

УДК 622.273.217.4

А.М. Кузьменко
М.В. Петлёваный

ВЗАИМОСВЯЗЬ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕГО МАССИВА С УСТОЙЧИВОСТЬЮ КОНТУРА ОЧИСТНЫХ КАМЕР ПРИ РАЗРАБОТКЕ КРУТЫХ ЗАЛЕЖЕЙ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ

Рассмотрена взаимосвязь структурных изменений массива с устойчивостью горного и искусственного массивов в зависимости от расположения трещин и степени их раскрытия, что определяет образование рудных и породных блоков. Вывалы происходят в местах залегания слабых к устойчивости пород, с развитой системой трещин, склонных к сползанию по лежащему боку на южном крыле Главной рудной залежи.

Искусственный массив и ослабленные зоны пород лежащего бока рудной залежи обрушаются при достижении определенной площади обнажения у кровли очистной камеры. Иницирующим фактором является сейсмическое воздействие массового взрыва при отбойке руды, создавая условия для нарушения равновесного состояния новообразования в виде закладки – руды и пород. Прочностные поверхностные связи закладочной смеси с породами или рудой значительно выше, чем связь между породными блоками, которые образуют взаимно-пересекающие раскрытые системы трещин.

Ключевые слова: структура массива, трещиноватость, рудная залежь, очистная камера, устойчивость, закладка

Введение. ОАО «Запорожский железорудный комбинат» разрабатывает крутую Главную залежь Южно-Белозерского железорудного месторождения с высоким содержанием полезного компонента, залегающую в сложных гидрологических условиях, системами с твердеющей закладкой выработанного пространства очистных камер. В структурном строении руды и вмещающих породах довольно часто присутствует зональность в виде интенсивной трещиноватости и замещения литологических разностей, обладающими нестабильными прочностными характеристиками по высоте очистных камер. Как показывает опыт отработки рудной залежи системами с твердеющей закладкой, устойчивость искусственного массива при его обнажении камерами второй очереди отработки на северном и южном крыле отличается. Происходит обрушение боков очистной камеры, представленными литологическими разностями и закладкой, а как следствие загрязнение рудной массы стерильными породами или ее разубоживание.

Актуальность проблемы. Применение твердеющей закладки предусматривает соблюдение очередности отработки рудных запасов как по горизонтальной площади, так и по глубине развития подземных горных работ. Одна и та же технология ведения горных работ без учета структурных изменений в горном массиве определяет затратную со-

ставляющую на добычу руды [1, 2]. Высокие очистные камеры с большими объемами отбиваемой руды (150–300 тыс. т) с пособствуют увеличению площади обнажения массивов, которые находятся в различном напряженном состоянии по контуру очистных камер второй и третьей очереди. В результате проведения массовых взрывов по отбойке руды структурные изменения проявляют неустойчивость, обрушаются, увеличивая таким образом объем рабочего пространства очистной камеры и расход закладочной смеси для заполнения выработанного пространства [3, 4].

Наличие тектонических нарушений и зон интенсивных трещин в горном массиве отрицательно влияет на условия производства очистных работ и в дальнейшем на устойчивость искусственного массива при его обнажении [5, 6]. Устойчивость плоскости обнажения массива косвенно выражается через его количественные параметры напряженного состояния, которые возникают в результате действия горного давления. Этому вопросу уделяется достаточно внимания чтобы характеризовать состояние массива в зоне ведения или влияния горных работ [7, 8], но не учитывается зональность структурных изменений, а их влияние ощущается на практике [9].

