

622.013.364.3

Кузьменко А.М., д-р техн. наук, профессор,
Петлёванный М.В., канд. техн. наук, доцент
(Государственное ВУЗ «НГУ»)

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ГОРНОГО МАССИВА И ПОРЯДКА ОТРАБОТКИ КАМЕРНЫХ ЗАПАСОВ НА РАЗУБОЖИВАНИЕ РУДЫ

Кузьменко О.М., д-р техн. наук, профессор,
Петльованый М.В., канд. техн. наук, доцент
(Державний ВНЗ «НГУ»)

ВПЛИВ СТРУКТУРИ ГІРНИЧОГО МАСИВУ ТА ПОРЯДКУ ВІДПРАЦЮВАННЯ КАМЕРНИХ ЗАПАСІВ НА ЗУБОЖІННЯ РУДИ

Kuzmenko A.M., D. Sc. (Tech.), Professor,
Petlyovany M.V., Ph. D. (Tech.), Associate Professor
(State H E I «NMU»)

IMPACT OF ROCK MASSIF STRUCTURE AND SEQUENCE OF CHAMBER RESERVES MINING ON THE ORE DILUTION

Аннотация. Изложены результаты влияния изменяющейся структуры горного массива и порядка отработки камерных запасов на показатели разубоживания руды при этажных системах разработки с твердеющей закладкой. Рассмотрено влияние особенностей контакта рудной залежи с закладочным массивом в зависимости от порядка отработки очистных камер.

Установлено, что разубоживание руды породами лежащего бока очистных камер имеет менее выраженную интенсивность в сравнении с камерами висячего бока. Разубоживание камер первых очередей отработки лежащего бока в два раза меньше, чем камер висячего бока. Однако при увеличении длины камеры в 2 раза разубоживание породами лежащего бока возрастает более чем в 3 раза.

Приведены зависимости величины разубоживания добытой руды от физико-механических характеристик горного массива, находящегося на контакте с очистной камерой.

Ключевые слова. Разубоживание, крепость пород, площадь обнажения пород, породы висячего и лежащего боков, прочность закладки.

Введение. Одним из показателей, характеризующих эффективность камерных систем разработки с твердеющей закладкой, является разубоживание или засорение добытой руды. При разработке крутопадающих рудных залежей со слабыми породами лежащего и висячего бока, а также недостаточно прочный закладочный массив обрушается под сейсмическим воздействием взрывных работ, что приводит к засорению отбитой руды. Величина засорения или разубоживания рудной массы зависит от прочности горного массива, который формируется технологическими параметрами системы разработки. В производственных условиях этот показатель стремятся уменьшить, совершенствуя технологические параметры и порядок отработки рудных запасов по площади рудной залежи.

Камерные запасы руды находятся как в окружении массива рудной залежи, так боковых пород и закладочного массива. В зависимости от порядка отработки камерных запасов по рудной площади на этажах формируется структурное строение техногенного горного массива и величина разубоживания рудной массы.

Рудные запасы очистных камер первой очереди разубоживаются породами висячего или лежащего боков залежи. Последующие камеры обрабатываются в окружении искусственного массива, что подтверждается высокими показателями разубоживания. Например, величина разубоживания рудной массы на рудниках Заполярный и Гайский ГОК соответственно составляет 17,4 % и 11 % [1, 2], а среднее разубоживание по рудникам Украины – 8,7 % [3]. Повышение разубоживания рудной массы твердеющей закладкой на 1 % влечет за собой снижение извлечения на обогатительной фабрике на 1 % [4].

При системах разработки рудных залежей с твердеющей закладкой рудная масса может, как загрязняться материалами наполнителя, так и быть инертной или сопутствующим компонентом при металлургическом переделе [5]. Однако для полного заполнения камер инертными материалами, или содержащих полезные компоненты, требуются значительные объемы, которые связаны с их добычей на отдельных месторождениях и транспортированием к закладочному комплексу шахты. Суммарные затраты на закладочные работы значительно возрастают, что делает добычу руд неэффективной. Для снижения затрат в качестве заполнителя применяют дробленную породу от проведения горных выработок, добавляя ее в состав закладочной смеси или отходы обогащения [6, 7]. В процессе заполнения камер закладочной смесью формируется многослойный массив, который обладает разной прочностью и при обнажении и массовом взрыве обрушается в очистную камеру.

