

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ПОВІТРЯ У ВИРОБЛЕНИХ ПРОСТОРАХ

Мета. На основі шахтних експериментальних спостережень розкрити закономірності руху повітря у таких що ущільнюються породах виробленого простору виїмкової ділянки.

Метод дослідження – шахтні інструментальні вимірювання розподілення повітря у гірничих виробках що розташовані у виробленому просторі поблизу очисного вибою.

Результати. Надано описання гірничо-геологічних і гірничо-технічних умов підтримання вентиляційних виробок глибоких шахт Донбасу. Наведено показники повітряних зйомок в цих гірничих виробках. Проведено аналіз вітоків повітря до виробленого простору виїмкової ділянки.

Новизна. На основі шахтних спостережень підтверджено, що обвалені породи покрівлі пласта є середовищем непроникним для повітря, що рухається за рахунок загальношахтної депресії. Це відноситься однаковою мірою до ущільнених і неущільнених ділянок підробленого масиву на рівні ґрунту пласта. З чого можна зробити висновок про неможливість виникнення там осередків самонагрівання вугілля через відсутність обміну повітря. Процес осідання підробленого масиву над штучними спорудами призводить до виникнення порожнин – колекторів повітря. Тому існує загроза самонагрівання залишеного поблизу штучних споруд вугілля.

Практична значимість. Наведені результати досліджень доповнюють сучасні уявлення щодо руху повітряних потоків у виробленому просторі видобувної ділянки і мають суттєве значення для забезпечення надійності, безпечності ведення гірничих робіт на великих глибинах та профілактики ендегенних пожеж.

Ключові слова: вироблений простір виїмкової ділянки, рух повітря у породах які ущільнюються, герметичність середовища у підшви пласту, пожежонебезпечна зона, втіки повітря у виробленому просторі.

Вступ.

Антропогенна діяльність завжди Рух повітря у гірничих виробках та вироблених просторах є об'єктом інтенсивних досліджень протягом останніх десятиліть. При розробці, наприклад, заходів запобігання ендегенним пожежам у гірничих виробках слід враховувати характер руху повітря у виробленому просторі видобувної ділянки. Значний внесок у розкриття цієї проблеми зробили багато вітчизняних та іноземних дослідників. Однак, цей процес, що відноситься до класу турбулентних просторових течій через великокускувате пористе середовище, виявився винятково складним. В даний час поширена точка зору про те, що породи покрівлі, що обрушилися, розробляється пласта являють собою сукупність хаотично розташованих блоків і порожнин, що утворюють пористе середовище [1], через яку здійснюється масоперенос. У цьому вважається, що пористість обрушених порід становить 30...50 % і більше, що уможливорює переміщення повітря у виробленому просторі лише на рівні підшви відпрацьованого пласта при депресії повітря дільничної вентиляційної мережі 100...200 даПа. Більшість експериментів, що дозволили обґрунтувати таку точку зору, було виконано

при розробці потужних пологих та крутопадаючих пластів у Сибіру та Казахстані. Тому практично прийнятні аналітичні рішення аеродинаміки вироблених просторів відсутні, а інженерні розрахунки таких течій не проводять. Цей погляд залишився у діючих нормативних документах, пов'язаних, наприклад, з профілактикою і гасінням ендегенних пожеж на шахтах України [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Огляд і узагальнення сучасних досліджень показав, що найбільш складним залишається питання визначення газодинамічних характеристик деформованих вугільних пластів і породних масивів. Більшість сучасних експериментальних та теоретичних досліджень спрямовано на удосконалення знань, що стосуються газообміну між потоками що спрямовані по очисної виробці та такому що безпосередньо примикає до неї виробленому простору [3,4]. Надано оцінку впливу схем провітрювання очисних ділянок та режимів роботи вентиляційних установок головного та місцевого провітрювання [5,6]. Розглянуто вплив гірничо-геологічних та гірничо-технічних умов розробки вугільних пластів на витоки повітря і метану у виробленому

просторі [7]. Узагальнюючи можна стверджувати що домінує традиційний погляд на характер руху газових потоків у виробленому просторі, в якому розглядають середовище на рівні підшви пласту як проникливу товщу в якій мігрують певні струмені повітря і метану.

