

Безопасная добыча гранитов на марганцеворудных месторождениях Украины



О.Е. Хоменко,
д-р техн. наук,
проф.



М.Н. Кононенко,
канд. техн. наук,
доцент



В.И. Ляшенко,
канд. техн. наук, ст.
науч. сотрудник,
vilyashenko2017@gmail.com

НТУ «Днепро́вская политехника»,
Днепр, Украина

ГП «УкрНИПИИ
промтехнологии»,
Желтые Воды, Украина

Описаны основные научные и практические результаты повышения безопасности разработки гранитов на марганцеворудных месторождениях Украины в энергетически нарушенных зонах горных массивов. Проведены исследования в области разработки серых гранитов в энергетически нарушенных зонах горных массивов на основе результатов анализа проявления энергии горного давления вокруг подземных выработок путем раскрытия физической сущности феномена зонального капсулирования. Систематизированы технологические решения по управлению выработанным пространством шахт. Предложен способ отработки серого гранита для условий затухания горных работ по извлечению запасов марганцевой руды в горных отводах шахтных полей Никополь-Марганецкого бассейна в целях изменения интенсивности влияния техногенного состояния массива.

Ключевые слова: горный массив, энергетически нарушенные зоны, марганцевые руды, серые граниты, безопасность работ.

DOI: 10.24000/0409-2961-2019-1-53-61

Введение

Добыча сопутствующих нерудных полезных ископаемых, в частности серых гранитов Никополь-Марганецкого бассейна (Украина), ведется с учетом изменения уровня геоэнергии в шахтном поле после отработки балансовых запасов марганцевых руд. Благодаря принципу устранения достигается экономия 250 тыс. долл. США, а продление срока эксплуатации шахты за счет сооружения горизонта по добыче гранитов дает экономическую прибыль в размере 1,5 млн долл. США в год. Классификация систем разработки по признаку «энергетическое состояние массива на момент разработки» позволяет определить себестоимость добычи сырья и объемы энергозатрат, обеспечив безопасную разработку месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. Поэтому формирование безопасных условий разработки гранитов на марганцеворудных месторождениях Украины в энергетически нарушенных зонах (ЭНЗ) горных массивов на примере освоения запасов Никопольского бассейна — важная научная, практическая и социальная задача [1–3].

Проведены исследования в области разработки серых гранитов в ЭНЗ горных массивов на основе результатов анализа проявления энергии горного давления вокруг подземных выработок путем раскрытия физической сущности феномена зонального капсулирования. Изучены физические свойства горных пород и новые гипотезы о горном давлении с учетом оценки степени устойчи-

вости обнажений, выявления закономерностей их деформирования и разрушения, увязки извлечения руд и пород во времени и пространстве, определения параметров конструктивных элементов систем разработки, способов крепления и соответствующих типов крепи. Приняты во внимание промышленные, лабораторные и теоретические исследования, проанализированы и обобщены результаты изысканий по стандартным и вновь предложенным методикам [4].

Результаты исследований

Крупнейший в мире по запасам марганцевой руды Никопольский бассейн — сырьевая база марганцевых ферросплавов для получения высококачественных сталей. По способам разработки пласта на месторождениях марганца он условно разделен на две части: восточную, где сосредоточено более 40 % запасов, разрабатываемую в основном подземным способом с помощью шахт ПАО «Марганецкий горно-обогатительный комбинат» (далее — ПАО «МГОК»), и западную, где практикуется открытый способ (карьеры ПАО «Орджоникидзевский горно-обогатительный комбинат»). Кроме основного Никопольского бассейна, включающего Никопольский, Великотокмакский и Ингуло-Днепро́вский марганцевые районы, на Украине известны еще Побужский, Донецкий и Карпатский бассейны. Рудный пласт со средней мощностью 2 м залегает на глубине 15–120 м. Основные запасы составляют высококачественные руды, содержащие в

среднем 27 % марганца. Разведаны и эксплуатируются только месторождения Никопольского района, уровень разведанности и освоенности Никопольского бассейна — высокий [5].

Добыча сырой марганцевой руды в ПАО «МГОК» ведется пятью шахтами (№ 3–5, 7, 8, 9–10, 14–15) и двумя карьерами (Грушевский и Басанский). В восточной части марганцевого бассейна выделяется Грушевско-Басанский участок, на котором расположены шахтные поля шахт № 3–5, 7 и вновь построенных № 9–10 и 14–15. Обогащение добытой руды происходит на Грушевской обогатительной фабрике с производственной мощностью 5,6 млн т по сырой руде и 2,43 млн т по концентрату. Основными видами деятельности комбината, кроме подземной и открытой добычи руды, а также ее обогащения, выступают добыча бентонитового сырья, техногенных шламов и производство серно-кислого марганца.