Объектом исследования являются порядок отработки мощного рудного тела Южно-Белозерского месторождения богатых железных руд, разрабатываемого Запорожским железорудным комбинатом (ЗЖРК).

Падение рудной залежи “Главная” восточное. Угол падения рудо-породной толщи от 60° до 80° с пластообразной формой залежи. Максимальная мощность залежи 150 м в южном крыле шахтного поля, минимальная на северном – 10 м. В лежащем боку залегают кварц-хлорит-серицитовые сланцы, прочностью 60–90 МПа. На контакте руды со сланцами часто встречаются прослойки кварцитов мощностью до 10 м. Висячий бок северной части месторождения представлен железистыми кварцитами, весьма крепкими, трещиноватыми и устойчивыми, прочностью 120-160 МПа. В южной части висячего бока залегают породы, аналогичные по своей структуре лежащему боку.

Отработка мощного рудного тела осуществляется камерной системой разработки с твердеющей закладкой преимущественно по схеме «камера-целик» от центра шахтного поля к его флангам. Высота камеры (этажа) составляет 100-200 м, ширина камер - 30 м. В зависимости от колебаний мощности 2-3 камеры располагают вкрест простирания, а отработку запасов ведут от висячего бока к лежащему и наоборот. При данной схеме выделяют камеры первой и второй

очередей отработки, располагая их по рудной площади разнообразно. Основные схемы отработки очистных камер представлены на рис. 1 а-г.

