

УДК 622.831.3

<https://doi.org/10.37101/ftpgv25.01.005>

АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБЛАСТЕЙ ДЕФОРМАЦІЇ МАСИВУ ПОРІД НАВКОЛО ОЧИСНИХ КАМЕР

О.Є. Хоменко¹, М.М. Кононенко^{1*}, А.В. Косенко²

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

²Відділення фізики гірничих процесів Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, м. Дніпро, Україна

*Відповідальний автор: e-mail: kmn211179@gmail.com

ANALYTICAL STUDIES OF AREAS OF DEFORMATION OF THE ROCK MASSIF SURROUNDING DRAWN STOPE

O.Ye. Khomenko¹, M.M. Kononenko^{1*}, A.V. Kosenko²

¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

²Branch for Physics of Mining Processes of the M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

*Corresponding author: e-mail: kmn211179@gmail.com

ABSTRACT

Purpose. Investigate changes in the amount of deformation of the rock array of the hanging and lying sides in the unloading zones of the drawn stopes of the first and second stages of processing.

Methods. Analytical studies of the areas of rock mass deformation around the drawn stopes of the first and second stages of development were carried out using a comprehensive approach, which included the analysis and summarization of previously conducted studies, analytical studies of the stress-deformed state of the rock mass in the unloading zones of the cleaning chambers, using the energy method and statistical data processing.

Findings. The regularities of the development of deformation areas in the array of discharge zones of drawn stopes have been established. The main areas of deformation, which are located in the rocks of the hanging and lying sides, in the massif of ore and stowing, have been determined. The shape of the deformation areas around the drawn stopes has an ellipsoidal shape. The magnitude of the deformation of the massif of rocks of the hanging and lying sides, in the unloading zones of the drawn stopes of the first and second stages of mining, with an increase in the depth of mining, changes exponentially.

Originality. For mining depths of 840–1040 m, the exponential dependence of the amount of deformation in the rock massifs of the hanging and lying sides on

the depth of the installation of the drawn stopes of the first and second stages of mining has been established.

Practical implications. The obtained empirical dependences make it possible to determine the amount of deformation of the massif of rocks on the hanging and lying sides around the drawn stopes of the first and second stages of development, with an increase in the depth of the actual mining.

Keywords: iron ores, stowing, drawn stope, stress-strain state, energy method, deformation region

1. ВСТУП

Україна займає третє місце у рейтингу країн світу за підтвердженими запасами багатих залізних руд, що налічують близько 9,7% від загальних світових запасів [1]. Виробничі потужності країни дозволяють забезпечити сировиною як вітчизняні металургійні заводи, так і експортувати значну частину продукції в країни Європейського союзу та Азії [2]. Так країнами-імпортерами української залізної руди є Польща, Чехія, Словаччина, Австрія, Румунія, Сербія та Китай [3].

Запаси залізних руд і потужності добувних підприємств розташовані у Криворізькому, Кременчуцькому, Білозерському та Приазовському залізорудних басейнах [4]. Водночас основними родовищами багатих залізних руд в Україні є Криворізький залізорудний басейн [5] та Білозерський залізорудний район [6]. З перелічених родовищ багатих залізних руд важливе значення для гірничорудної промисловості країни має Білозерський залізорудний район, до якого входять Північно-Білозерське, Південно-Білозерське та Переверзівське родовища. Близько 60% запасів цих родовищ становлять багаті руди з вмістом заліза понад 60% та не потребують збагачення [7]. Освоєння родовищ веде приватне акціонерне товариство «Запорізький залізорудний комбінат» [8].

Видобуток багатих залізних руд Південно-Білозерського родовища здійснюється за допомогою камерної системи розробки із заповненням виробленого простору твердіючою закладкою [9]. Сутність даного варіанту системи розробки полягає в тому, що відпрацювання запасів руди поверху проводиться вхрест простягання за допомогою очисних камер першої та другої черг відпрацювання. Для виконання підготовчо-нарізних робіт очисних камер на підповерхових і відкотних горизонтах проводять 8 польових штреків у породах лежачого та висячого боків, загальною протяжністю до 240 м [10]. Відстань від контакту руди до польових штреків становить 30–35 м і ґрунтується на виробничому досвіді, з метою досягнення технологічних зручностей. Ведення очисних робіт у камерах впливає на стійкість польових штреків і сприяє прояву гірського тиску у вигляді руйнування кріплення, вивалів, відшарування та обвалення порід у штреках.

