

10. **Martin J.** Application of Pattern Recognition Techniques to Monitoring-While-Drilling on a Rotary Electric Blast Hole Drill at an Open-Pit Coal Mine, Master's thesis, Queen's University, Kingston, 2013.
11. **Scoble M., Peck J., J., Hendricks C.** Correlation between rotary drill performance parameters and borehole geophysical logging, *Mining Science and Technology*. 2012. Vol. 8. pp 301-312.
12. **Segui J. B., Higgins M.** Blast design using measurement while drilling parameters, *Fragblast: International Journal for Blasting and Fragmentation*. 2012. Vol. 6.3-4. pp 287-299.
13. **Morkun V., Morkun N., Tron V.** Identification of control systems for ore-processing industry aggregates based on nonparametric kernel estimators, *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. Vol. 7.1. pp 14-17.
14. **Morkun V., Tron V.** Automation of iron ore raw materials beneficiation with the operational recognition of its varieties in process streams, *Metallurgical and Mining Industry*. 2014. Vol. 6.6. pp 4 7.
15. **Morkun V., Morkun N., Pikilnyak A.** The adaptive control for intensity of ultrasonic influence on iron ore pulp, *Metallurgical and Mining Industry*. 2014. Vol. 6.6. pp 8-11.
16. **Gao L., Zhang W., Lu W., Hu X., Wu H., Wang J., Kong B.** Study on the effects of temperature and immersion on the acoustic emission and electromagnetic radiation signals of coal rock damage under load, *Engineering Geology*. 2022. Vol. 297. 106503. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106503>.
17. **Шульгин П. Н.** Физика горных пород. Акустические свойства горных пород. ДОДСТУ, 2018. 67 с.
18. **Kou X., Pei C., Chen Z.** Fully noncontact inspection of closed surface crack with nonlinear laser ultrasonic testing method, *Ultrasonics*. 2021. Vol. 114. 106426. doi: 10.1016/j.ultras.2021.106426.
19. Акустические свойства горных пород. URL: <http://ctcmetar.ru/volnovye-processy/9297-akusticheskie-svoystva-gornyh-porod.html> (дата звернення: 15.12.2021).
20. Акустический каротаж по скорости. URL: <http://fccland.ru/dobycha-nefti/6826-akusticheskiy-karotazh-po-skorosti.html> (дата звернення: 15.12.2021).

УДК 622.831

О.В. СОЛОДЯНКІН, В.Г. ШАПОВАЛ, доктори техн. наук, професори,
С.М. ГАПЄЄВ, д-р техн. наук, доц., К.В. КРАВЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.,
О.А. СОЛОДЯНКІНА, наук. співроб.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ГЕОМЕХАНІЧНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ІНТЕНСИФІКАЦІЮ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ В МАСИВІ ПОРІД НАВКОЛО ПРОТЯЖНИХ ВИРОБОК

Мета. Метою досліджень є комплексна оцінка геомеханічних та технологічних факторів, що впливають на інтенсифікацію деформаційних процесів у приконтурному масиві порід в околі протяжних гірничих виробок.

Методи дослідження. Результати, наведені у статті отримані з використанням методів шахтних досліджень, математичної обробки натурних вимірів, аналізу та узагальнення результатів попередніх досліджень, досвіду спорудження та експлуатації підземних гірничих виробок різного призначення.

Наукова новизна. Встановлено, що збільшення площі поперечного перерізу капітальних виробок в умовах шахти імені Героїв космосу в 1,4 рази за останні 40 років викликало зростання зміщень породного контуру на величину $k_s = 1,175$. Отримано значення коефіцієнта інтенсивності деформацій $k_i = 0,66$, що дозволило оцінити сучасний геотехнічний стан породного масиву – зниження його міцності та збільшення напруженого стану порід через техногенну порушеність і сумарний вплив очисних та гірничопідготовчих робіт на ділянку експлуатаційного горизонту. Показано, що показники умов розробки шахти ім. Героїв Космосу на сучасному етапі експлуатації дорівнює $\theta = 0,41$ (визначений без урахування коефіцієнта k_i $\theta = 0,62$), що свідчить про високу ступінь складності умов експлуатації комплексу гірничих виробок.

Практична значимість. Виконана оцінка гірничо-геологічних, геотехнічних та технологічних факторів та отримані коефіцієнти, що характеризують інтенсифікацію деформаційних процесів навколо протяжних виробок. Це дозволяє визначити ступень складності умов експлуатації виробок, обґрунтовано підійти до проектування конструкцій кріплення, засобів з охорони і підтримання виробок та технології ведення гірничопрохідницьких робіт. Практичними результатами має стати суттєве підвищення ефективності технологічних та організаційних рішень для забезпечення надійної і безпечної експлуатації капітальних і підготовчих протяжних виробок, а також зниження обсягів ремонтних робіт протягом тривалого терміну їх експлуатації.