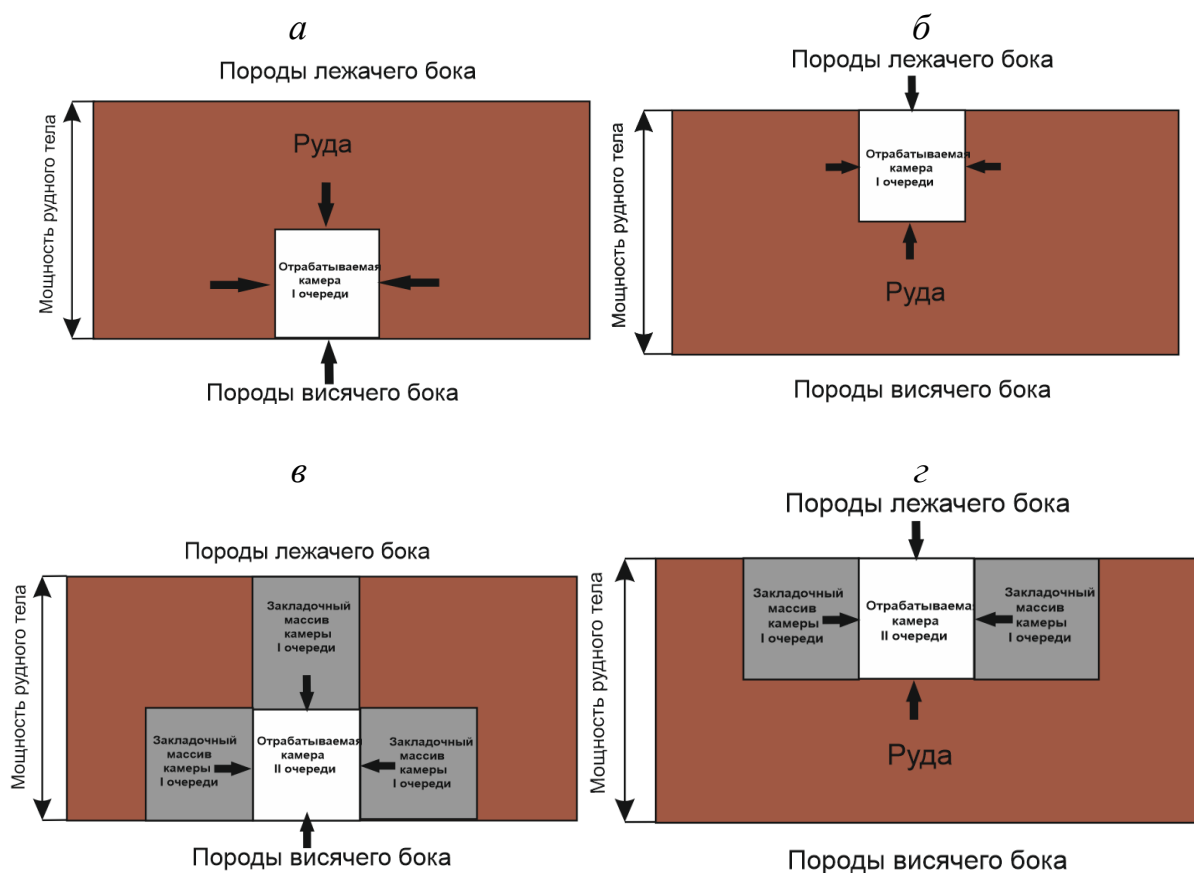


Рисунок 1 - Схемы расположения очистных камер по площади рудной залежи: а и б – соответственно камеры I очереди отработки висячего и лежачего бока; в и г - соответственно камеры II очереди отработки висячего и лежачего бока

Таким образом, исследование влияния очередности отработки камерных рудных запасов и физико-механических характеристик техногенного горного массива на величину разубоживания рудной массы является актуальной научно-практической задачей для горной науки.

Результаты исследований. При разной очередности отработки очистных камер руда разубоживается неравномерно по рудной площади, что обусловлено характерным контактом с боковыми породами и закладочным массивом. С увеличением их устойчивости разубоживание снижается.

Качество добытой рудой массы из камер первой очереди висячего бока зависит от устойчивости боковых пород, их трещиноватости, обводнения, крепости и площади обнажения, а также от сейсмического воздействия массового взрыва (Рис. 1, а). При этом камеры лежачего бока характеризуется незначительным разубоживанием, что связано с защитным эффектом закладки по восстановлению рудной залежи (Рис. 1, б). Здесь основную нагрузку толщи налегающих пород воспринимает на себя рудо-породный массив висячего бока. Концентрация напряжений массива при этой схеме в несколько раз меньше, чем в камерах

висячего бока. Величина разубоживания рудной массы зависит от размеров камеры вкрест простирания, то есть ее длины. С ее увеличением возрастает концентрация напряжений в породах лежачего бока, что провоцирует образование трещин.

Оценить разубоживание руды в камерах второй очереди со стороны висячего бока сложнее, так как кроме закладки в отбиваемую руду обрушаются также боковые породы (Рис. 1, в). На рис. 1, г показан возможный вариант контакта камерных запасов руды с закладочным массивом, боковыми породами и рудной залежью.

Для полноты восприятия возможности разубоживания руды закладочным материалом целесообразно рассмотреть отработку камер второй очереди лежачего бока. Здесь процент попадания пород лежачего бока в отбиваемую руду минимален, и только прочность закладочного массива является объективным фактором разубоживания.

Анализ горнотехнической информации по отработке очистных камер в этаже 605-740 м ЗЖРК позволил установить ряд новых зависимостей изменения величины разубоживания от типа контакта с обрабатываемой камерой и ее очередностью.

В камерах первой очереди отработки в очистное пространство обрушаются слабоустойчивые кварц-хлорит-серицитовые сланцы, находящиеся на контакте с наклонным обнажением камеры. Здесь большое значение имеет крепость пород по шкале проф. М.М. Протодяконова и площадь наклонного обнажения этих пород. При коэффициенте крепости пород $f = 8 - 15$ висячего бока разубоживание руды составляет 1,0-4,8%. В южном крыле рудной залежи крепость пород (сланцы) меньше, чем в северном крыле (кварциты). Площадь обнажения пород висячего бока зависит от геологического контура рудной залежи и параметров камеры, которые для данных условий составляют 750-2600 м². Анализ приведенных фактических данных по каждой камере позволил установить зависимость разубоживания руды от крепости вмещающих пород висячего бока (рис. 2) и площади обнажения пород висячего бока (рис. 3).