Целью представленных исследований является установление причин разрушения контура камер второй очереди отработки во

взаимосвязи со структурными изменениями окружающего массива при разработке крутых залежей железной руды

Результаты исследований. По горизонтальной площади Главной рудной залежи Южно-Белозерского месторождения и по глубине залегания месторождения структурное строение и минеральный состав вмещающих пород, а также угол падения и простирания, существенно отличаются. Толща железистых кварцитов имеет общее субмеридиональное простирание (с северо-запада на северо-восток), изогнута в западном направлении. Южное крыло простирается в северо-западном направлении (310°), а в средней части простирание меняется на северо-восточное направление (40°). Аналогично происходит изменение угла падения рудной залежи, увеличиваясь с $60 - 65$ до $80 - 85^\circ$ от южного до северного крыла. На рисунке 1 приведен вертикальный разрез Главной рудной залежи Южно-Белозерского месторождения, где отчетливо представлены структурные изменения литологических разностей по глубине залегания.

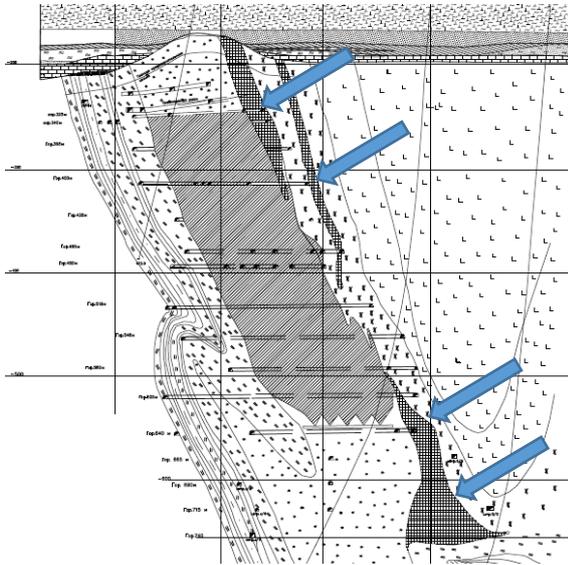


Рис. 1. Вертикальный разрез Главной рудной залежи Южно-Белозерского месторождения (стрелками показано наличие кварцитов)

В породах висячего бока видны локальные замещение кварцитов и глинистых сланцев на контакте с рудной залежью. В центральной части залежи в висячем и лежащем боках состав пород аналогичен, как и в южной части залежи, но добавляются

кварц-гематит-хлоритовые породы.

Северная часть залежи по морфологии рудных тел и составу вмещающих пород заметно отличается от южной и центральной части залежи. Мощность рудной залежи здесь резко падает от 100 до 10 м, при этом она расщепляется на ряд рудных тел. Выдержанным по простиранию является рудное тело в лежащем боку залежи. Разделяют рудные тела кварциты, преимущественно гематит-мартитового состава мощностью $7 - 20$ м. Вмещающими породами лежащего бока являются сланцы кварц-хлорит-серицитового состава, крепостью по шкале М.М. Протодяконова $f = 7 - 9$, замещаясь далее на север кварцитами гематит-мартитовыми, крепостью $f = 14 - 15$. В висячем боку залегают кварциты, преимущественно гематит-мартитового состава, крепостью $f = 14 - 15$, трещиноватость средняя, устойчивость средняя. Массив горных пород лежащего бока рудной залежи имеет пликативные нарушения, но структура литологических разностей выдерживается на современной глубине ведения горных работ.

На южном крыле рудной залежи вмещающие породы висячего и лежащего бока представлены кварц-хлорит-серицитовыми сланцами, кварц-серицит-хлоритового и кварц-гематит-хлоритового состава, коэффициент крепости f от $7 - 9$ до $8 - 10$, трещиноватость сланцев средняя, устойчивость средняя.