Пласт марганцевой руды залегает горизонтально с небольшим уклоном до 5° на юг и юго-запад, мощность колеблется от выклинивания на контурах участка до 4 м в центральной части, но на большей части площади она составляет 1,5–2,5 м. Рудный пласт повсеместно покрыт толщей осадочных пород, мощность которых достигает 60–110 м в зависимости от рельефа поверхности. Непосредственная кровля пласта представлена зелеными глинами мощностью 0–14 м с полным отсутствием или заменой песками. Выше залегают мелкозернистые пески мощностью до 2,5–4 м, черные глины (до 18–20 м), пески (1,5–2,5 м), известняки (до 5 м), красно-бурые глины (28–30 м), лессовидные породы и современные аллювиальные отложения (22–34 м). Подстилающие породы — тонкозернистые пески и зеленовато-серые песчаные глины. Марганцевые руды представлены тремя видами: окисные, карбонатные и окисно-карбонатные. Окисные руды слагают северную часть рудной залежи и распространяются на юг полосами вдоль западной и восточной границ. Окисная руда постепенно переходит в окисно-карбонатную в направлении падения рудного пласта. Мощность залежи карбонатной руды составляет 0,7–3,5 м, а содержание марганца — до 10,0–31,5 %. Окисная руда состоит из плотных землистых минеральных образований мощностью 0,7–2,5 м с содержанием марганца 17–47 % (в среднем 30 %). В верхнем слое пласта расположена окисно-кусковатая руда, в средней части сменяющаяся на окисно-карбонатную, а в нижней — на карбонатную. Мощность пласта достигает 2,5 м, а запасы составляют 25 % общего объема (табл. 1) [6].

Таблица 1

| Параметр | Шахта | | | | |
|---------------------------------------|--|---------|---------|---------|---------|
| | № 3–5 | № 7 | № 8 | № 9–10 | № 14–15 |
| Год сдачи в эксплуатацию | 1979 | 1972 | 1972 | 1976 | 2005 |
| Проектная мощность, млн т в год | 1,4 | 0,3 | 0,3 | 2,2 | 2,2 |
| Балансовые запасы, млн т | — | 1,11 | 1,2 | — | 6,3 |
| Угол падения залежи, градус | 0–5 | 0–5 | 0–5 | 0–5 | 0–5 |
| Вертикальная мощность залежи, м | 0,7–2,5 | 0,9–2,5 | 1,8–2,7 | 1,5–2,4 | 1,5–2,4 |
| Прочность глин, МПа | 21 | 23 | — | — | — |
| Прочность руд, МПа | 20 | 26 | 10–20 | 21 | 20 |
| Прочность песков, МПа | 18 | 20 | 20 | 18 | 20 |
| Глубина проведения главного ствола, м | 100 | 80 | 90 | 100 | 100 |
| Глубина очистных работ, м | 79–90 | 40–80 | 86–96 | 90–100 | 90–100 |
| Применяемая система разработки | Столбовая с длинными очистными заходками | | | | |

Проблемы ликвидации марганцеворудных шахт Украины и пути их решения

Никопольский марганцеворудный бассейн — крупнейший поставщик марганцевого концентрата для Никопольского и Запорожского заводов ферросплавов, а также металлургических центров Украины: Днепра, Каменского, Запорожья, Кривого Рога. Все шахты региона находятся в стадии затухания горных работ, в том числе и вновь запущенная № 14–15. Подавляющее большинство очистных работ ведется на доработке запасов отдаленных панелей, охранных целиков магистральных выработок, промышленных площадок закрытых ранее шахт и др. Ликвидация шахт ПАО «МГОК» выполняется в следующей очередности: № 1-бис (2006 г.), № 2 (2010 г.), № 3–5 (до 2020 г.), № 7 (2011 г.), № 8 (2010 г.), № 9–10 и 14–15 (до 2025 г.). За последние 10 лет их производственные мощности не превысили 35 % проектных. Существующие темпы закрытия требуют стабильной добычи марганцевых руд подземным способом на протяжении еще 5–8 лет [7].

Положительная сторона рассматриваемого процесса — постепенное восстановление санитарно-гигиенического состояния окружающей среды в районе бассейна и соответствующее уменьшение заболеваемости и смертности среди местного населения. К отрицательным последствиям закрытия, например, шахты № 1-бис следует отнести ликвидацию 267 рабочих мест, необходимость трудоустройства 147 квалифицированных рабочих и 120 служащих. В соответствии с графиком ликвидации шахт возможность перевода трудящихся на новые рабочие места иссякнет в течение ближайших трех лет. Кроме того, улучшение экологической обстановки в районе не снижает остроты проблемы закрытия крупнейшего марганцеворудного региона Украины и мира [8].