Результати. Встановлені залежності зміщень контуру виробок від часу їх експлуатації для умов шахти імені Героїв Космосу компанії «ДТЕК Павлоградвугілля». Встановлені значення коефіцієнтів, що призводять до інтенсифікації зміщень породного контуру протяжних виробок: від технологічного параметру – площі поперечного перерізу виробки, враховане коефіцієнтом перерізу k_s та комплексу геомеханічних параметрів, що оцінюються коефіцієнтом інтенсивності деформацій k_i .

Ключові слова: капітальна гірнична виробка, тампонаж закріпного простору, міцність породного масиву, коефіцієнт перерізу, коефіцієнт інтенсивності деформацій

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-9-16

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Вугільна промисловість в Україні ще залишається базовою галуззю економіки. Світові тенденції свідчать про поступовий перехід на джерела енергії, що відновлюються, проте для зростання обсягів та стабільного отримання енергії з альтернативних джерел знадобиться ще 40-50 років. На цей час потрібно забезпечити достатню кількість вугілля, як сировини для теплових електростанцій, та вже зараз усвідомити, що до кінця цього перехідного періоду, треба буде припинити діяльність шахт, закрити які надто складно, а інколи і неможливо з екологічних причин.

Поряд з вирішенням завдань, що стоять у світовій енергетиці, Україна повинна вирішувати стратегічні питання на державному рівні. Одним з них є забезпечення своїх теплових електростанцій газовими марками вугілля, на заміну антрацитових. Наразі Україна відчуває гострий дефіцит антрациту. На підконтрольній території запасів вугілля газових марок достатньо. В першу чергу це родовище Західного Донбасу, на якому ведуть розробку потужні шахти вугільної компанії «ДТЕК Павлоградвугілля». Лідером із видобутку вугілля серед названих є шахта імені Героїв космосу, річний обсяг видобутку якої становить біля 3 млн тонн.

Видобуток вугілля неминуче пов'язаний зі збільшенням глибини розробки. При цьому істотно збільшується гірський тиск, змінюються властивості породного середовища, суттєво активізуються геомеханічні процеси в масиві порід навколо виробок. Ведення гірничих робіт викликає перерозподіл початкового поля напружень, призводить до руйнування масиву порід, зміни його просторової структури. Часто ці процеси носять катастрофічний характер, супроводжуються людськими і матеріальними втратами. У зв'язку з цим, однією з найбільш актуальних проблем сьогодні є підвищення безпеки і ефективності виконання підземних робіт.

Найбільш тяжкі наслідки проявів високого гірського тиску у виробках глибоких шахт обумовлені великими деформаціями породного масиву. За певних умов великі деформації масиву можуть реалізовуватися надзвичайно швидко, у динамічній формі – гірничі удари, раптові викиди вугілля, породи і газу [1]. Інші протікають відносно повільно, наприклад, деформація і руйнування кріплення, здимання порід підшви і розглядаються як псевдостатичні процеси. Проте і в останньому випадку – у складних умовах, матеріальні збитки порівняні з катастрофічними.

При розвитку гірничих робіт і збільшенні глибини розробки особливої актуальності набувають питання спорудження та підтримання капітальних виробок – з тривалим терміном експлуатації, що забезпечують підготовку нових ділянок та глибоких горизонтів [1].

Досвід експлуатації шахт у складних гірничо-геологічних умовах свідчить, що для забезпечення стійкого стану виробок необхідно поряд із встановленням кріплення проводити спеціальні заходи з максимальним використанням несучої здатності масиву гірських порід, залучення його до спільної роботи з кріпленням. У складних умовах шахт Західного Донбасу добре зарекомендувало себе комбіноване кріплення із тампонажем закріпного простору, що працює разом з приконтурним породним масивом. Незважаючи на те, що технологія зведення такого кріплення давно відома, трудомісткість та вартість його залишається досить високою.

Крім того, наразі ситуація на шахтах регіону суттєво погіршилася. Збільшилася глибина розробки до 400...550 м, зросла техногенна порушеність масиву порід. Інтенсифікація очисних робіт на шахтах потребувала збільшення перерізу виробок у середньому від 10 м² до 18 м². Зазначені причини призвели до того, що зараз при спорудженні капітальних виробок, через складну організацію робіт, технологія заповнення закріпного простору або не проводиться, або це виконується зі значним відставанням від вибою, що не забезпечує тривалої стійкості виробок і вимагає подальшого виконання дорогих і трудомістких ремонтних робіт.

Аналіз досліджень і публікацій. В даний час розуміння закономірностей протікання геомеханічних процесів навколо гірничих виробок знаходиться на високому рівні. Вивченню особливостей їх формування в умовах шахт Західного Донбасу присвячені роботи Максимова О.П., Усаченка Б.М., Стицина В.І., Шашенка О.М., Халимендика Ю.М., Кириченка В.Я., Шмиголя О.В., Вигодіна М.О. та інших. Всі вони відзначають специфіку деформаційних процесів зу-

мовлену гірничо-геологічними умовами – наявністю слабких порід, їх шаруватістю, порушеністю та ін.

