо на шахті відсутня УТАС або інша система автоматизованого аерогазодинамічного моніторингу, то повний базис вимірних станцій буде $D = D^p$.

Контроль стану апаратури і приладів у шахти, а також моніторинг аерогазодинамічних параметрів гірничих виробок з подальшим внесенням отриманої інформації до імітаційної моделі ШВМ (аерогазодинамічну її ідентифікацію) здійснюють гірничі майстри дільниці ВТБ. Рух їх здійснюється попередньо визначеними маршрутами. На практиці призначення маршрутів здійснюється, як правило, тільки на підставі наявного досвіду руху людини вздовж ШВМ, внаслідок чого маршрути завантажені нерівномірно, а час руху маршрутом значно перевищує загальну тривалість робіт на ділянках, включених до маршруту. З метою скорочення непродуктивних втрат часу на переходи між станціями контролю та моніторингу необхідно використовувати математичні методи і алгоритми, що дозволять отримати оптимальні або хоча б наближені до оптимальних щодо задоволення якогось критерію маршрути.

Визначення 3. Кожна виробка, яка відображається гілкою (або сукупністю гілок) ШВМ, має свою вагу, яка визначається сумою трудовитрат на проведення

вимірів аеродинамічних параметрів у цій виробці і пересування нею від початкового до кінцевого вузла.

Визначення 4. Маршрут M_i аеродинамічного моніторингу – множина гілок, початковий вузол наступної з яких є кінцевим вузлом попередньої, яка включає хоча б один пункт контролю показання стаціонарного приладу контролю, або точку контролю для переносних приладів.

Властивість 1. У ряді випадків початковий вузол маршруту пересування гірничого майстра збігається з кінцевим.

Властивість 2. Вага маршруту визначається як сумарна вага усіх гірничих виробок, що до нього входять.

Властивість 3. Маршрути можуть мати спільні гілки.

Властивість 4. Під час багатократного проходження точки контролю як стаціонарним, так і переносним приладом під час визначення ваги цієї гілки вони враховуються лише один раз. Під час повторного проходження гілки вага її дорівнюватиме лише вазі її проходження без урахування ваги вимірних робіт.

Властивість 5. Маршрути не можуть проходити через непрохідні виробки і зони обвалення. Там же, звичайно, відсутні і станції стаціонарного контролю.

Формально задачу пошуку маршрутів, що охоплюють ШВМ з заданою кількістю пунктів контролю (ПК), можна представити наступним чином. На графі ШВМ $F(U,V)$, де $|U|=N$ - кількість вузлів ШВМ (припускається, що ПК розміщуються у початковому вузлі гілки-виробки), $|V|=M$ - кількість гілок (шляхів з одного ПК до іншого, які не проходять ні через які інші ПК. Гілка у загальному розумінні є не тільки елементом, що з'єднує сусідні вузли (окремий випадок), а й як послідовна сукупність елементів ШВМ) необхідно відшукати певну кількість маршрутів.

Граф $F=F(U,V)$ має наступні характеристики:

а) він несилов'язний, неорієнтований (рух його елементами не залежить від їх просторової орієнтації), кінечний;

б) кожен з вузлів $u_i \in U$ має вагу $T_i \geq 0$, де $i=1,2,\dots,N$, T_i – тривалість робіт, які виконуються у ПК з номером u_i ;

в) кожна з гілок $v_j \in V$ має вагу $t_j > 0$, де t_j визначає витрати часу на перехід гілкою v_j ;

г) топологію графа задано умовною матрицею інцидентностей $D = \|d_{ij}\|$, $i=1,2,\dots,M$, $j=1,2,3$, де d_{i3} – вага гілки, d_{i1} , d_{i2} – номери інцидентних їй вузлів;

д) на графі вказано неізолюваний вузол e , вага якого $T_e=0$. Цей вузол – пункт на ШВМ, що є початком і кінцем будь-якого маршруту.

На графі $F(U,V)$ необхідно побудувати систему маршрутів $m_1, m_2, \dots, m_k$, які мають наступні властивості:

а) кожен вузол u_i з вагою $T_i \neq 0$, $i=1,2,\dots,N$ повинен увійти хоча б до одного з маршрутів $m_1, m_2, \dots, m_k$;

б) кожен з маршрутів є контуром на графі з включенням неізолюваного вузла e ;

в) вага маршруту визначається як сумарна вага всіх гілок $v_j \in V$, що входять до нього, і ваги тих вузлів, для яких $T_i \neq 0$;

г) вага кожного маршруту $\tau \leq T^*$, де T^* – допустимий час знаходження на маршруті (тривалість зміни);

д) маршрути m_i та m_j , $i \neq j$ можуть мати спільні гілки $\{v'\} \in V$;

е) загальна кількість k маршрутів, що покривають граф, повинна бути мінімальною.

Задача пошуку системи близьких до оптимальності маршрутів буде вирішуватись при наступних припущеннях:

1. Якщо через вузол i , для якого $T_i \neq 0$, проходить більш ніж один маршрут, робота у відповідному i -тому пункті контролю виконується гірничим майстром за рухом тільки одним маршрутом.

2. Черговість виконання робіт на маршруті довільна.

3. Якщо вузлам i та j , $i \neq j$ інцидент на більш ніж одна дуга (паралельне з'єднання гілок), в якості дуги, інцидентної вузлам i та j , вибирається дуга з найменшою вагою, тобто початковий граф $F=F(U,V)$ не є мультиграфом.

Вирішення задачі поділяється на три етапи:

- а) формування проміжного графа $L(A,W)$;
- б) вибір близьких до оптимальних маршрутів на ньому;
- в) перехід до початкового графа $F=F(U,V)$.

Проміжний граф $L(A,W)$ має в якості вузлів $A = \{\bar{U}, u_i (T_i \neq 0) \in \bar{U}\} \cup v$, де $i=1,2,\dots,N$, тобто початковий вузол v і ті вузли початкового графа, ваги яких є ненульовими. Кількість вузлів проміжного графа $|A| = p + 1$, де p – кількість вузлів початкового графа з ненульовими вагами. Число дуг проміжного графа $|W| = \frac{1}{2} p(p + 1)$, і кожному з дуг графа L , інцидентну вузлам i та j , $i \neq j$, отримано як найкоротший ланцюжок, що з'єднує відповідні вузли початкового графа F . Доцільність переходу до проміжного графа $L(A,W)$, що має вказані властивості, очевидна.

Алгоритм вирішення поставленої задачі має наступний вигляд:

I. Формування проміжного графа $L(A,W)$ по початковому $F(U,V)$ зводиться до пошуку найкоротших ланцюжків для всяких пар вузлів (a_i, f_j) , (v, a_i) , $i \neq j$, $i=1,2,\dots,p$, і може бути виконане за допомогою методів [98,99].

З метою реалізації на ПК пропонованого алгоритму пошуку маршрутів гірничих майстрів для побудови проміжного графа $L(A,W)$ можна використати метод Флойда [99]. Цей метод можливо використовувати як для орієнтованих, так і для неорієнтованих і частково орієнтованих графів, тобто враховувати напрямок руху метаноповітряної суміші або (у випадку аерологічної аварії) – напрямок руху шкідливих домішок у виробках ШВМ. Останнє особливо важливо, оскільки у реальних умовах ШВМ являє собою граф з тим чи іншим ступенем орієнтованості гілок. На етапі формування проміжного графа $L(A,W)$ необхідно не тільки отримати довжини найкоротших ланцюжків для всіляких пар вузлів множини A , але й запам'ятати самі найкоротші ланцюжки. Метод Флойда, що використовувався на

першому етапі вирішення задачі, дозволяє, окрім матриці довжин найкоротших ланцюжків $T1$, отримати і довідкову таблицю $T2$. Остання є матрицею той же розмірності, за допомогою якої можна послідовно відшукати номери усіх проміжних вузлів найкоротшого ланцюжка для будь-якої пари вузлів графа $F(U,V)$. Елементи t_{ij} , $i=1,2,\dots,p$ матриці $T1$ у загальному випадку не є цілими числами, якщо ваги дуг графа $F(U,V)$ – не цілі. Практично ваги дуг графа $F(U,V)$, що відповідають витратам часу виробками ШВМ, достатньо мати з точністю до однієї хвилини (важко уявити ситуацію., коли можна оцінити її з точністю до секунди, враховуючи ергономічні характеристики руху конкретної людини). Елементи матриці $T2$ – теж цілі числа, оскільки це – номери вузлів у найкоротших ланцюжках. Таким чином, можна матриці $T1$ і $T2$ зберігати спільно, як одну матрицю $T3$. Такий прийом раніше використовувався для зберігання матеріалів, що формуються у матричному вигляді, з метою полегшення розрахунків на ЕОМ з невеликим об'ємом пам'яті і низькою швидкістю. Для нинішніх ПК це несуттєво, але спрощує сприйняття обчислювального процесу.

II. Для вирішення задачі пошуку ефективної системи маршрутів гірничих майстрів може використовуватися метод послідовного покращення допустимого плану (ДП) [98]. Суть методу полягає у тому, що, отримавши у якості початкового наближення деяке допустиме рішення (допустимий план), намагаються покращити його доти, поки подальше покращення стає неможливим. Під «покращенням» тут розуміється більш повне задоволення якогось критерію. У нашому випадку у якості критерію ефективності маршруту використовується показник Δ , що характеризує долю часу переходів у загальному часі перебування на маршруті, тобто

$$\Delta = \frac{\sum_i t}{\sum_i t + \sum_i T}, \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad (4.1)$$

де $\sum_i t$, $\sum_i T$ - відповідно сумарний час переходів і виконання робіт на маршруті. Загальна ефективність системи маршрутів характеризується значенням функціоналу

$$\Phi = k \sum_{i=1}^k \sum_i t.$$

Для побудови ДП здійснюється послідовне включення вузлів з ненульовими вагами у маршрут до тих пір, поки виконується умова

$$\tau = \sum_i t + \sum_i T \leq T^*, \quad (4.2)$$

де τ – тривалість маршруту.

Кращість включення того чи іншого вузла до маршруту обчислюється наступним чином

$$\Theta_{ij} = \begin{cases} \frac{t_{ij}}{T_j}, & i \neq j, i \neq 0, j \neq 0 \\ \frac{t_{0i}}{T_j}, & i = j \neq 0 \end{cases},$$

де t_{ij} – елементи матриці довжин найкоротших ланцюжків $T1$; t_{0i} – ваги найкоротших ланцюжків, що з'єднують первинний вузол 0 з усіма вузлами графа $L(A, W)$. Сукупність елементів $\{\Theta_{ij}\}$ створює матрицю оцінок $\Theta = \|\Theta_{ij}\|$, порядок якої збігається з порядком матриць $T1$ і $T2$ і дорівнює p^2 . При знаходженні на маршруті у вузлі i перехід здійснюється до вузла j_1 з виконанням роботи T_{j_1} , а не до вузла j_2 з виконанням роботи T_{j_2} , якщо $\Theta_{i, j_1} \leq \Theta_{i, j_2}$. Включення чергового вузла до маршруту здійснюється лише тоді, коли виконується умова

$$R_{k-1} - (t_{i_{r-1}, i_k} + T_{i_k}) - t_{i_k, 0} \geq 0, \quad (4.3)$$

де R_{k-1} – резерв часу для вузла i_{k-1} , включеного до маршруту і попередній по відношенню до вузла i_k ; t_{i_{r-1}, i_k} – вага гілки $a_{k1, k}$, інцидентної вузлам i_{r-1}, i_k графа $L(A, W)$.

Під час побудови ДП переглядаються діагональні елементи матриці Θ . Номер мінімального з них визначає вузол, що включається до маршруту. Нехай це буде вузол i_1 . Далі розраховується резерв часу для цього вузла за формулою $R_{i_1} = T^* - (t_{0, i_1} + T_{i_2})$, після чого відшукується наступний елемент маршруту. З цією метою проглядаються елементи рядка з номером i_1 , але вже без урахування стовпчика i_1 . Серед них шукається мінімальний, і якщо для нього виконується умова

(4.3), він включається до маршруту. Під час пошуку наступного вузла у маршруті переглядаються елементи рядка i_2 , де i_2 – номер чергового вузла, але без урахування стовпчиків масиву $I = \{i_1, i_2\}$. Після знаходження чергового вузла маршруту визначаються загальні витрати часу на маршруті з урахуванням загального часу переходу і виконання робіт. За неможливості включення чергового вузла до маршруту його номер записується до масиву I і під час подальшого пошуку не розглядається. ДП вважається побудованим, якщо ні один з вузлів з ненульовими роботами, що zostалися на графі, неможливо включити до маршруту, оскільки не виконується вимога (4.3). Для ДП розраховується показник ефективності (4.1) і тривалість маршруту τ (4.2). З матриць $T1$, $T2$ і Θ виключаються стовпчики і рядки з номерами вузлів, що увійшли до маршрутів. Систему маршрутів на графі $L(A, W)$ побудовано, якщо порядок матриць $T1$, $T2$ і Θ дорівнює нулю.

Після отримання ДП виконується його поліпшення. З цією метою вирішується задача впорядковування вузлів з метою отримання маршруту з меншим значенням показника Δ (4.1). З цією метою використовується метод Монте-Карло [98]. Основний принцип цього методу – побудова штучної імітаційної моделі, параметри якої являють собою шукані перемінні поставленої задачі. У нашому випадку номери вузлів графа, що увійшли до маршруту, приймаються як якісь незалежні параметри. Функцією цих параметрів є довжина маршруту τ і показник ефективності Δ , що залежать від послідовності розташування вузлів у маршруті. Послідовність вибирання цих вузлів може розглядатись, як випадковий процес, оскільки обмежень на виконання робіт на маршруті не накладено.

Алгоритм поліпшення ДП виглядає наступним чином:

- а) задається число E повторень циклу поліпшення ДП;
- б) номери вузлів, які увійшли до ДП, поміщуються до масиву $G [1:S]$, де S – кількість вузлів у маршруті з урахуванням початкового вузла $v \equiv g_1 \in G$;
- в) за допомогою стандартної підпрограми отримуються випадкові числа α , рівномірно розподілені на інтервалі $[0,1]$;
- г) індекс кожного наступного елемента масиву G , що вказує на номер чергового вузла у маршруті, визначається за формулою [98]

$$r_{j+1} = ENTIER \left[\left(\alpha_j + \frac{1}{s-j} \right) (s-j) \right] + j,$$

де α_j - випадкове число з інтервалу $[0,1]$; $j=1,2,\dots,s-1$.

д) після побудови нового маршруту для нього обчислюється значення показника Δ . Якщо $\Delta' < \Delta$, де Δ' – показник ефективності первинного ДП, то останній приймається допустимим і процес покращення повторюється. Інакше починається новий цикл покращення старого ДП;

е) проводиться перевірка на закінчення циклу покращення ДП: необхідність переходу до п. в) алгоритму або закінчення розрахунків. У останньому випадку у масив G записано номери вузлів шуканого маршруту з показником ефективності Δ .

Процес пошуку системи маршрутів на графі L закінчується, коли на черговому етапі розмірність матриць $T1$, $T2$ і Θ стає нульовою.

III. Перехід до системи маршрутів на графі F здійснюється за допомогою матриці $T2$, отриманої методом Флойда на першому етапі вирішення задачі.

Така система маршрутів буде близькою до оптимальної без урахування автоматизованого (УТАС чи іншими подібними системами) контролю аеродинамічних параметрів. В той же час значна частина маршрутів проходить виробками, де наявні елементи УТАС, тобто виникає ризик того, що контроль буде дублюватись і ефективність його знизиться. Наступною частиною вирішення задачі буде аналіз такого дублювання і обґрунтоване скорочення базису станцій контролю.

При аналізі співвідношення множин гілок Di і D_p слід розглянути наступні випадки:

а) $Di \equiv D_p$. Випадок неймовірний, оскільки означає, що стаціонарними приладами контролю оснащені усі пункти, які такого контролю потребують. Але монтаж стаціонарних систем контролю надто дорогий і така система, очевидно, буде просто нерентабельною;

б) $Di \cap D_p = \emptyset$. Цей випадок також неймовірний: адже він означає, що у пунктах, які потребують постійного моніторингу (що і повинно здійснюватись

гірничими майстрами) немає стаціонарних приладів контролю. Де ж вони тоді встановлені і навіщо потрібні?!

в) $Di \cap D_p = D^{real}$ – множина пунктів контролю, де виміри дублюються. Вона потребує особливої уваги, оскільки, якщо система автоматизованого моніторингу відповідає за точність і достовірність своїх показників, а гірничий майстер – своїх, то у межах зазначеної множини вони теоретично повинні збігатися. Розбіжність свідчить або про похибку виміру переносним приладом, або про неточність роботи системи. Мірою щодо ліквідації такого становища є проведення повторного маршрутного виміру, або проведення виміру іншим приладом, або звернення до відповідальних осіб щодо необхідності перевірки і повторного тарування згодом несправного елемента автоматизованої системи.

Таким чином, вибрана таким чином сукупність маршрутів контролю параметрів елементів ШВМ гірничими майстрами дозволить знизити ризик отримання неповної інформації відносно її аерогазодинамічного стану (якщо максимально збільшити кількість пунктів контролю – рішення буде наближене до оптимального), а перехресний контроль вимірів у межах D^{real} дозволить підвищити достовірність і точність моніторингу обома складовими системи контролю.

З метою комплексного вирішення задач моніторингу і розрахунку аерогазодинамічних параметрів ШВМ було скориговано метод структурно-параметричної ідентифікації елементів вентиляційної мережі [2,7] за умови отримання недостатньо визначеної вхідної інформації [1].

На першому етапі розв'язується задача структурної ідентифікації наступним чином.

1. Задано початкову мережу $G_u (X_u, U_u)$. На множині гілок U_m модельованого графа виділяється постійна частина U_{const} , тобто гілки, які відображаються у ІМ ШВМ без зміни структури і аеродинамічних параметрів і придатні для моніторингу. Для цього використовуються критерії структурної подібності [3].

2. У модельованій мережі головний маршрут від об'єкту провітрювання до вентилятора головного провітрювання (ВГП) і вузлів поверхні повинен співпадати з маршрутом у початковій мережі, для цього використовується критерій

функціональної подібності [3]; таким чином виявляються основні аеродинамічні зв'язки об'єктів провітрювання з ВГП і вузлами поверхні.

3. Частина мережі, яка залишилася (зони невизначеності), буде відображена у ІМ топологічною структурою $M_k(X_k^M, U_k^M)$. При формуванні цих структур нові вузли до множини U_m не включаються.

4. Результати виміру повітря і депресій у U_{const} наносяться на моделюючий граф $G_m(X_m, U_m)$. У моделюючому графі визначаються вузли з порушенням першого закону мереж таким чином:

$$\Delta q_i = \sum_{(i,j) \in U_l} \text{sign}(Q(i,j))|Q(i,j)|, \quad l=1,n,$$

$$|\Delta q_i| \geq \xi, \quad i=1,n',$$

де Δq_i – нев'язка витрат повітря у i -тому вузлі; ξ – необхідна точність моделювання повітророзподілу у i -тому вузлі; n' – кількість вузлів з порушенням першого закону мереж.

5. Визначається множина гілок (i,j) , які моделюють $M_k(X_k^M, U_k^M)$. Для цього виконуються операції порівняння

$$\Delta q_i > 0, \quad \Delta q_i < 0 \quad |\Delta q_i| = |\Delta q_j|$$

Якщо виконуються всі три умови, то гілка (i,j) заноситься до множини гілок U_m моделюючого графа.

6. Визначається значення $\max\{ad G_m\}$ критерію адекватності, в якості якого може бути прийнята максимальна нев'язка витрат повітря у вузлах модельованої мережі:

$$\max \left| \sum_{(i,j) \in U_l} \text{sign}(Q(i,j))|Q(i,j)| \right| \leq \xi, \quad l=1,n.$$

Таким чином, задача структурної ідентифікації полягає у тому, щоб максимальне відхилення в будь-якому з вузлів реальної і модельованої мереж не перевищувало значення критерію адекватності, пов'язаного з вимірюваннями витрат повітря за умови $\min \{dim G_m\}$ - мінімізації критеріїв розмірності та перетворення мережі.

На другому етапі розв'язується задача параметричної ідентифікації ШВМ з невизначеними аеродинамічними параметрами, яка полягає в оцінці вірогідності значень витрат повітря на всіх ділянках мережі та тиску у всіх вузлах мережі на підставі зміни тільки деяких із цих змінних. У результаті вирішення задачі за розрахунковими або експериментальними даними визначаються значення аеродинамічних опорів, розподілу депресій і витрат повітря у всіх виробках ШВМ, що задовольняють мережним законам.