Однак, при виконанні в ДонНТУ досліджень, в яких автор приймав безпосередню участь, пов'язаних із забезпеченням стійкості вироблених виробів, що проводяться у виробленому просторі [8,9], встановлено, що підроблений масив порід покрівлі пласта є впорядкованим середовищем, що успадковує текстурну будову незайманого гірського масиву. Лише у шарі тонкодроблених порід, що утворюється при обрушенні безпосередньої покрівлі, розміром не перевищує потужності пласта, частинки розташовані хаотично. Експериментально встановлена їх консолідація під дією невеликого навантаження порід покрівлі, що налягають, процес описують круто спадаючими компресійними кривими [10]. Це дозволило зробити гіпотетичне припущення про відносну герметичність виробленого простору на рівні ґрунту пласта, що було підтверджено при ліквідації пожеж у виробленому просторі шляхом ізоляції їх породами, що обрушуються при форсованому відході лави від вогнища горіння [11,12]. Однак, до теперішнього часу залишається дискусійним питання про характер проникності неущільнених порід, в області лави, що простягається позаду, на відстань рівну приблизно половині довжини очисного вибою.

Мета статті (постановка завдання). На основі шахтних експериментальних спостережень розкрити закономірності руху повітря у таких що ущільнюються породах виробленого простору виїмкової ділянки.

Методи дослідження.

шахтні інструментальні вимірювання розподілення повітря у гірничих виробках що розташовані у виробленому просторі поблизу очисного вибою.

Виклад основного матеріалу.

Для встановлення закономірностей розподілу повітря в сусідньому до лави виробленому просторі було використано проведені автором ,свого часу, але таки що не зазнали широкого опублікування, спостереження в проведених за лавою виробках на шахтах ім. М.І. Калініна та «Глибока» холдингу «Донвугілля». Там застосовується Ш-подібна схема провітрювання виїмкових ділянок. Свіже повітря надходить по конвеєрних виробках, проведених біля кордонів стовпа виїмки, а вихідний струмінь надходить в розташований в середній частині виробленого простору вентиляційний штрек, що проводиться позаду лави (рис. 1).

Гірничо-геологічні умови залягання пласта h10 такі. Глибина розташування лав 1040...1200 м. Потужність пласта 1,2...1,7 м, кут падіння - 18...34°. Безпосередня покрівля типу Б1...Б3 представлена аргілітом потужністю 8,6...11,8 м, коефіцієнт міцності якого $f=2,2...4,9$. Вище залягає алевроліт потужністю 1,3...3,4 м, його міцність - $f=2,1...5,5$. Основна покрівля середньої обрешувальності класу А2...А3.. Безпосередній ґрунт пласта класу П2 представлений пісковиком потужністю 0,1...8,2 м ($f=6,3...12,5$), нижче знаходиться алевроліт потужністю 0,6...37,9 м.

Вентиляційні штреки проводять буровибуховим способом по тріщинуватим, розшарованим, сипучим породам безпосередньої покрівлі у середній частині виробленого простору (рис. 2).

Відставання вибою підготовчого вироблення від очисного вбирається у 8,0 м. Площа поперечного перерізу штреків в чорному - 21,5...21,8 м², у світлі 18,0...18,9 м². Кріп - податлива аркова металева п'ятиланкова, покрівля та боки затягнуті суцільно, матеріал затяжки - залізобетон, дерево або металева сітка. Крок встановлення рам основного кріплення – 0,5 м, у місцях обладнання запасного виходу з лави – 0,8 м.