Таким чином, дослідження областей деформації масиву порід навколо очисних камер, в яких проводяться підготовчі польові виробки, має актуальне значення.

2. АНАЛІЗ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проведеними дослідженнями напружено-деформованого стану масиву порід, для відпрацювання очисних камер в умовах Південно-Білозерського родовища, встановлено параболічні залежності зміни радіальних напружень при віддаленні від камер другої черги відпрацювання, вглиб закладного масиву [11]. Виявлено основні області концентрації напружень, що розташовані в породах лежачого боку, масиві руди та закладки камер першої черги відпрацювання. Але в роботі не розглядався напружено-деформований стан масиву гірських порід навколо камер першої черги відпрацювання, що не дозволяє визначити напруження та деформації в породах висячого боку.

Дослідниками Науково-дослідного гірничорудного інституту «Криворізький національний університет» проведено натурні дослідження напружено-деформованого стану масиву гірських порід та стійкість конструктивних елементів поверхово-камерної системи розробки із закладанням, виконані в умовах Південно-Білозерського родовища в межах глибин 325–640 м [10]. Встановлено, що гірський тиск в очисних камерах проявляється у вигляді утворення склепінь і вивалів, а також псевдопластичних деформацій приконтурного масиву. Під час проведення гірничих виробок зони інтенсивного порушення досягають порядку 1,0–1,5 м. Водночас несуча здатність контурного масиву знижується в 3–5 разів. Отримані результати натурних досліджень дають якісну картину поведінки масиву гірських порід в діапазоні означених глибин. Але в ході відпрацювання родовища нижче глибини 640 м змінюються параметри конструктивних елементів поверхово-камерної системи розробки, внаслідок чого необхідно проводити подальші дослідження напружено-деформованого стану масиву гірських порід.

Дослідженням напружено-деформованого стану в породах лежачого та висячого боків очисних камер горизонтів 740, 840 і 940 м і вплив їх на стійкість бурових виробок, що розташовані поблизу очисного простору присвячена робота [12]. Виконані дослідження дозволили встановити експоненційну залежність зміни напружень навколо очисних камер залежно від глибини їх закладення, а також отримати емпіричні залежності величини деформацій для різної глибини закладення камер, що дозволяють визначити розмір і форму області деформації, які впливають на стійкість бурових виробок. В представлених дослідженнях не розглядається вплив напружено-деформованого стану та області деформації масиву порід навколо очисних камер на стійкість польових виробок.

Результати дослідження поведінки масиву гірських порід навколо очисних камер, виконані на моделях з еквівалентних матеріалів, дали змогу встановити, що штучний масив не зазнає деформацій і зберігає стійкість. Спостерігаються руйнування масиву моделі з боку порід висячого боку на відстань до 0,17 м, що становить близько 40 м в натурних умовах. Зафіксовані тріщиноутворення в масиві моделі біля похилого днища камери. Проведені дослідження дають якісну картину деформації масиву моделі навколо очисної камери та зумовлюють необхідність проведення подальших досліджень з виявлення області деформації порід лежачого боку [13].

На основі проведеного аналізу робіт в області розробки рудних родовищ за допомогою камерних систем та їх впливу на масив гірських порід дозволив зробити наступний висновок, що застосування камерних систем розробки для відпрацювання крутоспадних покладів залізних руд обумовлює необхідність оцінки напружено-деформованого стану навколо очисних камер та його вплив на стійкість масиву гірських порід в межах глибин 840–1040 м.

3. МЕТОДИКИ

Для визначення областей деформацій навколо очисних камер першої та другої черг відпрацювання був використаний комплексний метод досліджень, що включає аналіз та узагальнення раніше проведених досліджень, аналітичні дослідження напружено-деформованого стану масиву гірських порід навколо очисних камер першої та другої черг відпрацювання, за допомогою енергетичного методу (Хоменко О.Є.) [14] та статистичну обробку даних.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Проведення аналітичних досліджень виконували згідно з розробленими розрахунковими схемами моделювання термодинамічних процесів у масиві порід навколо очисних камер, що подано у роботі [10].