Детальні дослідження з вивчення закономірностей деформування породного масиву навколо протяжних виробок в умовах глибоких шахт Західного Донбасу у 1980-х роках були виконані Вигодіним М.О. [2]. Деякі результати цих досліджень наведено на рис. 1 та 2. Отримані результати свідчать, що геомеханічні процеси навколо об'єктів, що досліджувалися (типові виробки, розташовані поза зоною впливу очисних робіт), нелінійно розвиваються протягом 50 діб, після чого їх інтенсивність суттєво знижується [3].

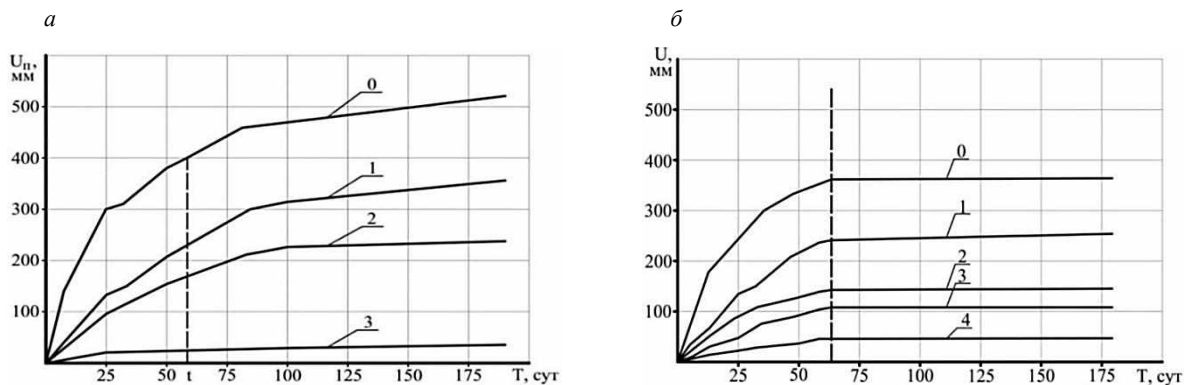


Рис. 1. Зміщення приконтурного масиву в підшви (а) та покрівлі (б) у східному магістральному конвеєрному штреху гор. 370 м шахти ім. Героїв космосу: 0, 1, 2, 3 – глибина закладання реперів в м; t – час проведення тампонажу закріпного простору, доба

Аналогічні результати досліджень у виробках шахт Західного Донбасу в 1970-80-ті роки були виконані Ю.М. Халимендиком [4], Б.М. Усаченком [5], В.І. Стициним [6] та ін. Параметри деформування приконтурного масиву за їх даними в цілому схожі з результатами М.О. Вигодіна.

На рис. 3 (графік 2) наведена сукупність цих даних для зміщень підшви виробки, яка апроксимована виразом

$$U_{1,2} = a \cdot (1 - e^{-bL}), \quad (1)$$

де U – зди曼ня підшви виробки, L – відстань до вибою; a , b – коефіцієнти апроксимації: $a_1 = 706,5$; $b_1 = 0,0132$; $a_2 = 530,3$; $b_2 = 0,0177$.

Отримані результати свідчать, що зди曼ня підшви виробки сягали небезпечної величини на відстані 50-60 м від вибою. Тому тампонаж, який виконується за прохідницьким комплексом на відстані 30-40 м від вибою, проводився ще до реалізації значних деформацій приконтурного масиву і був ефективним заходом з підвищення стійкості виробок.

Зміщення контуру виробки та деформації приконтурного масиву суттєво зменшувалися і стабілізувалися, а в окремих випадках повністю зупинялися.

Результати шахтних досліджень, виконані співробітниками кафедри БГГМ НТУ «Дніпровська політехніка» протягом 2011-2016 р. у капітальних виробках шахти імені Героїв космосу, що споруджувалися, показали, що на сучасному етапі розвитку гірничих робіт, деформаційні процеси відбуваються більш інтенсивно, ніж 30-40 років тому (рис. 3, графік 1) [7-9].

Так, активізація деформаційних процесів відбувається вже на відстані 10-15 м від вибою, а одразу за прохідницьким комплексом зди曼ня підшви виробки сягає критичних величин. Виконання тампонажних робіт на цьому етапі спорудження виробки вже виконується із запізненням і його ефективність незначна.

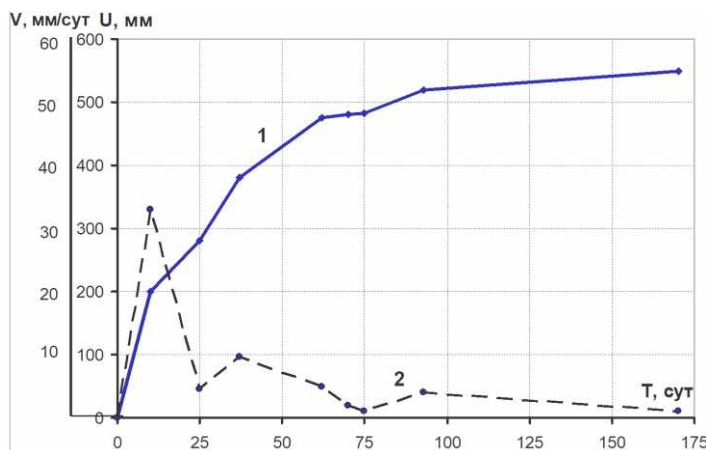


Рис. 2. Графік зди曼ня підшви виробки (1) та швидкості зди曼ня (2) у часі в квершлагі №3 гор. 470 м шахти ім. Героїв космосу