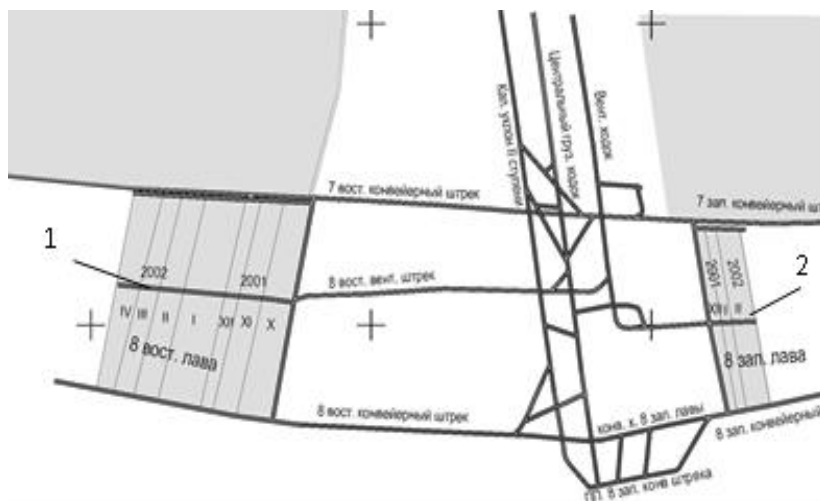


Рис.1. Викопування із плану гірничих робіт шахти «Глибока» ДХК «Донвугілля»: 1, 2 – восьми західний та східний вентиляційні штреки пласта h10

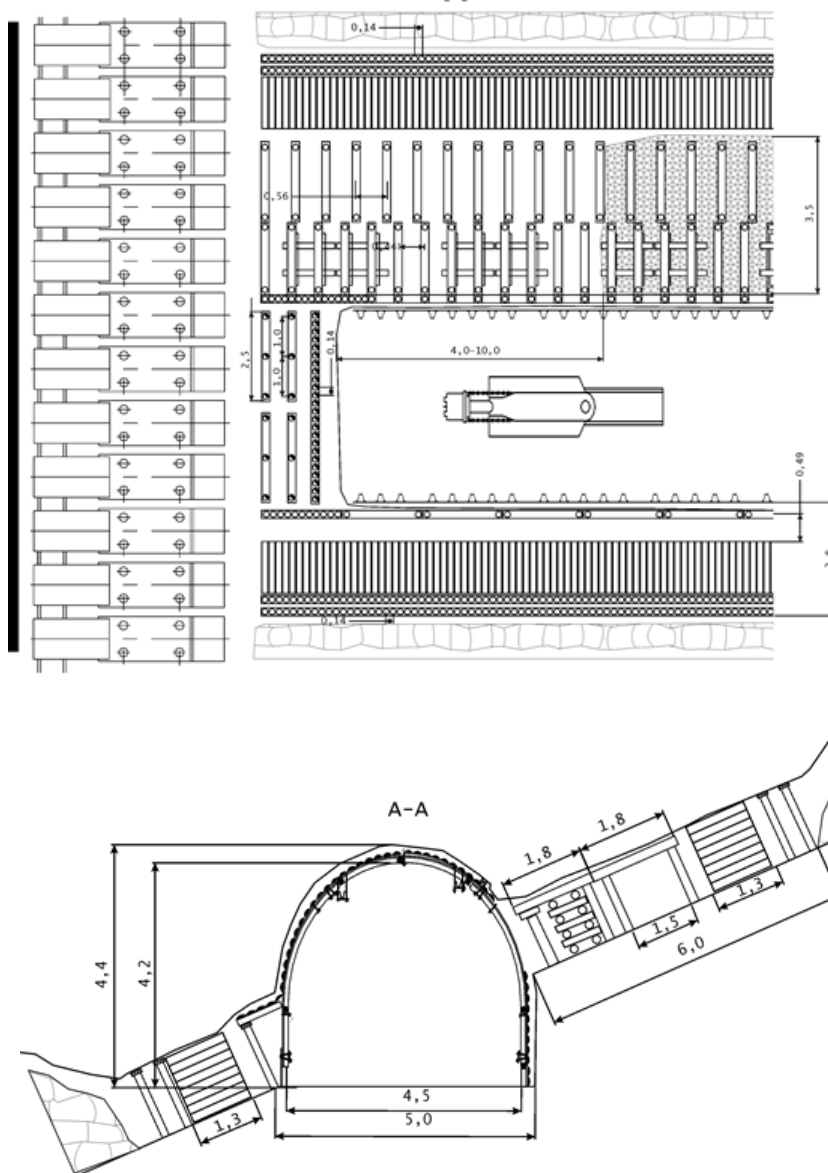


Рис.2. Проведення вентиляційного штреку слідом за лавою в таких що ущільнюються обвалених породах покрівлі пласта h10 на шахті ім. М.І. Калініна ДХК «Донвугілля»

Породу з прохідницького вибою доставляють за допомогою скреперів (шахта «Глибока») або породонавантажувальної машини (шахта ім. Калініна), і укладають вручну в бутові смуги. Рами дерев'яного кріплення при цьому не видаляють.