До моделювання приймали очисні камери з усередненими геотехнологічними умовами (глибина розміщення очисної камери $H = 840, 940$ і 1040 м, кут падіння покладу $\alpha = 67^\circ$, горизонтальна потужність покладу $m = 90$ м, межа міцності руди на стискання $\sigma_{cm} = 70$ МПа, порід висячого боку $\sigma_{cm} = 120$ МПа, порід лежачого боку $\sigma_{cm} = 90$ МПа, закладного масиву $\sigma_{cm} = 50, 55$ і 60 МПа) відповідно до глибини розміщення камери. Деформації відбуваються в місцях де реальні напруження, що виникають в масиві зони розвантаження очисної камери, перевищують гранично допустимі значення на розтягання або зсув.

Дослідження зі встановлення впливу глибини ведення очисних робіт на величину деформації масиву гірських порід навколо камер першої черги відпрацювання, що мають однакові геотехнологічні умови розробки та похиле днище у бік порід висячого боку, виконувались для умов гор. 840, 940 і 1040 м. Ілюстрації зміни форми області та величини деформації масиву гірських порід навколо камер першої черги відпрацювання, що розташовані вхрест простягання покладу подано на рис. 1.

З рис. 1 візуально видно, що зі збільшенням глибини закладення очисної камери відбувається зростання областей деформації у масиві гірських порід, що оточує камеру першої черги відпрацювання. Водночас область деформації, що розташована в масиві порід висячого боку, у разі збільшення глибини закладення очисної камери, збільшуються з 6 до 11 м. Область деформації, що розташована в масиві руди камери другої черги відпрацювання, у разі збільшення глибини ведення гірничих робіт, збільшуються з 26,1 до 29,4 м. Область деформації, що розташована в рудному масиві біля похилого днища камери, зі сторони вмісних порід висячого боку, у разі зростання глибини закла-

дення очисної камери, збільшуються з 38,3 до 40,5 м. Всі вище згадані області деформації мають еліпсоїдну форму.