Математична постановка задачі ідентифікації аеродинамічних параметрів ШВМ полягає у мінімізації функціонала:

$$F = \sum_{(i,j) \in U} \left[\frac{1}{(\delta_{(j,j)}^q)^2} (Q(i,j) - Q^*(i,j))^2 + \frac{1}{(\delta_{(j,j)}^h)^2} (H(i,j) - H^*(i,j))^2 \right] \rightarrow \min \quad (4.4)$$

при обмеженнях:

$$\sum_{(i,j) \in U_l} \text{sign}(Q(i,j)) |Q(i,j)| = 0, \quad l = 1, m \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{(i,j) \in U_\mu} (\text{sign}(Q(i,j)) R(i,j) Q^2(i,j) \pm h_e) - \\ & - \sum_{(i,j) \in (U_\mu \cap U_b)} H(i,j) = 0, \quad \mu = 1, n - m + 1, \end{aligned} \quad (4.6)$$

$$H(i,j) = a(i,j) - b(i,j) Q^2(i,j), \quad (i,j) \in U_b, \quad (4.7)$$

$$H(i,j) \leq H_{\text{норм}}, \quad (i,j) \in U_b, \quad (4.8)$$

$$R(i,j) = \frac{\alpha(i,j) L(i,j) P(i,j) Q(i,j)}{S^{2.5}}, \quad (i,j) \in U_x, \quad (4.9)$$

$$Q(i,j) = S(i,j) V(i,j), \quad (i,j) \in U \setminus U_b, \quad (4.10)$$

$$V^{\min}(i,j) \leq V(i,j) \leq V^{\max}(i,j), \quad (4.11)$$

$$R^{\min}(i,j) \leq R(i,j) \leq R^{\max}(i,j), \quad (4.12)$$

$$Q^{\min}(i,j) \leq Q(i,j) \leq Q^{\max}(i,j) \quad (4.13)$$

$$H^{\min}(i,j) \leq H(i,j) \leq H^{\max}(i,j), \quad (4.14)$$

де U_l - множина гілок, інцидентних l -тому вузлу; U_μ - множина гілок, що належать μ -тому незалежному контуру; U_b - множина гілок, що відображають ВГП; h_e - величина природної тяги, що діє в μ -тому незалежному контурі; $L(i,j)$ - довжина

виробки, м; $S(i,j)$, $S^{min}(i,j)$, $S^{max}(i,j)$ - відповідно площа поперечного перетину виробки, його мінімально і максимально припустимі значення, m^2 ; $Q(i,j)$, $Q^{min}(i,j)$, $Q^{max}(i,j)$ - відповідно витрата повітря у виробці, її мінімально і максимально припустимі значення, m^3/c ; $H(i,j)$, $H^{min}(i,j)$, $H^{max}(i,j)$ - відповідно депресія виробки, її мінімально і максимально припустимі значення, Па; $H_{норм}$ - обмеження на величину загальношахтної депресії, Па; $V(i,j)$, $V^{min}(i,j)$, $V^{max}(i,j)$ - відповідно швидкість руху повітря у виробці, її мінімально і максимально припустимі значення, м/с; $R(i,j)$, $R^{min}(i,j)$, $R^{max}(i,j)$ - відповідно аеродинамічний опір виробки, його мінімально і максимально припустимі значення, одиниць SI; α – коефіцієнт аеродинамічного опору виробки; $\delta^q(i,j)$, $\delta^h(i,j)$ - відповідно значення вірогідності завдання величин $Q(i,j)$, $H(i,j)$ у виробці; $a(i,j)$ $b(i,j)$ – коефіцієнти апроксимації характеристик ВГП, $Q^*(i,j)$, $H^*(i,j)$ – вимірювані значення витрат повітря і депресій гірничих виробок відповідно.

Мінімізація функціонала (4.4) є завданням нелінійного математичного програмування, при цьому враховуються наступні обмеження у вигляді рівнянь і нерівностей: закони розподілу повітря у ШВМ (4.5) - (4.6); залежності між аеродинамічним опором виробки, її перетином, довжиною та коефіцієнтом аеродинамічного опору виробки (4.9), швидкістю руху та витратою повітря у виробці (4.10); на можливі місця установки регуляторів і на величини їх аеродинамічних опорів, а також гірничих виробок (4.12); мінімально та максимально припустимі швидкості повітря у виробці (4.11), витрати повітря (4.13) і депресії (4.14); максимально можлива величина загальношахтної депресії (5); рівняння, що апроксимує робочу характеристику ВГП (4.8).

Дослідження необхідних та достатніх умов існування мінімуму функціонала (4.4) при обмеженнях (4.5) і (4.6) показало, що функція цілі (4.4) є опуклою, тому що являє собою суму опуклих функцій виду

$$\frac{1}{(\delta_{(i,j)}^q)^2} (Q(i,j) - Q^*(i,j))^2$$

та

$$\frac{1}{(\delta_{(i,j)}^h)^2} (H(i,j) - H^*(i,j))^2,$$

тобто функція має єдиний екстремум.

Постановку задачі ідентифікації аеродинамічних параметрів ШВМ в умовах неповної та недостатньо достовірної інформації необхідно доповнити двосторонніми обмеженнями на змінні (4.11) – (4.14). У цьому випадку передбачається, що за розрахунковими формулами і експериментальними залежностями зміни аеродинамічного опору можна одержати оцінку верхньої та нижньої межі зміни аеродинамічних параметрів ШВМ.

У постановці задачі вперше враховується $P(i,j)$ - якісна характеристика стану виробки, що важливо під час визначення маршрутів аерогазодинамічного контролю і зон ШВС, яким притаманна невизначеність аерогазодинамічних параметрів.. Для цього множина виробок розбивається на 3 групи залежно від стану виробки: I- добре (виробки без істотної деформації); II- задовільне (виробки з частково деформованим кріпленням); III- погане (аварійно деформовані виробки, або зі значною кількістю породи та устаткування). Кількісна оцінка аеродинамічного опору цих виробок визначається за формулою (6).

Основними етапами методу ідентифікації невизначених аеродинамічних параметрів ШВМ є наступні.

1. Розв'язується задача структурної ідентифікації ШВМ із невизначеною топологією та виконуються діакоптичні перетворення мережі.

2. У гілках моделюючої ШВМ діакоптичною процедурою визначаються витрати повітря, які мінімізують функціонал (4.4) при виконанні обмежень (4.5), (4.11) - (4.14):

$$Q(i, j) = Q^*(i, j) - \frac{(\delta^q(i, j))^2}{2} \sum_{l=1}^m \text{sign}(\lambda_l) |\lambda_l|,$$

3. Отримане рішення використовується під час мінімізації функціонала (4.4) при обмеженнях (4.7), (4.11) - (4.14).

$$Q(i, j) = Q^*(i, j) - \frac{(\delta^q(i, j))^2}{2} \sum_{l=1}^m \text{sign}(\lambda_l) |\lambda_l|,$$

4. Отримані результати використовуються під час мінімізації функціонала (4.4) при обмеженнях (4.7), (4.11) - (4.14).

$$R(i, j) = R^*(i, j) - \frac{(\delta^h(i, j))^2 Q^2(i, j)}{2} \sum_{l=1}^{n-m+1} \text{sign}(\lambda_l) |\lambda_l|,$$

4. За отриманими у результаті реалізації етапів 2 і 3 витратами повітря і значенням депресій у гілках ШВС обчислюються їхні аеродинамічні опори.

5. Виконується розрахунок природного повітророзподілу (контроль виконання обмежень (4.5) і (4.6)).

$$\begin{cases} R^{\min}(i, j) = R(i, j), \text{ якщо } R(i, j) < R^{\min}(i, j) \\ R(i, j) = R^{\max}(i, j), \text{ якщо } R(i, j) > R^{\max}(i, j), \end{cases}$$

$$(i, j) \subset U \setminus U_b$$

6. Визначаються чисельні значення критеріїв адекватності [4] реальної ШВМ і ШВМ, яка моделюється.

7. Робиться висновок про коректність отриманого рішення задачі ідентифікації аеродинамічних параметрів ШВМ.

На основі проведених досліджень сформульовано **третє наукове положення** дисертації: критерієм адекватності інформаційно-вимірювальних смарт-технологій моніторингу складних аєрогазодинамічних мереж є максимальна нев'язка витрат повітря у вузлах модельованої мережі, а задача структурної ідентифікації полягає у тому, щоб максимальне відхилення в будь-якому з вузлів реальної і модельованої мереж не перевищувало значення критерію адекватності, пов'язаного з вимірюваннями витрат повітря за умови $\min \{\dim G_m\}$ - мінімізації критеріїв розмірності та перетворення мережі, заданої моделюючим графом $G_m(X_m, U_m)$, з відповідною множиною гілок X_m та вузлів U_m ШВМ.

Новизна наукового положення полягає в тому, що вперше обґрунтовано критерій адекватності інформаційно-вимірювальних смарт-технологій моніторингу складних аєрогазодинамічних мереж - максимальна нев'язка витрат повітря у вузлах модельованої мережі та вирішено задачу структурної ідентифікації аеродинамічних параметрів ШВМ в умовах неповної та недостатньо достовірної інформації.

3.5. Висновки по розділу.

1. Проведено дослідження чинників, які утворюють аерологічний ризик у вугільних шахтах. 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. 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 наближене вирішення основної задачі систем управління охороною праці на НВО – забезпечення «прийняттого ризику» усіх ланок вугільного виробництва.

2. Наведено передумови використання методу BOW-TIE під час аналізу аерологічних ризиків вугільних шахт. Метод BOW-TIE, яким широко користуються закордонні дослідники і технологи, дозволяє приблизними методами оцінити виробничі і аварійні ризики. 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. Діаграма BOW-TIE складається із двох фрагментів: ліве «крильце метелика» - дерево відмов, праве – дерево наслідків. Формування розширеної діаграми полягає у наступному: 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. Наведено приклади аналізу аерологічних ризиків вугільної шахти за викладеним методом.

3. Розроблено метод оцінки ризику виникнення раптового викиду вугілля, породи і газу у вугільній шахті. Під час проведення аналізу рекомендується послідовно виконувати наступні етапи: збирання відомостей щодо гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов розробки вугільного родовища; планування і організація робіт щодо забезпечення промислової безпеки; визначення чинників, що впливають на небезпеку викиду, і індексів небезпеки викиду (ІНВ) по кожній з них; оцінка ризику викиду; розробка (коригування) мір щодо зниження ризику викиду за виявленими небезпеками. Для оцінки ризику рекомендовано бальний метод, який передбачає розбиття чинників, які впливають на небезпеку викиду, на блоки і надання чинникам рангів, що характеризують значимість чинника для розвитку аварії, їх ваги і розбиття чинників за градаціями. та враховує при цьому гірничо-геологічні та гірничотехнічні та людський чинник. Користуючись запропонованим методом, можна якісно проаналізувати ризики виникнення раптових викидів вугілля, породи і газу на вугільних шахтах, кількісно обґрунтовуючи напрями їх зниження.

4. Встановлено, що ризик раптового викиду вугілля, породи і газу, який враховує гірничо-геологічні, гірничотехнічні та людський чинник, обчислюється в залежності від попадання середньозваженого балу, що характеризує небезпеку аварії, у межі одного з діапазонів визначених балів, а вага чинника визначається відношенням рангу чинника до суми рангів всіх чинників у блоці, при цьому людський чинник характеризується коефіцієнтом усунення порушень, який визначається відношенням кількості усунених у строк порушень до кількості виявлених порушень, так при зміні коефіцієнта усунення порушень з 0,81-1 до 0,3 індекс небезпеки викиду зростає від 0 до 1 [100-103].

5. Розроблено інформаційно-вимірювальну смарт-технологію моніторингу складних аерогазодинамічних мереж. На основі проведених досліджень та оптимізації запропоновано комплексний підхід до оптимізації вимірів аерогазодинамічних параметрів елементів ШВМ з подальшими розрахунками ШВМ за умови зниження ступеню невизначеності вхідної інформації і з використанням СМАРТ-критеріїв коректності вирішуваної задачі. Розроблено метод побудови

оптимальних маршрутів руху гірничих майстрів ділянки ВТБ з метою організації моніторингу аерогазодинамічних параметрів. Використання отриманої інформації дозволить вдосконалити такий моніторинг обома складовими системи контролю.

6. Критерієм адекватності інформаційно-вимірювальних смарт-технологій моніторингу складних аерогазодинамічних мереж є максимальна нев'язка витрат повітря у вузлах модельованої мережі, а задача структурної ідентифікації полягає у тому, щоб максимальне відхилення в будь-якому з вузлів реальної і модельованої мереж не перевищувало значення критерію адекватності, пов'язаного з вимірюваннями витрат повітря за умови $\min \{dim G_m\}$ - мінімізації критеріїв розмірності та перетворення мережі, заданої моделюючим графом $G_m(X_m, U_m)$, з відповідною множиною гілок X_m та вузлів U_m ШВМ [100-103].

Основні результати, одержані в даному розділі, відображено у наступних роботах автора [100-103].

3.5. Список використаних джерел за розділом 3

69. 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.

70. Ушаков В.К., Баловцев С.В. Информационно-организационное обеспечение процедуры анализа аэрологического риска горного производства // ГИАБ: Тематическое приложение «Безопасность». И.: МГГУ, 2005. С. 147-152.

71. Типовое руководство по эксплуатации унифицированной телекоммуникационной системы диспетчерского контроля и автоматизированного управления горными машинами и технологическими комплексами УТАС. Донецк, 2005. 36с.

72. Александров С.Н., Булгаков Ю.Ф., Яйло В.В. Охрана труда в угольной промышленности. Донецк: РИА «ДонНТУ», 2012. 480 с.

73. 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).

74. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1989. 316 с.
75. 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.
76. Кокоулин И.Е. Метод анализа иерархий в задачах плана ликвидации аварий // Безопасность труда в промышленности. 1996. № 5. С. 20-23.
77. Аношина И.М. Расчет техногенного риска аварий на угольных шахтах // ГИАБ: Тематическое приложение «Безопасность». М.: МГГУ, 2005. С. 130-138.
78. 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.
79. ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику. К.: Мінекономрозвитку України, 2015. 74с. (Національний стандарт України).
80. ГОСТ Р 54144-2010. Менеджмент рисков. Руководство по применению организационных мер безопасности и оценки рисков. Идентификация инцидентов. Национальный стандарт российской федерации. М., 2010. 34с.
81. М-16.07.01-02. версия 01.Методические указания по аналізу и оценке рисков ПЭБ, ОТ и ГЗ с использованием метода BOW-TIE. М.: 2016. 13с.
82. Шевелев Г.А. Динамика выбросов угля, породы и газа. Киев: Наукова думка, 1989. 160с.
83. Булат Ф.А., Дырда В.И. Некоторые проблемы газодинамических явлений в угольном массиве в контексте нелинейной неравновесной термодинамики // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. трудов. Днепропетровск, 2013. Вып. 108. С. 3-31.
84. Булат А.Ф., Фичев В.В., Ященко И.А. [и др.] Состояние техники безопасности и эффективность функционирования противоаварийной защиты угольных шахт. Днепропетровск-Донецк: Норд-Компьютер, 2005. 266с.

85. Інструкція зі складання планів ліквідації аварій: ДНАОП 1.1.30-5.17-96 // В кн.: Збірник інструкцій до Правил безпеки у вугільних шахтах. Т. 1. Київ: 1996. С. 12-39.
86. Потемкин В.Я., Козлов Е.А., Кокоулин И.Е. Автоматизация составления оперативной части планов ликвидации аварий на шахтах и рудниках. Киев: Техника, 1991. 126с.
87. Кравченко Н.М. Новая компьютерная технология решения задач охраны труда и техники безопасности // Уголь. 2001. №8. С. 40.
88. Левин В.С., Шитов Г.А., Смирнов О.А. [и др.] Планы ликвидации аварий с применением ЭВМ // Безопасность труда в промышленности. 1988. № 2. С. 53-54.
89. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ : СОУ 10.1.00174088.011-2005. Київ : Мінвуглепром України, 2005. 225 с.
90. Руководство по безопасности «Методические рекомендации по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на угольных шахтах». Утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 05.06.2017 г. № 192.
91. Дудник, М.Н. Анемометр АПР-2 – современный прибор для контроля проветривания шахт / М.Н. Дудник. А.П. Круковский, Ю.Д. Беликов // Уголь Украины. – 2013. - № 7. – С. 26.
92. Булат, А.Ф. Методология поиска рациональных параметров шахтной вентиляционной системы в условиях неопределенности / А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2005. – Вып. 59. – С. 3-8.
93. ДНАОТ 1.1.30-6.09.93 Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт: утв. Приказом Государственного комитета Украины по надзору за охраной труда № 131 от 20.12.93. – Киев: 1994. – 312 с. (Государственный нормативный акт по охране труда).
94. Депресійні та газові зйомки у вугільних шахтах. Методи проведення. Настанова: Затв. Директором Департаменту вугільної промисловості Міністерства палива та енергетики України 22.09.2005 р. Київ, 2005. 89 с.

95. Абрамов Ф.А., Милетич А.Ф., Стрейманн В.Э. Инструментальные средства и методы депрессионных съемок шахт. М.: Недра, 1974. 144 с.
96. Перспективы повышения уровня промышленной безопасности угольных шахт при использовании системы диспетчерского контроля (УТАС) / В.В. Радченко, Н.В. Малеев, А.А. Мартынов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. МГГУ, 2005. – Тематический выпуск «Безопасность». С. 31-43.
97. Бунько Т.В. Метод идентификации вентиляционных сетей с неопределенными аэродинамическими параметрами // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. Днепропетровск, 2005. Вып. 57. С. 233-238.
98. Цой С., Цхай С.М. Прикладная теория графов. Алма-Ата: Наука, 1971.
99. Ху Т. Целочисленное программирование и потоки в сетях. М.: Мир, 1974.
100. Інформаційно-вимірювальні СМАРТ-технології моніторингу складних інженерних мереж. Т.В. Бунько, М.В. Шишов, В.В. Мірошніченко, І.Є. Кокоулін. Строительство, материаловедение, машиностроение. Дніпро. 2017. Вип. 101. С. 60-66.
101. Дослідження чинників, які утворюють аерологічний ризик вугільних шахт. А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, І.О. Яценко, І.Є. Кокоулін, В.В. Мірошніченко, С.А. Головка. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2020. Вип. 150. – С. 3-14. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2020.150.003>
102. Кокоулін І.Є., Яценко І.О., Мірошніченко В.В. Використання методу BOW-TIE під час аналізу аерологічних ризиків вугільних шахт. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2021. Вип. 156. С. С. 165-174. <https://doi.org/10.15407/geotm2021.156.165>.
103. Шевченко В.Г., Мірошніченко В.В., Кокоулін І.Є. Алгоритм визначення оптимальної системи маршрутів гірничих майстрів ділянки вентиляції і техніки безпеки з метою моніторингу аеродинамічних параметрів вентиляційної мережі шахти. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2021. Вип. 159.

4. РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ЗА АЕРОГАЗОДИНАМІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

4.1. Інноваційні підходи у організації роботи з охорони праці та промислової безпеки на вугледобувних підприємствах ТОВ «ДТЕК ЕНЕРГО»

ДТЕК ЕНЕРГО є найбільшою недержавною вугледобувною компанією України. До складу її нині входять приватні акціонерні товариства «Павлоградвугілля» (у складі його - 10 шахт) і «Добропіллявугілля» (6 шахт). Всі шахти цих ПрАТ є газовими, небезпечними за вибуховістю вугільного пилу, 8 з них використовують дегазацію різних типів, все оснащені системами АГК (в тому числі три - найбільш сучасними УТАС). Більш детальну характеристику провітрювання і протиаварійного захисту шахт ДТЕК ЕНЕРГО наведено у [100].

