

**The methods of research.** The article used the methods of experimental and theoretical and theoretical level. These research methods help not only to gather facts but to test them, to systematize, to identify non-random dependencies and determine cause and effect, and allow you to produce a logical study of the facts gathered to develop concepts and judgments, draw conclusions and theoretical generalizations.

**Practical implications.** Breed field intended for future use in construction, it will always be as important in the Ukraine and in other countries, in connection with the development of cities, construction of new roads. From rocks of a certain type, you can obtain the necessary ingredients for the various mixes, such as concrete, the composition of which includes claystone, suvt and delovi that are present in Illinets'ke geological structure

**The originality** lies in the study of this unique natural formation with a view to its industrial development, since the field contains many useful components, including rare earth components

**Keywords:** *astrobleme, crater, non-metallic minerals, suvt, breccia, backhoe prilowec, buzuibugui method, face, field, mountain weight*

УДК 622.273.217.4

© О.М. Кузьменко, М.В. Петльованій

## **СТІЙКІСТЬ ШТУЧНОГО МАСИВУ ПРИ ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ ПОТУЖНОГО РУДНОГО ПОКЛАДУ НА ВЕЛИКІЙ ГЛИБИНІ**

© А. Kuzmenko, M. Petlovanyi

## **STEADINESS OF ARTIFICIAL MASSIF DURING UNDERGROUND MINING OF THICK ORE DEPOSIT ON A DEEP DEPTH**

Приведені результати математичного моделюванням напруженого стану гірського масиву при розробці потужного крутого рудного покладу системами з високими очисними камерами та твердочим закладанням виробленого простору. Встановлено розташування областей нормальних напружень при різній міцності штучного масиву та глибину їх поширення за нелінійною залежністю.

Приведены результаты математического моделирования напряженного состояния массива при разработке мощной крутой рудной залежи системами с высокими очистными камерами с твердеющей закладкой выработанного пространства. Установлено расположение областей нормальных напряжений при разной крепости искусственного массива и глубину их распространения по нелинейной зависимости.

**Актуальність роботи.** Підземна розробка рудних родовищ, представлених потужними покладами якісної руди, що залягають в складних гірничо-геологічних умовах (обводненість, нестійкі вміщуючі породи, до тривалого відслонення, необхідність збереження поверхні під важливими промисловими об'єктами), супроводжується закладкою виробленого простору.

З часом штучний масив змінює свої властивості міцності, структурні зв'язки між складовими хімічними елементами закладної суміші, проникність, переходячи з рідкого, в'язкого стану в твердий пружно-пластичний або крихкий стан. У ньому відсутня тріщинуватість і колекторні зв'язки всередині масиву і рудного покладу або бічних порід набувають нового поєднання. Стійкість штучного масиву до відслонення дуже важлива. При недостатній стійкості до відслонення і сейсмічного впливу та здійсненні масового вибуху складові закладної суміші стають предметом засмічення рудної маси або її збіднення.

В сучасних умовах розробки залізорудних родовищ площа відслонення боків очисних камер становить від 4000 до 6000 м<sup>2</sup> і більше при їх висоті до 200 м на шахті «Експлуатаційна» ПрАТ «Запорізький залізорудний комбінат». Контури очисних камер придбали нові форми для уникнення втрат руди в ціликах різного призначення, і мають різні кути нахилу до 60 градусів до горизонтальної площини, як у її днища, так і в покрівлі. У цих умовах розглядати міцність штучного масиву на стискання недостатньо, так як виникають розтягувальні напруження, які більш небезпечні для збереження стійкості штучно зведеного масиву [1].

Стійкість контуру гірничих виробок є першочерговим завданням у забезпеченні безпеки ведення гірських робіт, особливо в зоні впливу очисних робіт, де напружений стан рудного покладу і вміщуючих порід зазнає змін. Взаємозв'язок черговості відпрацювання камер на стан порід висячого боку рудного покладу розглянуто в роботі [2].