Щільність заповнення простору породою 70-90%, крім того, на шахті ім. М.І. Калініна на флангах смуги викладають чуракові перемички та органне кріплення, обсяг порожнеч у них близько 10...20 %. Порожнечі всього обсягу штучних споруд, що мають ширину 10...16 м, пов'язані між собою і становить одну аеродинамічну систему з виробленням.

Завданням експериментальних досліджень було встановлення кількості повітря, що надходить за рахунок загальношахтної депресії у вентиляційний штрек з виробленого простору через обвалені породи, що ущільнюються. Розв'язання задачі ускладнювало наявність неконтрольованих потоків повітря в порожнинах, що складаються з технологічних проміжків між різними видами споруд і порожнин у бутовій смузі. Існувала побоювання, що при зменшенні під дією гірського тиску порожнин повітря перетікатиме в штрек, створюючи ілюзію додаткових підсмоктування з виробленого простору.

Для оцінки кількості повітря, що надходить з порожнин, був передбачений контроль обсягу навколоштрекових споруд. Враховуючи практичну незмінність їхньої ширини, досить було визначати зміну висоти споруд. Припускаючи, що породи, що вміщують вироблення, деформуються значно менше, ніж забутовка і чуракові стінки, контроль зводився до вимірювання висоти вироблення.

Проведені у вентиляційних штреках виміри показали парадоксальні, здавалося б, результати. На ділянці 18...100 м від вибою штреку, розташованому в області ущільнення обваленого масиву, спостерігали не збільшення, а скорочення витрати повітря через замірні перерізи (рис. 3).

Для порівняння результатів вимірювань у різних видобувних ділянках, де інтенсивність провітрювання була неоднаковою, оперували відносним витратою (Q , %). Беручи до уваги захащеність виробок обладнанням та матеріалами, що не дозволяло вибрати замірні перерізи з неспотвореним характером струменя допускався 10% рівень похибки. Незважаючи на досить високий розкид результатів (достовірність апроксимації $R^2 \sim 0,65$), не зазначено жодного випадку збільшення витрати повітря з віддаленням від лави.

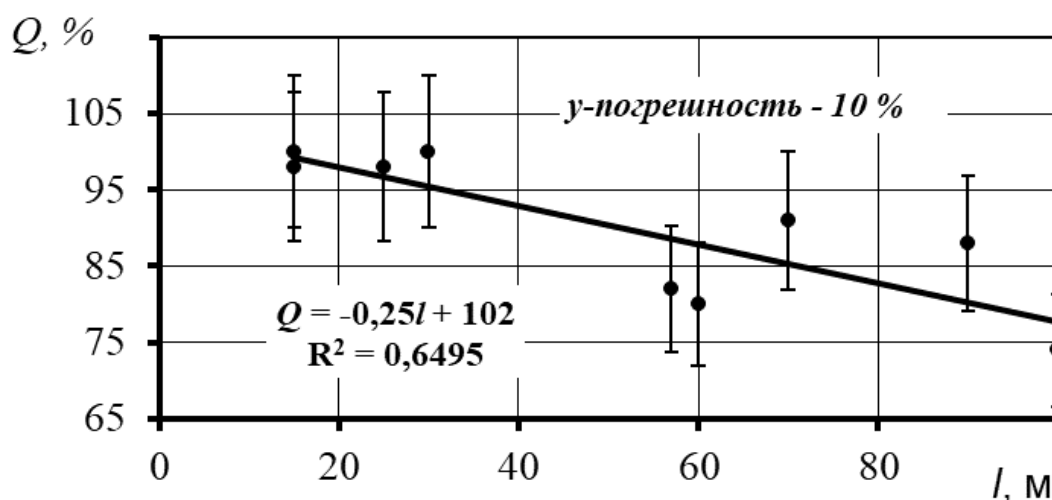


Рис.3. Зміна витрати повітря (Q , %) у вентиляційному штреку з видаленням від вибою (l)

Для виявлення причини зменшення повітряних потоків було виконано зіставлення змін витрати повітря та висоти виробітку (рис. 4.). Результати однозначно показали, що зменшення розмірів вентиляційного штреку в порівнянні з початковими (h , %) призводило до скорочення кількості повітря, що проходить по ньому.