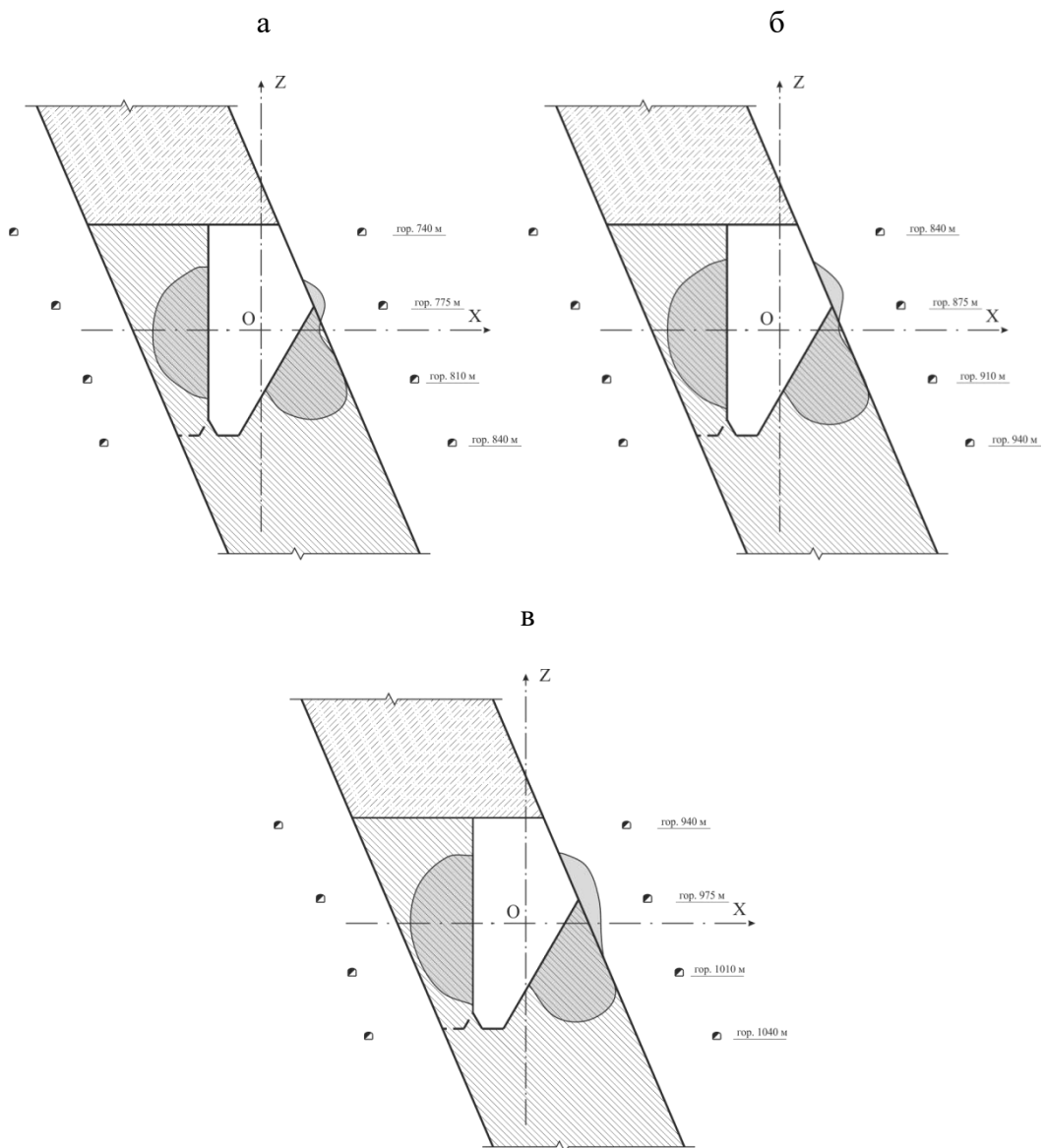


Рисунок 1. *Області деформації U_k масиву гірських порід навколо камер першої черги відпрацювання, що розташовані вхрест простягання покладу, для умов гор. 840 м (а), 940 м (б) та 1040 м (в)*

Науковий інтерес становлять області деформації, що розташовані в породах висячого боку, де знаходяться підготовчі польові виробки.

Загальну картину збільшення величини області деформації у масиві гірських порід, у межах зони розвантаження, зі зростанням глибини закладення камер першої черги відпрацювання, можна спостерігати за зміною величини деформацій порід висячого боку (рис. 2).

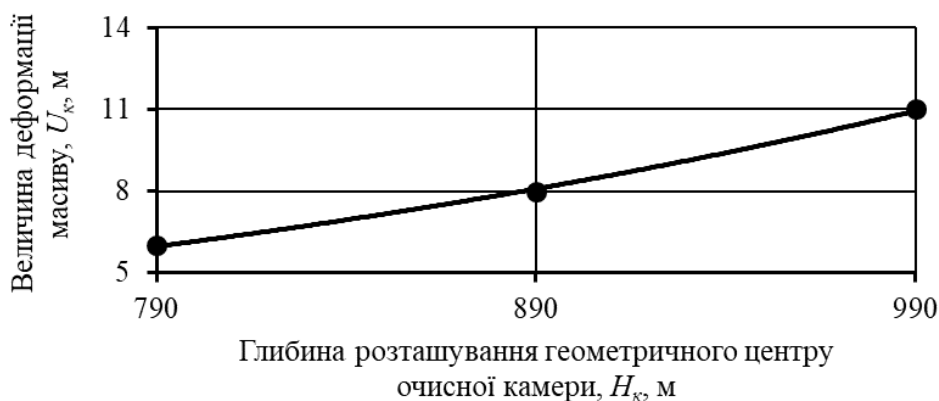


Рисунок 2. Графік залежності зміни величини деформації масиву гірських порід висячого боку від глибини закладання камер першої черги відпрацювання

Провівши апроксимацію максимальних значень, отримано емпіричну залежність величини деформації порід висячого боку U_k від глибини закладання очисних камер першої черги відпрацювання H_k .

Для масиву вмісних порід висячого боку, за умови відпрацювання камер першої черги, емпірична залежність має вигляд

$$U_k = 0,544e^{0,003H_k}, \text{ м, при } R^2 = 0,999, \quad (1)$$

де H_k – глибина розташування геометричного центру очисної камери першої черги відпрацювання, м; R – вірогідність апроксимації.

Таким чином, зі збільшенням глибини закладання камер першої черги відпрацювання зростає величина деформації у масиві вмісних порід висячого боку U_k , що змінюється за експоненційною залежністю. Отримана емпірична залежність величини деформації порід висячого боку, для різної глибини закладання камер, дозволяє визначити розміри областей деформації, що суттєво впливають на стійкість і місце закладання підготовчих польових виробок висячого боку. Виконані дослідження підтверджують значущість ведення гірничих робіт в областях деформації, що повинні супроводжуватися точним обліком деформації масиву гірських порід.