Стійкість штучного масиву і формування в ньому зон, схильних до руйнації під дією розтягувальних нормальних напружень за висотою відслонення боків очисних камер лежачого боку другої черги, розглянута в роботі [3-5]. Однак, в цих роботах не знайшли відображення питання, пов'язані з процесом формування штучного масиву і його складових компонентів. Для запобігання засмічення рудної маси шкідливими компонентами закладної суміші використовують нейтральні породи або ті, які є компонентами шихтованої руди при її металургійному переділі.

**Постановка завдання.** Шахта «Експлуатаційна» ПрАТ «ЗЗРК» застосовує системи розробки з твердочим закладанням виробленого простору і є найбільш представницьким об'єктом для дослідження стійкості штучно-зведеного масиву в діапазоні глибин 305 – 940 м. Висота камер сягає 100 м при ширині 30 м. Після виїмки руди камери заповнюють твердуючою сумішшю. Відпрацювання ведеться в дві черги. Камери другої черги відпрацьовуються після того, як закладка в камерах першої черги набере необхідну міцність до відслонення і стійкість до сейсмічного впливу.

Ефективність застосування того чи іншого технічного рішення знаходиться в площині експерименту, що дають уявлення про діючі у вміщуючих породах геомеханічних процесів. Це дозволяє прогнозувати з високою вірогідністю стійкість штучного масиву до тривалих відслонень і сейсмічних впливів.

Модель чисельного експерименту відображає напружений стан вміщуючих порід при відпрацюванні запасів залізних руд в поверсі 740 – 840 м, де активно

ведеться видобуток руди. Фізико-механічні властивості природного та штучного масивів наведено в табл. 1.

Штучний масив представлено окремими шарами. Два шари закладки мають підвищену міцність відносно загального об'єму закладання камери і розміщуються в прогнозних областях послаблення напружень на контурі [5]. Зміцнені шар прийнято висотою 10 м. Один розташовувався на рівні поверху 775 – 810 м, а другий - в підпокрівельній частині камери першої черги (Рис. 1).

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості природного та штучного масивів

Параметр	Породи ви-сячого боку	Породи ле-жачого бо-ку	Рудний ма-сив	Штучний масив	Зміцнений штучний масив
Щільність, т/м <sup>3</sup>	3,5	2,7	3,9	2,3	2,3
Модуль Юнга, МПа	15000	8000	6000	600	1000
Коефіцієнт Пуасона	0,25	0,25	0,25	0,15	0,15

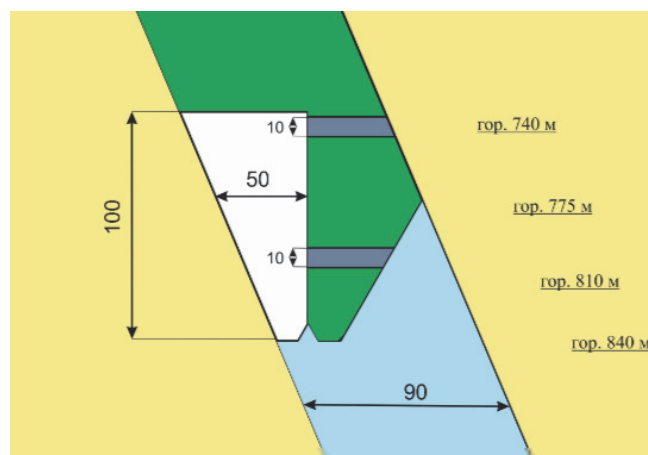


Рис. 1. Структурна будова штучного масиву із шарами підвищеної міцності

**Представлення результатів досліджень.** Моделювання напруженого стану гірського масиву зі зміцненою областю штучного масиву виконано методом кінцевих елементів для гірничо-геологічних умов камер другої черги відпрацювання рудного покладу в поверсі 740 – 840 м.