Залегание железистых кварцитов осложнено складчатостью четвертого и более высоких порядков. Разрывные нарушения отсутствуют, но отдельные трещины раскрыты в вертикальных и пологих плоскостях с углами падения $10 - 20^\circ$ на всей площади месторождения. Простирание вертикальных трещин преобладает в направлении 350° , а пологих – $250 - 275^\circ$. В отдельных местах по трещинам наблюдаются кварцевые жилы и рудные брекчии в виде обломков железистых кварцитов и руд, сцементированных дисперсным гематитом. Плотность трещин изменяется от низкой трещиноватости (до 2 трещин на один метр) до весьма сильной (20 трещин на один метр). На рисунке 2 приведено расположение систем трещин в Главной залежи Южно-Белозерского железорудного месторождения. Взаимное расположение и степень раскрытия трещин в массиве создают рудные и породные блоки, которые стано-

влятся неустойчивыми при обнажении горными работами.

Имеет место достаточно большое зияние между плоскостями трещин (до 300 мм), а их открытость свидетельствует о том, что возможны перемещения блоков пород по плоскостям скольжения под действием горного давления. На южном крыле залежи глубине отработки рудного тела имеет место четыре группы очистных камер, где разрушаются их плоскости обнажений и происходит обрушение массива.

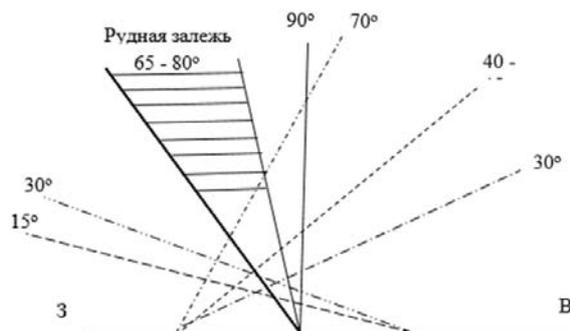


Рис. 2. Расположение систем трещин в горном массиве Главной залежи Южно-Белозерского железорудного месторождения

Они располагаются по осям: I группа – 1/5ю, 3/5ю, 4/5ю; II группа – 1/7ю, 2/7ю, 3/7ю, 4/7ю; III группа – 0/9ю, 2/9ю, 4/9ю, 1/10ю, 2/10ю, 1/11ю, 0/11ю; IV группа – 0/13ю, 3/13ю, 4/13ю, 0/14ю, 1/14ю, 3/15ю, 1/15ю, 2/15ю, 3/15ю.

В очистных камерах I и II группы трещиноватость изменяется по глубине рудной залежи. Их ширина уменьшается так как мощность залежи уменьшается в центре шахтного поля в изогнутой части южного крыла. Зоны трещиноватости, а также изменение структуры руды и вмещающих пород фиксируются в полосе до 30 м через одну очистную камеру по простирацию.

В очистной камере 1/5ю на горизонте 740 м по буровому штреку руда гематит-мартитовая, тонко-среднеслоистая, слабоскладчатая, $f = 5 - 6$, средней трещиноватости, низкой устойчивости, по трещинам II – III порядков в процессе горнопроходческих работ наблюдались отслоения руды. По высоте камеры (этаж 640 – 740 м) руда гематит-мартитовая, мартит-гематитовая, редко встречаются прослойки мартит-железослюдковой и гематитовой руды. Структура тонко-среднеслоистая,

иногда массивной текстуры, редко плейчатая, окварцованная с включениями карбонатного материала, трещиноватость от слабой до средней, неравномерная по крепости от $f = 3 - 5$ до $f = 7 - 8$. По трещинам III порядка происходило отслоение горной массы в виде плит, что свидетельствует о слабом контакте и наличии зияния между плоскостями трещин.

По оси камеры 1/7ю очистные камеры отрабатывают руду гематит-мартитовую с частичными замещениями в западной части камеры с прослоями мартит-гематитовой мощностью 2 – 3 м. В основном руда тонкослоистая, неравномерной крепости, трещиноватость изменяется от слабой до средней, устойчивость средняя. Контакт с вмещающими породами четкий. На горизонте 640 м по орту 7ю + 7,5 м наблюдаются отдельные прослои мартит-гематитовой руды землистого сложения, низкой устойчивости. По глубине отработки залежи в створе оси от гор. 605 до гор. 825 м отмечается изменение состава руды и возрастает трещиноватость. Так на горизонте 825 м, наблюдались отслоения руды по взаимно-пересекающимся трещинам III порядка, обусловленным близким расположением отработанной и заложной камеры 2/7ю.

