

РОЗРОБКА РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.6:622.27

<https://doi.org/10.31713/vt220221>

Грищенко М. А., асистент, Калініченко О. В., Калініченко В. О., д.т.н., професор (Криворізький національний університет), **Маланчук З. Р., д.т.н., професор** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАСИВУ ПРИ ПЕРЕХОДІ З ТЕХНОЛОГІЙ ПОГАШЕННЯ ОЧИСНОГО ПРОСТОРУ НА ТЕХНОЛОГІЇ З ЗАКЛАДКОЮ

На сьогоднішній день всі шахти Криворізького залізорудного басейну відпрацьовують поклади багатих залізних руд технологіями з погашенням виробленого простору. Такі технології призводять до деформацій вмісних порід, які з часом виходять на денну поверхню. Застосування закладки виробленого простору знизить вплив підземної розробки на оточуючий масив. Перехід на технології з закладкою потребують додаткових досліджень для встановлення нових закономірностей зміни напружено-деформованого стану комбінованого масиву та встановлення нових залежностей зміни напружень і деформацій при формуванні «перехідних технологій». Саме таким дослідженням і присвячено ця стаття.

Ключові слова: залізні руди; підземна розробка; перехідні технології; напружено-деформований стан; закладка.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Відомо, що технології з погашенням виробленого простору призводять до деформацій порід вмісного гірського масиву. Такі деформації, з часом, виходять на денну поверхню, особливо при відпрацюванні вищерозташованих горизонтів [1–6; 9; 10].

Вважається, що з глибиною, процес формування на поверхні зон обваленні призупиняється за рахунок розпушення вміщуючих гірських порід, які заповнюють вироблений простір. Але як показали останні дослідження такий висновок не є коректним [7; 8; 11; 12].

Застосування закладки виробленого простору, на нашу думку, знизить вплив підземної розробки на деформацію гірського масиву,

у тому числі денної поверхні.

Мета статті. Встановлення нових закономірностей зміни напружено-деформованого стану комбінованого масиву та встановлення нових залежностей зміни напружень і деформацій при формуванні «перехідних технологій».

Викладення матеріалу та результати. На сьогодні відпрацювання покладів багатих залізних руд в Криворізькому залізорудному басейні здійснюється виключно технологіями з обваленням вмісних порід.

Перехід на підповерхово-камерні системи розробки з наступною закладкою виробленого простору твердіючими сумішами призведе до зміни напружено-деформованого стану вже комбінованого масиву, змінить параметри запропонованих технологій та розміри основних конструктивних елементів блоку.

Для дослідження змін напружено-деформованого стану гірського масиву та визначення закономірностей стабілізації геодинамічних процесів та деформацій денної поверхні при видобутку руд в умовах наявності підпрацьованих підземними гірничими роботами територій були виконані відповідні дослідження.

На першому етапі для розрахунків був прийнятий початковий етап переходу від традиційних систем розробки з обваленням налягаючих порід до підповерхово-камерних систем розробки з наступною закладкою виробленого простору, яка отримала назву «перехідна технологія».

Суть «перехідної технології» полягає в наступному.

Насамперед відпрацьовують верхню частину блоку (верхній підповерх) камерною системою розробки під прикриттям рудної стеліни.

На рисунку, для прикладу, представлено першу кінцево-елементну модель та результати розрахунку поля напружень та деформації гірського масиву при відпрацюванні покладів багатих залізних підповерхово-камерною системою розробки.

Міцність багатих залізних руд коливалась у межах $f = 3 - 8$ по шкалі проф. М. М. Протод'яконова, глибина розробки складала від 1450 м до 2250 м. Значення напружень на ізолініях вказано у МПа, значення деформації гірського масиву – у мм.

Згідно з отриманими розрахунками можна визначити, що в центральній частині оголень мають місце понижені стискуючі напруження. Зони ж концентрації підвищених стискуючих напружень

зосереджені навколо кутових зон камер.