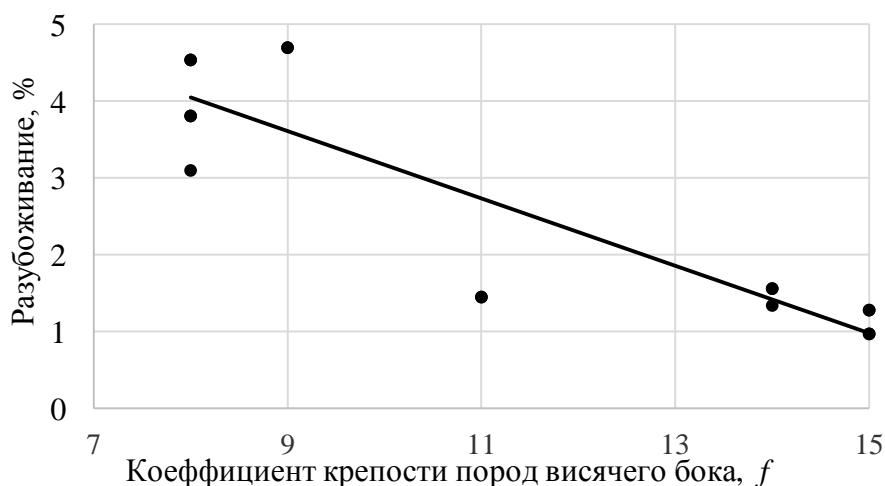


Рисунок 2 - Зависимость разубоживания руды камер первой очереди от крепости пород висячего бока



Рисунок 3 - Зависимость величины разубоживания руды от площади обнажения камер первой очереди отработки висячего бока

При расположении камеры второй очереди отработки на контакте с породами висячего бока и нахождении их в окружении закладочного массива разубоживание зависит от прочности закладочного массива, которая в данных условиях разработки составляет 6,7 - 8,0 МПа (Рис. 4). Из графика, приведенного на рис. 4 следует, что существенного влияния прочности закладки камер на разубоживание не прослеживается. Это подтверждается низкой достоверностью аппроксимации, которая составляет $R=0,2$. Учет только крепости пород и площади их обнажения позволяет дать объективную оценку показателя разубоживания при извлечении запасов из камер вторых очередей отработки висячего бока.

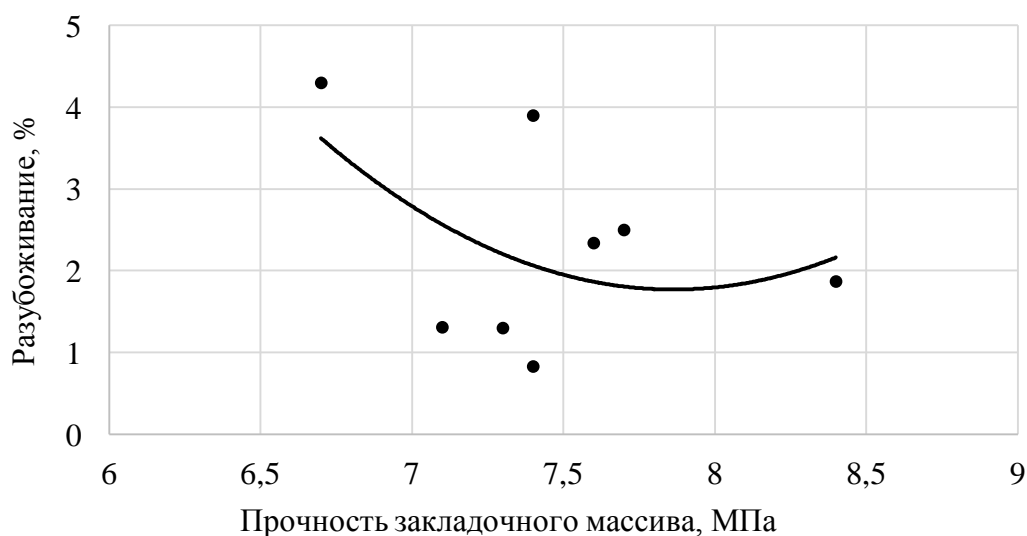


Рисунок 4 - Зависимость разубоживания руды в камерах второй очереди отработки висячего бока от прочности закладки

В камерах первой очереди отработки, находящихся на контакте с породами лежачего бока, разубоживание руды составляет 0,5-1,8%. Породы представлены в основном сланцами, которые по длине рудной залежи имеют одинаковую крепость. Коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодьяконова составляет $f=7-9$. Это свидетельствует о том, что на показатель разубоживания влияет размер камеры и ее расположение длиной стороной вкрест простирания (рис. 5). При длине камеры 35-40 м разубоживание составляет 0,5%, а при ее увеличении до 70 м разубоживание породами лежачего бока возрастает более чем в 3 раза. Увеличение длины камеры способствует увеличению концентрации растягивающих напряжений в породах. Камеры первой и второй очередей отработки лежачего бока находятся под защитным эффектом закладки, поэтому величина нормальных сжимающих напряжений, как правило, на порядок ниже.