Подальші дослідження зі встановлення впливу глибини ведення очисних робіт на величину деформації масиву гірських порід, навколо камер другої черги відпрацювання, що мають однакові геотехнологічні умови розробки, виконувались для умов гор. 840, 940 і 1040 м. Ілюстрації зміни форми області та величини деформації масиву порід навколо камер другої черги відпрацювання, що розташовані вхрест простягання покладу подано на рис. 3.

З рис. 3 візуально видно, що зі збільшенням глибини закладання очисної камери відбувається зростання області деформації у масивах руди, вмісних порід лежачого боку та закладки, що оточують камеру другої черги відпрацювання. Водночас область деформації, що розташована в масиві закладки очисної камери першої черги відпрацювання, у разі зростання глибини закладання очисної камери, збільшуються з 16,1 до 26,2 м. Область деформації, що розташована в масиві порід лежачого боку, у разі збільшення глибини

ни ведення гірничих робіт, збільшуються з 19,7 до 31,1 м. Всі вище означені області деформації мають еліпсоїдну форму.

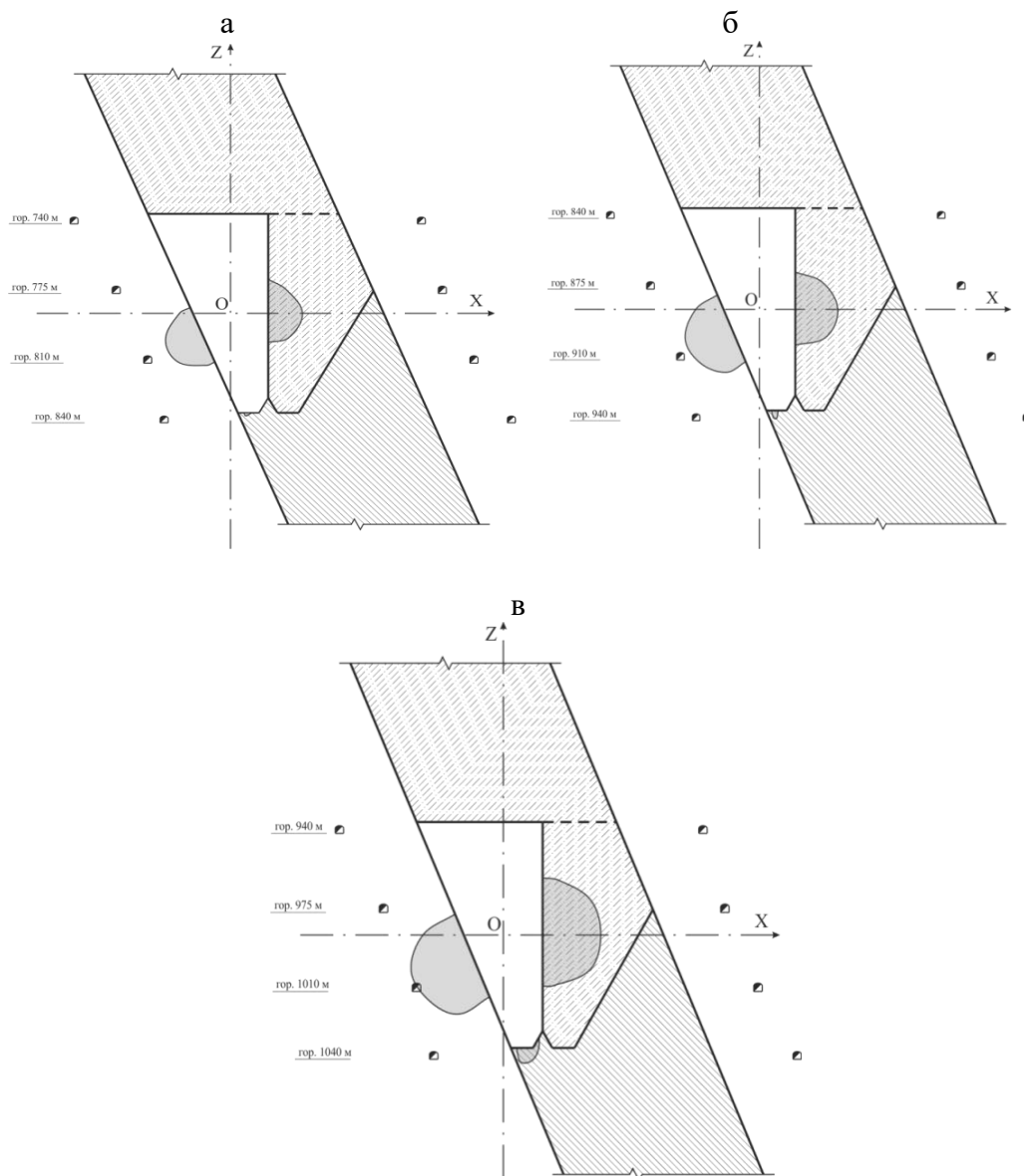


Рисунок 3. Области деформації U_k масиву гірських порід навколо камер другої черги відпрацювання, що розташовані вхрест простягання покладу, для умов гор. 840 м (а), 940 м (б) та 1040 м (в)

Значний науковий інтерес становлять області деформації, що розташовані в породах лежачого боку, де розташовуються підготовчі польові виробки.

Загальну картину збільшення величини області деформації у масиві гірських порід, у межах зони розвантаження, зі зростанням глибини закладення камер другої черги відпрацювання, можна спостерігати за зміною величини деформацій порід лежачого боку (рис. 4).

Провівши апроксимацію максимальних значень, отримано емпіричну залежність величини деформацій порід лежачого боку U_k від глибини закладення очисних камер другої черги відпрацювання H_k .