Складний характер аерогазотермодинамічних умов вуглевидобутку на шахтах ДТЕК ЕНЕРГО обумовлює високий ризик виникнення аварій. У 2016-2019 рр відбулося 15 аварій, з них 9 екзогенних пожеж, 4 спалаху метану і по одному випадку загазування виробок і обвалення гірських порід. Коротку характеристику цих аварій приведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристика аварій на шахтах ДТЕК ЕНЕРГО

№ п/п	Дата	Шахта	Тип аварії	Місце аварії	Примітка
1	2	3	4	5	6
1	05.03.16	Ювілейна, ПСП «Шахтоуправління Першотравенське»	Спалах метано-повітряної суміші	126 бортовий штрек за сполученням із 126 лавою	
2	08.10.16	Ювілейна, ПСП «Шахтоуправління Першотравенське»	Пожежа	Магістральний конвеєрний штрек гор. 180м	Ліквідовано до прибуття ДВГРС
3	02.04.17	Дніпровська, ПСП «Шахтоуправління Дніпровське»	Пожежа	2 західний магістральний конвеєрний штрек гор. 265м	Ліквідовано до прибуття ДВГРС
4	12.06.17	Новодонецька, ш/у «Білозерське»	Спалах метано-повітряної суміші		

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6
5	17.07.17	Дніпровська, ПСП «Шахтоуправління Дніпровське»	Пожежа	Устя ходового відділення вуглеспускного гезенку з гор. 230м на гор. 265м	
6	06.10.17	Білозерська, ОДО «Білозерське»	Обвалення	Монтажний ходок південної корінної лави ухилу №3 пл. L8 гор. 550м.	
7	08.10.17	Дніпровська, ПСП «Шахтоуправління Дніпровське»	Спалах метано-повітряної суміші	1108 збірний штрек за сполученням з 1108 лавою	Надалі ускладнилася пожежею
8	26.02.18	Юїлейна, ПСП «Шахтоуправління Першотравенське»	Пожежа	Східний конвеєрний квершлаг	Ліквідовано до прибуття ДВГРС
9	05.04.18	Павлоградська, ПСП «Шахтоуправління Павлоградське»	Пожежа	Трубно-кабельний ходок на нульовій відмітці допоміжного стовбура	Ліквідовано до прибуття ДВГРС
10	13.06.18	Тернівська, ПСП «Шахтоуправління Павлоградське»	Загазування діючих виробок з ізолюваних раніше виробок пл. С5		На аварійній ділянці знаходилось 4 робітники, один отримав отруєння легкого ступеню
11.	15.07.18	Добропільська, ш/у Добропільське	Пожежа	Устя людського ходка південного ухилу пл. l ₂ гор. 450м	Ліквідовано до прибуття ДВГРС
12.	07.09.18	Дніпровська, ПСП «Шахтоуправління Дніпровське»	Пожежа	1158 збірний штрек	Ліквідовано до прибуття ДВГРС
13	10.01.19	Героїв Космосу, ПСП «Шахтоуправління ім. Героїв Космосу»	Спалах метано-повітряної суміші	1130 бортовий штрек за сполученням з 1130 лавою	Ускладнилась пожежею у виробленому просторі
14	06.04.19	Павлоградська, ПСП «Шахтоуправління Павлоградське»	Пожежа	423 бортовий штрек	Ліквідовано до прибуття ДВГРС
15	10.07.19	ім. М.І. Сташкова ПСП «Шахтоуправління Дніпровське»	Пожежа	536 північний бортовий штрек	

Нами введено поняття «критичний (ключовий) технічний ризик» (КТР), тобто ризик виникнення, внаслідок несправностей технічного характеру, найбільш

характерних для шахт ДТЕК ЕНЕРГО аварій. З табл. 4.1 випливає, що такими є пожежа і спалах метану; слід розглядати ще і раптовий викид (хоч в останні роки аварій такого типу не було, категорійність шахт ДТЕК не дозволяє виключити можливість їх виникнення). Дерево наслідкових зв'язків причин виникнення цих типів аварій представлено на рис. 4.1.

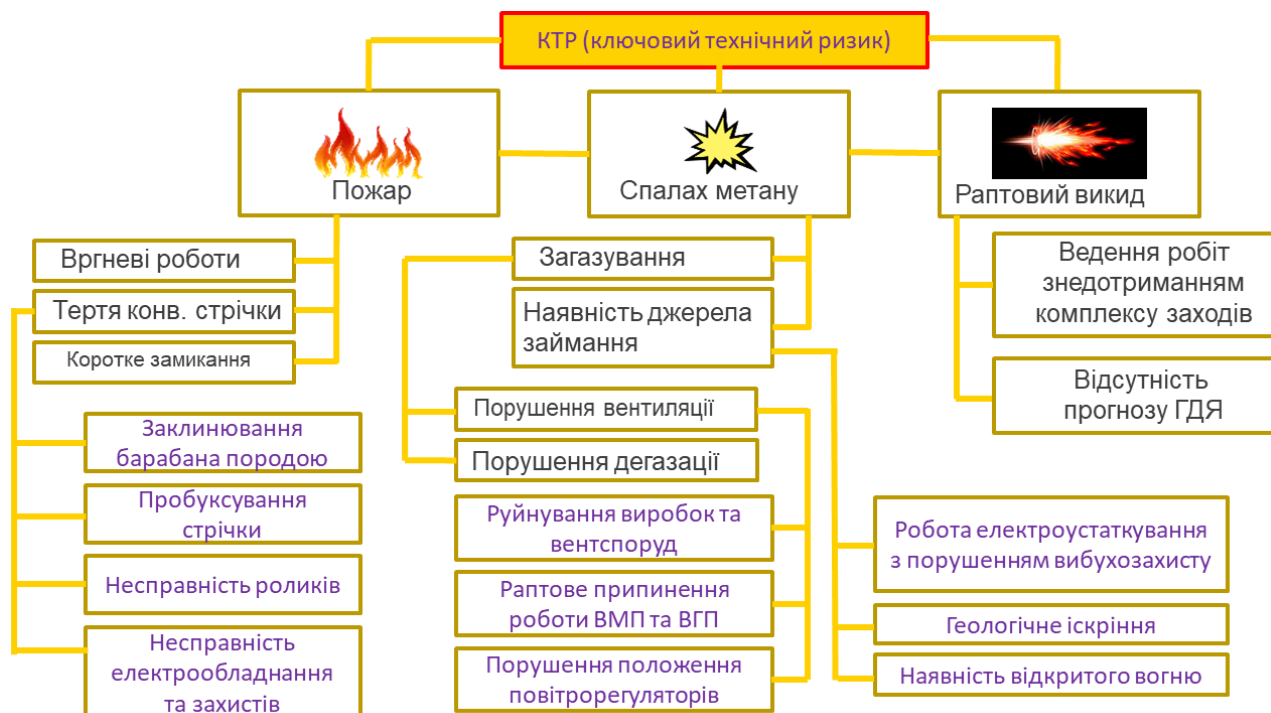


Рисунок 4.1 - Наслідкові зв'язки причин виникнення КТР

Представлене на рисунку дерево є сильно спрощеним. Досить докладно представлені лише його гілки, пов'язані зі спалахом метану. Видно, що спалах ініціюється двома факторами: загазуванням шахтної атмосфери до вибухонебезпечної межі і наявністю джерел займання. Гілки вищого рівня показують формування двох цих ініціюючих факторів. Пожежа може виникнути внаслідок тертя конвеєрної стрічки; до дерева не включено вельми ймовірний фактор, коли внаслідок високої концентрації метану у пожежному осередку горіння може ускладнитися вибухом метано-повітряної суміші. З іншого боку, спалах метано-повітряної суміші, за наявності горючих матеріалів, може перейти в екзогенний (аварія № 7) або ендегенний (аварія № 13) пожежа. Тому дерева наслідкових зв'язків необхідно будувати на шахтах максимально деталізовано,

враховуючи, що маршрути від гілок дерева верхніх рівнів до його кореню можуть мати пересічні ділянки, чим і пояснюється можливість переходу (що, як правило, ускладнює ситуацію) від одного типу аварії до іншого.

Будь-який з КТР (на те він і критичний!) є неприйнятним і повинен бути попереджений на стадії проектування і планування гірничих робіт. І перш за все це відноситься до ризиків аерологічної характеру, що викликаються газовим чинником.

Добре відомо, що засобом впливу на аерологічні ризики є правильно організовані і взаємодіючі системи вентиляції і дегазації. Перша спрямована на оптимізацію впливу гірничотехнічних умов (газовості ділянки, навантаження на очисний вибій, швидкості його посування, розкромку шахтного поля по вентиляції, прийнятих схем провітрювання), друга - пов'язана з гірничо-геологічними умовами (газоносністю пласта, проникністю пласта і вміщуючих порід, їх міцності). В умовах ускладнення впливу як системних, так і фонових чинників аерологічної ризику розробка і застосування інноваційних підходів до його зниження є актуальною науково-практичною проблемою.

В області інноваційних технологій зниження КТР роботи в даний час ведуться за наступними напрямками.+

1. Одним із шляхів зниження аерологічної ризику є перехід на сучасні системи газового контролю. Структурну схему такої системи представлено на рис. 4.2.

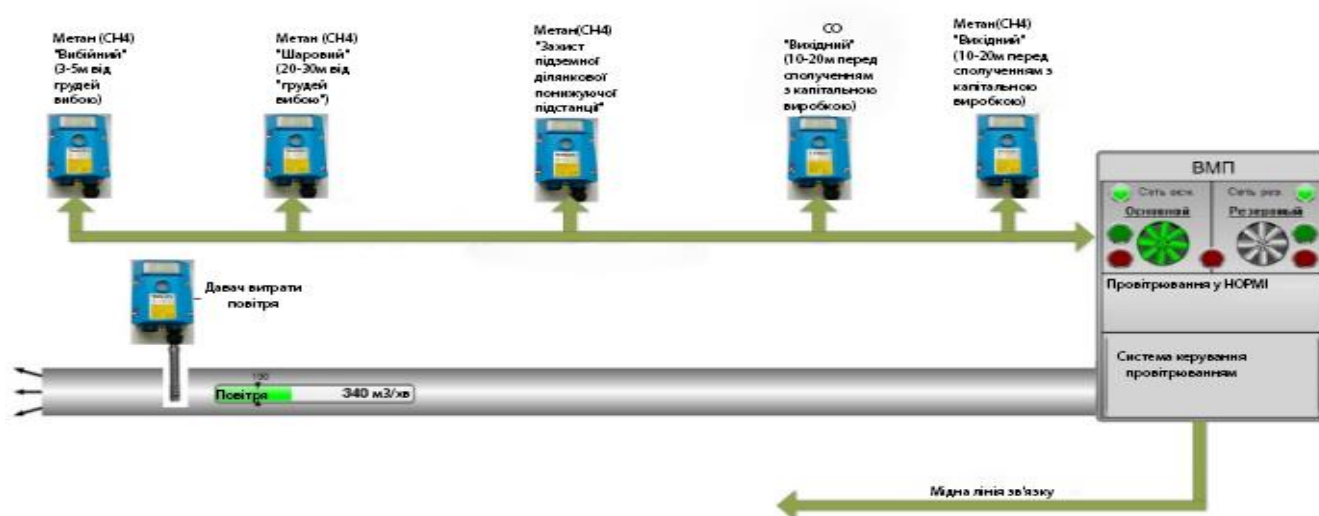


Рисунок 4.2 - Структурна схема комплексу апаратури аерогазового контролю

Інноваційними системами аерогазового контролю передбачаються (або, в деяких випадках, повинні передбачатися) наступні функції:

- а) контроль концентрацій CH_4 , CO , H_2 , O_2 , важких вуглеводнів та інших газів;
- б) контроль швидкості повітря і температури;
- в) аварійна сигналізація на місці і у гірничого диспетчера щодо перевищення гранично допустимих значень контрольованих параметрів;
- г) автоматичне відключення електрообладнання;
- д) передача даних на сервер магістральними каналами зв'язку;
- е) відображення на терміналах отриманої від датчиків інформації;
- ж) зберігання, обробка, надання за запитом обробленої інформації у текстовому, табличному і графічному вигляді;
- і) видача сигналів диспетчеру і оператору АГК щодо стану робочого або резервного ВМП і швидкості повітря, що надходить до тупикового вибою вентиляційним трубопроводом;
- к) місцева світлова сигналізація про стан робочого і резервного ВМП і режим провітрювання;
- л) контроль положення дверей у вентиляційних спорудах.

2. На даний момент єдиним шахтним світильником, до функцій якого входить отримання інформації щодо метанової небезпеки, є СМС. Після реалізації проекту з розгортання wi-fi зв'язку в гірських виробках шахтою, з прокладкою оптичного кабелю і установкою базових станцій планується заміна існуючих головних світильників на світильники нового технічного рівня, оснащені аналізатором і сигналізатором концентрації метану, відеореєстратором, модулями позиціонування, системи небезпечного зближення, моніторингу стану здоров'я шахтаря і передачі даних. Такі світильники зможуть передавати інформацію у реальному часі щодо стану шахтної атмосфери та сигналізувати про небезпеку при перевищенні гранично допустимих значень газодинамічних параметрів. Наявність зворотного дозволить диспетчеру з поверхні реалізувати функцію аварійного оповіщення.

3. Розробляються системи автоматизованого контролю та управління роботою дегазації (АСКУД) (рис. 4.3).

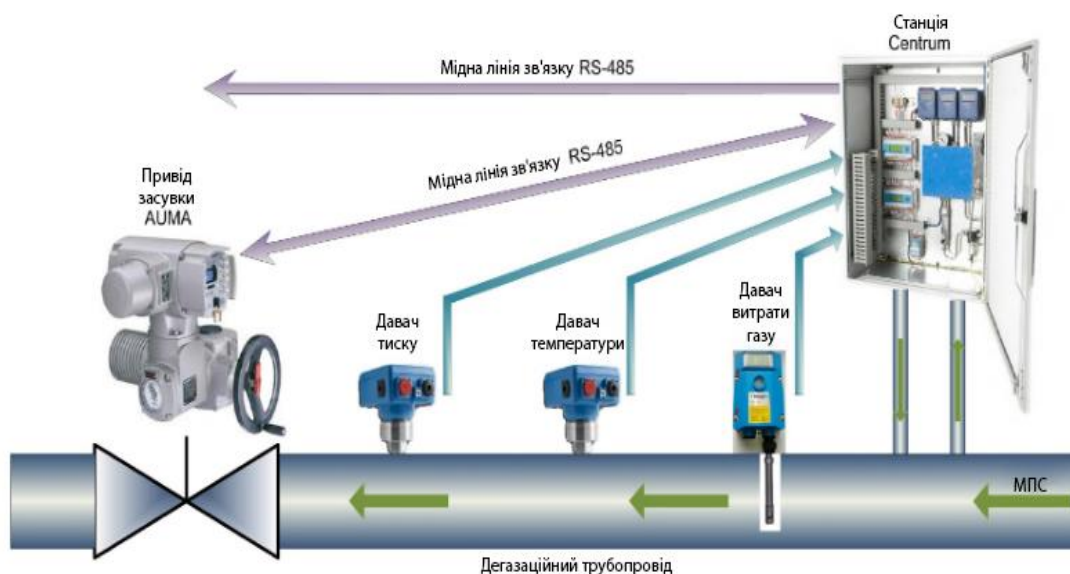


Рисунок 4.3 - Структурна схема АСКУД

Вони призначаються для виконання наступних функцій:

- а) контроль концентрації метану у машинному відділенні і приміщенні контрольно-вимірювальних приладів і автоматики, на виході вакуум-насосної станції;
- б) контроль витрати газоповітряної суміші у газопроводі, розрідження, тиску і температури газоповітряної суміші на вході вакуум-насосної станції;
- в) контроль температури корпусу двигуна вакуум-насоса, температури корпусу підшипників «двигун - вакуум-насос»;
- г) контроль концентрації, температури, тиску газоповітряної суміші у ключових точках дегазаційного трубопроводу і на дегазаційних свердловинах;
- д) контроль стану засувки і управління засувками.

4. Удосконалюється і доповнюється програмне забезпечення вентиляційних і дегазаційних розрахунків. Шахти ДТЕК ЕНЕРГО використовують програмне забезпечення ІГТМ НАН України [101, 102], НДІГС «Респіратор» [103] і ряд інших розробок. Для підготовки інформації для функціонування програмних комплексів використовуються дані встановлених у шахті датчиків контролю

аерогазотермодинамічних параметрів (у ряді випадків вони об'єднані у складі автоматизованої системи (рис. 4.4)).



Рисунок 4.4 - Датчики контролю аерогазотермодинамічних параметрів у ШВМ

На підставі отриманих даних формується і підтримується віртуальна математична модель вентиляційної системи шахти. За допомогою спеціальних програм, які перебувають в стадії розробки, можна в реальному часі моделювати фактичний стан провітрювання у нормальних і аварійних режимах.

5. В даний час через збільшення глибини розробки, розкриття газоносних пластів, збільшення планових навантажень на очисні вибої виникла необхідність здійснення додаткових робіт з дегазації на шахтах ім. Героїв Космосу, Дніпровська, ім. М.І. Сташкова і Новодонецька. Для цього на майданчиках перерахованих шахт планується пробурити свердловини для видачі каптованої метано-повітряної суміші на поверхню і придбати дегазаційні установки. Схему організації поверхневої дегазації представлено на рис. 4.5.

На шахті «Ювілейна» запущена в роботу установка МДРС-200 на дегазаційного свердловині діаметром 600 мм. Потенціал даної установки - каптирование на поверхню до 100 м³ / хв чистого метану.

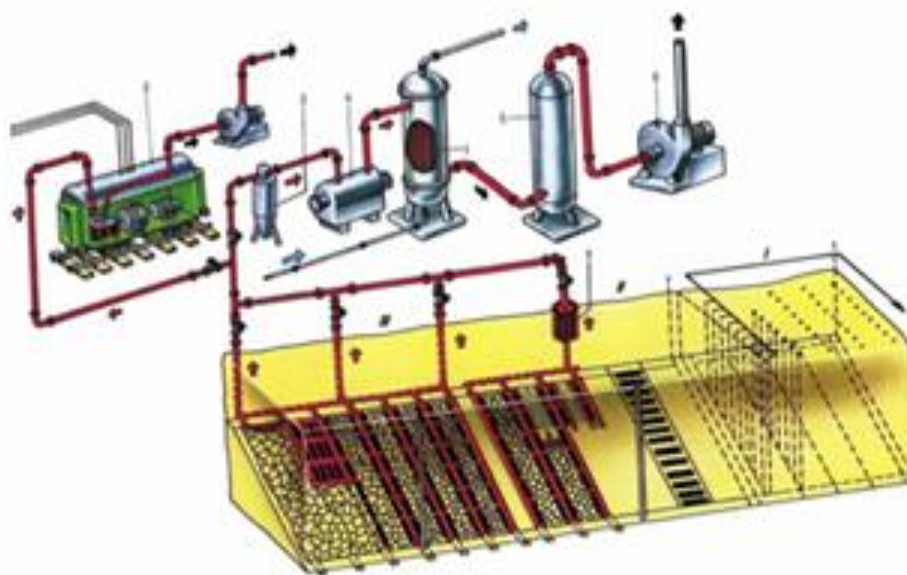


Рисунок 4.5 - Схема організації поверхневої дегазації

6. За період з 2016 по 2019 рік (див. табл. 4.1) на шахтах ДТЕК ЕНЕРГО виникло 9 пожеж, 8 з яких було ліквідовано активним способом силами членів ВГК до прибуття відділень ВГРС, а один (на шахті ім. М.І. Сташкова) спричинив ізоляцію крила шахти з простоєм очисних і підготовчих вибоїв на термін більше 3-х місяців. Шлях зниження пожежного ризику - перехід на сучасні системи автоматичного пожежного захисту і системи раннього виявлення та запобігання пожежам. Схему такої системи представлено на рис. 4.6.



Рисунок 4.6 - Структура системи моделювання роботи СПАЗ

Шляхом математичного, імітаційного і ситуаційного моделювання та даних від датчиків температури, диму, CO , індикаторних газів проводиться пошук передбачуваного осередку ендогенної або екзогенної пожежі, видача на екран користувача позицій ПЛА, відповідних знайденому осередку пожежі, і рекомендації щодо ефективного використання для ліквідації аварії засобів СПАЗ. При ліквідації аварії використовуються дані про кількість та місцезнаходження персоналу під землею. В даний час використовуються програмні комплекси ІГТМ НАН України, НДІГС «Респіратор», однак вони не надають можливості роботи у реальному часі і потребують удосконалення.

7. Ще одним способом зниження пожежних ризиків є оснащення найбільш потенційно небезпечних зон сучасними засобами пожежного захисту. Найбільш потенційно небезпечними місцями за виникненням підземних пожеж є сполучення дільничних виробок з лавами і виробки, обладнані стрічковими конвеєрами.

Для своєчасного запобігання, локалізації та гасіння пожежі на сполученнях лав рекомендується встановлювати автоматичні системи порошкового пожежогасіння і використовувати пожежні ранці зі спеціальними пожежогасячими речовинами типу PYROCOOL або аналогічними, які при впливі на осередок пожежі перешкоджають доступу кисню і метану до нього, тим самим запобігаючи загрозі вибуху. Для запобігання пожежам на конвеєрних виробках рекомендується використовувати системи раннього виявлення пожеж шляхом встановлення датчиків температури і CO з виводом інформації на пульт диспетчера.

8. Для виконання робіт поряд з такими великими машинами, як комбайни і транспортне обладнання, з метою уникнення попадання персоналу у травмонебезпечну ситуацію, розробляються системи виявлення небезпечного зближення. Вони виявляють робітників, що небезпечно входять до зони дії виконавчих органів, і при досягненні критичного відстані блокують роботу устаткування.

Таким чином, робота у сучасній вугільній шахті пов'язана з проявами різного роду ризиків. Ризики, пов'язані з одночасним проявом негативних технологічних і аерологічних чинників, є одними з найбільш складність та небезпечних. Для їх

зниження потрібно злагоджена робота колективу шахти, що знає і вміло застосовує знання в області охорони праці і промислової безпеки, і служб, що безпосередньо за неї відповідають. На допомогу їм приходять інноваційні науково-практичні розробки в галузі управління технічними ризиками, інформаційно-аналітичні технології моделювання та управління аерогазотермодинамічними процесами у вугільних шахтах, нові технічні засоби реалізації завдань техногенної безпеки у нормальних і аварійних умовах. Коло завдань досить широке, але перехід від концепції «нульового ризику» до ризик-орієнтованих технологій управління промисловою безпекою - об'єктивна реальність на шляху до входження України до ЄЕС і використання у практичній діяльності його рекомендацій і нормативної бази [104-107].