Таке явище пояснюється впливом частини повітря зі штреку через збільшення його аеродинамічного опору. Можна

припустити, що опір руху повітря в закріпленому просторі зменшувався або був постійним. Цьому сприяла конструкція штучних споруд, виготовлених із елементів, що мають різну жорсткість. Органне кріплення та дерев'яні стійки мали мінімальну податливість. Бутові смуги, особливо зведені скреперним способом, просідали при навантаженні на 50% і більше. Внаслідок нерівномірного процесу опускання покрівлі в прилеглому до штреку просторі розвивалися порожнечі, що служать колекторами повітря.

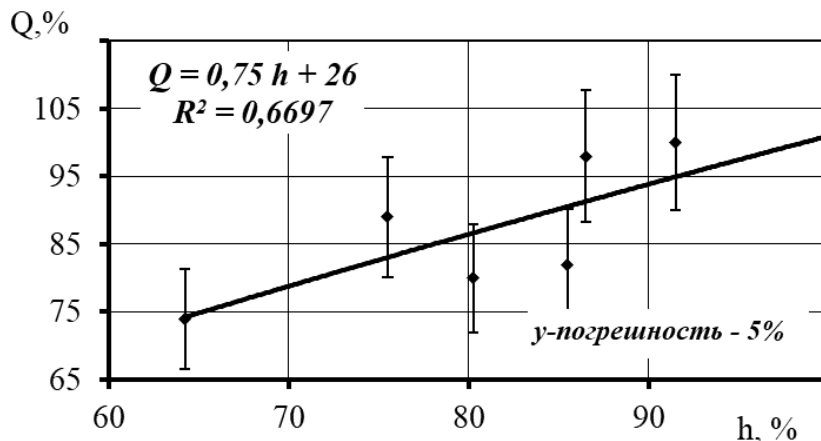


Рис.4. Зміна витрати повітря (Q , %) у вентиляційних штреках шахти ім. М.І. Калініна при зменшенні висоти виробітку (h , %).

Це припущення було підтверджено після зіставлення потоків у гирлах штреків, що підтримуються в цілинах вугілля, і в привибійній частині штреків. Виявилось, що у гирлах, де практично немає порожнин за кріпленням, витрата повітря більша на 4...11%. Знижена витрата повітря на основній довжині вироблення обумовлена в основному витоками в навколоштрекові порожнини. Приблизна рівність повітряних потоків у місцях надходження з лави і виходу зі штреку свідчить про відсутність підсмоктування з виробленого простору на маршруті його руху в області порід, що не ущільнилися.

Ці дані дозволили експериментально обґрунтувати раніше зроблене припущення про непроникність обрушених порід, що ущільнюються, на рівні ґрунту відпрацьованого пласта. Крім того, встановлено наявність повітропровідних порожнин у штучних спорудах. Результатами досліджень підтверджується висновок про те, що через непроникність виробленого

простору для повітря пожежонебезпечні зони не можуть існувати в підроблених масивах, що знаходяться на стадії консолідації.

Для оцінки проникності обрушених порід під дією гранично можливого в шахтних умовах рівня депресії було проведено повітряну зйомку у 12-х людському та допоміжному ходках пласта m_3 шахти ім. А.Ф. Засядька (рис. 5).

Ці флангові паралельні, розташовані в обрушених породах з відривом 65...70 м друг від друга похилі ($\alpha=10...120$) вироблення проводили ділянками після відпрацювання відповідних лав.

Ходки перетинали вироблені простори трьох виїмкових стовпів, кожен із яких оконтурено двома погашеними виробками. Спосіб проведення комбайновий, площа перерізу у проходці – 18 m^2 . Кріп податливий аروحний металевий триланковий, покрівля і боки затягнуті суцільно, матеріал затяжки - залізобетон і дерево. Відстань між рамами кріплення 0,5м.