На контакті з очисними роботами стійкість штучного масиву оцінювалася за результатами напруженого стану порід, для центральної частини горизонтальної площі рудного покладу «Головна», де гірський масив знаходиться в перехідному стані щодо гірничо-геологічних умов південного і північного крила родовища.

Напружений стан штучного і породного масиву моделювався для очисних камер лежачого боку рудного покладу із застосуванням програмного продукту SolidWorks 2011. При моделюванні прийнято, що закладний масив камер першої черги лежачого боку знаходиться в стійкому стані. Виходячи з даного припущення, обчислювальний експеримент проводився з моделями очисних камер, що мають трикутну форму і розташованих вхрест простягання рудного покладу. За стійкістю закладний масив прирівнюється до гірського масиву. При міцності закладки на одноосьове стискання 8,0 МПа в умовах ш. «Експлуатаційна» її міцність за шкалою проф. М.М. Протодьяконова складе  $f = 5$  [6].

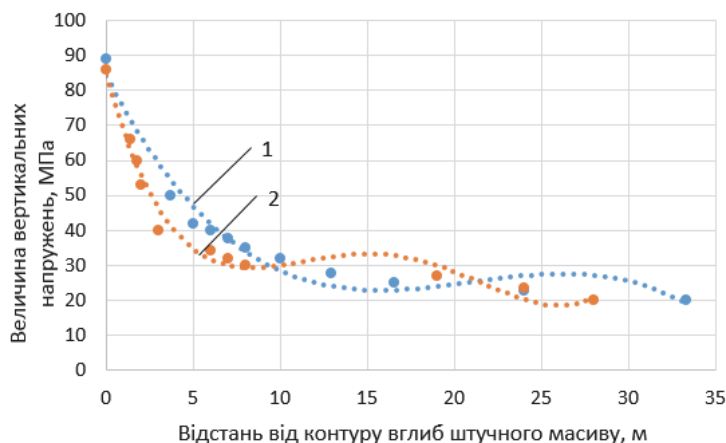
Збільшити міцність твердого закладення представляється можливим при заміні 20% доменного гранульованого шлаку меленими флюсовими відходами. Його подрібнення дозволить істотно підвищити характеристику міцності штучного масиву. Міцність штучного масиву на одноосьове стискання сягне за нашими дослідженнями 11 МПа через 90 днів твердіння, що в 1,4 рази більше у порівнянні із складом закладення, що застосовується на шахті «Експлуатаційна».

Встановлено, що область підвищених стискаючих напружень при використанні зміцненого шару в підпокрівельній частині значно зменшується. Її розміри за вертикаллю зменшуються в 2 рази (з 9,6 до 4,8 м), а розміри вглиб масиву – з 5 до 2 м. Масив, що знаходиться між зміцнюючими шарами, знаходиться у стійкому стані при величині стискаючих напружень 25 – 32 МПа. Збільшення міцності штучного масиву свідчить про зниження у ньому величин виникаючих напружень.

В результаті виконаних досліджень встановлені залежності, що характеризують вплив технологічних параметрів і розподілу щільності штучного масиву за його висотою на формування полів напружень навколо очисних камер другої черги відпрацювання рудних запасів (рис. 2 – 4).

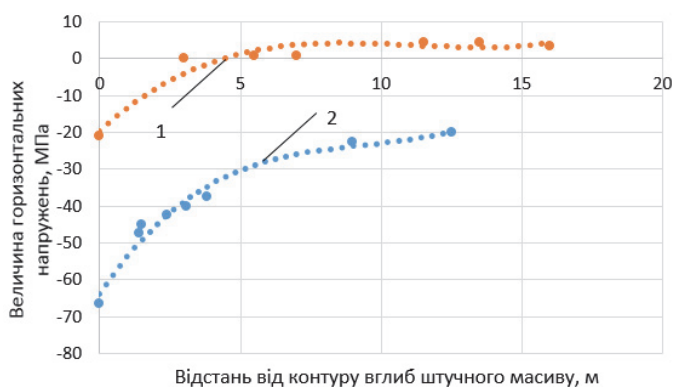
Аналіз графіків, представлених на рис. 2, показує, що поширення стискаючих напружень при різній міцності закладення в глибину штучного масиву змінюється за нелінійної залежністю. Загальний тренд зменшень напружень спрямований на підвищення міцності штучного масиву на контурі його відслонення очисними роботами.