Встановлено, що зі збільшенням коефіцієнта міцності руди деформації гірського масиву зменшуються та зростає величина напружень. Водночас збільшення глибини розробки спричиняє збільшення величин як деформацій, так і напружень.

Отримана картина повністю відповідає класичним уявленням гірничої механіки та підтверджує адекватність розробленої моделі.

В результаті виконаних досліджень встановлено, що максимальна величина стискуючих напружень має місце у верхній частині камери, в кутах на контакті рудної стелини з породами лежачого боку.

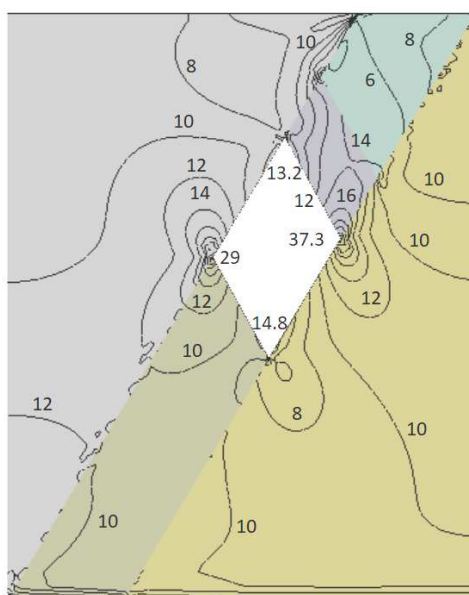


Рисунок. Ізолінії головних напружень σ_1 в стелині та гірському масиві

Дещо нижчі значення спостерігаються з протилежного боку камери, на контакті нижньої частини похилого оголення пустих порід висячого боку та верхньої частини похилого оголення рудного масиву.

Значно нижчий рівень стискуючих напружень спостерігається у верхньому та нижньому куті очисної камери на контакті рудного масиву з породами висячого та лежачого боків.

Так у рудах міцністю 3–5 балів на глибині 1450, 1750, 2000 та 2250 м максимальний рівень стискуючих напружень в рудній стелині становитиме, відповідно, 37,3; 43; 49,4 й 55,1 МПа, а в породах вися-

чого боку – 29; 33,6; 38,6 та 43,1 МПа.

У рудах міцністю 4–6 балів на таких глибинах стискуючі напруження в стелині становитимуть відповідно 40,3; 46,4; 53,4 та 59,5 МПа, в породах висячого боку – 31,3; 36,1; 41,6 та 46,4 МПа.

В рудах міцністю 5–7 балів стискуючі напруження в стелині становитимуть відповідно 43,1; 49,7; 57,2 і 63,8 МПа, в породах висячого боку – 33,5; 38,6; 44,4 та 49,5 МПа, а в рудах міцністю 6–8 балів стискуючі напруження в стелині складуть 46,4; 53,5; 62,5 й 68,5 МПа, у породах висячого боку – 34,8; 40,1; 46,1 та 51,4 МПа.

Таким чином встановлено, що найбільш небезпечними є напруження в кутах у верхній центральній частині камери, в кутах примикання рудної стелини до порід лежачого боку, де спостерігається концентрація максимальних напружень. Ці напруження будуть безпосередньо впливати на стійкість кутів очисної камери.

Враховуючи отримані результати багатофакторних експериментів, можна визначити залежність величини максимальних головних напружень в кутах рудної стелини від міцності руди та величини гірського тиску при різній глибині відпрацювання рудних покладів

$$\sigma_1 = 27,991 e^{0,0722f} \left(\frac{(4E - 06H_B^2 + 0,0072H_B + 18,022)}{(27,991 e^{0,0722f})} \right),$$

де σ_1 – величина максимальних головних напружень в кутах рудної стелини, МПа;

f – міцність руди за шкалою проф. М. М. Протод'яконова;

H_B – глибина відпрацювання рудних покладів, м.

Таким чином, враховуючи величину гірського тиску, міцність та стійкість рудного масиву, ми можемо стверджувати, що запропонована «перехідна технологія» задовольняє умовам стійкості очисних камер і може бути впроваджена на глибинах до 1750 м при міцності руд $f = 5 - 8$, що задовольняє умовам шахт підземного Кривбасу, які видобувають багаті залізні руди.