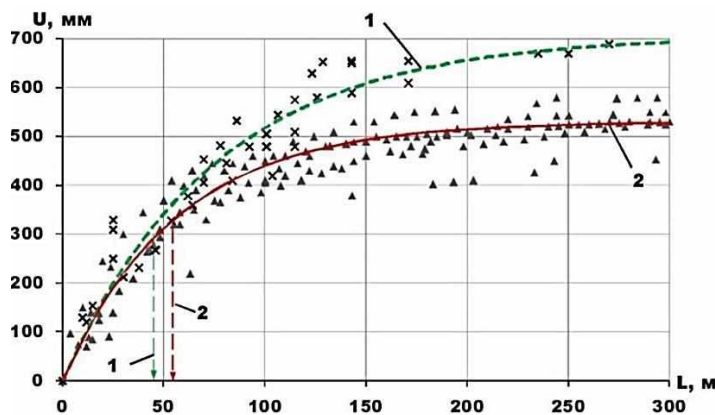


Рис. 3. Графіки здимання підшви у виробках гор. 370 м шахти ім. Героїв космосу виконаних за результатами досліджень: 1 – сучасний стан гірничих робіт; 2 – у період 1970-1980 років

Аналізуючи отримані результати необхідно відзначити, що і для першої, і для другої залежності використовувалися дані, отримані при спорудженні капітальних виробок в однакових умовах – пласт C_{10} , горизонт 370 м шахти імені Героїв космосу. При цьому зміщення контуру виробки (здимання підшви) збільшилися в

середньому в $U1/U2 = 1,32$ рази.

Таким чином, метою досліджень, представлених у статті, є комплексна оцінка геомеханічних та технологічних факторів, що впливають на інтенсифікацію деформаційних процесів у приконтурному масиві порід в околі протяжних гірничих виробок.

Постановка задачі. Метою досліджень, результати яких наведені у статті, є оцінка факторів, що впливають на активізацію деформаційних процесів у масиві гірських порід навколо протяжних виробок.

Викладення матеріалу та результати. На стан виробок впливає велика кількість факторів, що визначають її стійкість, обсяги ремонтних робіт, безпеку робітників. Ступінь впливу цих факторів різна і до кінця не вивчена. Тому часто проектувальники оцінюють сукупний їх вплив.

Найбільш прийнятним та досить аргументованим для оцінки ступеня складності умов ведення гірничих робіт є емпіричний показник, запропонований Ю.З. Заславським [10]

$$K = \gamma H / R_c, \quad (2)$$

де γ – об'ємна вага порід, H – глибина розробки, R_c – міцність масиву порід на стиск.

За своєю фізичною сутністю параметр $\gamma H / R_c$ найбільш точно відображає стан породного масиву в конкретних геомеханічних умовах, дозволяє класифікувати породний масив за ступенем його стійкості та рекомендується нормативним документом [11], як критерій оцінки умов ведення гірничих робіт. Нами далі буде використовуватися величина зворотна показнику Ю.З. Заславського – комплексний показник умов розробки

$$\theta = R_c k_c / \gamma H, \quad (3)$$

де міцність масиву приймається з урахуванням коефіцієнта структурного послаблення – k_c .

Розглянутий критерій (θ , K) поєднує в собі такі основні показники стану масиву порід, як його міцність – $R_c k_c$ і рівень напружень, що діють у ньому – γH .

За величиною показника умов розробки θ ступінь складності ведення гірничих робіт на шахтах ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» можна поділити на такі групи [7]:

А. $\theta > 1$ – сприятливі умови експлуатації виробок (шахти Тернівська, Самарська);

Б. $\theta < 1$ – несприятливі умови експлуатації виробок (шахти Павлоградська, Дніпровська);

В. $\theta < 0,67$ – особливо складні умови експлуатації виробок (шахти ім. Героїв космосу, Західнодонецька).

Для розглянутого гор. 370 м шахти імені Героїв космосу величина цього показника $\theta = 0,62$, що відносить умови експлуатації протяжних виробок до категорії особливо складних.

Інтенсифікація деформаційних процесів при веденні гірничо-прохідницьких робіт на шахті, що була встановлена дослідженнями останніх років, вочевидь обумовлена зміною значень $R_c k_c$ і γH та деяких параметрів технології проведення магістральних виробок за останні 40 років.