Разубоживание руды породами лежачего бока очистных камер имеет менее выраженную интенсивность в сравнении с камерами висячего бока. Это связано с тем, что породы находятся под давлением «сверху» закладочного, рудного и породного массива висячего бока. Породы же висячего бока висят над очистным пространством камер. Разубоживание камер первых очередей отработки лежачего бока в 2,0-2,6 раз меньше, чем камер висячего бока.

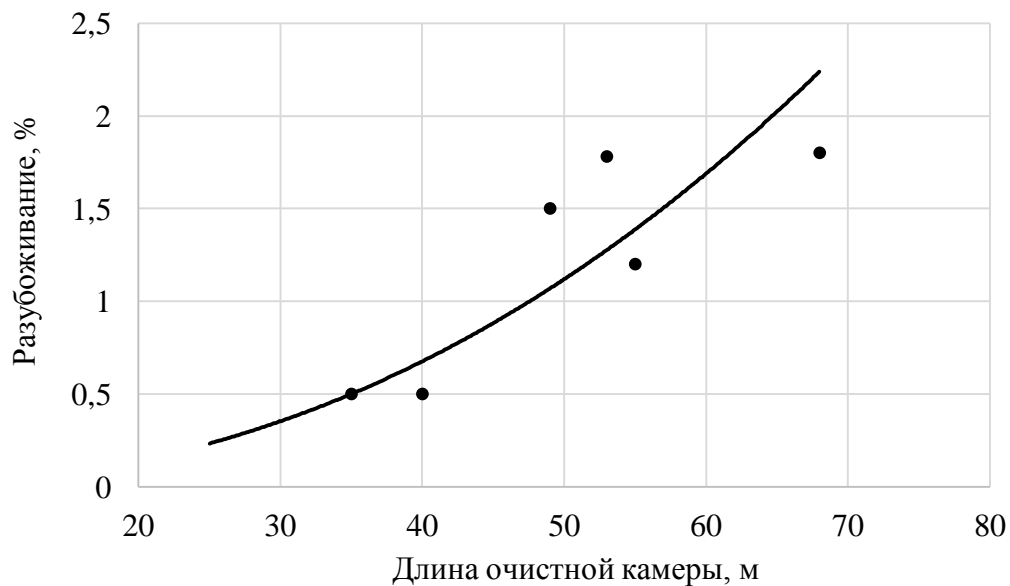


Рисунок 5 - Зависимость разубоживания руды от длины камер первой очереди отработки лежачего бока

Камеры второй очереди отработки рудных запасов, находящиеся на контакте с породами лежачего бока и закладочным массивом имеют разубоживание 3,0-5,1%, вследствие дополнения к рудной массе закладочных смесей. Прочность закладочного массива составляет 7,0-8,6 МПа (рис. 6). Убыток от попадания 1 % закладочного материала в руду эквивалентен снижению ее стоимости на 1,7-2 % [8].