Встановлено, що формування камер «перехідної технології» під прикриттям рудних стелин в рудах міцністю $f \geq 7$ можна рекомендувати на перспективу для всіх досліджених глибин, включаючи горизонти 2000–2250 м.

Висновки. Перехід з існуючих технологій з обваленням вміщуючих порід на підповерхово-камерні системи розробки з наступною закладкою виробленого простору твердіючими сумішами рекомендовано здійснювати за допомогою «перехідних технологій».

Враховуючи, що на сьогоднішній день очисні роботи на шахтах

Кривбасу ведуться на глибинах 1200–1400 м, а середньорічне пониження гірничих робіт складає 12–15 м наголошено, що в найближчі 10–15 років середня глибина можливого впровадження «перехідних технологій» буде знаходитися в межах дослідженої глибини 1450 м. Водночас глибина гірничих робіт 1750 м буде досягнута на окремих шахтах не раніше ніж через 25–35 років.

Таким чином, враховуючи величину гірського тиску, міцність та стійкість рудного масиву, ми можемо стверджувати, що запропонована «перехідна технологія» задовольняє умовам стійкості очисних камер і може бути впроваджена на глибинах до 1750 м при міцності руд $f = 5 - 8$, що задовольняє умовам шахт підземного Кривбасу, які видобувають багаті залізні руди.

Встановлено, що формування камер «перехідної технології» під прикриттям рудних стелин в рудах міцністю $f \geq 7$ можна рекомендувати на перспективу для всіх досліджених глибин, включаючи горизонти 2000–2250 м.

1. Калініченко О. В. Розвиток наукових основ управління напружено-деформованим станом масиву при формуванні підземних виробок : дис. д-ра техн. наук : 05.15.02. Кривий Ріг, 2020. 405 с.
2. Ступнік М. І., Калініченко В. О., Калініченко О. В. Економічна оцінка ризиків можливих геомеханічних порушень денної поверхні в полях шахт Кривбасу. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. Дніпропетровськ, 2012. № 6(132). С. 126–130. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2012_6_22, (Scopus) (дата звернення: 15.05.2022).
3. Ступнік М. І., Калініченко В. О., Калініченко О. В. Визначення економічних ризиків від порушень денної поверхні в результаті підземного видобутку руд. *Вісник Криворізького національного університету* : зб. наук. праць. Кривий Ріг, 2012. Вип. 32. С. 246–250.
4. Information technologies as a component of monitoring and control of stress-deformed state of rock mass / Stupnik M., Kalinichenko V., Kalinichenko O., Muzyka I., Fedko M., Pysmennyi S. *Mining of Mineral Deposits*. 2015. 9(2). P. 175–181. URL: <https://doi.org/10.15407/mining09.02.175>. (Scopus). (дата звернення: 15.05.2022).
5. Stupnik N., Kalinichenko V., Kalinichenko E., Muzika I., Fed'ko M., Pis'menniy S. The research of strain-stress state of magnetite quartzite deposit massif in the condition of mine "Gigant-Gliboka" of central iron ore enrichment works (CGOK). *Metallurgical and mining industry*. 2015. No. 7. P. 377–383. URL: http://www.metalljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_7/060Stupn/. (Web of Science, Scopus) (дата звернення: 15.05.2022).
6. Калініченко О. В. Удосконалення концепції управління напружено-деформованим станом гірського масиву при підземних гірничих роботах. *Сборник научных трудов Государственного предприятия «Научно-исследовательский горнорудный институт»*. Кривой Рог, 2015. С. 104–111.