Для масиву порід лежачого боку, що оточує очисні камери другої черги відпрацювання, емпірична залежність має вигляд

$$U_k = 3,285e^{0,002H_k}, \text{ м, при } R^2 = 0,991. \quad (2)$$



Рисунок 4. Графік залежності зміни величини деформації масиву гірських порід лежачого боку від глибини закладання камер другої черги відпрацювання

Таким чином, зі збільшенням глибини закладання камер другої черги відпрацювання зростає величина деформації у масиві вмисних порід лежачого боку U_k , що змінюється за експоненційною залежністю. Отримана емпірична залежність величини деформації порід лежачого боку, для різної глибини закладення камер другої черги відпрацювання, дозволяє визначити розміри областей деформації масиву порід, що суттєво впливають на стійкість і місце закладення підготовчих польових виробок лежачого боку. Виконані дослідження підтверджують значущість ведення гірничих робіт в областях деформації, що повинні супроводжуватися точним обліком деформації масиву гірських порід.

Отримані результати аналітичного дослідження величини деформацій масиву гірських порід навколо очисних камер добре співпадають з результатами моделювання на еквівалентних і поляризаційно-оптичних матеріалах [15]. Це вказує на високу достовірність отриманих результатів і придатність емпіричних залежностей для розрахунку величини деформації масиву порід висячого і лежачого боків навколо очисних камер першої та другої черг відпрацювання зі збільшенням глибини ведення очисних робіт.

5. ВИСНОВКИ

Результатами виконаних аналітичних досліджень встановлено, що величина деформації у масивах порід висячого та лежачого боків зі збільшенням глибини закладання камер першої та другої черг відпрацювання, може бути описана експоненційними залежностями. Отримані емпіричні формули розрахунку величини деформації в породах висячого та лежачого боків, для рі-