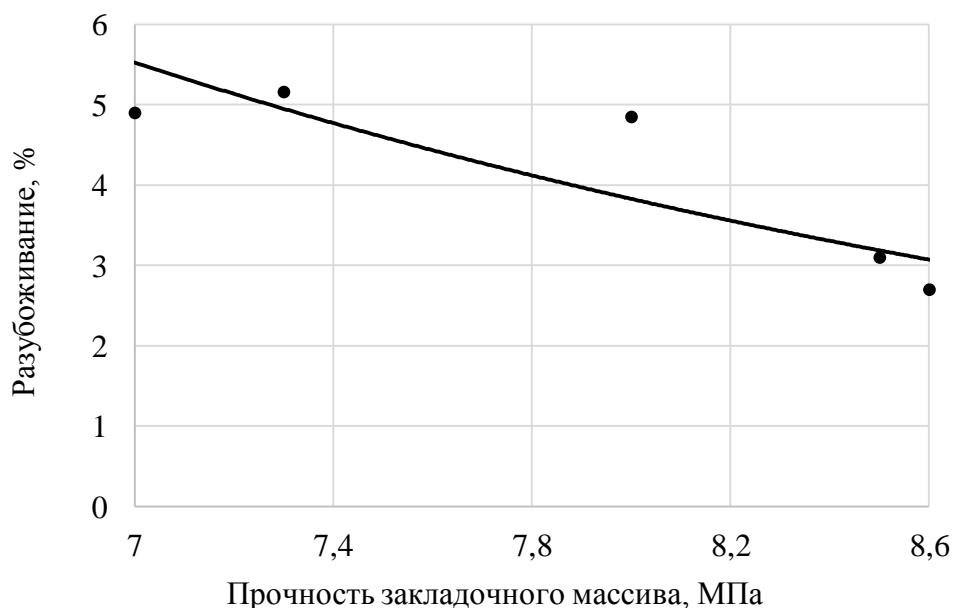


Рисунок 6 - Зависимость разубоживания добыче руды от прочности закладки для камер второй очереди отработки запасов лежачего бока

Разубоживание руды от крепости пород, площади их обнажения, длины камер и прочности закладочного массива при разных стадиях ее отработки имеет экспоненциальную зависимость, которые приведены на графиках. Достоверность аппроксимации эмпирических уравнений находится на удовлетворительном для горного дела уровне в пределах 73-79 %. Прогнозирование разубоживания руды с высокой достоверностью достичь практически невозможно из-за недостатка информации о массиве горных пород (трещиноватость, устойчивость и крепость пород, наличие геологических нарушений и т.д.).

Проведенное исследование разубоживания руды подтверждает актуальность поиска научных путей его снижения, которые заключаются, прежде всего, в исследовании геомеханических процессов вокруг очистных камер при разной очередности разработки.

Выводы.

1. Величина разубоживания руды при этажно-камерной системе разработки с твердеющей закладкой зависит от порядка отработки очистных камер, их конфигурации, геометрических размеров, расположения в теле рудной залежи, крепости вмещающих пород и площади их обнажения, а также от прочности закладки.

2. Очистные камеры первых очередей отработки рудной залежи по лежачему боку в 2,0-2,6 раз меньше подвержены разубоживанию, чем камеры висячего бока. Прочность закладочного массива очистных камер первой очереди висячего бока не оказывает существенного влияния на выемку руды из камер второй очереди.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Определение эффективного соотношения показателей потерь и разубоживания для условий Гайского подземного рудника / Ю.В. Волков, И.В. Соколов, А.А. Смирнов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 1. – С. 380 – 384.
2. Богуславский, Э.И. Технология восходящей отработки месторождений на больших глубинах / Э.И. Богуславский, Д.Ю. Минаев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – №2. – С. 161 – 165.
3. Четверик, М.С. Перспективные направления добычи руд в глубоких карьерах и шахтах Кривбасса / М.С. Четверик // Геотехническая механика : межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2012. - Вып. 104. – С. 51 – 60.
4. Шестаков, В.А. Проектирование горных предприятий / В.А. Шестаков. – М.: МГГУ, 2003. – 795 с.
5. К вопросу подбора состава твердеющей закладки повышенной прочности / А.М. Кузьменко, М.В. Петлеваний, Е.П. Чистяков [и др.] // Геотехническая механика : межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2009. – Вып. 82. – С. 50 - 57.
6. Разработка и испытания составов смесей с использованием отвальных пород в твердеющей и гидравлической закладке / В.Г. Близнюков, А.Н. Малый, Е.П. Чистяков, С.А. Кулиш [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2002. – №5. – С. 68 – 70.
7. Составы твердеющих закладочных смесей с уменьшенным содержанием молотого гранулированного шлака и включением дробленых отвальных пород в инертный заполнитель / Е.П. Чистяков, С.А. Кулиш, И.А. Карапа [и др.] // Збірник наукових праць за результатами роботи Міжнародної науково-технічної конференції (Кривий Ріг, 22 – 23 квітня 2011 р.). – Кривий Ріг: Видавничий дім, 2011. – С. 39 – 40.
8. Kuzmenko, A. Application of fine-grained binding materials in technology of hardening backfill construction / A. Kuzmenko, M. Petlyovany, A. Heylo // Mining of mineral deposits, CRC Press Taylor&Francis Group, London, UK, 2014. – p. 465 – 471.