Как видим, структурные изменения горного массива совпадают с технологическими параметрами проведения горных работ в системе разработки и высотой слоя заполнения выработанного пространства закладочными смесями.

Устойчивость искусственного массива при обнажении зависит от его прочностных свойств на сжатие и направления приложения нагрузки со стороны вмещающих пород. На южном крыле рудной залежи, в большинстве случаев, искусственный массив обрушается при достижении определенного обнажения у кровли очистной камеры.

Взаимосвязь структурных изменений и устойчивость искусственного массива наглядно демонстрируется на примере очистной камеры 1/11ю, где произошло обрушение закладки в очистное пространство камеры 1/10ю. Объем выработанного пространства камеры вместил 64,6 тыс. м³ закладочной смеси за 30 дней при последующей дозакладке оставшихся пустот в закладочном массиве. Состав твердеющей закладки следующий: молотый доменный гранулированный шлак – 17,6%, отсев

флюса – 44,2%, дробленая горная порода – 22%, вода – 16,2%.

У днища вышерасположенной камеры в закладочную смесь дополнительно добавлялось не менее 10 кг цемента на 1 м³. Высота заполнения первого слоя закладки составляет 6 – 8 м, а смесь должна быть густой консистенции и подаваться с уменьшенной интенсивностью. Прочность закладки в днище камеры должна составлять 10 – 12 МПа, при дальнейшем заполнении выработанного пространства камеры – 7 – 8 МПа. Распределение прочности закладки по заливаемым слоям камеры приведено на рисунке 3.

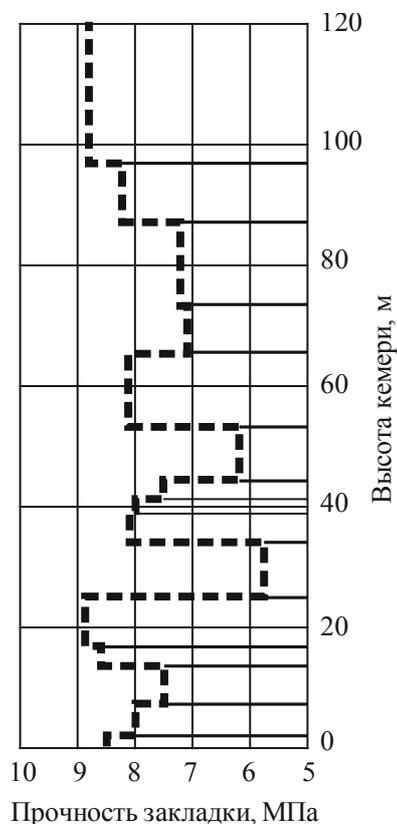


Рис. 3. Распределение слоев заливки и прочности закладки по высоте заложеной камеры 1/1 ю

Проведенным моделированием распределения напряженно-деформированного состояния массива вокруг высоких очистных камер авторами установлено [10], что напряжения перемещаются вглубь массива, выравниваясь на расстоянии до 5 – 7 м до геостатического напряженно-деформированного состояния, свойственного конкретному горнодобывающему региону. В приведенных результатах исследования

трещиноватость массива не учитывалась, а тем более ее зональное проявление по высоте очистной камеры. Если учесть трещиноватость и ее развитие в горнорудном массиве, что отмечалось выше, то становится очевидным образование ослабленных зон пород лежащего бока рудной залежи. Предельное обнажение площади этих зон и сейсмическое воздействие массового взрыва при отбойке руды формирует условия для нарушения равновесного состояния новообразования в виде закладки – руды и пород. Прочностные поверхностные связи закладочной смеси с породами или рудой значительно выше, чем связь между породными блоками, которые образуют взаимно-пересекающиеся системы трещин.