Актуальність досліджень визначається необхідністю подальшої підготовки до відпрацювання нових запасів та спорудження комплексу виробок у межах блоку вуглепродуктивної товщі, що інтенсивно відпрацьовується. Досить сказати, що шахту імені Героїв космосу було введено в експлуатацію у 1979 р. з проектною потужністю 1,5 млн. тон вугілля на рік. Наразі шахта досягла рекордного рівня видобутку – понад 3 млн. тон на рік за останній період. Видобуток вугілля ведеться одночасно 4-5 лавами на 2-3 горизонтах [12, 13].

Врахування впливу зміни площі перерізу виробки на зміщення породного контуру

Серед гірничотехнічних чинників найбільшою мірою за останні роки змінилася площа поперечного перерізу виробки. Для магістральних виробок, які споруджувались у 1980-ті роки вона становила $S_{св} = 12,7 \text{ м}^2$. В даний час основним перетином капітальних гірничих виробок, що споруджуються, $S_{св} = 17,7 \text{ м}^2$.

Вплив площі поперечного перерізу виробки на зміщення порід оцінюють коефіцієнтом перерізу k_s . Згідно з [14] збільшення площі поперечного перерізу капітальних виробок від $S_{св}=12,7 \text{ м}^2$ до $S_{св} = 17,7 \text{ м}^2$ призведе до збільшення зміщень контуру на величину $k_s = 1,17$.

Г.Л. Фісенко для оцінки впливу площі виробки на зміщення пропонує формулу [14]

$$k_s = 0,315\sqrt{S}, \quad (4)$$

розрахунок за якою дає значення $k_s = 1,18$. Для подальших розрахунків приймаємо $k_s = 1,175$.

Оцінка міцності масиву ($R_c k_c$)

Основним фактором, що впливає на поведінку порід навколо виробок є їх міцність. Невідповідність параметрів кріплення та охорони гірничих виробок умовам їх роботи пов'язаний з тим, що традиційні методи визначення міцності породного масиву для конкретного регіону не в змозі повною мірою врахувати фактори, що визначають реальну гірничо-геологічну ситуацію.

Межа міцності порід на одновісний стиск визначається за стандартними методиками проведення випробувань. Міцність породного масиву відрізняється від міцності лабораторних зразків, що враховується застосуванням коефіцієнта структурного ослаблення. За результатами досліджень Глушка В.Т., Кірничанського Г.Г., Безазьяна О.В., Фісенка Г.П. значення коефіцієнта k_c рекомендується приймати в межах 0,1-0,5 залежно від ступеня тріщинуватості масиву, орієнтації систем тріщин, міцності порід, що складають масив і т.д.

Також при проектуванні виробок коефіцієнт структурного ослаблення можна визначати за даними кількісного аналізу порушеності масиву порід у місцях розташування виробок на підставі даних інженерно-геологічних вишукувань.

Для умов шахт Західного Донбасу значення коефіцієнта структурного ослаблення тріщинуватого масиву рекомендується приймати рівним для аргілітів 0,2, алевролітів 0,3.

Важливим фактором, що впливає на стан виробок, є вологість, яка істотно знижує міцність гірських порід. У вологонасиченому стані породи розпадаються за площинами напластування і знижують свою міцність в 4 і більше разів (до 80% міцності [15]). Тому врахування різкого зниження міцності від вологості порід вимагає введення відповідних поправочних коефіцієнтів.

Як вважає автор [16], для визначення міцності порід у масиві з урахуванням їх структурного ослаблення, вологості та часу впливу навантаження, слід користуватися виразом, МПа,

$$R_c = R_c^l k_c k_{gl} k_{dl}, \quad (5)$$

де R_c^l – міцність порід, визначена у лабораторних умовах на стандартних зразках, МПа; k_c – коефіцієнт структурного ослаблення порід; k_{gl} – коефіцієнт впливу вологості на характеристики міцності порід; k_{dl} – коефіцієнт тривалої міцності.

Поряд із зазначеними вище гірничо-геологічними особливостями регіону, що погіршують умови ведення робіт, технічними службами шахт ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» відзначаються фактори, вплив яких у міру експлуатації родовища та збільшення глибини робіт буде все більш вагомим. До них слід віднести техногенну порушеність масиву порід, підвищення тектонічної порушеності, збільшення зон підвищеного гірського тиску. Врахування перелічених факторів має проводитися шляхом запровадження відповідних коефіцієнтів, що також зменшують міцність порід. Так, тектонічне порушення місця розташування виробки або ступінь тріщинуватості породи, що оцінюється коефіцієнтом k_{CH} [17], в залежності від типу порушення викликає зниження міцності порід – $k_{CH} = 0,3 \div 0,9$.

Оцінка рівня діючих напружень (γH)

Крім того, вплив цих же факторів – зон підвищеного гірничого тиску від очисних робіт, що проводяться в межах розглянутого горизонту, вплив відпрацювання лав на суміжних пластах вимагає введення відповідних коефіцієнтів концентрації до діючих на даній глибині геостатичних напружень [18, 19].

Основний вплив на стан виробки надає опорний тиск, що виникає внаслідок концентрації напружень у приконтурному просторі виробки. Цьому тиску протидіє не тільки кріплення і охоронні конструкції, але й опірність порід, що оточують виробку, їх несуча здатність.