7. Ступнік М. І., Калініченко В. О., Калініченко О. В. Економічна оцінка ризиків можливих геомеханічних порушень денної поверхні в полях шахт Кривбасу. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. Дніпропетровськ, 2012. № 6(132). С. 126–130. 8. Ступнік Н. І., Калиниченко В. А. Проблемы мониторинга дневной поверхности в полях закрытых и действующих шахт Криворожского железорудного бассейна. *Збірник наукових праць Науково-дослідного гірничорудного інституту Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет»*. Кривий Ріг, 2013. № 54. С. 17–22. 9. Моделювання напружено-деформованого стану гірського масиву шахти «Гігант-Глибока» при застосуванні технології з твердіючою закладкою / Ступнік М. І., Калініченко В. О., Калініченко О. В., Письменний С. В., Федько М. Б. *Геотехнічна механіка : міжвідомчий збірник наукових праць*. Дніпро, 2017. Вип. 135. С. 229–238. 10. Куліковська О. Є. Концептуальні засади маркшейдерського моніторингу безпечного функціонування гірничовидобувних регіонів : дис. ... д-ра техн. наук : 05.15.01. Кривий Ріг, 2012. 346 с. 11. Сидоренко В. Д., Куліковська О. С., Паранько І. С. Маркшейдерсько-геодезичний моніторинг – складова частина створення єдиного геоінформаційного простору Криворізького гірничодобувного регіону. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. Дніпропетровськ, 2009. № 10. С. 33–39. 12. Ступнік М. І., Калініченко В. О., Калініченко О. В. Визначення економічних ризиків від порушень денної поверхні в результаті підземного видобутку руд. *Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць*. Кривий Ріг, 2012. Вип. 32. С. 246–250.

REFERENCES:

1. Kalinichenko O. V. Rozvytok naukovykh osnov upravlinnia napruzhenodeformovanim stanom masyvu pry formuvanni pidzemnykh vyrobok : dys. d-ra tekhn. nauk : 05.15.02. Kryvyi Rih, 2020. 405 s. 2. Stupnik M. I., Kalinichenko V. O., Kalinichenko O. V. Ekonomichna otsinka ryzykiv mozhlyvykh heomekhanichnykh porushen dennoi poverkhni v poliakh shakht Kryvbasu. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*. Dnipropetrovsk, 2012. № 6(132). S. 126–130. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2012_6_22, (Scopus) (data zvernennia: 15.05.2022). 3. Stupnik M. I., Kalinichenko V. O., Kalinichenko O. V. Vyznachennia ekonomichnykh ryzykiv vid porushen dennoi poverkhni v rezultati pidzemnoho vydobutku rud. *Visnyk Kryvorizkoho natsionalnoho universytetu* : zb. nauk. prats. Kryvyi Rih, 2012. Vyp. 32. S. 246–250. 4. Information technologies as a component of monitoring and control of stress-deformed state of rock mass / Stupnik M., Kalinichenko V., Kalinichenko O., Muzyka I., Fedko M., Pysmennyi S. *Mining of Mineral Deposits*. 2015. 9(2). P. 175–181. URL: <https://doi.org/10.15407/mining09.02.175>. (Scopus). (data zvernennia: 15.05.2022). 5. Stupnik N., Kalinichenko V., Kalinichenko E., Muzika I., Fed'ko M., Pis'menniy S. The research of strain-stress state of magnetite quartzite deposit massif in the condition of mine "Gigant-Gliboka" of central

iron ore enrichment works (CGOK). *Metallurgical and mining industry*. 2015. No. 7. P. 377–383. URL: http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_7/060Stupn/. (Web of Science, Scopus) (data zvernennia: 15.05.2022).

6. Kalinichenko O. V. Udoskonalennia kontseptsii upravlinnia napruzhenno-deformovanim stanom hirskoho masyvu pry pidzemnykh hirnychych robotakh. *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo predpriyatiya «Nauchno-issledovatel'skiy gornorudnyy institut»*. Krivoy Rog, 2015. S. 104–111.

7. Stupnik M. I., Kalinichenko V. O., Kalinichenko O. V. Ekonomichna otsinka ryzykiv mozhlyvykh heomekhanichnykh porushen dennoi poverkhni v poliakh shakht Kryvbasu. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*. Dnipropetrovsk, 2012. № 6(132). S. 126–130.