В работе [11] отмечалось, что трещиноватость пород является более значимым фактором, чем крепость породы на сжатие, и способствует быстрому разрушению массива при возникновении в нем растягивающих напряжений под действием горного давления или взрыва.

Выводы. При разработке крутых залежей железной руды структурные изменения окружающего массива по высоте очистных камер оказывают существенное влияние на устойчивость плоскостей обнажений как пород и руды, так закладочного массива при системах разработки с твердеющей закладкой.

Одной из важных основных причин разрушения контура камер второй очереди отработки рудных запасов является отсутствие взаимосвязи технологических параметров заполнения закладочными смесями выработанного пространства со структурными изменениями окружающего массива.

Расположение трещиноватых плоскостей обнажений очистной камеры имеет большое значение, так как последние склонны к обрушению по плоскостям скольжения при обнажении горными работами.

Список литературы

1. Четверик М.С. Перспективные направления добычи руд в глубоких карьерах и шахтах Кривбасса / М.С. Четверик // Геотехнічна механіка. – 2012. – Вип. 104. – С. 51-60.
2. Зиядинова Э.З. Методические принципы установления нормативных показателей потерь и разубоживания руды в конкретных горно-геологических условиях / Э.З. Зиядинова // Вестник Карагандинского университета. Серия «Экономика». – 2009. – №1. – С. 141-146.
3. Петров А.Н. Результаты исследований по внедрению камерной системы разработки с закладкой на

руднике Айхал / А.Н. Петров // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – №12. – С. 31-38.

4. Petlovanyi M. Influence of configuration chambers on the formation of stress in multi-modulus mass / *Mining of Mineral Deposits*. – 2016. – Vol. 10. – Is. 2. – P. 48-54.

5. Раимжанов Б.Р. Исследование напряженно-деформированного состояния массива горных пород месторождения Чармитан, влияющие на выбор технологии отработки запасов нижних горизонтов / Б.Р. Раимжанов, А.Т. Мухитдинов, А.Р. Хасанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – №5. – С. 282-292.

6. Швагер Н.Ю. Теоретические исследования факторов, влияющих на устойчивость сводообразных обнажений / Н.Ю. Швагер // Горный вестник. – 2013. – Т. 1. – №. 1. – С. 72-76.

7. Emad M.Z. Effect of blast-induced vibrations on fill failure in vertical block mining with delayed backfill / M.Z. Emad, H. Mitri, C. Kelly // *Canadian Geotechnical Journal*. – 2014. – Vol. 51. – Is. 9. – P. 975-983.

8. Aubertin M. Interaction between backfill and rock mass in narrow stopes / M. Aubertin // *Soil and rock America*. – 2003. – Vol. 1. – P. 1157-1164.

9. Lozynskiy V.H. Revisiting possibility to cross disjunctive geological faults by underground gasifier / V.H. Lozynskiy, R.O. Dychkovskiy, V.S. Falshtynskiy, P.B. Saik // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. – 2015. – No. 4. – P. 22-27.

10. Кузьменко О.М. Стійкість штучного масиву при підземній розробці потужного рудного покладу на великій глибині / О.М. Кузьменко, М.В. Петльованій // Збірник наукових праць НГУ. – 2017. – №50. – С. 56-62.

11. Кузьменко А.М. Моделирование устойчивости формы высоких очистных камер при системах разработки железорудных месторождений с твердеющей закладкой / А.М. Кузьменко, В.Ю. Усатый, В.В. Усатый // Школа подземной разработки: материалы IV междунар. науч.-практ. конф. – Д: НГУ, 2011. – С. 30-38.