З графіків, наведених на рис. 3, стає очевидним, що на контурі очисної камери підпокрівлений зміцнений шар штучного масиву знижує стискаючі напруження на контурі в 3 рази і більше (з 65 до 20 МПа). Формування розтягувальних напружень відбувається на відстані від контуру 5 м, а підвищених напружень – через 10 м, де їх максимум сягає 5 МПа, що призводить до руйнування штучного масиву, але тільки вглибині масиву.



1, 2 – міцності твердуючої закладки на одноосьове стискання відповідно 8 та 11 МПа

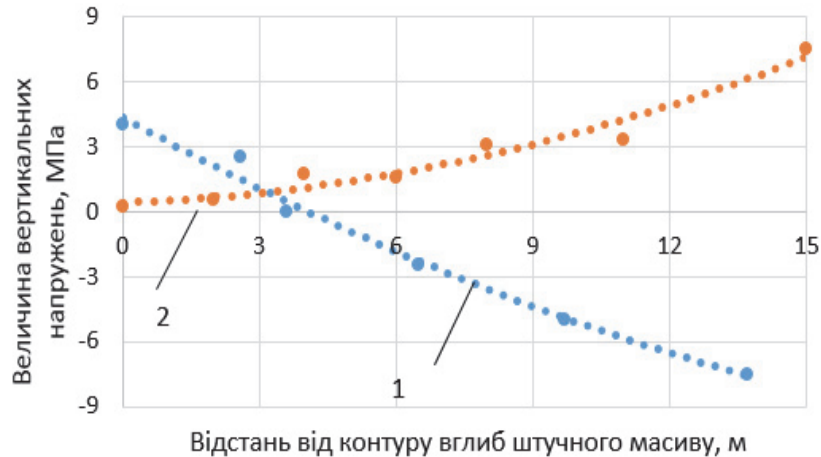
Рис. 2. Зміна величини вертикальних напружень на сполученні покрівлі з боком камери від контуру вглиб штучного масиву



1, 2 – міцності твердуючої закладки на одноосьове стискання відповідно 8 та 11 МПа

Рис. 3. Зміна величини горизонтальних напружень на сполученні покрівлі з боком камери від контуру вглиб штучного масиву

Аналіз графіків, наведених на рис. 4, показав, що на рівні підповерху 775 – 810 м зміцнений шар масиву не відчуває руйнівних розтягувальних напружень на контурі камери. Ці напруження виникають в глибині масиву на відстані 14 м, маючи максимальну величину 7,5 МПа. Таким чином встановлено, що формування штучного масиву за висотою камер першої черги відпрацювання рудних запасів із різними властивостями міцності та характеристиками деформування дозволяє управляти напруженим станом гірського масиву, значно знижуючи збіднення руди закладних матеріалом.



1, 2 – міцність твердуючої закладки на одноосьове стискання відповідно 8 та 11 МПа

Рис. 4. Графік зміни величини горизонтальних напружень в області штучного масиву 775 – 810 м від контуру вглиб штучного масиву

Штучний масив після його зміцнення на глибині 750 – 800 м знаходиться в стійкому стані, а напруження в цій частині масиву складають 30 – 36 МПа. Це означає, що в даній області штучного масиву з'являється можливість його зведення меншої міцності, що значно здешевить вартість закладних робіт. При напруженнях 30 – 36 МПа досить мати закладну суміш із міцністю на одноосьовий стиск 6 МПа.