4.2. До питання створення та функціонування ділянки дегазації вугільної шахти

До недавнього часу видалення з шахти техногенного метану здійснювалося засобами вентиляції, і лише в окремих випадках - з використанням власне засобів дегазації (вакуум відсмоктування, тощо). Тому було прийнято покладати функції дегазації на ділянку ВТБ [108] шахти, розуміючи під дегазацією тільки безпосереднє видалення метану з шахти без його збору і використання. Іншим підрозділом шахти, який здійснює функції дегазації, є ділянка профілактичних робіт з техніки безпеки шахти (ПРТБ). Єдиним нормативним документом, який регламентує роботу вказаної ділянки, є [109], що багато в чому застаріло і практично не використовується. За минулі більшніж тридцять років з моменту його виходу змінилися як методи і засоби дегазації, так і самі дегазаційні системи, що викликало необхідність розробки локальних інструкцій, які суперечать один одному і не дозволяють виробити єдиний підхід до проведення дегазаційних заходів.

Якщо проаналізувати положення про ділянку ПРТБ, можна виділити наступні завдання ділянки, що мають відношення до дегазації (нумерація відповідає підпунктам Типового положення):

2.1. Дегазація вугільних пластів і бокових порід відповідно до затвердженого проекту.

2.2. Здійснення робіт з боротьби з раптовими викидами вугілля, породи, газу.

Функції ділянки ПРТБ полягають у тому, що вона:

3.2. Розробляє виконавчий графік робіт з дегазації пластів і бокових порід.

3.3. Спільно з технічною службою шахти розробляє паспорти на буріння дренажних свердловин та інструкції з пуску та встановлення вакуум-насосів і безпечного обслуговування дегазаційних установок.

3.4. Виконує роботи з підготовки до буріння дренажних свердловин, визначає параметри свердловин.

3.5. Здійснює своєчасне і якісне буріння дренажних свердловин, монтаж вакуум-насосів і прокладку газопроводів силами ділянки або спеціалізованих організацій.

3.6. Контролює якість буріння дренажних свердловин, їх герметизацію, виконання будівельно-монтажних робіт та їх відповідність проекту дегазації.

3.7. Забезпечує нормальну і безперебійну роботу дегазаційних установок і контрольно-вимірювальної апаратури, а в разі необхідності здійснює ремонт і заміну обладнання.

3.8. Здійснює контроль за концентрацією і дебітом метану в магістральному газопроводі і свердловинах, герметизацією газопроводів і створюваним вакуумом.

3.9. Веде встановлену технічну документацію по роботі дегазаційних установок і свердловин, огляду і ремонту газопроводів, концентрації і дебіту метану, що відсмоктується.

3.21. Розробляє графіки робіт, інструктажі з пуску і зупинки вакуум-насосів, з безпечного обслуговування системи дегазаційної установки.

3.27. Бере участь у розробці проектів з утилізації газу-метану і здійснює контроль за їх реалізацією.

Ділянка ПРТБ несе відповідальність за:

5.1. Невиконання затверджених проектів і графіків робіт з дегазації вугільних пластів і бокових порід.

5.2. Несвоєчасне і неякісне буріння дренажних свердловин, монтаж вакуум-насосів і прокладку газопроводів.

5.3. Невиконання комплексу заходів щодо боротьби з раптовими викидами вугілля, породи і газу.

Як видно з наведеного переліку, більшість завдань дільниці ПРТБ безпосередньо пов'язані з проведенням дегазаційних заходів, чим значно відрізняються від завдань дільниці ВТБ. Однак робота двох цих дільниць тісно взаємопов'язана. У найпростішому випадку, для умов негазових шахт, де дегазація відсутня, необхідно просто подати на ділянку з можливим виділенням метану достатню кількість повітря, і завдання його видалення з шахти, причому без шкідливих наслідків, буде вирішене.

Інша ситуація складається на газових шахтах. Подача великої кількості повітря для видалення значних скупчень метану не тільки не відповідає вимогам [110] (порушуються безпечні швидкості руху повітряних потоків), але й неефективна економічно. У безпосередній близькості функціонує дегазаційна система, і правильний вибір режиму її роботи дозволить знизити кількість повітря, що подається на ділянку, і зробить спільну роботу обох систем економічно вигідною. Щоправда, рішення такого завдання для умов сучасних метанових шахт з високонавантаженими лавами складає певні труднощі.

Крім того, нині як перед дільницею ВТБ, так і перед дільницею ПРТБ ставиться ряд нових завдань, що вимагають свого вирішення не тільки практично, але і навіть у плані наукової підтримки. Основними з них є наступні:

а) виміри кількості метану у дегазаційному трубопроводі проводяться досить легко, в той час як виміри тиску не завжди і не у всіх точках здійсненні;

б) важливим параметром, що визначає пропускну здатність дегазаційного трубопроводу, є його аеродинамічний опір. Воно залежить від щільності потоку, швидкості газорідної суміші і ефективної площі поперечного перетину трубопроводу;

в) одним з напрямків ефективного вуглевидобутку, як уже зазначалося вище, є не просто викид метану в атмосферу, а його використання в якості альтернативного

палива. У зв'язку з цим рішення задач дегазації значно ускладнюється [111]. Вирішення питань забезпечення роздільного видобутку вугілля і метану не може ефективно вирішуватися тільки дільницями ВТБ і ПРТБ. Щоравда, останньому пропонується (п.3.27 Типового положення) проведення робіт з утилізації метану, однак при цьому мається на увазі лише локальне використання метану для потреб конкретного підприємства, тоді як нині на ряді шахт (наприклад, на шахті ім. О. Ф. Засядька) ставиться питання про промисловий видобуток метану і направлення його до газової мережі міст, що представляє значно більш складне завдання;

г) промисловий видобуток метану передбачає розробку і використання сучасних технологій дегазації. Одна з них - проходка каптажних виробок («газового горизонту») [112]. Досвід таких робіт зараз є на шахтах ім. О.Ф. Засядька і «Краснолиманська». Однак навіть досвід тільки цих двох шахт показує, що існують серйозні відмінності в організації систем каптажних виробок, причому багато питань недостатньо опрацьовано навіть у науковому плані. Тому актуальними є питання дослідження ефективності використання каптажних виробок і прогностичний розрахунок їх ефективності для високопродуктивних виїмкових дільниць;

д) рішення перерахованих завдань значною мірою можливе лише при використанні імітаційного моделювання роботи ДС, які представляють сьогодні розгалужені мереживні об'єкти зі значною мірою невизначеними газодинамічними параметрами. Якщо питання проведення вентиляційних розрахунків вирішуються досить просто: на ряді великих шахт (і на шахті ім. О.Ф. Засядька зокрема) в складі дільниці ВТБ створюється група інформаційного забезпечення (ГІЗ) вентиляційних розрахунків, завданням якої є підготовка вихідної інформації, проведення розрахунків на ПЕОМ та видача рекомендацій щодо вдосконалення провітрювання шахти, то для вирішення завдань дегазації необхідно створення подібних структур на ділянках ВТБ (ПРТБ), а в подальшому, за необхідності, створення на деяких шахтах ділянок дегазації і відповідних ГІЗ.

З метою дослідження можливості і доцільності створення на крупних метанових шахтах дільниць дегазації Мінвуглепром України було заплановано

розробку пробного СОУ «Положення про ділянку дегазації вугільної шахти. Порядок створення і функціонування »з обмеженим строком дії і призначеного для апробації на обраних горнотехнічних об'єктах з метою оцінки його практичної придатності.

Відповідно до Технічного завдання вказаний документ мав дозволити:

а) забезпечити підвищення рівня якісної оцінки стану шахтної дегазації (ШДС) з урахуванням моніторингу навколишнього природного середовища, прогнозування змін стану провітрювання гірничих робіт у зв'язку з використанням сучасних систем комплексної дегазації і розробки науково обґрунтованих рекомендацій щодо прийняття ефективних рішень з управління дегазацією шахт;

б) підвищити ефективність прийняття рішень щодо вдосконалення системи дегазації підземних гірничих робіт;

в) забезпечити більш об'єктивну оцінку стану дегазаційних комунікацій шахти;

г) у період між проведенням газових зйомок забезпечити більш об'єктивну оцінку стану ШДС внаслідок більш обґрунтованого використання методів сучасного імітаційного моделювання процесів, які супроводжують дегазацію виїмкових ділянок у нормальних і аварійних режимах функціонування;

д) уможливити застосування нового підходу до створення єдиної системи моніторингу системи дегазації шахти, який забезпечить мінімізацію збитків від ліквідації відхилень цього допоміжного технологічного процесу від нормального режиму експлуатації з урахуванням підвищення рівня безпеки праці.

Положення про ділянку дегазації включає такі відомості:

а) порядок створення ділянки дегазації;

б) його підпорядкованість;

в) структура і чисельність ділянки;

г) кваліфікація персоналу;

д) порядок контролю роботи співробітників ділянки;

е) відповідальність керівництва гірничого підприємства за ефективність функціонування ділянки;

ж) вимоги до вирішення основних питань, які повинна реалізувати дільниця дегазації щодо оцінки якісного і кількісного стану елементів ШДС, контролю функціонування і розрахунку значень її аерогазодинамічних параметрів;

і) перелік основних робіт, які повинен виконувати персонал дільниці дегазації з метою вирішення функціональних завдань п. 7. Обов'язкова регламентація робіт, пов'язаних з контролем складу повітря у шахті, проведенням газових зйомок, визначенням багатогазовості гірничих виробок за метаном, підготовкою матеріалів для встановлення категорії шахти за газом, визначенням гірських виробок, небезпечних за шаровими скупченнями метану, розробкою пропозицій щодо використання способів управління газовиділенням і їх параметрами, розробкою способів контролю аерогазодинамічних параметрів дегазаційних трубопроводів і вакуумнасосних станцій, розробкою пропозицій щодо коригування проектів дегазації, контролю ефективності дегазації і газовідсмоктування, перевірки правильності експлуатації апаратури контролю концентрації метану у гірничих виробках. Інші функції дільниці дегазації будуть визначатися (або виключатися з розгляду) специфікою проведення дегазаційного робіт на конкретному гірничому підприємстві;

к) вимоги до підготовки фахівців дільниці дегазації, їх перепідготовки і спеціальної підготовки за програмою;

л) вимоги щодо організації роботи дільниці. Вони включають вимоги до:

- 1) виконання робіт з проведення розрахунків системи дегазації;
- 2) інтервалу актуалізації інформації щодо стану газовиділень і роботи ШДС;
- 3) комплектності документації, яку формує дільниця дегазації, і порядку її актуалізації;
- 4) допустимим відхиленням вимірювальних результатів від розрахункових;
- 5) умов збереження розрахункової інформації;
- 6) умов затвердження отриманих розрахункових результатів і їх подальшого використання;

м) вимог до прав дільниці дегазації. Вони включають вимоги до отримання дільницею перспективних планів гірських робіт, участі у технічних нарадах, де розглядаються питання, пов'язані зі зміною дегазаційних систем та режимів дегазації шахт, видачею рекомендацій щодо вдосконалення керування газовиділенням і дегазацією шахт з урахуванням розвитку гірничих робіт;

н) вимоги до відповідальності персоналу дільниці дегазації щодо правильності і своєчасності виконання робіт, регламентованих СОУ.

Для виконання перерахованих робіт до складу дільниці дегазації повинні бути включені (у мінімальному варіанті): начальник дільниці, який здійснює координацію і керівництво робіт дільниці; інженер-технолог, що вирішує технологічні завдання дільниці; фахівець з інформаційно-аналітичних технологій, до функцій якого входить підтримка баз даних і здійснення дегазаційних розрахунків; технічний персонал, який здійснює роботи з моніторингу параметрів ШДС і оформлення документації дільниці. Фахівці такого рівня в даний час працюють і в складі дільниць ВТБ і ПРТБ, проте їм доводиться поєднувати перераховані роботи з іншими роботами на дільницях відповідно до своїх посадових інструкцій, що в нинішніх умовах трудноздійсненно.

Розроблено нормативний документ «Положення про дільницю дегазації вугільної шахти. Порядок створення і функціонування» (в якості пробного стандарту) був узгоджений керівництвом шахти ім. О.Ф. Засядька і затверджений розробником - ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України. На жаль, проведення подальших робіт ускладнилося ситуацією, що склалася в Донбасі, коли ряд шахт, на яких було б доцільно організувати дільниці дегазації, в тому числі і шахта ім. О.Ф. Засядька, залишились на території, яка вийшла з-під контролю України. Однак продовження робіт у зазначеному напрямку можна вважати перспективним.

Об'єктом продовження робіт в напрямку створення і організації дільниць дегазації (або, принаймні, на першому етапі, ГІЗ дільниць ВТБ або ПРТБ шахт з найбільш складним газовим режимом, що відповідають за дегазацію) є шахти ДПЕК, деякі з яких мають проблеми з дегазацією і на яких функціонують ДС.

Характеристику ДС таких (що знаходяться на підконтрольних Україні територіях) шахт наведено у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Шахти ДТЕК, що мають дегазаційні системи

Шахти ТОВ «ДТЕК»		Категорія зао газом	Газовість		Газовідсмоктування	Дегазація
			Абс. м ³ /хв..	Відн. м ³ /т		
1	ім. героїв Космосу	Надкатегорійна	58,08	17,92	ВМЦГ-7 УВЦГ2	-
2	Степова	Надкатегорійна	98	25	-	ВНС, підз.св.
3	Ювілейна	Надкатегорійна	49,63	25,9	-	ПДУ, підз.св.
4	Західно-Донбаська	Надкатегорійна	109,49	43,17	-	ВНС1, ВНС2, підз.св.
5	Добропільська	Надкатегорійна	16,68	53,7	ВМЦГ-7	ВНС, «свічі» в ВП
6	Алмазна	Надкатегорійна	25,03	38,31	ВМЦГ-7	ВНС, «свічі» в ВП
7	Новодонецька	III категорія	10,6	11,1	-	ПДУ, «свічі» в ВП
8	Піонер	III категорія	9,2	13,3	ПДУ	-
9	Білозерська	Надкатегорійна	12,25	17,9	ВМЦГ-7	ВНС1, ВНС2, «свічі» в ВП

Як видно з таблиці, газодинамічні параметри шахт ДТЕК значно відрізняються, тому як газовідсмоктування, так і засоби дегазації на них різні, а значить, різними повинні бути і заходи щодо розрахунку та управління ними. Оскільки, як зазначалося багатьма дослідженнями, все більш нагальним стає питання спільного курування ШВМ і ШДС, а усі шахти табл. 4.2, крім № 1, є дво- (№№ 2 і 4), трьох- (№№ 3, 5, 8 і 9) і чотирьохвентіляторними (№№ 6 і 7), що вимагає додаткових досліджень, імітаційного моделювання і проведення розрахунків щодо оцінки, аналізу та оптимізації їх спільної роботи. Крім того, на двох шахтах мають місце додаткові складності провітрювання (на шахті «Алмазна» ВГП ВЦ-25

зупинено на весняно-літній період, а застарілий ВГП ВЦЗ-32 з наднормативним строком експлуатації 43 роки виведено з експлуатації; на шахті «Піонер» не введено до експлуатації ВГП ВЦД-31,5М), що також певним чином впливає на роботу ШДС. Тим самим робота з комплексування робіт ШВС і ШДС ускладнюється, і для її ефективного проведення доцільно продовжити роботу над розробкою пробного СОУ «Положення про ділянку дегазації вугільної шахти» з урахуванням можливостей і особливостей створення їх на окремих шахтах ДТЕК і його впровадження.

4.3. Технологія поетапної газоізоляції тупиків вентиляційних штреків при зворотноточному провітрюванні лав

Безпечне погашення вентиляційних виробок при зворотноточному провітрюванні можна забезпечити шляхом подачі додаткової витрати повітря ВМП до тупику, що погашається. Відповідно до норм ПБ, технологію дозволено при наступних обмеженнях:

- а) відпрацювання пластів, не схильних до самозаймання;
- б) метановиділення з виробленого простору менше, ніж $2\text{м}^3/\text{хв.}$;
- в) довжина виїмкових стовпів до 800 м;
- г) додатковий обсяг повітря, що подаються до глухого куту, не повинен перевищувати 20% від загальної витрати ділянки.

Ці вимоги повністю виключають можливість застосування технології у високонавантажених газових лавах, які відпрацьовуються з використанням стовпової системи розробки.

У даний час на шахтах ДТЕК ЕНЕРГО широко застосовується відпрацьовування високонавантажених газових лав зворотним ходом з використанням прямоточних схем провітрювання. Для зниження метановості на цих ділянках зазвичай використовуються газовідсмоктувальні вентиляторні установки типу ВЦГ або УОЦЦА, які спеціальними трубопроводами відводять метаноповітряну суміш із зон сполучень очисних вибоїв з вентиляційними

штреками (тупиків). Зазвичай застосовуються трубопроводи діаметром 800 мм, 600 мм і 400 мм із довжиною відрізків (секцій) 2,5 м.

Застосовувана технологія газовідсмоктування передбачає поетапне скорочення дільничних трубопроводів у міру посування очисних вибоїв. При цьому виникає необхідність тимчасового розриву цілісності газовідсмоктувальних трубопроводів для вилучення / скорочення їх секцій з припиненням газовідводу з глухого кута. Оскільки метановиділення з масиву триває, у період зупинки вентиляторів зростає вміст метану у тупиках і на вихідному струмені.

Другим великим недоліком застосовуваної технології є закладена в паспортах необхідність погашення виробок з вилученням кріплення в тупиках. Зняття стійки (ніжки) з боку виробленого простору часто призводить до локального обвалення порід покрівлі і руйнування бортів штреків у сполученні. При цьому відбувається розгерметизація тупика, і метапн надходить до лави.

Застосовувана технологія погашення тупиків не є нормативною. Її не відображено у діючих стандартах. Це, як показала практика, може призводити до загазування сполучень очисних вибоїв з вентиляційними штреками.

Існує простіша і ефективніша технологія поетапної газоізоляції тупиків шляхом зведення перемичок без погашення штреків і вилучення кріплення. Пропонована технологія підвищує безпеку робіт за газовим чинником і істотно знижує ризик виникнення аварійних ситуацій. При цьому вона повністю відповідає вимогам існуючої нормативної бази.

Сфера застосування цього стандарту поширюється на тупики дільничних вентиляційних виробок, які дегазуються шляхом відведення метану газовідсмоктувальними установками.

Технологія поетапної газоізоляції тупиків реалізується у два основних етапи:

- а) зведення нової перемички;
- б) роботи зі скорочення трубопроводу.

ЕТАП I: зведення перемички

Відповідно до Правил безпеки [110] допустима довжина тупиків, провітрюваних за рахунок загальношахтної депресії, не може перевищувати 6 м.

Таким чином, максимальна відстань між газоізолюючими перемичками не повинна перевищувати 6 м (рис. 4.7).

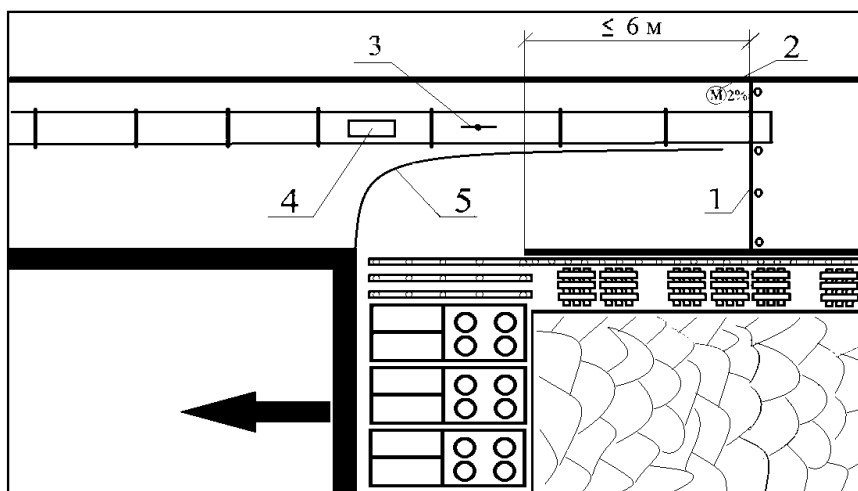


Рисунок 4.7 - Схема розташування трубопроводу, перемички і допоміжного обладнання у глухому куті перед початком робіт: 1 - діюча газоізолююча перемичка; 2 - датчик метану 2%; 3 - перекриваюча заслінка; 4 - регулювальний шибер; 5 - гнучка перемичка

Якщо середньодобове посування очисного забою $V_{доб}$ знаходиться у інтервалі від 3 до 6 м, то відстань між перемичками доцільно приймати рівним $V_{доб}$. Це дозволить виконувати роботи з поетапної газоізоляції щодоби у першу зміну.

У разі, якщо вентиляційна виробка охороняється вугільними ціликами, відстань між перемичками дорівнюватиме сумарній ширині цілика і виїмкового просіку. При цьому вона не може перевищувати 6 м.

При охороні штреків вугільними целиками встановлення перемичок повинне здійснюватися таким чином, щоб вихідний струмінь виходив із лави тільки через один вихід.