References

1. Chetverik M.S. (2012), “Prospective directions of extraction of ores in deep quarries and mines of Kryvbass”, [“Perspektivnye napravleniya dobychi rud v glubokikh kar'yerakh i shakhtakh Krivbassa”], *Geotekhnichna mekhanika*, Vol. 104, pp. 51-60, (in Russian).

2. Ziyadinova E.Z. (2009), “Methodological principles of establishing normative indicators of losses and dilution of ore in specific mining and geological conditions”, [“Metodicheskie printsipy ustanovleniya normativnykh pokazateley poter' i razubozhivaniya rudy v konkretnykh gorno-geologicheskikh usloviyakh”], *Vestnik Karagan-*

dinskogo universiteta. Seriya “Ekonomika”, Vol. 1, pp. 141-146, (in Russian).

3. Petrov A.N. (2015), “Results of studies on the introduction of the chamber system of development with a bookmark at the Aikhal mine”, [“Rezultaty issledovaniy po vnedreniyu kamernoy sistemy razrabotki s zakladkoy na rudnike Aykhal”], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*, No. 12, pp. 31-38, (in Russian).

4. Petlovanyi M. (2016), “Influence of configuration chambers on the formation of stress in multi-modulus mass”, *Mining of Mineral Deposits*, Vol. 10, Is. 2, pp. 48-54 (in English).

5. Raimzhanov B.R., Mukhitdinov A.T., Khasanov A.R. (2016), “Investigation of the strained-deformed state of the rock massif of the Charmitan deposit, affecting the choice of technology for development of reserves of the lower horizons”, [“Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya massiva gornyx porod mestorozhdeniya Charmitan, vliyayushchie na vybor tekhnologii otrabotki zapasov nizhnikh gorizontov”], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*, No. 5, pp. 282-292 (in Russian).

6. Shvager N.Yu. (2013), “Theoretical studies of factors influencing the stability of archaic outcrops”, [“Teoreticheskie issledovaniya faktorov, vliyayushchikh na ustoychivost' svodoobraznykh obnazheniy”], *Gornyy vestnik*, Vol. 1, Is. 1, pp. 72-76 (in Russian).

7. Emad M.Z., Mitri H., Kelly C. (2014), “Effect of blast-induced vibrations on fill failure in vertical block mining with delayed backfill”, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 51, Is. 9, pp. 975-983 (in English).

8. Aubertin M. (2003), “Interaction between backfill and rock mass in narrow stopes”, *Soil and rock America*, Vol. 1, pp. 1157-1164 (in English).

9. Lozynskiy V.H., Dychkovskiy R.O., Falshtynskiy V.S., Saik, P.B. (2015), “Revisiting possibility to cross disjunctive geological faults by underground gasifier”, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, No. 4, P. 22-27 (in English).

10. Kuzmenko O.M., Petlovanyi M.V. (2017), “The stability of an artificial array during underground development of a powerful ore deposit at a great depth”, [“Stiikist shtuchnoho masyvu pry pidzemnii rozrobtci potuzhnoho rudnoho pokladu na velykii hlybini”], *Zbirnyk naukovykh prats NHU*, No. 50, pp. 56-62 (in Ukrainian).

11. Kuz'menko A.M., Usatyy V.Yu., Usatyy V.V. (2011), “Simulation of the stability of the shape of high purification chambers for the development of iron ore deposits with hardening tabs”, [“Modelirovanie ustoychivosti formy vysokikh ochistnykh kamer pri sistemakh razrabotki zhelezorudnykh mestorozhdeniy s tverdeyushchey zakladkoy”], *Shkola podzemnoy razrabotki: materialy IV mezhdunar. nauch.-prakt. konf.*, D: NGU, pp. 30-38.

Надійшла до редакції 12.10.2017

Рецензент д-р. техн. наук, проф. С.В. Подкопаєв.