Рис.5. Викопування із плану гірничих робіт по пласту m3 у східному крилі шахти ім. А.Ф. Засядька

По ходку подається вихідний струмінь повітря ($Q = 3100 \text{ м}^3 \text{ хв}^{-1}$), свіжий - по допоміжному ходку ($Q = 780 \text{ м}^3 \text{ хв}^{-1}$). Депресія між виробками перевищувала 350 даПа, що зажадало встановлення в проміжній збійці чотиридверного шлюзу. На 800-метровій ділянці в паралельно розташованих виробках виконано вимірювання витрати повітря з метою визначення витоків з 12-го допоміжного ходка в людській. При виборі замірних перерізів враховувалася можливість підсмоктування повітря через погашені

штреки раніше відпрацьованих лав. Крім того, ускладнюючим фактором була наявність порожнин у закріпленому просторі виробок, що неодноразово піддавалися ремонту. За кріпленням видно не витягнуті при перекріпленні ходка ніжки рам, труби, в покрівлі – «купола». Втіки повітря в ці порожнечі знижували точність вимірів.

Обробка результатів показала (рис. 6), що відносні похибки вимірювання повітряних потоків не перевищували 5% у допоміжному та 7% у людському ходках.

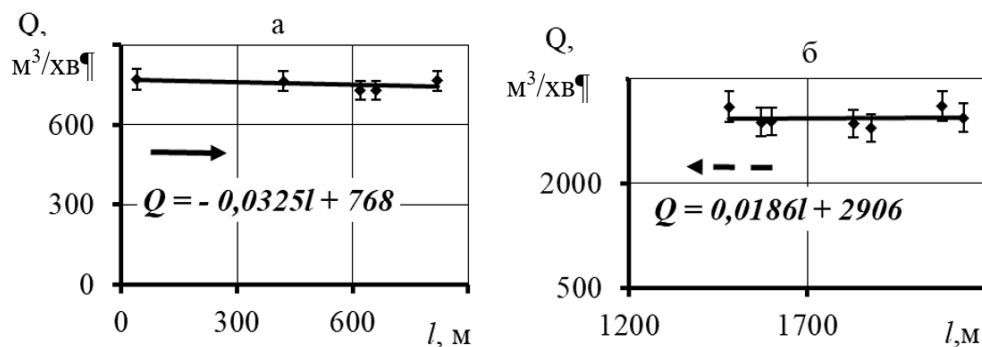


Рис.6. Витрата повітря (стрілками показано напрямок руху струменя) по пройденим в обрешених породах пласта m3 допоміжному (а) та людському (б) ходкам на шахті ім. А.Ф. Засядька: l - відстань від гирла вироблення.

Рівняння трендів свідчать про зміни витрати повітря за довжиною виробок на 2..3 %, що не перевищує максимальної похибки вимірювань. Крім того, в людському ходку замість передбачуваного збільшення витрати, зумовленого підсмоктуванням повітря, відзначено його скорочення. Зважаючи на високий рівень депресії, на основі експериментальних даних можна зробити висновок про відсутність аеродинамічного зв'язку між виробками через обвалені породи покрівлі відпрацьованого пласта.

Висновки. Таким чином, на основі шахтних спостережень підтверджено зроблене на підставі аналізу структурної будови масиву висновок, що обвалені породи покрівлі пласта є середовищем непроникним для повітря, що рухається за рахунок головного провітрювання шахт депресії, що розвивається вентиляторами. Це відноситься однаковою мірою до ущільнених і неущільнених ділянок підробленого масиву на рівні ґрунту пласта. З чого можна зробити висновок про неможливість виникнення там осередків самонагрівання вугілля через відсутність обміну повітря.