**Висновки.** Проведені дослідження стійкості штучного масиву навколо камери другої черги відпрацювання дозволили сформулювати наступні наукові та практичні результати:

- стискаючі напруження при різній міцності штучного масиву поширюються в його глибину, змінюючись за нелінійною залежністю;
- тренд зменшень напружень спрямований на підвищення міцності штучного масиву на контурі його відслонення очисними роботами;
- зміцнення шару штучного масиву на 30% зменшує зону стискаючих напружень у 2 рази і більше в вертикальному та горизонтальному напрямках;
- штучний масив після його зміцнення на глибині 750 – 800 м знаходиться в стійкому стані, а напруження в цій частині масиву складають 30 – 36 МПа. Це означає, що в даній області штучного масиву з'являється можливість його зведення меншої міцності, що значно здешевить закладні роботи. При напруженнях 30 – 36 МПа досить формувати закладну суміш із міцністю на одноосьовий стиск 6 МПа.

#### Перелік посилань

1. Kuz'menko, O., Petlyovanyu, M., & Stupnik, M. (2013). The influence of fine particles of binding materials on the strength properties of hardening backfill. *Mining of Mineral Deposits*, 45-48, <https://doi.org/10.1201/b16354-10>
2. Капленко Ю.П. Влияние напряженного состояния горного массива и горно-геологических условий на параметры обнажений и форму очистных камер / Ю.П. Капленко, В.В. Цариковский // Разработка рудных месторождений – 2005. – Вып. 88. – С. 11-24.



3. Кузьменко А.М. Влияние структуры горного массива и порядка отработки камерных запасов на разубоживание руды / А.М. Кузьменко, М.В. Петлеваний // Геотехническая механика. – 2014. – Вып. 118. – С. 37-45.
4. Кононенко М.М. Дослідження напружено-деформованого стану масиву навколо очисних камер / М.М. Кононенко // Науковий вісник НГУ. – 2010. – №4. – С. 51-53.
5. Petlovanyi, M. (2016). Influence of configuration chambers on the formation of stress in multimodulus mass. *Mining of Mineral Deposits*, 10(2), 48-54. <https://doi.org/10.15407/mining10.02.048>
6. Инструкция по определению параметров очистной выемки при системах разработки с твердующей закладкой на Запорожском железорудном комбинате / Е. П. Чистяков, С. А. Кулиш, В. И. Мошинский и др. // Кривой Рог ГП «НИГРИ», 2011. – 29 с.

#### ABSTRACT

**Purpose.** Determination of weakened areas location on a contour of artificial massif of high chambers of second stage by means of numerical simulation of stress state in the zone of stopping operations influence during mining of iron-ore stocks on a footwall of deposit.

**Methods.** Research of normal and stretching stresses distribution on a contour of artificial massif by means of numerical simulation conducting with the help of SolidWorks 2011 software.

**Findings.** Location of weakened areas of artificial massif on a contour of stopping chambers of second stage is established by modeling. Weakened areas are possessed in curved areas of roof and bottom and also in central part of chamber sites. It is established that strengthened layer of artificial massif on a contour of under-the-roof part of stopping chambers decrease compression stresses in 3 times. Formation of stretching stresses is happened on a distance of 5 m, but increased stresses in 10 m, where their maximum reaches 5 MPa that leads to destruction of artificial massif. Received results are proved by natural observations on steadiness of high chambers according to works of other authors in open sources, that confirms about authenticity of received results and appropriateness of mathematical tool application.

**Originality.** It is established that stretching stresses of different strength of artificial massif are expanded into depth and changes on non-linear dependence. Total trend of stresses decreasing is directed on increasing of artificial massif strength on a contour of its cropping out by stopping operations.

**Practical implications.** Given results of research allow to predict stress state of artificial massif on a contour of stopping chambers of second stage and also to form massif in a position of strength and composition of backfilling mixture changing for collapses prevention and ore mass contamination.

**Key words:** *artificial massif, stopping chambers, normal stress, numerical simulation, backfilling mixture*