зної глибини закладання очисних камер першої та другої черг відпрацювання, дозволяють визначити розміри областей деформації, що створюють руйнівну дію на масив порід, а також суттєво впливають на стійкість і місце закладання підготовчих польових виробок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Pysmennyi S., Fedko M., Shvaher N., Chukharev S. (2020). Mining of rich iron ore deposits of complex structure under the conditions of rock pressure development. *E3S Web of Conferences*, 201, 01022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101022>
2. Honcharuk, O., Ihnashkina, T., Bronnikova, V. (2020), Current state of the mining and metallurgical complex of Ukraine: factors, trends and results. *Efektivna ekonomika*, (9), 60-72. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2020.9.60>
3. Lyadenko, T. (2019), Features of manufacturing and supply activity of domestic industrial companies in the modern stage of their development. *Efektivna ekonomika*, (4), 34-41. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2019.4.34>
4. Kosenko, A.V. (2023). Development of an Efficient Process Scheme for Breaking High-Grade Iron Ores of Low Strength and Stability During Sublevel Caving. *Science and Innovation*, 19(3), 38-47. <https://doi.org/10.15407/scine19.03.038>
5. Fedko, M.B., Kolosov, V.A., Pismenny, S.V., & Kalinichenko, Ye.A. (2014). Economic aspects of change-over to tnt-free explosives for the purposes of ore underground mining in Kryvyi rih basin. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (4), 79-84.
6. Bazaluk, O., Petlovanyi, M., Lozynskiy, V., Zubko, S., Sai, K., Saik, P. (2021). Sustainable Underground Iron Ore Mining in Ukraine with Backfilling Worked-Out Area. *Sustainability*, 13(2), 834. <https://doi.org/10.3390/su13020834>
7. Petlovanyi, M., Ruskykh, V., Zubko, S., & Mediany, V. (2020). Dependence of the mined ores quality on the geological structure and properties of the hanging wall rocks. *E3S Web of Conferences*, 201, 01027. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101027>
8. Myronova, I. (2016). Prediction of contamination level of the atmosphere at influence zone of iron-ore mine. *Mining of Mineral Deposits*, 10(2), 64-71. <https://doi.org/10.15407/mining10.02.064>
9. Bazaluk, O., Petlovanyi, M., Zubko, S., Lozynskiy, V., Sai, K. (2021). Instability Assessment of Hanging Wall Rocks during Underground Mining of Iron Ores. *Minerals*, 11(8), 858. <https://doi.org/10.3390/min11080858>
10. Khomenko, O., Kononenko, M., Danylchenko, M. (2016). Modeling of bearing massif condition during chamber mining of ore deposits. *Mining of Mineral Deposits*, 10(2), 40-47. <https://doi.org/10.15407/mining10.02.040>
11. Khomenko, O., Kononenko, M., & Petlyovany, M. (2014). Investigation of stress-strain state of rock massif around the secondary chambers. *Progressive Technologies Of Coal, Coalbed Methane, And Ores Mining*, 241-245. <http://doi.org/10.1201/b17547-43>
12. Kononenko, M., & Khomenko, O. (2010). Technology of support of workings near to extraction chambers. *New Techniques And Technologies In Mining*, 193-197. <http://doi.org/10.1201/b11329-32>
13. Russkikh, V., Yavors'Ky, A., Zubko, S., & Chistyakov, Ye. (2013). Study of rock geomechanical processes while mining two-level interchamber pillars. *Mining of Mineral Deposits*, 149-152. <https://doi.org/10.1201/b16354-25>
14. Khomenko, O.Y. (2012). Implementation of energy method in study of zonal disintegration of rocks. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. (4), 44-54.

15. Зубко С.А., Кононенко М.М., Петльований М.В. (2015). Обґрунтування раціональних параметрів камер третьої черги відпрацювання при підземному видобутку залізної руди. *Металлургическая и горнорудная промышленность*, (2), 93-98.