Список літератури

1. Пашковський П.С. Розробка способів прогнозу та запобігання ендегенних пожеж у глибоких шахтах: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.26.01 / Донецьк. політех. ін-т. - Донецьк, 1992. - 40 с.
2. Методика диференційованого прогнозу ендегенної пожежонебезпеки виїмкових полів та ділянок з урахуванням умов утворення скупчень вугілля в шахтах. Затв. ДВГРС України 24.05. 95. - 30 с.
3. Трофимов В.О. та ін. – Аерологія шахтних вентиляційних мереж. Монографія, - Донецьк, ДонНТУ, 2009. - 88 с.
4. Трофимов В.О. – Властивості паралельних вентиляційних з'єднань // Вугілля України, № 4–5, 2015, с. 56–58.
5. Кожушок О.Д. – Рішення для вентиляції в умовах нестандартних ситуацій // Вугілля України, № 11, 2015, с. 20–26.
6. Рясний В.М. та ін. – Від теоретичних розрахунків до впровадження засобів провітрювання // Вісник НУВГП, випуск 2(98), 2022, с. 20–38.
7. "Особливості розрахунку витоків повітря через вироблений простір вугільних шахт" Автори: S. Minieiev, L. Novikov, P. Samopalenko, R. Makarenko (2022) journals.nmetau.edu.ua

На додаток до відомостей, отриманих експериментально на моделях з еквівалентних матеріалів, про вплив навколоштрекових споруд формування пожежонебезпечних зон встановлено наступне. Процес осідання підробленого масиву над штучними спорудами, що складаються з елементів неоднакової жорсткості, призводить до виникнення порожнин, що є колекторами повітря. Порожнечі утворюються навіть за нестійких порід безпосередньої покрівлі пласта. Їх довжина можна порівняти з довжиною вироблення, а тривалість існування – не менше терміну відпрацювання лави. Тому існує загроза самонагрівання залишеного поблизу штучних споруд вугілля.

Наведені результати досліджень доповнюють сучасні уявлення щодо руху повітряних потоків у виробленому просторі видобувної дільниці і мають суттєве значення для забезпечення надійності, безпечності ведення гірничих робіт на великих глибинах та профілактики ендегенних пожеж.

8. Зборщик М.П. Охорона виробок глибоких шахт у виробленому просторі. - Київ: Техніка, 1978. - 176 с.

9. Зборщик М.П. Розробка технології управління вміщувальним масивом та стійкістю основних підготовчих виробок пологих пластів на великих глибинах. Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.15.02 / - Дніпропетровськ. ІГТМ, 1986. - 45 с.

10. Назимко В.В. Дослідження та розробка способів підвищення стійкості виробок в обрушених та ущільнених породах. Автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.15.02 / -Донецьк. ДПІ, 1981. - 20 с.

11. Заболотній А.Г., Холодов В.П., Каледін Н.В., Костенко В.К. Локалізація ендегенної пожежі на шахті «Дніпровська» // Вугілля України № 6, 1996. -С.31-34.

12. Костенко В.К. Вплив геомеханічних факторів на формування пожежонебезпечних зон у виробленому просторі // Вугілля України. 1997. №9. -С. 48-51.

References

1. Pashkovskyi, P. S. (1992). Rozrobka sposobiv prohnazu ta zapobihannia endohennykh pozhezh u hlybokykh shakhtakh [Development of methods for forecasting and prevention of endogenous fires in deep mines]. (Abstract of Doctoral Thesis). Donetsk Polytechnic Institute, Donetsk, 40 p.