В умовах інтенсивної очисної виїмки доцільно вивчення та врахування техногенного поля напружень, що формується взаємним впливом кількох лав, що відпрацьовувались одночасно в умовах високої структурної неоднорідності та геологічної порушеності масиву.

В [17] встановлено, що значна неоднорідність природних полів напружень, що визначається особливостями тектонічної структури родовищ, ще більше посилюється при техногенному впливі на породний масив під час гірничих робіт.

При виборі параметрів систем розробки на Старобинському родовищі, наприклад, для обліку навантажень на кріплення виробок вводилися розрахункові коефіцієнти, значення яких знаходяться в діапазоні $1,13 \div 3,12$ [20].

Ряд дослідників в оцінці стійкості виробок використовують коефіцієнт порізаності масиву. Під коефіцієнтом порізаності масиву K_{piz} розуміється [21] відносний обсяг виробок, що потрапляє в шар радіусом L_{min} з центром в аналізованому перерізі. Порізаність масиву виробками істотно впливає на деформації приконтурного масиву порід. Так, за даними [22], коефіцієнт порізаності масиву, визначений для однієї з виробок в умовах верхньокамського родовища $K_{piz} = 3,54$ рівносильний збільшенню глибини розташування одиночної виробки з 395 до 474 м. Це вдвічі збільшує швидкість вертикальної конвергенції приконтурних порід у порівнянні зі швидкістю зміщень одиночної виробки.

Важливим тут є те, що порізаність масиву виробками, а також вплив сусідніх виробок в міру експлуатації горизонту (ділянки) шахти, що відпрацьовується, тільки зростають.

Визначення коефіцієнта інтенсивності деформацій k_i в комплексному показнику умов розробки θ

З урахуванням виконаного вище аналізу та обґрунтувань щодо оцінки гірничо-геологічних та геотехнічних факторів при проектуванні гірничих робіт [23], показник умов розробки θ для шахт, що розглядаються, буде нижчим і відповідатиме ситуації на сучасному етапі експлуатації.

У [24] була отримана залежність зміщень контуру виробок від часу експлуатації виробки T і показника умов розробки θ , м,

$$U_i = 0,45k_u d(a \ln(T) - b)\theta^{(0,9-c)}, \quad (6)$$

де a і b – коефіцієнти, що залежать від показника умов розробки θ ; c і d – змінні, що залежать від коефіцієнта бічного розпору λ ; k_u – коефіцієнт, що враховує напрямок виробки у відношенні до простягання порід і кут нахилу пластів.

Як було встановлено раніше, відношення зміщень підосви U_2 , для виробок, що проводяться на сучасному етапі до зміщень U_1 для виробок, які проводили у 1970-80-х роках становить $U_2 / U_1 = 1,32$.

Вище було показано, що збільшення зміщень, пов'язане з підвищенням площі поперечного перерізу виробок, може бути оцінено коефіцієнтом перерізу $k_s = 1,175$.

Таким чином, зміщення підосви U_2 для виробок с $S_2 = 17,7 \text{ м}^2$ повинні бути приведені за допомогою коефіцієнта перерізу k_s до рівня зміщень при перетині виробки $S_1 = 12,7 \text{ м}^2$

$$\frac{U_2 / k_s}{U_1} = \frac{U_2}{U_1 k_s} = \frac{1,32}{1,175} = 1,123.$$

Тоді відношення зміщень, що визначаються за формулою (8), після скорочень будуть приведені до простого співвідношення

$$\frac{U_2 = f(\theta_2)}{U_1 = f(\theta_1)} = \frac{\theta_2^{(0,9-c)}}{\theta_1^{(0,9-c)}} = 1,123, \quad (7)$$

де $\theta_1 = \frac{R_c k_c}{\gamma H}$ – показник умов розробки на період 1970-80 рр.; $\theta_2 = \frac{R_c k_c}{\gamma H} k_u$ – показник умов роз-

робки для сучасного етапу, з урахуванням коефіцієнта інтенсивності деформацій k_i .

Для вугледобувного регіону Західного Донбасу значення $c = 1,18$ [25].

Після рішення (8) отримаємо значення коефіцієнта інтенсивності деформацій $k_i = 0,66$, що враховує сучасний геотехнічний стан породного масиву – зниження міцності та збільшення напруженого стану порід через техногенну порушеність та сумарний вплив гірничих робіт на ділянку експлуатаційного горизонту. Тоді показник умов розробки для шахти імені Героїв космосу на сучасному етапі експлуатації дорівнюватиме. $\theta = 0,41$.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Встановлено, що збільшення площі поперечного перерізу капітальних виробок на шахті імені Героїв космосу за останні 40 років від $S_{св} = 12,7 \text{ м}^2$ до $S_{св} = 17,7 \text{ м}^2$ викликало зростання зміщень породного контуру на величину $k_s = 1,175$, що необхідно враховувати при проектуванні конструкцій кріплення, засобів з охорони виробок та технології ведення гірничопрохідницьких робіт.