Остаточне рішення щодо вибору інтервалу зведення газоізолюючих перемичок приймає головний інженер шахти.

Для швидкого і відносно маловитратного зведення каркасу перемичок використовується дошка або чурки, які потім герметизуються будь-яким доступним ізолюючим матеріалом (БО вент. Рукав, глина тощо).

При веденні робіт зі зведення нової перемички датчик метану повинен перебувати в положенні 2 рис. 4.7 у покрівлі штреку біля старої перемички.

Для відхилення повітряного струменя з лави і подачі її в глухий кут зводиться спеціальна гнучка перемичка 5 (рис. 4.7).

При виборі місця розташування нової перемички необхідно виходити з того, що після її установки ділянки трубопроводу, що перекриваються заслінкою 3 і шибером 4, повинні знаходитися у штреку у зоні прямого доступу, а не у глухому куті за новою перемичкою (рис. 4.7).

Перед зведенням каркасу нової перемички зона установки її кріплення штреку і бровки забою повинні бути приведені в повну відповідність «паспортному стану». Роботи зі зведення перемички повинні бути добре підготовлені і проводитися якомога швидше.

Перед завершенням процесу зведення нової перемички ділянка трубопроводу в зоні газоізоляції звільняється від усіх елементів кріплення для забезпечення можливості його вільного і оперативного переміщення у нове положення.

Перед завершенням процесу зведення нової перемички знімається гнучка перемичка 5 (рис. 4.8).

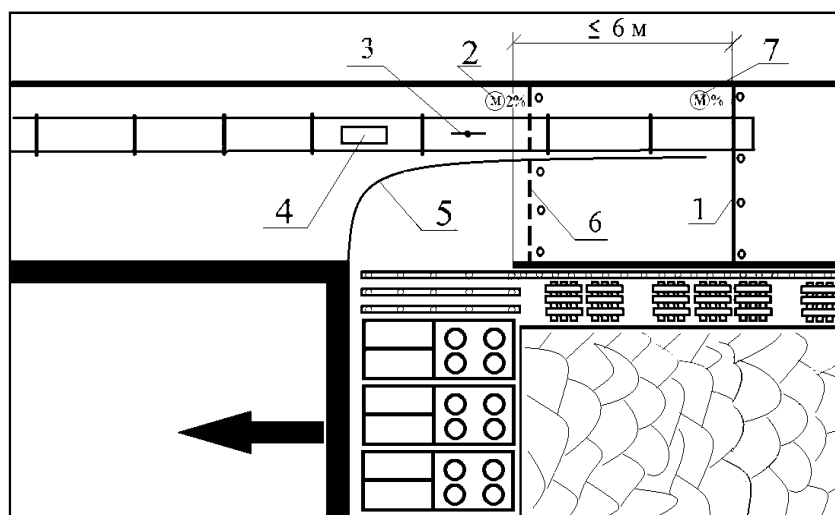


Рисунок 4.8 - Схема розташування трубопроводу і допоміжного обладнання після перенесення перемички у нове положення: 1 - діюча газоізолююча; 2 - датчик метану 2%; 3 - перекриваюча заслінка; 4 - регулювальний шибер; 5 - гнучка перемичка; 6 - каркас нової перемички; 7 -переносной датчик автоматичного контролю метану.

При цьому датчик метану 2 переноситься в нове положення (рис. 4.8), а на його місце встановлюється переносний датчик автоматичного контролю метану.

Після завершення першого етапу робіт (спорудження каркасу нової перемички) тупик вентиляційного штреку повинен відповідати схемі, наведеній на рис. 4.2.

Ізоляційний матеріал на нову перемичку встановлений після завершення робіт етапу 2 - скорочення газовідсмоктувального трубопроводу. Роботи зі зведення нових перемичок виконуються без відключення газовідсмоктувальних вентиляційних установок з відкритою заслінкою і закритим шибером.

ЕТАП 2: скорочення трубопроводу

Перед початком виконання робіт по скороченню трубопроводу проводиться контроль концентрації метану у тупику вентиляційної виробки в районі дії 1 і встановлюється 6 перемичок. У разі виявлення місцевих або шарових скупчень метану, вживаються заходи щодо їх ліквідації і забезпечення безпеки.

Якщо газова обстановка відповідає вимогам ПБ [110], гірничий майстер діляниці повідомляє гірничого диспетчера шахти про початок робіт зі скорочення газовідвідного трубопроводу.

Процес скорочення трубопроводу передбачає розстикування труби на ділянці попереду очисного вибою, зняття необхідної кількості секцій трубопроводу 8, переміщення відокремленої ділянки з заслінкою 3 і шибером 4 по ходу лави, а також його приєднання до основного трубопроводу.

Послідовність виконання операцій етапу 2 наступна:

а) знімається напруга з усіх споживачів, розташованих у очисному вибої і на вентиляційному штреку;

б) гірничий майстер повідомляє оператора АГК про зняття виносного елемента датчика ППІ 7;

в) гірничий майстер знімає виносний елемент датчика ППІ 7 і переміщує його у безпечне місце під покрівлею з протилежного боку лави у каркасу нової перемички 6;

г) гірничий майстер закриває заслінку 3 трубопроводу для запобігання попадання до штреку метано-повітряної суміші з глухого кута при розстикуванні;

д) проводиться розстикування болтових з'єднань на демонтованій ділянці газовідсмоктувального трубопроводу 8 попереду каркасу нової перемички 6. При цьому секції з шибером 3 і заслінкою 4 не розстиковуються (рис. 4.9);

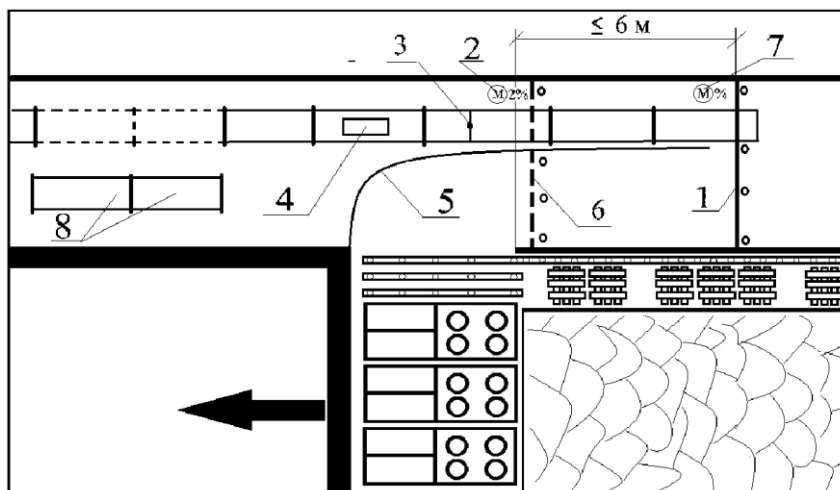


Рисунок 4.9 - Схема розташування трубопроводу, перемичок і допоміжного обладнання у глухому куті перед початком робіт: 1 - діюча газоізолююча перемичка; 2 - датчик метану 2%; 3 - перекриваюча заслінка; 4 - регулювальний шибер; 5 - гнучка перемичка; 6 - каркас нової перемички; 7 - переносний датчик автоматичного контролю метану; 8 - демонтовані ділянку трубопроводу.

е) проводиться підтяжка від'єднаної частини трубопроводу, розташованої з боку тупика, по ходу руху лави;

ж) старший робочий відкриває регулювальний шибер для забезпечення всасу газовідсмоктувальної установки при закритій заслінці;

и) здійснюється стикування і герметизація переміщеної ділянки труби з основним трубопроводом;

і) відкривається заслонка і закривається на необхідну величину (3,5% CH_4 у трубопроводі) регулювальний шибер 3;

к) герметизується точка входу трубопроводу до нової перемички;

л) відстиковані раніше секції трубопроводу 8 транспортуються вентиляційним штреком до точки подальшого використання.

Після завершення виконання робіт за етапом 2 стан системи має бути приведено у відповідність до рис. 4.10.

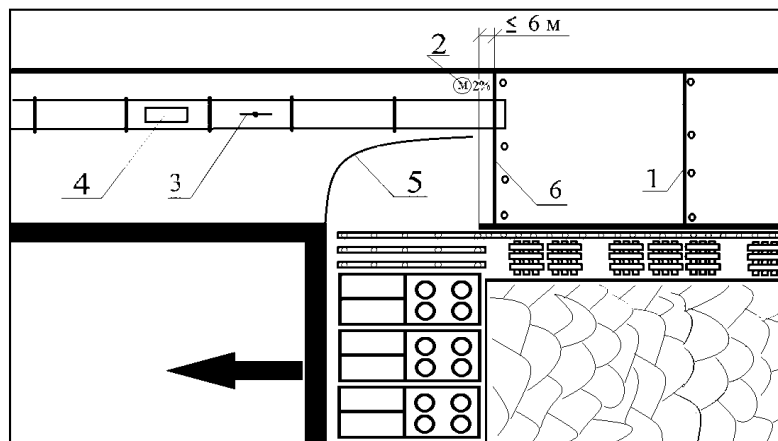


Рисунок 4.10 - Схема розташування трубопроводу, перемичок і іншого допоміжного устаткування у глухому куті після завершення робіт: 1 -газоіснуюча перемичка; 2 - датчик метану 2%; 3 - перекидаюча заслінка; 4 - регулювальний шибер; 5 - гнучка перемичка; 6 - встановлена нова перемичка.

Скорочення трубопроводу повинне проводитися у мінімальний відрізок часу при безперервному контролі за станом рудничної атмосфери у зоні ведення робіт. Необхідно встановити внесений елемент датчика ППІ стаціонарної автоматичної апаратури контролю вмісту метану у новому місці у існуючій перемички і опломбувати електрослюсарем групи АГК.

Повідомити гірничого диспетчера про закінчення виконання робіт зі скороченню тупика вентиляційного штреку. За вказівкою гірничого майстра електрослюсарем ділянки (або гірничим диспетчером) подається напруга на очисний вибій і струмоприймачі вентиляційного штреку.

ЕТАП 3: скорочення трубопроводу з використанням гофрованих секцій.

Технологія скорочення з використанням гофрованої секції (ділянки) трубопроводу дозволяє збільшити часовий інтервал між виконанням етапу 2 вдвічі - до 2 діб. Це досягається за рахунок застосування гофрованих секцій, виготовлених з вентиляційної труби (конструкцію показана на рис. 4.11). Гофрований вентиляційний трубопровід складається з металічних колеків діаметром 800 мм і

відрізку вентиляційної труби. Гофрована секція розташовується в штреку попереду лави на ділянці трубопроводу перед засувкою 4.

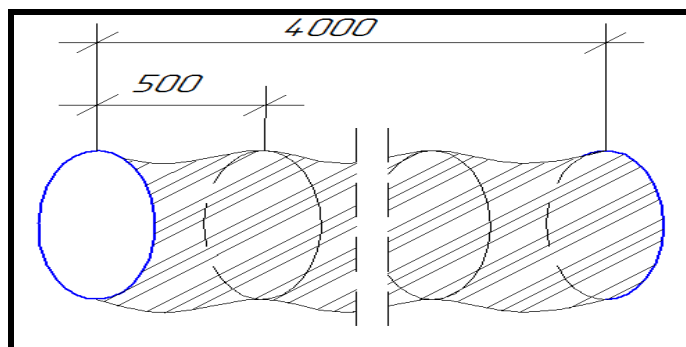


Рисунок 4.11 - Принципова конструкція секції гофрованого трубопроводу.

Після зведення нової перемички і виконання всіх робіт етапу 1, ділянка трубопроводу, розташована з боку виробленого простору, просто перетягується уздовж штреку без розстикування за рахунок того, що зім'яло гофри. Наступне скорочення виконується за звичайною, раніше описаної технології.

Заходи щодо зниження метановиділення з виробленого простору.

Для більш ефективної герметизації тупиків поряд з дощатими перемичками у штреках з інтервалом 15-40 м можуть зводиться чуракові перемички на піщано-глинистому розчині. Відстань між ними визначається головним інженером шахти на основі практичного досвіду.

Заходи безпеки при експлуатації газовідсмоктувальних установок.

Установка розрахована на безперервний режим роботи. Тимчасові відключення проводяться тільки за письмовим дозволом головного інженера шахти.

Профілактичні огляди та ремонти газовідсмоктувальних установок повинні здійснюватися за графіками не рідше двох разів на місяць у вихідні дні або неробочі зміни. При цьому оперативне керівництво роботами здійснює механік дільниці. Графік планових оглядів і ремонтів затверджується головним інженером шахти.

Роботи зі скорочення газопроводів ведуться згідно заходів, затверджених головним інженером шахти.

Електропостачання газовідсмоктувальної установки повинно здійснюватися виключно від джерел живлення, незалежних від електропостачання ділянки.

При будь-якій зупинці газовідсмоктувальної установки, електроенергію на дільниці, яку вона обслуговує (з лави і вентиляційного штреку), необхідно відключити. При цьому газовідводячий трубопровід повинен бути перекритий заслонкою, і відкриті вікно у трубопроводі для його провітрювання.

Камера газовідсмоктувального вентилятора повинна провітрюється свіжим струменем повітря. Концентрація метану у камері повинна контролюватися стаціонарним автоматичним приладом, що знімає напругу при концентрації метану 1%.

Газовідсмоктувальна установка повинна обслуговується спеціально навченим персоналом (машиністами), які пройшли інструктаж і такими, що відповідають за роботу установки протягом поточної зміни.

У камері газовідсмоктувального вентилятора і у вентиляційній виробці поблизу лави повинні бути встановлені телефони. У камері повинна знаходитися Книга обліку роботи газовідсмоктувальної установки, контроль за веденням якої покладається на механіка ділянки.

Машиніст газовідсмоктувальної установки зобов'язаний здійснювати щозмінний контроль вентилятора без його зупинки, трубопроводу (поблизу камери ВМЦГ) і змішувальної камери. Усі недоліки, порушення роботи, порушення цілісності трубопроводу, всмоктуючого патрубку або камери змішувача, заземлення обов'язково фіксуються. Крім того, про них повідомляється начальник виїмкової дільниці.

Контроль стану і обслуговування трубопроводу у вентиляційному штреку покладаються на гірничого майстра виїмкової дільниці.

Машиніст газовідсмоктувальної установки зобов'язаний щогодини здійснювати виміри вмісту метану у трубопроводі біля вентилятора.

Обов'язки щодо вимірювання вмісту метану у трубопроводі біля лави покладаються на гірничого майстра виїмкової дільниці, періодичність вимірювань - не рідше трьох разів на зміну.

До оснащення газовідсмоктувального трубопроводу ВМЦГ-7М датчиком безперервного автоматичного контролю концентрації метану забезпечення

контролю і управління концентрацією метану в ньому з періодичністю не більше години покладається на спеціально призначених відповідальних працівників виїмкової ділянки.

Вимірювання вмісту метану здійснюються переносними приладами епізодичної дії. Результати замірів гірничий майстер (спеціально призначений працівник) повідомляє телефоном машиністу газовідсмоктувальної установки, який заносить їх до «Книги обліку роботи газовідсмоктувальної установки».

Гірничий майстер виїмкової ділянки зобов'язаний забезпечити подачу повітря зі штреку до трубопроводу за допомогою регулюючого шиберу поблизу лави так, щоб концентрація метану у трубопроводі біля вентилятора не перевищувала 3%, а у трубопроводі біля лави - 3,5%.

Машиніст газовідсмоктувальної установки зобов'язаний її відключити в наступних випадках:

- а) при зупинці ВГП;
- б) за умови виникнення пожежі на ділянці.

При непрацюючому вентиляторі гірський майстер виїмкової ділянки зобов'язаний за допомогою заслінки перекрити трубопровід біля лави і відкрити регулюючий шибер для його провітрювання. Повторне включення вентилятора допускається тільки після зниження концентрації метану у камері ВМЦГ нижче 1% і у трубопроводі біля вентилятора до 3%.

Змінні ІТП ділянки зобов'язані не рідше 3 разів на зміну, а нагляд ВТБ - не рідше одного разу на добу, здійснювати контроль концентрації метану у трубопроводі на виході з камери змішувача біля вентилятора, а також біля сполучення лави.

Якщо концентрація метану на виході з камери змішувача досягне 2% і більше, необхідно розробити заходи щодо збільшення кількості повітря у камері.

Якщо у трубопроводі біля вікна лави перевищує вміст метану перевищить 3,5% або біля вентилятора - 3,0%, то повинні бути вжиті заходи для збільшення кількості повітря у трубопроводі.

У виробці, де розташовано камеру змішувача, на відстані 15-20 м від останньої за ходом вентиляційного струменю необхідно здійснювати контроль вмісту метану стаціонарними автоматичними приладами.

Стаціонарний датчик метану встановлюється у стінки виробки з боку розташування змішувальної камери. Він повинен забезпечувати телевимірювання і реєстрацію на самопишучому приладі, що знімає напругу з електроустаткування, як у камері вентилятора, так і на ділянці. Гранична концентрація метану становить 1%.

У разі раптової зупинки робочого вентилятора включення резервного здійснюється машиністом газовідсмоктувальної установки.

Роботи з ремонту газовідсмоктувального вентилятора і з приєднання трубопроводу до вентилятора дозволяється проводити тільки при знеструмленому електродвигуні і при повній зупинці ротора. При цьому пускова апаратура повинна бути виключена і заблокована, а також вивішена табличка "Не вмикати! Працюють люди!".

Ремонт електроапаратури у камері газовідсмоктувального вентилятора проводиться згідно письмового наряду, виданого електрослюсарю за підписом механіка ділянки.

Перед розкриттям електроапаратури електрослюсар виробляє вимір концентрації CH_4 і повідомляє диспетчеру про розтин електроапаратури та характер її ремонту (ревізії).

При концентрації метану понад 1% розкривати електроапаратуру забороняється. Після закінчення ремонту (ревізії) апаратури електрослюсар повідомляє про це гірничому диспетчеру телефоном.

Робота вентилятора без надійного заземлення не допускається. Усе електрообладнання, кабельна мережа, трубопроводи необхідно заземлювати відповідно до ПБ [110] і ПТЕ [113]. Трубопровід ізолюваного відводу метану повинен заземлюватися через кожні 100 м.

Забороняється зупиняти ротор вентилятора за допомогою сторонніх предметів або руками.

Ця інструкція є корпоративним стандартом, який регламентує безпечне ведення гірничих робіт на вугледобувних шахтах ДТЕК ЕНЕРГО. У ній описано важливий технічний аспект, спрямований на зниження ризиків за газовим чинником для лав, що відпрацьовують запаси із застосуванням стовпової системи розробки.

Пропонована схема технологічних процесів газоізоляції тупиків вентиляційних штреків апробована на практиці і показала хороші результати у плані безпеки і економічної ефективності. Вона обов'язкова до застосування на шахтах ДТЕК і може бути рекомендована для інших вугледобувних підприємств, що розробляють газonosні пласти.

4.5. Висновки по розділу

1. Викладено інноваційні підходи в організації роботи з охорони праці та промислення безпеки на вугледобувних підприємствах ТОВ «ДТЕК ЕНЕРГО». Інноваційними системами аерогазового контролю (включеними до УТАС та подібних витчизняних систем) передбачаються (або, в деяких випадках, повинні передбачатися) наступні функції: контроль концентрацій CH_4 , CO , H_2 , O_2 , важких вуглеводнів та інших газів; контроль швидкості повітря і температури; аварійна сигналізація на місці і у гірничого диспетчера про перевищення гранично допустимих значень контрольованих параметрів; автоматичне відключення електрообладнання; передача даних на сервер по магістральних каналів зв'язку; відображення на терміналах отриманої від датчиків інформації; зберігання, обробка, надання за запитом обробленої інформації у текстовому, табличному і графічному вигляді; видача сигналів диспетчеру і оператору АГК про стан робочого або резервного ВМП і швидкості повітря, що надходить в тупиковий забій по вентиляційному трубопроводу; місцева світлова сигналізація про стан робочого і резервного ВМП і режими провітрювання; контроль положення дверей в вентиляційних спорудах. Планується заміна існуючих головних світильників на світильники нового технічного рівня, оснащені аналізатором і сигналізатором концентрації метану, відеореєстратором, модулями позиціонування, системи

небезного зближення, моніторингу стану здоров'я шахтаря і передачі даних. Усі ці новації сприятимуть найшвидшому реагуванню на виникнення аварійної ситуації, сприятимуть найшвидшій її локалізації і ліквідації и, тим самим, зниженню аерологічного ризику шахти.

2. Розробляються системи автоматизованого контролю та управління роботою дегазації. Газодинамічні параметри шахт ДТЕК значно відрізняються, тому як газовідсмоктування, так і засоби дегазації на них різні, а значить, різними повинні бути і заходи щодо розрахунку та управління ними. Оскільки, як зазначалося багатьма дослідженнями, все більш нагальним становиться питання про спільне керування ШВС і ШДС, а всі шахти, крім одної, дво-, трьох- і чотирьохвентіляторними, що вимагає додаткових досліджень, імітаційного моделювання і проведення розрахунків за оцінкою, аналізу та оптимізації їх спільної роботи. Робота з комплексування робіт ШВС і ШДС ускладнюється, і для її ефективного проведення продовжено роботу над створенням пробного СОУ «Положення про ділянку дегазації вугільної шахти» з урахуванням можливостей, особливостей створення її на окремих шахтах ДТЕК і його впровадженням.