8. Stupnik N. I., Kalinichenko V. A. Problemy monitoringa dnevnoy poverhnosti v polyah zakrytyih i deystvuyuschih shaht Krivorozhskogo jelezorudnogo basseyna. *Zbirnyk naukovykh prats Naukovo-doslidnoho hirnychorudnogo instytutu Derzha-vnoho vyshchoho navchalnoho zakladu «Kryvorizkyi natsionalnyi universytet»*. Kryvyi Rih, 2013. № 54. S. 17–22.

9. Modeliuvannia napruzhenno-deformovanoho stanu hirskoho masyvu shakhty «Hihant-Hlyboka» pry zastosuvanni tekhnologii z tverdiiuchoiu zakladkoiu / Stupnik M. I., Kalinichenko V. O., Kalinichenko O. V., Pysmennyi S. V., Fedko M. B. *Heotekhnichna mekhanika : mizhvidomchy zbirnyk naukovykh prats*. Dnipro, 2017. Vyp. 135. S. 229–238.

10. Kulikovska O. Ye. Kontseptualni zasady marksheiderskoho monitorynhu bezpechnoho funktsionuvannia hirnychovydobuvnykh rehioniv : dys. ... d-ra tekhn. nauk : 05.15.01. Kryvyi Rih, 2012. 346 s.

11. Sydorenko V. D., Kulikovska O. S., Paranko I. S. Marksheidersko-heodezychnyi monitorynh – skladova chastyna stvorennia yedynoho heoinformatsiinoho prostoru Kryvorizkoho hirnychodobuvnogo rehionu. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*. Dnipropetrovsk, 2009. № 10. S. 33–39.

12. Stupnik M. I., Kalinichenko V. O., Kalinichenko O. V. Vyznachennia ekonomichnykh ryzykiv vid porushen dennoi poverkhni v rezultati pidzemnogo vydobutku rud. *Visnyk Kryvorizkoho natsionalnoho universytetu : zb. nauk. prats*. Kryvyi Rih, 2012. Vyp. 32. S. 246–250.

Hrishchenko M. A., Assistant, Kalinichenko O. V., Kalinichenko V. O., Doctor of Engineering, Professor (Kryvyi Rih National University),
Malanchuk Z. R., Doctor of Engineering, Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

INVESTIGATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF A MASSIF IN THE TRANSITION FROM THE TECHNOLOGIES OF EXPANDING THE CLEAR SPACE TO THE TECHNOLOGIES WITH THE BLOCK

To date, all the mines of the Kryvyi Rih iron ore basin are mining

deposits of rich iron ore using technologies with the repayment of goaf. Such technologies lead to deformations of the host rocks, which eventually come to the surface. The use of goaf backfilling will reduce the impact of underground mining on the surrounding massif. The transition to technologies with filling requires additional research to establish new patterns of change in the stress-strain state of the combined massif and to establish new dependencies for changes in stresses and strains during the formation of "transitional technologies". Such a technology can be a chamber mining system with the formation of an ore interfloor pillar, under the cover of which the reserves of the treatment chamber of the lower horizon are mined, which are mined in the classical versions without backfilling. After complete working out of the chamber reserve, the treatment space is filled with a hardening backfill. After the hardening backfill has gained the standard strength, the artificial array of the hardening backfill will serve as an artificial pillar (ceiling) when working out the lower chamber. Thus, the formed artificial pillar will serve as a safety pillar. This safety pillar will separate the existing conventional technology on the upper horizons from the proposed goaf backfill technology, which is recommended for mining the lower horizons. In addition, a protective artificial pillar protects the lower floor and allows the use of deposit mining technologies on the lower horizons with subsequent disposal of mining and metallurgical waste in the goaf. In accordance with the proposed technology, we have built a calculation scheme that includes the main components of the transitional technology. The main elements are a spent chamber, an interfloor artificial pillar and overlying collapsed waste rocks. To prove the possibility of using transitional technologies, relevant analytical studies were carried out. This article is devoted to such research.

***Keywords:* iron ore; underground mining; transition technologies; stress-strain state; backfill.**