Отримано значення коефіцієнта інтенсивності деформацій $k_i = 0,66$, що дозволило оцінити сучасний геотехнічний стан породного масиву – зниження його міцності та збільшення напруженого стану порід через техногенну порушеність і сумарний вплив очисних та гірничопідготовчих робіт на ділянку експлуатаційного горизонту.

Показано, що показник умов розробки шахти ім. Героїв Космосу на сучасному етапі експлуатації дорівнює $\theta = 0,41$ (визначений без урахування коефіцієнта k_i $\theta=0,62$), що підкреслює ступінь складності умов експлуатації комплексу очисних та підготовчих виробок та дозволяє більш обґрунтовано підійти до вибору ефективних рішень для забезпечення надійної та безпечної роботи, зниження обсягів ремонтних робіт протягом тривалого терміну їх експлуатації.

Список літератури

1. Babets, D., Sdvyzhkova, O., Shashenko, O., Kravchenko, K., & Cabana, E.C. (2019). Implementation of probabilistic approach to rock mass strength estimation while excavating through fault zones. *Mining of Mineral Deposits*, 13(4), 72-83. <https://doi.org/10.33271/mining13.04.072>
2. Выгодин М.А., Евтушенко В.В. Пучение пород почвы в выработках шахт Западного Донбасса // Уголь Украины. – 1987. - № 7. – С. 12-13.
3. Выгодин М.А., Евтушенко В.В. Методы повышения устойчивости горных выработок на шахтах Западного Донбасса // Шахтное строительство. – 1989. – № 5. – С. 11-14.
4. Халимендик Ю.М., Чемакин В.А., Спицын А.Ю. Совершенствование крепей горных выработок в слабо-метаморфизированных породах Западного Донбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 1997. – № 3. – С. 96-98.
5. Усаченко Б.М. Свойства пород и устойчивость горных выработок. – Киев: Наук. думка, 1979. – 136 с.
6. Стыцин В.И. Изучение проявлений горного давления в основных горных выработках шахт Западного Донбасса с целью выбора рациональных параметров крепей. Дис...канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1972. – 143.
7. Солодянкин А.В., Мартовицкий А.В., Панченко В.В. Оценка геомеханических условий поддержания протяженных выработок шахт ОАО «Павлоградуголь» // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог, 2011. – Вып. 94. – С. 109-113.
8. Tereschuk R., Hryhoriev O., Tikhonenko V. Parameters of single anchor effect area in homogeneous border rock mass // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, КТУ, 2016. – Вып. 41. – С. 22-25.
9. Шашенко А.Н., Кравченко К.В., Прокудин А.З., Смирнов А.В. Методика решения задачи об устойчивости выработки с комбинированной крепью АСН-А // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, 2015. – Вып. 39. – С.24-29.
10. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики. – К.: Універ. вид-во “Пульсари”, 2002. – 304 с.
11. СНИП II-94-80. Подземные горные выработки. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1982. – 272 с.
12. Солодянкин А.В., Мартовицкий А.В., Смирнов А.В. Оценка геомеханических условий и состояния протяженных горных выработок шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» // Инженерный вестник Дона, – 2015. – №2, ч.2.
13. Sdvyzhkova O., Babets D., Kravchenko K., & Smirnov A.V. (2015). *Rock state assessment at initial stage of longwall mining in terms of poor rocks of Western Donbass*. New Developments in Mining Engineering 2015: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining. Taylor & Francis Group, London, 65-70.
14. Рева В.Н., Мельников О.И., Райский В.В. Поддержание горных выработок. – М.: Недра, 1995. – 270 с.
15. Пиньковский Г.С., Беззьян А.В. Определение прочностных характеристик горных пород при естественной влажности // Уголь Украины. – 1979. – № 8. – С. 21-22.
16. Ким Д.Н. Исследование структурного ослабления трещиноватых пород моделированием прочностных свойств в лабораторных условиях // Вопросы исследования горного давления и сдвижения пород. – Свердловск: ИГД АН СССР, 1963. – Вып. 5. – С. 97-105.
17. Состояние и перспективы решения проблемы горных ударов на рудниках Дальнего Востока / И.Ю. Рассказов, Г.А. Курсакин, П.А. Аникин, А.М. Гулевич, Г.М. Потапчук // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 12. – С. 433-444.
18. Солодянкин А.В., Машурка С.В. Оценка интенсивности ремонтных работ и устойчивость протяженных горных выработок // Вісник Криворізького національного університету. – 2016. – Вып. 41. – С. 97-102.
19. Солодянкин А.В., Дудка И.В. Исследование влияния очистных работ на устойчивость участков выработок в условиях ОП «Шахта «Партизанская» ГП «Антрацит» // Вісник Криворізького національного університету. – 2016. – Вып. 41. – С. 102-107.
20. Инструкция по применению систем разработки на Старобинском месторождении. – Солигорск-Минск, 2010. – 152 с.
21. Соловьев В.А., Аптуков В.Н., Ваулина И.Б. Поддержание выработок в соляных породах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 2. – С. 344-356.
22. Мисников А.В. Прогноз и обеспечение устойчивости капитальных выработок калийных рудников в мелкослоистых породах на больших глубинах: автореф. дис... канд. техн. наук / В.А. Мисников. – Солигорск, 1991. – 17 с.
23. Shashenko, A., Solodyankin, A., & Gapietiev, S. (2010). Bifurcation model of rock bottom heaving in mine work-

ings. *New Techniques and Technologies in Mining*. London: CRC Press / Balkema, 71-76.