2. DVHRS of Ukraine. (1995). *Metodyka dyferentsiiovanoho prohnozu endohennoi pozhezhonebezpeky vyimkovykh poliv ta dilianok z urakhuvanniam umov utvorennia skupchen vuhillia v shakhtakh* [Methodology for differentiated forecasting of endogenous fire hazard of extraction fields and sections, taking into account the conditions for the formation of coal accumulations in mines]. Approved 24.05.95, 30 p.
3. Trofymov, V. O., et al. (2009). *Aerolohiia shakhtnykh ventyliatsiinykh merezh* [Aerology of mine ventilation networks]. Monograph. Donetsk, DonNTU, 88 p.
4. Trofymov, V. O. (2015). *Vlastyvoli paralelnykh ventyliatsiinykh ziednan* [Properties of parallel ventilation connections]. *Vuhillia Ukrainy* [Coal of Ukraine], (4–5), 56–58.
5. Kozhushok, O. D. (2015). *Rishennia dlia ventyliatsii v umovakh nestandartnykh sytuatsii* [Ventilation solutions in non-standard situations]. *Vuhillia Ukrainy* [Coal of Ukraine], (11), 20–26.
6. Riasnyi, V. M., et al. (2022). *Vid teoretychnykh rozrakhunkiv do vprovadzhennia zasobiv provitriuvannia* [From theoretical calculations to the implementation of ventilation tools]. *Visnyk NUVHP* [Bulletin of NUWEE], 2(98), 20–38.
7. Minieiev, S., Novikov, L., Samopalenko, P., & Makarenko, R. (2022). *Osoblyvosti rozrakhunku vytokiv povitria cherez vyroblyeni prostir vuhilnykh shakht* [Features of calculating air leakage through the goaf of coal mines]. *System Technologies*, journals.nmetau.edu.ua.
8. Zborshchuk, M. P. (1978). *Okhorona vyrobok hlybokykh shakht u vyrobnomu prostori* [Protection of deep mine workings in the goaf]. Kyiv: Tekhnika, 176 p.
9. Zborshchuk, M. P. (1986). *Rozrobka tekhnolohii upravlinnia vmistuvalnym masyvom ta stiikistiu osnovnykh pidhotovchykh vyrobok polohykh plastiv na velykykh hlybynakh* [Development of technology for managing the containing massif and the stability of the main preparatory workings of flat seams at great depths]. (Abstract of Doctoral Thesis). IGTM, Dnipropetrovsk, 45 p.
10. Nazymko, V. V. (1981). *Doslidzhennia ta rozrobka sposobiv pidvyshchennia stiikosti vyrobok v obrushenykh ta ushchilnenykh porodakh* [Research and development of ways to increase the stability of workings in collapsed and compacted rocks]. (Abstract of PhD Thesis). DPI, Donetsk, 20 p.
11. Zabolotnii, A. H., Kholodov, V. P., Kaledin, M. V., & Kostenko, V. K. (1996). *Lokalizatsiia endohennoi pozhezhi na shakhti «Dniprovskia»* [Localization of endogenous fire at the "Dniprovskia" mine]. *Vuhillia Ukrainy* [Coal of Ukraine], (6), 31–34.
12. Kostenko, V. K. (1997). *Vplyv heomekhanichnykh faktoriv na formuvannia pozhezhonebezpechnykh zon u vyrobnomu prostori* [Influence of geomechanical factors on the formation of fire-hazardous zones in the goaf]. *Vuhillia Ukrainy* [Coal of Ukraine], (9), 48–51.

Костенко Віктор Климентович – д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри природоохоронної діяльності, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (82100, Україна, Львівська область, м. Дрогобич, вул. Шевченка, 9);
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8439-6564>
E-mail: vk.kostenko@gmail.com

EXPERIMENTAL STUDIES OF AIR MOVEMENT PARAMETERS IN GOAF AREAS

Purpose. Based on in-situ mine experimental observations, to reveal the regularities of air movement in the compacting rocks of the extraction section goaf.

Research Method. In-situ instrumental measurements of air distribution in mine workings located within the goaf area near the longwall face.

Results. The mining-geological and mining-technical conditions for maintaining ventilation workings in the deep mines of the Donbas are described. The indicators of air surveys in these mine workings are presented. An analysis of air leakages into the goaf of the extraction section is performed.

Scientific novelty. Based on in-situ mine observations, it has been confirmed that the collapsed roof rocks are an impermeable environment for air moving due to the general mine pressure differential (depression). This applies equally to both compacted and non-compacted areas of the undermined massif at the level of the seam floor. From this, it can be concluded that the emergence of coal self-heating focal points is impossible there due to the lack of air exchange. The process of undermined massif subsidence over artificial structures leads to the formation of cavities - air collectors. Therefore, there is a threat of self-heating of the coal left near such artificial structures.

Practical Significance. The presented research results supplement modern concepts of air flow movement in the goaf of an extraction section and are of significant importance for ensuring the reliability and safety of mining operations at great depths, as well as for the prevention of endogenous fires.

Key words: goaf of the extraction section, air movement in compacting rocks, tightness of the environment at the seam floor, fire hazard zone, air leakage in the goaf

Viktor Kostenko - Dr, Prof., Head of the Department of Environmental Protection (9, Shevchenka Street, Drohobych, Lviv region, 82100, Ukraine).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8439-6564>

E-mail: vk.kostenko@gmail.com