3. Розроблено технологію поетапної газоізоляції тупиків вентиляційних штреків при возвратноточном провітрюванні лав. Технологія поетапної газоізоляції тупиків реалізується в два основних етапи: етап 1: зведення нової перемички; етап 2: роботи по скороченню трубопроводу. Роботи зі зведення нових перемичок виконуються без відключення газовідсмоктувальних вентиляційних установок з відкритою заслінкою і закритим шибером. . Технологія скорочення з використанням гофрованої секції (ділянки) трубопроводу дозволяє збільшити часовий інтервал між виконанням етапу 2 в 2 рази - до 2 діб. Це досягається за рахунок застосування гофрованих секцій, виготовлених з вентиляційної труби

4. Розроблено інструкцію - корпоративний стандарт, який регламентує безпечне ведення гірничих робіт на вугледобувних шахтах ДТЕК ЕНЕРГО (Додаток А). У ній описано важливий технічний аспект, спрямований на зниження ризиків за газовим фактором, для лав, що відпрацьовують запаси із застосуванням стовпової системи розробки. Пропонована схема технологічних процесів газоізоляції тупиків

вентиляційних штреків апробована на практиці і показала хороші результати в плані безпеки і економічної ефективності. Вона обов'язкова до застосування на шахтах ДТЕК і може бути рекомендована для інших вугледобувних підприємств, що розробляють газonosні пласти.

Основні результати, одержані в даному розділі, відображено у наступних роботах автора [114, 115].

4.6. Список використаних джерел за розділом 4

100. Бунько Т.В., Шишов М.В., Мирошніченко В.В., Кокоулин І.Е. Состояние проветривания и противоаварийной защиты шахт и перспективы их совершенствования // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. трудов / ИГТМ НАН Украины. Днепр, 2017. С. 47-58.

101. Бунько Т.В., Ефремов І.А., Кокоулин І.Е. Опыт внедрения компьютерной технологии организации проветривания на угольных шахтах Украины // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук праць. Дніпропетровськ, 2003. Вып. 41. С. 228-234.

102. Полтавец В.И., Булат А.Ф., Бунько Т.В. [и др.] Использование компьютерных технологий при проектировании вентиляции угольных шахт. Луганск-Днепропетровск, 2003. 343 с.

103. Кравченко М.В., Кравченко Н.М. Опыт внедрения программного комплекса «Вентиляция шахт» // Уголь Украины. 2003. № 2. С. 26-28.

104. ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT) Системи управління якістю.

105. ДСТУ OHSAS 18001:2010 Системи управління гігієною та безпекою праці. Вимоги.

106. ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems Requirements with guidance for use.

107. ДСТУ ISO 31000:2018 (ISO 31000:2018, IDT) Менеджмент ризиків. Принципи та настанови.

108. Положение об участке вентиляции и техники безопасности (ВТБ) шахты. – Макеевка-Донбасс, 1993. – 23 с.

109. Типовое положение об участке профилактических работ по технике безопасности шахты: Приложение 10 к приказу Министра угольной промышленности СССР от 13.12.85 г. № 465. – Киев: 1985. – 18 с.

110. НПАОП 10.0-1.01-10 Правила безпеки у вугільних шахтах: затв. Наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду 22.03.2010 № 62.- Київ: 2010-2154 (Нормативний документ Мінвуглепрому України)

111. Проветривание и газовый режим шахты им. А.Ф. Засядько: состояние и пути совершенствования / Е.Л. Звягильский, А.Ф. Булат, И.А. Ефремов [и др.]. – Донецк-Днепропетровск, 2003. – 228 с.

112. Совершенствование вентиляции и дегазации угольных шахт / А.Ф. Булат, Е.Ф. Звягильский, Б.В. Бокий [и др.]. – Днепропетровск, 2005. – 216 с.

113. СОУ 10.1-00185790-002-2005. Правила технічної експлуатації вугільних шахт. Київ: Мінвуглепром України, 2006. 354с.

114. К вопросу создания и функционирования участка дегазации угольной шахты. Т.В. Бунько, В.В. Мирошниченко, Л.А. Новиков, И.Е. Кокоулин. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2017. Вип. 132. С. 202-210.

115. Мирошниченко В.В. Инновационные подходы в организации работы по охране труда и промышленной безопасности на предприятиях ООО «ДТЭК ЭНЕРГО». Геотехнічна механіка. Дніпро. 2019. Вип. 149. С. 89-99. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2019.149.089>.

ВИСНОВКИ

У дисертації, що є завершеною науково-дослідною роботою, надане нове рішення актуального наукового завдання, яке полягає у розробці методу визначення зон загазування ШВМ вугільних шахт при повороті екзогенної пожежі та встановленні закономірності зміни концентрації газоподібних продуктів в першій виробі контуру, в яку безпосередньо надходять газоподібні продукти від вогнища пожежі; розробці методу визначення ризику раптового викиду вугілля, породи і газу, з урахуванням гірничо-геологічних, гірничотехнічних та людського чинників та встановленні залежностей зміни ризику від коефіцієнту усунення порушень, який характеризує вплив людського чинника; обґрунтуванні критерію адекватності інформаційно-вимірювальних смарт-технологій моніторингу складних аерогазодинамічних мереж - максимальної нев'язки витрат повітря у вузлах модельованої мережі, розробці на цій базі технології поетапної газоізоляції тупиків вентиляційних штреків при зворотньооточному провітрюванні лав та інструкції-корпоративного стандарту, який регламентує безпечне ведення гірничих робіт на вугледобувних шахтах ДТЕК ЕНЕРГО, що має для підвищення рівня безпеки та зниження аварійності у вугільній галузі.

Найбільш важливі наукові та прикладні результати, висновки і рекомендації полягають у наступному:

1. Аналіз стану питання підвищення безпеки, моніторингу та контролю аерогазодинамічного параметрів вентиляційних систем вугільних шахт показав що, підвищення рівня безпеки праці на вугільних шахтах вигідно як економічно (вжиття заходів безпеки сприятиме підвищенню економічної та енергоефективності гірничого виробництва, в тому числі і зниження супутніх техногенних аварій економічних втрат), так і в соціальному плані (зниження виробничого травматизму і поліпшення умов праці гірників). Тим самим буде підвищено якісний рівень, так і кількісний показники ефективності вугільної промисловості України, що забезпечить її енергетичну незалежність.. Важливим є вдосконалення методів оцінки і використання матеріалів повітряно-депресійних зйомок, визначення зон

загазування ШВС при повороті екзогенної пожежі, встановити закономірності зміни концентрації газоподібних продуктів в виробці; дослідження чинники, які утворюють аерологічний ризик у вугільних шахтах, розробити метод оцінки такого ризику та розробка інформаційно-вимірювальних смарт-технологій моніторингу складних аерогазодинамічних мереж вугільних шахт.

2. Вперше розроблено метод визначення зон загазування ШВС вугільних шахт при повороті екзогенної пожежі та встановлено закономірності зміни концентрація газоподібних продуктів в першій виробці контуру, в яку безпосередньо надходять газоподібні продукти від вогнища пожежі, від концентрації газоподібних продуктів та витрат повітря у виробці, що подає газоподібні продукти від вогнища пожежі в першу виробку контуру рециркуляції, та сумарних витрат повітря всіх виробок зони загазування. Встановлено, що концентрація газоподібних продуктів в першій виробці контуру, в яку безпосередньо надходять газоподібні продукти від вогнища пожежі при її повороті, визначається співвідношенням добутку концентрації газоподібних продуктів та витрат повітря у виробці, що подає газоподібні продукти від вогнища пожежі в першу виробку контуру рециркуляції, до сумарних витрат повітря всіх виробок зони загазування, так при концентрації газоподібних продуктів 5 г/м^3 та витратах повітря у виробці, що подає газоподібні продукти, $15 \text{ м}^3/\text{с}$ та сумарних витратах повітря $25 \text{ м}^3/\text{с}$ концентрація газоподібних продуктів в першій виробці контуру досягає значення $3,57 \text{ г/м}^3$.

3. Вперше розроблено метод визначення ризику раптового викиду вугілля, породи і газу, з урахуванням гірничо-геологічних, гірничотехнічних та людського чинників та встановлено залежності зміни ризику від коефіцієнту усунення порушень, який характеризує вплив людського чинника. Ризик раптового викиду вугілля, породи і газу, який враховує гірничо-геологічні, гірничотехнічні та людський чинник, обчислюється в залежності від попадання середньозваженого балу, що характеризує небезпеку аварії, у межі одного з діапазонів визначених балів, а вага чинника визначається відношенням рангу чинника до суми рангів всіх чинників у блоці, при цьому людський чинник характеризується коефіцієнтом усунення порушень, який визначається відношенням кількості усунених у строк

порушень до кількості виявлених порушень, так при зміні коефіцієнта усунення порушень з 0,81-1 до 0,3 індекс небезпеки викиду зростає від 0 до 1.

4. Вперше обґрунтовано критерій адекватності інформаційно-вимірювальних смарт-технологій моніторингу складних аєрогазодинамічних мереж - максимальна нев'язка витрат повітря у вузлах модельованої мережі та вирішено задачу структурної ідентифікації аєродинамічних параметрів ШВМ в умовах неповної та недостатньо достовірної інформації. Критерієм адекватності інформаційно-вимірювальних смарт-технологій моніторингу складних аєрогазодинамічних мереж є максимальна нев'язка витрат повітря у вузлах модельованої мережі, а задача структурної ідентифікації полягає у тому, щоб максимальне відхилення в будь-якому з вузлів реальної і модельованої мереж не перевищувало значення критерію адекватності, пов'язаного з вимірюваннями витрат повітря за умови $\min \{dim G_m\}$ - мінімізації критеріїв розмірності та перетворення мережі, заданої моделюючим графом $G_m(X_m, U_m)$, з відповідною множиною гілок X_m та вузлів U_m ШВМ.

5. Розроблено інформаційне забезпечення структурно-параметричної реконфігурації системи «вентилятор головного провітрювання – шахтна вентиляційна мережа – вироблений простір». До складу початкової інформації входить: глибина обладнаних підйомом кліті шахтних стовбурів, швидкість руху судів, їхні геометричні розміри і параметри аєродинамічного удару і т.д.

6. Розроблена технологія поетапної газоізоляції тупиків вентиляційних штреків при зворотньооточному провітрюванні лав, яка складеться зі зведення нової перемички та робіт по скороченню трубопроводу.

7. Розроблено та впроваджено інструкцію - корпоративний стандарт, який регламентує безпечне ведення гірничих робіт на вугледобувних шахтах ДТЕК ЕНЕРГО. У ній описано важливий технічний аспект, спрямований на зниження ризиків за газовим фактором, для лав, що відпрацьовують запаси із застосуванням стовпової системи розробки. Пропонована схема технологічних процесів газоізоляції тупиків вентиляційних штреків апробована на практиці і показала хороші результати в плані безпеки і економічної ефективності. Вона обов'язкова до застосування на шахтах ДТЕК і може бути рекомендована для інших вугледобувних

підприємств, що розробляють газonosні пласти (затверджено та введено в дію рішення технічної ради дирекції з видобутку вугілля ТОВ «ДТЕК ЕНЕРГО» (протокол від 16.09.2021 р. № 33) та рішенням вченої ради ІГТМ НАН України (протокол від 14.09.2021 р. № 11)).

Додаток А.

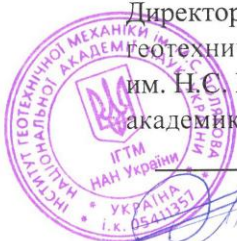
Копії титульних листів методичних документів

**ИНСТИТУТ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ им. Н.С. Полякова
НАН УКРАИНЫ**

ООО «ДТЭК ЭНЕРГО»

УТВЕРЖДАЮ:

Директор Института
геотехнической механики
им. Н.С. Полякова НАН Украины,
академик НАН Украины



А.Ф. БУЛАТ

УТВЕРЖДАЮ:

Директор по добыче угля
ООО «ДТЭК Энерго»



М.В. БАРАБАШ

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЭТАПНОГО СОКРАЩЕНИЯ ТРУБОПРОВОДА
ИЗОЛИРОВАННОГО ОТВОДА МЕТАНА ИЗ ТУПИКОВ
ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ШТРЕКОВ ПРИ ВОЗВРАТНОТОЧНОМ
ПРОВЕТРИВАНИИ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ**

(стандарт ДТЭК ЭНЕРГО)

Киев – Днепр – 2021

ПРЕДИСЛОВИЕ

РАЗРАБОТАНО: Институт геотехнической механики НАН Украины им. Н.С. Полякова, ООО «ДТЭК ЭНЕРГО»

РАЗРАБОТЧИКИ:

От ИГТМ НАН Украины:

Круковский А.П., Кочерга В.В.

От ООО «ДТЭК Энерго»:

Барабаш М.В., Шишов М.В., Мирошниченко В.В., Белый В.А., Коростелев Ю.В., Пилюгин В.И.

2 УТВЕРЖДЕНО И ВВЕДЕНО В ДЕЙСТВИЕ:

- решением технического совета дирекции по добыче угля ООО «ДТЭК Энерго», протокол № 33 от « 16 » 09 2021 г.;
- решением Ученого Совета ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины, протокол № 11 от « 14 » 09 2021 г.

3 В ДОПОЛНЕНИЕ к «Правилам безпеки у вугільних шахтах», «Руководству по проектированию вентиляции угольных шахт» (ДНАОТ 1.1.30 – 6.09.93), «Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации» (СОУ 10.1.00174088.001 – 2004).

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
1 Введение.....	4
2 Терминология.....	5
3 Исходные положения.....	7
4 Технология поэтапной газоизоляции тупиков.....	9
4.2 Возведение перемычек.....	9
4.3 Этап 1. Сокращение трубопровода.....	11
4.4 Этап 2: сокращение трубопровода с использованием гофрированных секций.....	13
4.5 Меры по снижению метановыделения из выработанного пространства.....	14
5 Меры безопасности при ведении работ.....	15
6 Заключение.....	18

Додаток Б.

Копії документів про впровадження результатів дисертації.



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«ДТЭК ЭНЕРГО»

РАСПОРЯЖЕНИЕ

02 01 2019 г.

г. Киев

№ 01/02 - Р

«О начале проекта "Цифровые проекты безопасности"»

С целью эффективной реализации проекта в рамках Программы комплексной цифровизации ДТЭК Modus и для максимизации бизнес-результатов от проекта «Цифровые проекты безопасности»:

РАСПОРЯЖАЮСЬ:

1. Датой начала проекта считать 01 января 2020 года.
2. Назначить Руководителем проекта "Цифровые проекты безопасности" начальника отдела по вентиляции и дегазации Департамента по техническому развитию Дирекции по добыче угля – Мирошниченко Вадима Владимировича.
3. Сформировать Рабочую группу проекта в следующем составе:
 - Хавренков Р. В. – директор ПСП «ШАХТОУПРАВЛЕНИЕ ПЕРШОТРАВЕНСКОЕ» ЧАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ», занятость в проекте 1 день в неделю;
 - Мирошниченко В. В. - начальник отдела по вентиляции и дегазации Департамента по техническому развитию Дирекции по добыче угля, занятость в проекте 1 день в неделю;
 - Сидоренко И. Ю., начальник отдела по взаимодействию с предприятиями угледобычи и обогащения ООО «ДТЭК Сервис», занятость в проекте 0,5 дней в неделю (по согласованию);
 - Нестеров П. А., менеджер департамента по энергомеханическому обеспечению ООО «ДТЭК ЭНЕРГО», занятость в проекте 1 день в неделю;
 - Усманов Ю. Я. - начальник отдела по цифровой IT-инфраструктуре и передовых технологий ООО «ДТЭК Сервис», занятость в проекте 0,5 дней в неделю (по согласованию);
 - Одич Д. Ю. – архитектор цифровой IT-инфраструктуры отдела по цифровой IT-инфраструктуре и передовых технологий ООО «ДТЭК Сервис», занятость в проекте 0,5 дней в неделю (по согласованию);



- Мигаль А. О. менеджер отдела по информационной безопасности ООО «ДТЭК», занятость в проекте 0,5 дня в неделю;
- Прихорчук А. И. – главный инженер шахты Юбилейная ПСП «ШАХТОУПРАВЛЕНИЕ ПЕРШОТРАВЕНСКОЕ» ЧАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ», занятость в проекте 0,5 дней в неделю;
- Билоусов О. Ю. - главный инженер ПСП «ШАХТОУПРАВЛЕНИЕ ПЕРШОТРАВЕНСКОЕ» ЧАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ», занятость в проекте 0,5 дней в неделю;
- Король А. А., главный механик шахты ПСП «ШАХТОУПРАВЛЕНИЕ ПЕРШОТРАВЕНСКОЕ» ЧАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ», занятость в проекте 1 день в неделю;
- Мироненко Б. С. – начальник участка ВТБ-2 ПСП «ШАХТОУПРАВЛЕНИЕ ПЕРШОТРАВЕНСКОЕ» ЧАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ», занятость в проекте 2 день в неделю;
- Кислицын Д. В. – заместитель начальника УВТБ-2 ПСП «ШАХТОУПРАВЛЕНИЕ ПЕРШОТРАВЕНСКОЕ» ЧАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ», полная занятость в проекте;
- Гладких П. В. – механик УВТБ-2 ПСП «ШАХТОУПРАВЛЕНИЕ ПЕРШОТРАВЕНСКОЕ» ЧАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ», занятость в проекте 3 дня в неделю;
- Головкин С. В. - главный специалист службы по охране труда ЧАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ», занятость в проекте 0,5 дней в неделю.

4. Ключевые роли и задачи участников рабочей группы:

- Анализ гипотез по созданию цифровой системы безопасности на ш. Юбилейная и выбор оптимальных технических решений.
- Подготовка и проработка ТЗ на проектирование цифровой системы безопасности.
- Выбор подрядчика на проектирование цифровой системы безопасности.
- Предоставление данных для разработки проекта и рабочей документации с прохождением экспертизы на соответствие требованиям безопасности.
- Реализация этапа «Релиз» (создание и тестирование цифровой системы безопасности с использованием сети передачи данных WiFi и смарт-лампы).
- На основании тестирования – корректировка проекта при необходимости.
- Реализовать проект «Цифровые проекты безопасности» на ш. Юбилейная.

5. Контроль за исполнением Распоряжения возложить на архитектора цифрового видения от дирекции по добыче угля – Шишова М. В.;

Директор по добыче угля



М.В. Барабаш

Исп. Мирошникенко В. В.
MiroshnichenkoVV@dttek.com
050-348-91-29

www.dtek.com



УТВЕРЖДАЮ:
ДИРЕКТОР
ПСП «ШУ ПЕРШОТРАВЕНСКОЕ»
ЧАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ»

Р.В. Хавренко

« 22 » Октября 2020г.

А К Т

приемки системы «Позиционирования персонала ш. «Юбилейная» ПСП «ШАХТОУПРАВЛЕНИЕ ПЕРШОТРАВЕНСКОЕ» ЧАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ», в эксплуатацию.

Комиссия, назначенная приказом директора ПСП «ШАХТОУПРАВЛЕНИЕ ПЕРШОТРАВЕНСКОЕ» ЧАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ» ООО «ДТЭК Энерго» № 8158 от 14.12.2020г. в составе:

Председатель комиссии:

Белоусов О.Ю. - главный инженер ШУ;

Члены комиссии:

Мирошниченко В.В. - руководитель проекта «Цифровых Проектов Безопасности» программ цифровизации «MODUS» (по согласованию)

Одич Д.Ю. - Архитектор цифровой IT- инфраструктуры ЭЦЦТ (по согласованию)

Сидоренко И. Ю. - Менеджер портфеля проектов ЭЦЦТ(по согласованию)

Поздняков В. Ф. - заместитель директора по ОТ;

Головки О. В. - главный механик;

Король А. А. - главный механик шахты;

Лашенков Ю.В. - главный энергетик шахты;

Заиченко В.Ю. - главный технолог ШУ;

Мироненко Б. С. - начальник участка УВТБ-2;

Гладких П. В. - механик участка УВТБ-2;

Кислицын Д. В. - заместитель начальника УВТБ-2;

Ревакин К. В. - Коммерческий директор ООО «ИНПРОМТЕХ»;

Биливитин В.А.	- Начальник участка ООО «ИНПРОМТЕХ»;
Кармазин В. Н.	- Начальник отдела горнотехнического надзора в угольной промышленности в г. Павлограде управления горного надзора, надзора промышленности и на объектах повышенной опасности главного управления Гоструда Днепропетровской области (по согласованию);
Степаненко Т.С.	- Главный государственный инспектор отдела горнотехнического надзора в угольной промышленности в г. Павлограде управления горного надзора, надзора промышленности и на объектах повышенной опасности главного управления Гоструда Днепропетровской области (по согласованию)
Игнашов И.А.	- Командир 8ВГСО (по согласованию);
Яворский В.Н.	- технический инспектор труда и ТБ Днепропетровской территориальной организации ПРУП (по согласованию);
Дьяконов С.Е.	- технический инспектор труда ОО НПГ (по согласованию);
Кудина И.В.	- заведующий сектора профилактики страховых случаев Першотравенского городского отделения УИДФСС Украины в Днепропетровской области (по согласованию).