24. **Солодянкин А.В.** Геомеханические модели в системе геомониторинга глубоких угольных шахт и способы обеспечения устойчивости выработок. Дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.04., 05.15.09. Дніпропетровськ. – 2009. – 426 с.

25. **Шашенко О.М., Солодянкин О.В., Мартовичский А.В.** Управление стійкістю протяжних виробок глибоких шахт. – Дніпропетровськ: ЛізуновПрес, 2012. – 384 с.

УДК 699.865:692.23

М. В. ТИМОФЄЄВ, канд. техн. наук, доц.

Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

Г. В. ШАМРІНА, канд. техн. наук, доц.

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МІНІМАЛЬНОЇ ТОВЩИНИ ТЕПЛОІЗОЛЮЮЧОГО ШАРУ В КОНСТРУКЦІЇ ЗОВНІШНЬОЇ СТІНИ

Мета. Розробка і практична реалізація методики визначення мінімальної товщини теплоізолюючого шару для забезпечення виконання нормативних вимог до приведенного опору теплопередачі огорожувальної конструкції.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети застосовувались аналітичні розрахунки приведенного опору теплопередачі та товщини утеплювача зовнішньої стіни. При визначенні приведенного опору теплопередачі враховувався термічний вплив теплопровідних включень, що є характерними особливостями зовнішньої стіни, а також теплопровідних включень, що визначаються конструктивними особливостями всієї будівлі.

Наукова новизна. Обґрунтовано методичний підхід до визначення мінімальної товщини теплоізолюючого шару, що забезпечує виконання нормативних вимог до приведенного опору теплопередачі конструкції зовнішньої стіни.

Практична значимість. Запропонована методика спрощує визначення мінімальної товщини теплоізолюючого шару, що забезпечує виконання нормативних вимог до приведенного опору теплопередачі зовнішньої стіни на стадії прийняття проєктних рішень щодо її конструкції, і дозволить виконувати розрахунок в один прийом без багатоваріантного пошуку необхідного рішення. Оскільки товщина шару утеплювача в зовнішній стіні безпосередньо пов'язана з трансмісійними теплопотратами через теплоізоляційну оболонку будівлі, то її визначення в один прийом за наведеною методикою спрощує подальші розрахунки енергетичної ефективності будівлі в цілому. За умов дотримання мінімальних вимог щодо показника енергоефективності в результаті цих розрахунків і застосування понижувального коефіцієнта до мінімально допустимої нормативної величини приведенного опору теплопередачі, товщина утеплювача може бути оптимізована і мати менше значення.

Результати. Обґрунтовано і наведено приклади практичної реалізації методики визначення товщини теплоізолюючого шару, яка придатна до використання на першому етапі конструювання зовнішньої стіни за умов дотримання нормативних вимог до приведенного опору теплопередачі огорожувальної конструкції. Методика базується на запропонованій аналітичній залежності для визначення товщини шару утеплювача в зовнішній стіні.

Ключові слова: опір теплопередачі, приведений опір теплопередачі, лінійний коефіцієнт теплопередачі, точковий коефіцієнт теплопередачі, теплоізолюючий шар, зовнішня стіна.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-16-21

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Для виконання умови (4) ДБН В.2.6-31:2016 [1] в п.5.6 ДСТУ Б В.2.6-189:2013 [2] зазначається, що при визначенні необхідної товщини теплоізоляційного шару враховують лише термічний вплив теплопровідних включень, що є характерними особливостями відповідного типу непрозорій огорожувальної конструкції. Термічний вплив теплопровідних включень, що визначаються конструктивними особливостями всієї будівлі, при визначенні необхідної товщини теплоізоляційного шару не враховують. Даний термічний вплив враховують при визначенні енергопотреб для опалення та охолодження згідно з ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [3]. Але необхідну товщину теплоізоляційного шару можна встановити тільки способом перебору і повторення розрахунків декілька разів. Тобто, бракує зручної методики, яка б дозволяла в проєктній практиці в один прийом без багатоваріантного пошуку встановлювати необхідне рішення щодо товщини теплоізоляційного шару. При розрахунках енергоефективності будівлі з урахуванням всіх теплопровідних включень (міжповерхових перекриттів, зовнішніх та внутрішніх кутів тощо), які зменшують значення приведенного опору теплопередачі також встає проблема обґрунтування мінімальної товщини теплоізоляційного шару. Тому розробка означеної методики є актуальною науковою задачею.