REFERENCES

1. Volkov, Yu., Sokolov, I., Smirnov, A. et.al (2009), “Determination of the effective relation of looseness and ore dilution for Gayskiy mine conditions”, *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten*, no 1, pp. 380 – 384.
2. Boguslavskii, E. and Minaev, D. (2005), “Technology of rise deposits development on deep depths”, *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten*, no. 2, pp. 161 – 165.
3. Chetverik, M. (2012), “Perspective directions of ore mining in deep quarries and mines Krivbass”, *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 104, pp.51 – 60.
4. Shestakov, V. (2003), *Proektirovanie gornykh predpriyatiy* [Design of mining enterprises], MGGU Moscow, Russia.
5. Kuzmenko, A., Petlyovany, M., Chustyakov, E. et.al (2009), “For the question of election composition of solid stowing with high strength”, *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 82, pp. 50-57.
6. Bliznyuko, V.G., Malyi, A.N., Chistyakov, E.P., Kulish, S.A. et.al. (2002), “Development and test operations of mixtures composition with the use of rock refuse in solid and hydraulic stowing”, *Metalurgicheskaya i ugnorudnaya promyshlennost*, no. 5, pp. 68 – 70.
7. Chustyakov, E., Kulish, S., Karapa, I. et.al. (2011), “Compositions of solid stowing mixtures with decreased content of milled granulated slag and swell shattered refuse rock in inert aggregate”, *Zbirnyk naukovykh prats za rezultatami roboty Mizhnarodnoi nauково-tekhnichnoi konferentsii*, Kryvyi Rig, 22 – 23rd April, 2011, Kryvyi Rig, pp. 39 – 40.
8. Kuzmenko, A., Petlyovany, M. and Heylo, A. (2014), “Application of fine-grained binding materials in technology of hardening backfill construction”, *Mining of mineral deposits*, CRC Press Taylor&Francis Group, London, pp. 465 – 467.

Об авторах

Кузьменко Александр Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры подземной разработки месторождений, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный

університет (ГБУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Україна, kuzmenkoa@nmu.org.ua.

Петлєваний Михайл Владимирович, кандидат технічних наук, асистент кафедри підземної розробки месторождений, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет (ГБУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Україна, petlyovany@yandex.ru.

About the authors

Kuzmenko Alexander Mykhailovich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc), Professor, department of underground mining, State Higher Educational Institution «National Mining University» (SHEI «NMU»), Dnepropetrovsk, Ukraine, kuzmenkoa@nmu.org.ua.

Petlyovany Mikhail Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), assistant at department of underground mining, State Higher Educational Institution «National Mining University» (SHEI «NMU»), Dnepropetrovsk, Ukraine, petlyovany@yandex.ru.

Анотація. Викладено результати впливу мінливої структури гірського масиву і порядку відпрацювання камерних запасів на показники збіднення руди при поверхових системах розробки з твердіючим закладенням. Розглянуто вплив особливостей контакту рудного покладу з закладним масивом залежно від порядку відпрацювання очисних камер.

Встановлено, що збіднення руди породами лежачого боку очисних камер має менш виражену інтенсивність в порівнянні з камерами висячого боку. Збіднення камер перших черг відпрацювання лежачого боку в два рази менше, ніж камер висячого боку. Однак при збільшенні довжини камери у 2 рази збіднення породами лежачого боку зростає більш ніж в 3 рази.

Наведено залежності величини збіднення видобутої руди від фізико-механічних характеристик гірського масиву, що знаходиться на контакті з очисною камерою.

Ключові слова. Збіднення, міцність порід, площа відслонення порід, породи висячого і лежачого боків, міцність закладення.

Abstract. The article presents results of how changed structure of the rocks and sequence of chamber reserves mining impact on rate of the ore dilution when a horizon is mined with consolidating stowing. Impact of the ore deposit specific contact with filling mass is considered depending on sequence of stoping chambers mining.

It is stated that ore dilution by footwall rocks in the stoping chambers is less intensive if compare with chambers in the sidewall. Ore dilution in the footwall of the first-stage mining is twice less than in chambers of the sidewall. However, when chamber length increases by twice, dilution by the sidewall rocks increase by more than triple.

Dependence of dilution value of extracted ore on physical and mechanical characteristics of the rock massif in area contacting with stoping chamber is presented.

Keywords. Dilution, rock hardness, area of rock outcrop, footwall and sidewall rocks, filling hardness.

Стаття постуила в редакцію 08.10.2014

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук М.С. Четвериком