проверила документацию системы «Позиционирование персонала ш. «Юбилейная», и предъявленное оборудование радиомаячки RTLS Beacon и ГОЛОВНОГО СВЕТИЛЬНИКА-СМАРТ-ЛАМПЫ IPX-SL.

В ходе проверки установлено:

1. Построение подсистемы осуществлялось подрядчиком ООО «Инпромтех» г. Киев, ул. Антоновича, 172/1118 код ЕГРПОУ 34665669, который выполнил работы по построению «Позиционирование персонала ш. «Юбилейная» (Система) на шахте «Юбилейная» ПСП «ШАХТО-УПРАВЛЕНИЕ «ПЕРШОТРАВЕНСКОЕ» ЧАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ».
2. Монтаж подсистемы выполнен на основании и в соответствии с договором № 102-ЭЦЦТ от «21» сентября 2020 г.
3. Проект «Позиционирование персонала ш. «Юбилейная» разработан ООО «Инпромтех» согласно договора № 102-ЭЦЦТ от «21» сентября 2020 г.
4. Строительно-монтажные работы осуществлены в сроки:
начало работ: 16.11.2020 года окончание работ: 18.12.2020 года
5. Технологическая документация представлена в полном объеме и соответствует требованиям нормативно-правовых актов по охране труда, ПБ и ПТЭ. Комиссии представлена такая документация:
Рабочий проект «Проект подсистемы позиционирования персонала ш. Юбилейная», состоящий из:

Том 1 - Общесистемные решения
Том 2 - Техническое обеспечение, Рабочие чертежи.
Том 3 - Программное обеспечение

Экспертное заключение №23182908.-05.-18.-1670.20 на соответствие проектной документации требованиям нормативно-правовых актов по охране труда и промышленной безопасности.

6. Основным назначением системы является:

- контроль местоположения персонала;
- динамический контроль параметров рудничной атмосферы с помощью встроенных в смартлампу сенсоров;
- оповещение персонала, в том числе аварийное.

7. Система «Позиционирование персонала ш. «Юбилейная» построена согласно государственным строительным нормам, стандартам, правилам все работы, предусмотренные документацией на строительство. Мероприятия по охране труда, обеспечению взрывобезопасности, пожаробезопасности, охране окружающей природной среды и антисейсмические мероприятия, предусмотренные проектом на строительство, проведены в полном объеме.

8. Предъявленное к приемке оборудование:

- ГОЛОВНОГО СВЕТИЛЬНИКА-СМАРТЛАМПЫ IPX-SL – 1580шт.
- Радиомаячки RTLS Beacon – 1750 шт.

6. Выборочная проверка знаний работников шахты по ПЛА, запасными выходам и технологии выполнения работ показала удовлетворительные знания.

Решение комиссии:

1. Система «Позиционирования персонала на шахте «Юбилейная» выполнена согласно проекта и отвечает требованиям ПБ с оценкой их качества:

- | | |
|------------------------|----------------|
| – по работе сети | <u>ОТЛИЧНО</u> |
| – по монтажным работам | <u>ОТЛИЧНО</u> |

Система «Позиционирования персонала на шахте «Юбилейная» для контроля местоположения персонала, динамический контроль параметров рудничной атмосферы с помощью встроенных в смартлампу сенсоров, оповещение персонала, в том числе аварийное находится в работоспособ-

ном состоянии и соответствует нормативным документам, санитарным, противопожарным, радиационным и экологическим требованиям и нормам, а также требованиям по охране труда, промышленной безопасности, энергосбережению, и готова к эксплуатации.

ПРИНЯТЬ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ.

Датой ввода Системы «Позиционирование персонала ш. «Юбилейная» в эксплуатацию считать 22.12.2020 г.

Председатель комиссии:

Члены комиссии:

 В.В. Мирошниченко

 Д.Ю. Одич

 И. Ю. Сидоренко

 В. Ф. Поздняков

 В. Н. Кармазин

 И.А. Игнашов

 Т.С. Степаненко

 О.Ю. Белоусов

 В.Н. Яворский

 С.Е. Дьяконов

 И.В. Кудина

 О.В. Головки

 А. А. Король

 Ю.В. Лашенов

 В.Ю. Заиченко

 Б.С. Мироненко

 Д. В. Кислицын

 П.В. Гладких

 К.В. Ревякин

 В.А. Биливитин

УТВЕРЖДАЮ:
ДИРЕКТОР
ПСП «ШУ ПЕРШОТРАВЕНСКОЕ»
ЧАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ»

Р.В. Хавренков

« » 2020г.

А К Т

приемки системы «Беспроводная сеть промышленного Wi-Fi», для обеспечения обмена данными между датчиками, средствами автоматизации, контроллерами, серверным и другим телекоммуникационным оборудованием внутри корпоративной сети на шахте «Юбилейная» ПСП «Шахтоуправление «Першотравенское», в эксплуатацию.

Комиссия, назначенная приказом директора ПСП «ШАХТОУПРАВЛЕНИЕ ПЕРШОТРАВЕНСКОЕ» ЧАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ» ООО «ДТЭК Энерго» № 2098 от 30.03.2020г. в составе:

Председатель комиссии:

Белоусов О.Ю. - главный инженер ШУ;

Члены комиссии:

Мирошниченко В.В. – Начальник отдела вентиляции и дегазации ООО «ДТЕК ЭНЕРГО» (по согласованию)
Одич Д.Ю. – Архитектор цифровой IT- инфраструктуры ООО «ДТЕК Сервис» (по согласованию)
Сидоренко И. Ю. – Менеджер портфеля проектов ЭЦПТ ООО «ДТЭК Сервис» (по согласованию)
Ишин И.П. - и. о. заместителя директора по ОТ;
Король А. А. - главный механик шахты;
Лашенов Ю.В. - главный энергетик шахты;
Заиченко В.Ю. - главный технолог ШУ;
Мироненко Б. С. - начальник участка УВТБ-2;
Гладких П. В. - механик участка УВТБ-2;
Кислицын Д. В. - заместитель начальника УВТБ-2;
Ревякин К. В. - Коммерческий директор ООО «ИНПРОМТЕХ»;
Жмакин Е. А. - Главный инженер ООО «ИНПРОМТЕХ»;
Кирдань А.Ю. - зам. командира по ППР 8ВГСО (по согласованию);

Яворский В.Н.	- технический инспектор труда и ТБ Днепропетровской территориальной организации ПРУП (по согласованию);
Кудина И.В.	- заведующий сектора профилактики страховых случаев Першотравенского городского отделения УИДФСС Украины в Днепропетровской области (по согласованию).

проверила документацию система «Беспроводная сеть промышленного Wi-Fi», состояние горных выработок, установленное в них оборудование.

В ходе проверки установлено:

1. Строительство осуществлялось генеральным подрядчиком ООО «Инпромтех» г. Киев, ул. Антоновича, 172/1118 код ЄГРПОУ 34665669, который выполнил работы по построению «Беспроводной сети промышленного Wi-Fi для обеспечения передачи данных по протоколу IP в подземной наземной части угледобывающей шахты, для обеспечения обмена данными между датчиками, средствами автоматизации, контроллерами, серверным и другим телекоммуникационным оборудованием внутри корпоративной сети (Система) на шахте «Юбилейная» ПСП «Шахтоуправление «Першотравенское» ЧАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ».
2. Технологическая документация представлена в полном объеме и соответствует требованиям нормативно-правовых актов по охране труда, ПБ и ПТЭ. Комиссии представлена такая документация:
 Рабочий проект «Проект беспроводной сети промышленного Wi-Fi», состоящий из:
 Том 1 - Общесистемные решения
 Том 2 - Техническое обеспечение, Рабочие чертежи. Структурная схема. Схема электроснабжения. Спецификация оборудования изделий и материалов. План прокладки оптического кабеля. План расположения оборудования. Таблица соединений и подключений. Схема соединений и подключений.
 Том 3 - Программное обеспечение
 Том 4 - Программа и методика испытаний.
 Экспертное заключение №23182908.-05.-18.-2182.19 на соответствие проектной документации требованиям нормативно-правовых актов по охране труда и промышленной безопасности.
3. Предъявленная к приемке в эксплуатацию Система характеризуется такими данными:
 - Основным назначением Системы является обеспечение качественным бесперебойным беспроводным доступом к локальной сети стационарных и мобильных устройств, используемых в технологических процессах на шахте Юбилейная;
 - Цифровых проектов безопасности (передача данных с датчиков систем безопасности, выявления и позиционирования персонала и шахтного транспорта, аварийного оповещения, отключения электроэнергии и механизмов при превышении пороговых значений датчиков);
 - Цифровых обходов и ремонтов (считывания и обмен данными с персональными

устройств);

- Цифровой диспетчеризации (получение и передача данных о работе горно-шахтного оборудования и стационарных механизмов в диспетчерские);
- Симуляционных моделей планирования (построение динамической возобновляемой 3D модели горных выработок с постоянным мониторингом геоданных);
- Использование аудио / видео связи и систем видеонаблюдения и аудио с сервера диспетчерских голосовых сообщений.

4. Система построена согласно государственным строительным нормам, стандартам, правилам все ра боты, предусмотренные документацией на строительство. Мероприятия по охране труда, обеспечению взрывобезопасности, пожаробезопасности, охране окружающей природной среды и антисейсмические мероприятия, предусмотренные проектом на строительство, проведены в полном объеме.

5. Предъявленное к приемке оборудование:

- Станции связи Ethertex V2.01 – 117 шт. в шахте + 1 пов.
- Точки доступа EtherTex AP – 276 в шахте + 2 пов. шт.
- Блок питания искробезопасные БП- А20-127-12 – 66 шт.
- Блок питания искробезопасные БП- А20-660-12– 81 шт.
- Блок питания искробезопасные БП- А20-1140-12– 4 шт.
- Тройниковые муфты ТМ-60 – 49 шт.
- Коробки зажимов КЗРВ-2– 63 шт.
- Коробки зажимов КЗРВ-ВЭЛ– 29 шт.
-

6. Выборочная проверка знаний работников участка по ПЛА, запасными выходам и технологии выполнения работ показала удовлетворительные знания.

Решение комиссии:

1. Система «Беспроводная сеть промышленного Wi-Fi» выполнена согласно проекта и отвечает требованиям ПБ с оценкой их качества:

– по работе сети

отлично

– по монтажным работам

отлично

Система «Беспроводная сеть промышленного Wi-Fi» для обеспечения передачи данных по протоколу IP в подземной наземной части угледобывающей шахты, для обеспечения обмена данными между датчиками, средствами автоматизации, контроллерами, серверным и другим телекоммуникационным оборудованием внутри корпоративной сети находится в работоспособном состоянии

и соответствует нормативным документам, санитарным, противопожарным, радиационным и экологическим требованиям и нормам, а также требованиям по охране труда, промышленной безопасности, энергосбережению, и готова к эксплуатации.

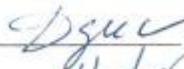
ПРИНЯТЬ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ.

Датой ввода Системы в эксплуатацию считать 06.04.2020 г.

Председатель комиссии:

Члены комиссии:

 В.В. Мирошниченко

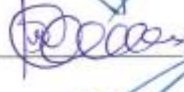
 Д.Ю. Одич

 И. Ю. Сидоренко

 И. П. Ишин

 А. А. Король

 Ю.В. Лашенов

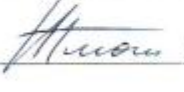
 В.Ю. Заиченко

 Б.С. Мironenko

 Д. В. Кислицын

 П.В. Гладких

 В.И. Ревякин

 Е.А. Жмакин

 О.Ю. Белоусов

 В.Н. Яворский

 А.Ю. Кирдань

 И.В. Кудина



ТОВ «СЕРТИС-ЦЕНТР»

ОРГАН З ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ ПРОДУКЦІЇ

09113, Україна, Київська область, м. Біла Церква, вул. Фастівська 23
Тел.: +38 (0456) 381-700, E-mail: info@sertis.com.ua, Web: www.sertis.com.ua



101795
DСТU EN ISO/IEC 17065

(1) СЕРТИФІКАТ ЕКСПЕРТИЗИ ТИПУ

(2) Технічний регламент обладнання та захисних систем, призначених для використання в потенційно вибухонебезпечних середовищах (постанова КМУ від 28 грудня 2016 р. № 1055)

(3) Номер сертифіката: СЦ 20.0592

Номер видання: 0

(4) Обладнання: Головний світильник-смартлампа IPX-SL

(5) Заявник: ТОВ «ІНЖИНІРІНГ ПРОМИСЛОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ», Україна, 03150,
м. Київ, вул. Антоновича 172, оф. 1118
код ЄДРПОУ 34665669

(6) Виробник: ТОВ «ІНЖИНІРІНГ ПРОМИСЛОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ», Україна, 03150,
м. Київ, вул. Антоновича 172, оф. 1118
код ЄДРПОУ 34665669

(7) Опис обладнання та його припустимих варіацій, а також документація, на яку даються посилання, наведені у додатку до сертифіката

(8) ТОВ «СЕРТИС-ЦЕНТР», орган з оцінки відповідності за реєстраційним номером UA.TR.115, призначений виконувати роботи з оцінки відповідності продукції вимогам Технічного регламенту, затвердженого постановою КМУ від 28 грудня 2016 р. № 1055, посвідчує, що була встановлена відповідність вказаного обладнання суттєвим вимогам стосовно захисту здоров'я та безпеки відносно технічного проекту та конструкції обладнання, призначеного для використання в потенційно вибухонебезпечних середовищах, які наведені в Технічному регламенті.
Результати досліджень та випробувань наведені в протоколі оцінки № 663/OB-20 від 12.11.2020 р.

(9) Відповідність обладнання суттєвим вимогам стосовно захисту здоров'я та безпеки була забезпечена виконанням вимог наступних стандартів:

ДСТУ EN 60079-0:2017 (зі зміною 11:2017), ДСТУ EN 60079-1:2017,
ДСТУ EN 60079-11:2017, ДСТУ EN 60079-18:2017, ДСТУ EN 60079-35-1:2017

(10) Якщо в кінці номера сертифіката присутній знак «Х», то це посвідчує, що до обладнання застосовуються особливі умови використання, які наведені у додатку до цього сертифіката.

(11) Цей сертифікат виданий внаслідок проведення оцінки відповідності за Модулем В (експертиза типу) згідно з Технічним регламентом та стосується лише технічного проекту та конструкції зазначеного обладнання згідно з узгодженою технічною документацією. Введення в обіг зазначеного обладнання згідно з Технічним регламентом можливо лише за умови застосування додаткових модулів оцінки відповідності.

(12) Маркування обладнання повинно містити наступне:

Ex I M I Ex da ia ma I Ma
ДСТУ EN60079-35-1:2017
0 °C ≤ T_a ≤ +40 °C

Керівник органу з оцінки відповідності



К.В. Меженков

м. Біла Церква, 13.11.2020 р.

Аркуш 1 з 4

Цей сертифікат з додатком може бути відтворений лише повністю та без змін.

CSU 7.7-09 (редакція 3) 09.12.2019

(13) **ДОДАТОК**

(14) до СЕРТИФІКАТА ЕКСПЕРТИЗИ ТИПУ № СЦ 20.0592

Номер видання: 0

(15) **Опис обладнання та технічні характеристики**

Головний світильник-смартлампа IPX-SL призначений для використання в якості індивідуального освітлювального приладу в підземних виробках вугільних шахт, небезпечних за газом та пилом, а також для:

- оповіщення гірників шахти, що знаходяться в виробках, про аварію або дзвінки (модифікація IPX-SL-*.P);

- визначення місця розташування шахтарів в гірничих виробках і пошуку шахтарів в завалах при аваріях (модифікація IPX-SL-*.P);

- індивідуального автоматичного контролю концентрації метану (модифікації IPX-SL-*.M-P, IPX-SL-*.MC-P, IPX-SL-*.MPT-P), монооксида вуглецю (модифікація IPX-SL-*.MC-P), температури та тиску (модифікація IPX-SL-*.MPT-P) в атмосфері гірничих виробок і видачі звукової сигналізації при перевищенні заданого порогу.

Структура позначення світильника IPX-SL X1-X2-X3

X1 – колір джерела світла фари (1 - білий нейтральний; 2 - білий холодний; 3 - білий теплий; 4 - червоний; 5 - жовтий; 6 - синій);

X2 – сигналізатор (відсутність букв – без сигналізатора; М – метану; MC – метану та монооксида вуглецю; MPT – метану і контролем температури, тиску);

X3 – наявність прийнятно-передавальних пристроїв (відсутність букв – не обладнано пристроями; P – локація системи позиціонування INPROMTEX RTLS IPX LB (сертифікат СЦ 20.0590 U).

Світильник складається з батарейного блоку та фари, що виготовлені з антистатичного матеріалу "стопстатик ПКЛ-Е8", та з'єднуються між собою за допомогою кабелю марки ШАСВм ТУ 16.К73.053-99.

Корпус батарейного блоку закривається прозорою кришкою, на якій розташований кабельний ввід для фіксації шнура та кнопка для включення світильника. Під кришкою розташований світлодіодний графічний індикатор, призначений для відображення залишкового часу автономної роботи світильника, концентрації газів (метану CH_4 та монооксида вуглецю CO), значення температури та тиску, а також текстових повідомлень, отриманих через систему аварійного оповіщення. Крім того, в кришці закріплена плата управління IPX7107, електричний зв'язок якої з платою захисту забезпечується за допомогою дрітків НВ-4-0,5.

На корпусі батарейного блоку передбачені дві скоби, за допомогою яких він закріплюється на поясі робітника.

Всередині батарейного блоку розташовані: плата контролера батареї IPX7107-3, плата захисту IPX7107-2 (сертифікат СЦ 20.0591 U), які разом з літєвим акумулятором ICR18650 заліті (герметизовані) компаундом Силагерм 2112 марки А (ТУ 2513-002-01296014-2015) товщиною не менше 3 мм з урахуванням товщини стінки корпусу.

Маркувальна етикетка наклеєна на бічній поверхні корпусу із зовнішнього боку. З того ж боку батарейного відсіку, у верхній частині корпусу, знаходиться табличка з серійним номером світильника і роком його виготовлення.

Корпус фари закривається кришкою, що притискає антиабразивне прозоре скло з полікарбонату, під яким розташований світлодіодний блок. Фара має відсіки, в яких, відповідно до модифікації, розміщені датчик метану ТХМ-2,8-1 (сертифікат СЦ20.0542 U), електрохімічний датчик CO або датчик температури та тиску, а також окремо звуковий випромінювач. Датчики газу додатково захищені фільтроелементами з сітки.

На фарі розташована кнопка, яка використовується для подачі або підтвердження аварійних сигналів системи позиціонування, а також сигнальні світлодіоди зеленого і червоного кольору для сигналізації про надходження аварійного або персонального виклику. Кріплення фари на касці гірника здійснюється за допомогою спеціальної скоби.

м. Біла Церква, 13.11.2020 р.

ТОВ «СЕРТИС-ЦЕНТР»

Аркуш 2 з 4

Цей сертифікат з додатком може бути відтворений лише повністю та без змін.

ФСУ 7.7-09 (редація 3) 08.12.2019

(13) ДОДАТОК

(14) до СЕРТИФІКАТА ЕКСПЕРТИЗИ ТИПУ № СЦ 20.0592

Номер видання: 0

Всередині фари розташований модуль позиціонування RTLS локатор IPX - RTLS LB (сертифікат СЦ 20.0590 U), плата сигналізатора IPX7108-2. У зарядному вузлі фари передбачено блокування у вигляді стопора, що виключає поворот контактної втулки та гарантує відсутність напруги та струму відповідно п.5.9 ДСТУ EN60079-35-1:2017.

Технічні характеристики:

Параметр	Значення
Ступінь захисту від зовнішніх впливів за ДСТУ EN 60529:2014	IP66 (газові входи IP54)
Джерело автономного живлення:	
- тип	ICR18650 (Li-Ion)
- ємність, А год	9
Тривалість безперервної роботи, не менше, год.:	
- в основному режимі;	10
- в економічному режимі	36
Передавальна частота WiFi та Bluetooth, ГГц	2,4
Потужність передатчика WiFi, не більше, dBm	18
Потужність передатчика Bluetooth, не більше, dBm	4
Діапазон температури навколишнього середовища, Та	0 °C ≤ Ta ≤ +40 °C
Діапазон контролю:	
- концентрації метану, % об.	0...2,5
- окису вуглецю, млн ⁻¹	0...200
- температури, °C	-10...+40
- абсолютного тиску, кПа	30...110
Габаритні розміри, мм:	
- батарейного блоку;	112x121x58,8
- фари	80x80x70
Маса, кг	0,77

Максимальні параметри іскробезпечних кіл, не більше:

Коло	Фара					Батарейний блок				
	U _н , В	U _і , В	I _н , А	C _і , мкФ	L _і , мГн	U _н , В	I _н , А	P _н , Вт	C _і , мкФ	L _і , мГн
P7-P10	5,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P9-P10	-	4,2	10	0	0	4,2	10	10,5	1000	0
P14-P10	-	4,2	10	10,4	0	4,2	10	10,5	1000	0
P12-P10	-	4,2	10	0	0	4,2	10	10,5	1000	0
P18-P10	-	4,2	9,7	732,1	1,8	4,2	9,67	10,2	1000	0

(16) Технічна документація на обладнання

- ТУ У 27.4-34665669-003:2020. Головний світильник-смартлампа IPX-SL. Технічні умови;
- ГСС IPX-SL 00 000 ПС. Головний світильник - смартлампа IPX - SL. Паспорт;
- ГСС IPX-SL 00 000 РЭ. Головний світильник - смартлампа IPX-SL. Керівництво з експлуатації;
- та інша технічна документація, перелік якої наведений в протоколі оцінки № 663/ОВ-20 від 12.11.2020 р.