Кузьменко Александр Михайлович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры подземной разработки месторождений, ГВУЗ «Национальный горный университет» (пр. Яворницкого 19, Днепр, 49005, Украина)

E-mail: kuzmenkoa@nmu.org.ua

Петльованій Михаил Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры подземной разработки месторождений, ГВУЗ «Национальный горный университет» (пр. Яворницкого 19, Днепр, 49005, Украина)

E-mail: petlyovany@ukr.net

**ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК СТРУКТУРНИХ ЗМІН ОТОЧУЮЧОГО МАСИВУ
ЗІ СТІЙКІСТЮ КОНТУРУ ОЧИСНИХ КАМЕР ПРИ РОЗРОБЦІ КРУТИХ
ПОКЛАДІВ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ**

Анотація. Розглянуто актуальні питання взаємозв'язку структурних змін масиву та стійкості штучного масиву. Взаємне розташування і ступінь розкриття тріщин у масиві створюють рудні й породні блоки, які стають нестійкими при відслоненні гірничими роботами. Виявлено, що переважна більшість вивалів відбувається на південному крилі рудного покладу в місцях залягання слабких до стійкості порід, з розвинутою системою тріщин, схильних до сповзання по лежачому боку. Стійкість штучного масиву при відслоненні залежить від його міцнісних властивостей на стиск і напряду докладання навантаження з боку вміщувачих порід. На південному крилі рудного покладу, в більшості випадків, штучний масив руйнується при досягненні певного відслонення у покрівлі очисної камери.

Граничне оголення площі ослаблених зон порід лежачого боку рудного покладу й сейсмічний вплив масового вибуху при відбійці руди формує умови для порушення рівноважного стану новоутворення у вигляді закладки – руди та порід. Міцнісні поверхневі зв'язки закладної суміші з породами чи рудою значно вищі, ніж зв'язок між породними блоками, які утворюють взаємно-перетинаючі розкриті системи тріщин.

Ключові слова: структура масиву, тріщинуватість, рудний поклад, очисна камера, стійкість, закладка

Кузьменко Олександр Михайлович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри підземної розробки родовищ, ДВНЗ «Національний гірничий університет» (пр. Яворницького 19, Дніпро, 49005, Україна)

E-mail: kuzmenkoa@nmu.org.ua

Петльований Михайло Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри підземної розробки родовищ, ДВНЗ «Національний гірничий університет» (пр. Яворницького 19, Дніпро, 49005, Україна)

E-mail: petlyovany@ukr.net

**INTERRELATION OF STRUCTURAL CHANGES OF THE ENCLOSING
MASSIF WITH SUSTAINABILITY
OF EXTRACTION CHAMBER DURING IRON ORE DEPOSIT DEVELOPMENT**

Abstract. The interrelation of the structural changes in the massif with the stability of the rock and artificial massifs is considered, depending on the arrangement of cracks and the degree of their opening, which determines the formation of ore and rock blocks. Dumps occur in places where there is the weak stability of rocks, with a developed system of cracks, prone to slipping along the lying side on the southern wing of the main ore deposit.

The artificial massif and the weakened zones of rocks of the lying side of the ore deposit collapse when a certain outcrop area is reached near the roof of the extraction chamber. The initiating factor is the seismic impact of a mass explosion in the breakdown of ore, creating conditions for the disturbance of the equilibrium state of the formation in the form of a backfilling - ores and rocks. The strength of the surface bonds of the packing mixture with the rocks or ore is much higher than the connection between the rock blocks that form mutually intersecting open fracture systems.

Keywords: structure of the massif, fracturing, ore deposit, extraction chamber, stability, backfilling

Oleksandr Kuzmenko – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Underground Mining Department, SHEI “National Mining University” (19 Yavornytskoho Ave., Dnipro, 49005, Ukraine)

E-mail: kuzmenkoa@nmu.org.ua

Mykhailo Petlovanyi – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Underground Mining Department, SHEI “National Mining University” (19 Yavornytskoho Ave., Dnipro, 49005, Ukraine)

E-mail: petlyovany@ukr.net