REFERENCES

1. Pysmennyi S., Fedko M., Shvaher N., Chukharev S. (2020). Mining of rich iron ore deposits of complex structure under the conditions of rock pressure development. *E3S Web of Conferences*, 201, 01022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101022>
2. Honcharuk, O., Ihnashkina, T., Bronnikova, V. (2020), Current state of the mining and metallurgical complex of Ukraine: factors, trends and results. *Efektivna ekonomika*, (9), 60-72. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2020.9.60>
3. Lyadenko, T. (2019), Features of manufacturing and supply activity of domestic industrial companies in the modern stage of their developmen. *Efektivna ekonomika*, (4), 34-41. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2019.4.34>
4. Kosenko, A.V. (2023). Development of an Efficient Process Scheme for Breaking High-Grade Iron Ores of Low Strength and Stability During Sublevel Caving. *Science and Innovation*, 19(3), 38-47. <https://doi.org/10.15407/scine19.03.038>
5. Fedko, M.B., Kolosov, V.A., Pismenny, S.V., & Kalinichenko, Ye.A. (2014). Economic aspects of change-over to tnt-free explosives for the purposes of ore underground mining in Kryvyi rih basin. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (4), 79-84.
6. Bazaluk, O., Petlovanyi, M., Lozynskyi, V., Zubko, S., Sai, K., Saik, P. (2021). Sustainable Underground Iron Ore Mining in Ukraine with Backfilling Worked-Out Area. *Sustainability*, 13(2), 834. <https://doi.org/10.3390/su13020834>
7. Petlovanyi, M., Ruskykh, V., Zubko, S., & Medianykh, V. (2020). Dependence of the mined ores quality on the geological structure and properties of the hanging wall rocks. *E3S Web of Conferences*, 201, 01027. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101027>
8. Myronova, I. (2016). Prediction of contamination level of the atmosphere at influence zone of iron-ore mine. *Mining of Mineral Deposits*, 10(2), 64-71. <https://doi.org/10.15407/mining10.02.064>
9. Bazaluk, O., Petlovanyi, M., Zubko, S., Lozynskyi, V., Sai, K. (2021). Instability Assessment of Hanging Wall Rocks during Underground Mining of Iron Ores. *Minerals*, 11(8), 858. <https://doi.org/10.3390/min11080858>
10. Khomenko, O., Kononenko, M., Danylchenko, M. (2016). Modeling of bearing massif condition during chamber mining of ore deposits. *Mining of Mineral Deposits*, 10(2), 40-47. <https://doi.org/10.15407/mining10.02.040>
11. Khomenko, O., Kononenko, M., & Petlyovanyy, M. (2014). Investigation of stress-strain state of rock massif around the secondary chambers. *Progressive Technologies Of Coal, Coalbed Methane, And Ores Mining*, 241-245. <http://doi.org/10.1201/b17547-43>
12. Kononenko, M., & Khomenko, O. (2010). Technology of support of workings near to extraction chambers. *New Techniques And Technologies In Mining*, 193-197. <http://doi.org/10.1201/b11329-32>
13. Russkikh, V., Yavors'Ky, A., Zubko, S., & Chistyakov, Ye. (2013). Study of rock geomechanical processes while mining two-level interchamber pillars. *Mining of Mineral Deposits*, 149-152. <https://doi.org/10.1201/b16354-25>
14. Khomenko, O.Y. (2012). Implementation of energy method in study of zonal disintegration of rocks. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. (4), 44-54.
15. Zubko S.A., Kononenko M.M., Petlovanyi M.V. (2015). Obgruntuvannia ratsionalnykh parametriv kamer tretoi cherhy vidpratsiuvannia pry pidzemnomu vydobutku zaliznoi rudy. *Metallurhycheskaia y hornorudnaia promyshlennost*, (2), 93-98.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Дослідити зміни величини деформації масиву порід висячого та лежачого боків у зонах розвантаження очисних камер першої та другої черг відпрацювання.

Методика. Аналітичні дослідження областей деформації масиву порід навколо очисних камер першої та другої черг відпрацювання виконувалися з використанням комплексного підходу, що включав аналіз та узагальнення раніше проведених досліджень, аналітичні дослідження напружено-деформованого стану масиву гірських порід у зонах розвантаження очисних камер, за допомогою енергетичного методу та статистичну обробку даних.

Результати. Встановлено закономірності розвитку областей деформації у масиві зон розвантаження очисних камер. Визначено основні області деформації, що розташовані у породах висячого і лежачого боків, у масиві руди та закладки. Форма областей деформації навколо очисних камер має еліпсоїдну форму. Величина деформації масиву порід висячого і лежачого боків, у зонах розвантаження очисних камер першої та другої черги відпрацювання, зі збільшенням глибини гірничих робіт змінюється за експоненційними залежностями.

Наукова новизна. Для глибин 840–1040 м ведення гірничих робіт встановлені експоненційні залежності величини деформації в масивах порід висячого та лежачого боків від глибини закладення очисних камер першої та другої черги відпрацювання.

Практична цінність. Отримані емпіричні залежності дають можливість визначити величину деформації масиву порід висячого та лежачого боків навколо очисних камер першої та другої черг відпрацювання зі збільшенням глибини ведення очисних робіт.

Ключові слова: залізна руда, закладка, очисна камера, напружено-деформований стан, енергетичний метод, область деформації

ABOUT AUTHORS

Khomenko Oleh, Doctor of Technical Science, Professor, Dnipro University of Technology, Professor of the Mining Engineering and Education Department, 19 Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005. E-mail: rudana.in.ua@gmail.com

Kononenko Maksym, Doctor of Technical Science, Associated Professor, Dnipro University of Technology, Associate Professor of the Transport systems and energy-mechanical complexes Department, 19 Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005, E-mail: kmn211179@gmail.com

Kosenko Andrii, Candidate of Technical Sciences, Branch for Physics of Mining Processes of the M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 15 Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49005. E-mail: andreylvladimirovich@email.ua