м. Біла Церква, 13.11.2020 р.

ТОВ «СЕРТИС-ЦЕНТР»

Аркуш 3 з 4

Цей сертифікат з додатком може бути відтворений лише повністю та без змін.

(13) **ДОДАТОК**

(14) до СЕРТИФІКАТА ЕКСПЕРТИЗИ ТИПУ № СЦ 20.0592

Номер видання: 0

(17) Особливі умови використання (знак «X» в номері сертифіката)
відсутні

(18) Протоколи оцінки та історія видання сертифіката

Номер та дата видання	Протокол оцінки	Описання видання, змін або доповнень
Первинне видання від 13.11.2020 р.	№ 663/ОВ-20 від 12.11.2020 р.	Первинне видання сертифіката.

м. Біла Церква, 13.11.2020 р.

ТОВ «СЕРТІС-ЦЕНТР»

Аркуш 4 з 4

Цей сертифікат з додатком може бути відтворений лише повністю та без змін.

ФСУ 7.7-09 (редація 3) 09.12.2019



ТОВ «СЕРТИС-ЦЕНТР»

ОРГАН З ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ ПРОДУКЦІЇ (призначений за реєстраційним номером UA.TR.115)
09113, Україна, Київська обл., м. Біла Церква, вул. Фастівська 23,
Тел./факс: +38 (0456) 381-700, E-mail: info@sertis.com.ua, Web: www.sertis.com.ua

(1) **СЕРТИФІКАТ ЕКСПЕРТИЗИ ТИПУ**

(2) Технічний регламент обладнання та захисних систем, призначених для використання в потенційно вибухонебезпечних середовищах (постанова КМУ від 28 грудня 2016 р. № 1055)

(3) Номер сертифіката: **СЦ 19.0451 X**

Номер видання: **1**

(4) Обладнання: **Станція зв'язку EtherTex V2.01b з точкою доступу Ethernex AP**

(5) Заявник: **ТОВ "ІНЖИНІРІНГ ПРОМИСЛОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ", Україна, 03150, м. Київ, вул. Антоновича 172, оф. 1118 код ЄДРПОУ 34665669**

(6) Виробник: **ТОВ "ІНЖИНІРІНГ ПРОМИСЛОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ", Україна, 03150, м. Київ, вул. Антоновича 172, оф. 1118 код ЄДРПОУ 34665669**

(7) Опис обладнання та його припустимих варіацій, а також документація, на яку даються посилання, наведені у додатку до сертифіката.

(8) ТОВ «СЕРТИС-ЦЕНТР», орган з оцінки відповідності за реєстраційним номером UA.TR.115, призначений виконувати роботи з оцінки відповідності продукції вимогам Технічного регламенту, затвердженого постановою КМУ від 28 грудня 2016 р. № 1055, посвідчує, що була встановлена відповідність вказаного обладнання суттєвим вимогам стосовно захисту здоров'я та безпеки відносно технічного проекту та конструкції обладнання, призначеного для використання в потенційно вибухонебезпечних середовищах, які наведені в Технічному регламенті. Результати досліджень та випробувань наведені в протоколі оцінки № 497/ОВ-19 від 18.10.2019 р.

(9) Відповідність обладнання суттєвим вимогам стосовно захисту здоров'я та безпеки була забезпечена виконанням вимог наступних стандартів:

ДСТУ EN 60079-0:2017 (зі зміною 11:2017), ДСТУ EN 60079-11:2016

(10) Якщо в кінці номера сертифіката присутній знак «X», то це посвідчує, що до обладнання застосовуються особливі умови використання, які наведені у додатку до цього сертифіката.

(11) Цей сертифікат виданий внаслідок проведення оцінки відповідності за Модулем В (експертиза типу) згідно з Технічним регламентом та стосується лише технічного проекту та конструкції зазначеного обладнання згідно з узгодженою технічною документацією. Введення в обіг зазначеного обладнання згідно з Технічним регламентом можливо лише за умови застосування додаткових модулів оцінки відповідності.

(12) Маркування обладнання повинно містити наступне:

 **GM1 Ex ia I Ma**

Керівник органу з оцінки відповідності



К.В. Меженков

м. Біла Церква, 21.10.2019 р.

Аркуш 1 з 3

Цей сертифікат з додатком може бути відтворений лише повністю та без змін.

(13) **ДОДАТОК**

(14) до СЕРТИФІКАТА ЕКСПЕРТИЗИ ТИПУ № СЦ 19.0451-X

Номер видання: 1

(15) **Опис обладнання та технічні характеристики**

Станція зв'язку EtherTex V2.01b призначена для збору сигналів від польових станцій, станцій управління SUTex, станцій збору даних SDTex та інших станцій по оптоволоконній лінії. WiFi або шині даних з інтерфейсом RS-485 та передачі цієї інформації на верхній рівень розподіленої системи при експлуатації в підземних виробках вугільних шахт, небезпечних за газом та пилом, включаючи пласти, небезпечні за раптовими викидами.

Станція зв'язку EtherTex V2.01b являє собою прямокутний металевий корпус з кришкою, що закривається за допомогою спеціального інструмента. Кришка має гумові ущільнення для забезпечення ступеня захисту IP54. У верхній частині корпусу передбачено кріплення корпусу у виробках шахт. У нижній частині корпусу розташовані кабельні введення з гумовим ущільненням. Всередині корпусу розташовано:

- клемники для підключення зовнішніх електричних кіл станції;
- оптична розетка для підключення оптоволоконних зовнішніх кіл;
- притисні планки для фіксації як мідних так і оптичних проводників від висмикування;
- комутатор оптичний;
- Modbus Rele.

Точка доступу Ethernex AP призначена для бездротової передачі даних за стандартом IEEE802.11 b/g/n та дротової передачі даних за стандартом IEEE802.3i/ч (10/100BASE-TX) при експлуатації сумісно з станцією зв'язку EtherTex V2.01b в підземних виробках вугільних шахт, небезпечних за газом та пилом, включаючи пласти, небезпечні за раптовими викидами.

Точка доступу Ethernex AP являє собою прямокутний корпус з поліестера перозборної конструкції за винятком вузла приспінання зовнішніх кіл. На корпусі передбачена світлодіодна індикація режиму роботи пристрою та кнопка RESET. У задній частині корпусу розташовано вузол кабельного введення з гумовим ущільненням та різьбовою фіксацією. Всередині корпусу розташовано плати з електронними компонентами, які залиті компаундом типу Віксинт ПК-68А, товщиною не менше 3 мм.

Технічні характеристики:

Основні технічні характеристики станції зв'язку EtherTex V2.01b:

Параметр	Значення								
Ступінь захисту від зовнішніх впливів за ДСТУ EN 60529:2014	IP54								
Номінальна напруга живлення, постійного струму, В	12,5								
Максимальна потужність в режимі незатухаючих лазерних коливань, dBm (мВт): - модуль UF-SM-1G-S; - модуль S-3553LC20D; - модуль S-45LC80D	-3 (0,5) -3 (0,5) 5 (3,16)								
Діапазон температури навколишнього середовища, Ta	-20 °C ≤ Ta ≤ +40 °C								
Габаритні розміри, мм	400x120x400								
Маса, кг	10								
Максимальні вхідні/вихідні параметри іскробезпечних електричних кіл, не більше:									
Клемник	Коло	U _н , В	I _н , А	C _н , мкФ	L _н , мкГн	U _в , В	I _в , А	C _в , мкФ	L _в , мкГн
1,2	SW_RS485D	6	0,3	<0,01	<0,1	3,8	0,19	3000	6000
3,4	MR_RS485D	6	0,3	<0,01	<0,1	5,9	0,29	3000	1000
5,6	RWR1	14	2	<0,01	<0,1	-	-	-	-
7,8	BS1_SW	15	2	<0,01	<0,1	-	-	-	-
9,10	RWR2	15	2	<0,01	<0,1	-	-	-	-
-	Data+Pwr	4,3	1,5	<0,01	400	4,3	1,5	3000	1000

м. Біла Церква, 21.10.2019 р.

ТОВ «СЕРТІС-ЦЕНТР»

Аркуш 2 з 3

Цей сертифікат з додатком може бути відтворений лише повністю та без змін.

© СТУ 7.7-09_03/01 (2018)

(13) **ДОДАТОК**

(14) до СЕРТИФІКАТА ЕКСПЕРТИЗИ ТИПУ № СЦ 19.0451 X

Номер видання: 1

Основні технічні характеристики точки доступу Ethernex AP:

Параметр		Значення							
Ступінь захисту від зовнішніх впливів за ДСТУ EN 60529:2014		IP54							
Номинальна напруга живлення, постійного струму, В		12,5							
Частота, ГГц		2,412...2,484							
Тривалість імпульсу, мкс, не більше		416							
Порогова потужність імпульсу, dBm (мВт), не більше		+28 (630)							
Порогова енергія, мкДж		262							
Діапазон температури навколишнього середовища, Ta		-20 °C ≤Ta≤ +40 °C							
Габаритні розміри, мм		84x84x115							
Маса, кг		1							
Максимальні вхідні/вихідні параметри іскробезпечних електричних кіл, не більше:									
Розмірності	Коло	U _н , В	I _н , А	C _н , мкФ	L _н , мкГн	U _в , В	I _в , А	C _в , мкФ	L _в , мкГн
J1	Vin0	15	2	<0,01	<0,1	-	-	-	-
J1	Tx, Rx	4,3	1,5	<0,01	400	4,3	1,5	3000	1000

(16) **Технічна документація на обладнання**

- ТУ У 32.2-34665669-001:2010. Станція зв'язку EtherTex V2. Технічні умови.
- ETX.V2.01.000 РЭ. Станція зв'язку EtherTex V2.01b. Керівництво з експлуатації.
- ETX.V2.01.000 ПС. Станція зв'язку EtherTex V2.01b. Паспорт.
- ETX.AP.000 РЭ. Точка доступу Ethernex AP. Керівництво з експлуатації.
- ETX.AP.000 ПС. Точка доступу Ethernex AP. Паспорт.
- та інша технічна документація, перелік якої наведений в протоколі оцінки № 497/ОВ-19 від 18.10.2019 р.

(17) **Особливі умови використання (знак «X» в номері сертифіката)**

1. Живлення станції зв'язку EtherTex V2.01b та точки доступу Ethernex AP треба виконувати строго від сертифікованого іскробезпечного джерела живлення, вихідні електричні параметри якого не повинні перевищувати U_н=15 В, I_н=2 А.

(18) **Протоколи оцінки та історія видання сертифіката**

Номер та дата видання	Протокол оцінки	Описання видання, змін або доповнень
Первинне видання від 21.10.2019 р.	№ 497/ОВ-19 від 18.10.2019 р.	Первинне видання за вимогами Технічного регламенту, затвердженого постановою КМУ від 28.12.2016 р. № 1055.

м. Біла Церква, 21.10.2019 р.

ТОВ «СЕРТИС-ЦЕНТР»

Аркуш 3 з 3

Цей сертифікат з додатком може бути відтворений лише повністю та без змін.

Додаток В.

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію
результатів дисертації

Список публікацій здобувача за темою дисертації.

Монографії

1. Прогнозирование и предупреждение последствий взрывов метана в целях улучшения защиты шахтной инфраструктуры и критического оборудования. Zdzislaw Dyduch, Robert Hildebrandt, Jacek Skiba, Ksawery Graboś, José Luis Fuentes-Cantillana, Pedro Morillo, Florencio Fernández, Benjamin Truchot, Emmanuel Leprette, Marcin Małachowski, Andrzej Turek, Fernando Ordás, Luis Manuel Álvarez, Klaudiusz Szczurek, М.В. Шишов, В.В. Мирошниченко. Центральный институт горного дела, Plac Gwarków 1, PL-40-166 Katowice, Польша. 2014 – 2017. 90 с.

2. Совершенствование функционирования угольных шахт; вентиляция, кондиционирование, дегазация, экология. А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, И.А. Ященко, М.В. Шишов, В.В. Мирошниченко, В.Р. Алабьев, А.Б. Бокий, Л.А. Новиков, М.Н. Дудник, И.Е. Кокоулин. Дніпро. 2018. 444 с.

*Статті у закордонних періодичних виданнях та виданнях, які індексуються у
міжнародних наукометричних базах*

3. Влияние накопления жидкости на газовые динамические характеристики трубопровода. Т.В. Бунько, Л.А. Новиков, М.Н. Дудник, В.В. Мирошниченко. The scientific method. Польша. 2018. № 17 (1). С. 50-55.

4. Estimation and use materials of the airily-depressed surveys on the coal mines of Ukraine. Tetiana Bunko, Maksym Shishov, Vadim Miroshnychenko, Mykhailo Dudnyk, Ivan Kokoulin. Essays of Mining Science and Practice. E3S Web of ConferencePp. Vol. 109 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1051/E3Sconf/201910900012>.

5. Ground parameters of working standard of reproduction of small speeds of air stream. Mykhaylo Dudnyk, Viktor Veretennyk, Serhii Enhel, Vadym Krytskiy, Vadim Miroshnychenko. Essays of Mining Science and Practice. E3S Web of ConferencePp. Vol. 109 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900021>.

6. Identification zones of influence of exogenous fire damaging factor Pp. Tetiana Bunko, Ihor Yashchenko, Ruslan Papirnyk, Anatolii Belikov, Vadym Miroshnychenko, Oleksandr Otchenashev. Essays of Mining Science and Practice. E3S WEB of Conferences, vol. 168(2020). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016800049>.

Статті у вітчизняних фахових виданнях

7. Інформаційно-вимірювальні СМАРТ-технології моніторингу складних інженерних мереж. Т.В. Бунько, М.В. Шишов, В.В. Мірошніченко, І.Є. Кокоулін. Строительство, материаловедение, машиностроение. Дніпро. 2017. Вип. 101. С. 60-66.

8. К вопросу создания и функционирования участка дегазации угольной шахты. Т.В. Бунько, В.В. Мірошніченко, Л.А. Новиков, И.Е. Кокоулин. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2017. Вип. 132. С. 202-210.

9. Состояние проветривания и противоаварийной защиты шахт ДТЭК и перспективы их совершенствования. Т.В. Бунько, М.В. Шишов, В.В. Мірошніченко, И.Е. Кокоулин. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2017. Вип. 134. С. 47-58.

10. Інформаційне забезпечення структурно-параметричної реконфігурації системи «вентилятори головного провітрювання - шахтна вентиляційна мережа – вироблений простір». Т.В. Бунько, В.В. Мірошніченко, І.Є. Кокоулін, О.Ш. Жалілов. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2017. Вип. 135. С. 46-55.

11. Стандартизація понять і термінів аварійності і аварійних ризиків вугільних шахт. А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, І.О. Ященко, В.В. Мірошніченко, М.В. Шишов. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2018. Вип. 141. С. 50-60. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2018.141.050>.

12. Estimation and use materials of the airly-depressed survays of the coal mines of Ukraine. T.V. Bunko, M.V. Shyshov, I.Ye. Kokoulin, M.M. Dudnyk, Vadim Miroshnychenko. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2019. Вип. 146. С. 3-17. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/2019>.

13. Мірошніченко В.В. Инновационные подходы в организации работы по охране труда и промышленной безопасности на предприятиях ООО «ДТЭК

ЭНЕРГО». Геотехнічна механіка. Дніпро. 2019. Вип. 149. С. 89-99. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2019.149.089>.

14. Дослідження чинників, які утворюють аерологічний ризик вугільних шахт. А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, І.О. Ященко, І.Є. Кокоулін, В.В. Мірошніченко, С.А. Головка. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2020. Вип. 150. – С. 3-14. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2020.150.003>.

15. Ризик-орієнтований концепт у філософії техніки. А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, І.Є. Кокоулін, В.В. Мірошніченко. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2020. Вип. 152. - С. 3-21. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2020.152.003>.

16. Кокоулін І.Є., Ященко І.О., Мірошніченко В.В. Використання методу BOW-TIE під час аналізу аерологічних ризиків вугільних шахт. Геотехнічна механіка. Дніпро. 2021. Вип. 156. С. 165-174. <https://doi.org/10.15407/geotm2021.156.165>

Матеріали конференцій

17. Бунько Т.В., Мірошніченко В.В., Кокоулін І.Є..Методология обнаружения аварий в угольных шахтах. Тезисы докладов VII Всеукраинской научно-практической конференции с международным участием «Чрезвычайные ситуации: безопасность и защита», 20-21 октября 2017 года. Черкасском институте пожарной безопасности им. Героев Чернобыля Национального института гражданской защиты Украины. – Черкасы, 2017. – С. 121-122.

18. Шишов М.В., Мірошніченко В.В. Підвищення рівня безпеки праці як основа енергетичної безпеки України.. Молодь: наука та інновації: Матеріали V Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих учених (Дніпро, 28-29 листопада 2017 року). – Дніпро: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – Т. 10. – С. 53-54.

Публікації в інших виданнях

19. Мірошніченко В.В. Повышение уровня безопасности труда как основа энергетической безопасности Украины. Охорона праці. 2018. № 3.

20. Мірошніченко В.В. Енергетична незалежність вугільної галузі... Досвід дегазації та утилізації метану на підприємствах групи ДТЕК. Охорона праці. 2018. № 4. С. 38-41.

21. Мірошніченко В.В. Основні принципи промислової безпеки на підприємствах ДТЕК ЕНЕРГО. Промислова безпека. 2018. № 12.

Внесок здобувача в роботи, опубліковані в співавторстві.

У роботі [1] – вдосконалення методів прогнозування та попередження наслідків вибухів метану, в [2] - удосконалення методів розрахунку параметрів вентиляції, кондиціювання, дегазації, в [3] – оцінка впливу накопичення рідини на газові динамічні характеристики трубопроводу, в [4, 12] – розробка методу використання матеріалів повітряно-депресійних зйомок, в [5] – обґрунтування параметрів робочого стандарту відтворення швидкостей повітряного потоку, в [6] – розробка методу ідентифікації зон впливу екзогенного пожежонебезпечного фактору, в [7] – розробка інформаційно-вимірювальних СМАРТ-технологій моніторингу складних інженерних мереж, в [8] – обґрунтування підходів щодо створення та функціонування ділянки дегазації вугільної шахти, в [9] – оцінка стану провітрювання та протиаварійного захисту шахт ДТЕК та визначення перспектив їх удосконалення, в [10] – розробка інформаційного забезпечення структурно-параметричної реконфігурації системи «вентилятори головного провітрювання - шахтна вентиляційна мережа – вироблений простір», в [11] визначення термінів аварійності та аварійних ризиків вугільних шахт, в [14] - дослідження факторів, що утворюють аерологічний ризик вугільних шахт, в [15] – розкриття ризик-орієнтованого концепту у філософії техніки, в [16] - використання методу BOW-TIE під час аналізу аерологічних ризиків вугільних шахт, в [17] – вдосконалення методології виявлення аварій у вугільних шахтах, в [18] – обґрунтування підходів щодо підвищення рівня безпеки праці.

Відомості про апробацію результатів дисертації.

Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і одержали позитивну оцінку на міжнародних конференціях та школах: XIII-XVI Міжнародних науково-практичній конференції з охорони праці та промислової безпеки (м. Бердянськ, 2015-2019, 2021 рр., форма участі - очна); Всеукраїнській науково-практичній конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист» (м. Черкаси, 20-21 жовтня 2017 року, форма участі - очна); V Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Молодь: наука та інновації» (м. Дніпро, 28-29 листопада 2017 року, форма участі - очна); XXVII Школі підземної розробки (м. Краків, 26-28 лютого 2018 р., форма участі - очна); IX Міжнародному енергетичному форумі (м. Київ, 2018 р., форма участі - очна); III Міжнародній конференції «Вугільна промисловість України в умовах декарбонізації» (м. Дніпро, 12-14 червня, 2019 р., форма участі - очна); II Міжнародній конференції «Нариси гірничої науки і практики» (м. Дніпро, 25-27 червня 2019 р., форма участі - заочна), III Міжнародній конференції «Нариси гірничої науки і практики» (м. Дніпро, 21-24 квітня 2020 р., форма участі - заочна).