**Порядок отработки
сопутствующих гранитов**

Отрабатываемый пласт марганцевой руды залегает на практически безграничных запасах серых гранитов. Вскрытие одного горизонта по гранитам обеспечит бесперебойную работу шахт комбината минимум на 40 лет. Глубина последующего шага вскрытия не превышает 20 м, при этом применяют камерно-столбовую систему разработки [9]. Затраты на перепрофилирование горных работ, закупку недостающего оборудования и переподготовку персонала в несколько раз меньше расходов на ликвидацию шахты [10].

Нарушение условия поэтапного переноса горных работ в период их сворачивания на залежь сопутствующих гранитов приведет к полному закрытию шахты с погашением стволов и ликвидацией инфраструктуры на поверхности, в итоге утрачивается возможность последовательной и, как следствие, в несколько раз более дешевой добычи сопутствующего сырья. Сопутствующие граниты обладают рядом физических свойств, позволяющих использовать их в качестве строительного материала. Высокая прочность, плотность и монолитность структуры открывают широкие возможности по изготовлению малых архитектурных форм (шаров, кубов, цилиндров и т.п.), облицовочных плит, дорожной плитки, тротуарного профиля, щебня, крошки, пудры, а также отделочных материалов для зданий и сооружений (железнодорожные и автомобильные вокзалы, станции метрополитена и скоростных трамваев, подземные переходы, спорткомплексы, стадионы, больницы, частные дома и офисы) [11].

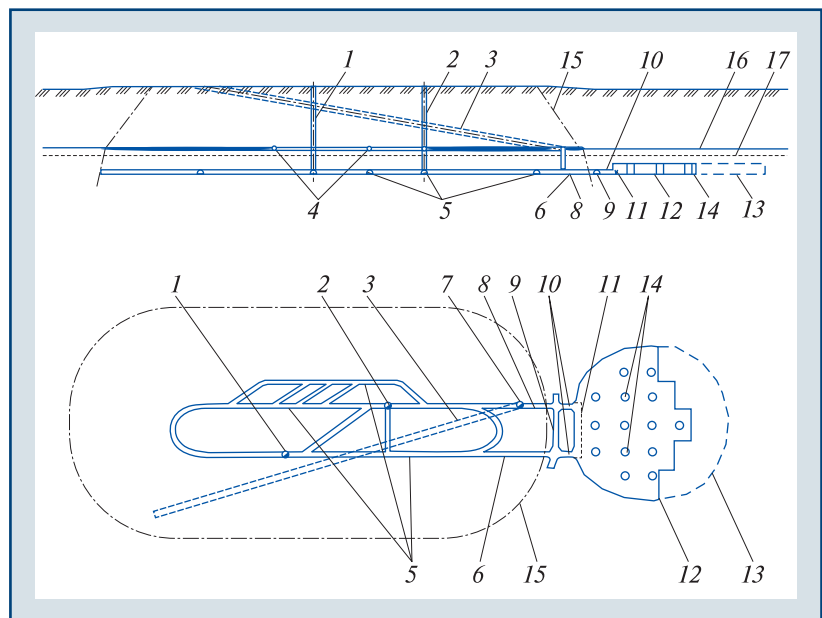
В основу предлагаемого решения положена задача усовершенствования известного способа добычи полезных ископаемых путем введения новых технологических операций и параметров. Ведется добыча сопутствующего нерудного полезного ископаемого с возможностью его получения в виде монолитных блоков заданного формата при условии обеспечения ресурсосбережения и рационального использования недр. В итоге получают сырье для камнеобрабатывающей промышленности, изготовления малых архитектурных форм и строительных материалов для различных сооружений. Исключаются затраты на закрытие шахты, возрастает прибыль, полученная в процессе последующего развития производства [12].

**Обоснование технологии
горных работ**

В рамках известного способа добычи марганцевой руды, включающего

вскрытие марганцеворудного пласта, подготовку запасов и очистную выемку, после отработки балансовых запасов марганцевой руды в направлении залежи серых гранитов углубляют существующие вскрывающие выработки и проводят дополнительные подготовительные, нарезные и очистные выработки. Далее из них формируют соответствующие очистные камеры, в которых почвоуступным забоем выкалывают монолитные блоки гранита, выдаваемые на земную поверхность по подготовительным и вскрывающим выработкам. Полное извлечение марганцевой руды с помощью столбовой системы разработки без поддержания выработанного пространства влияет на разгрузку от горного давления запасов серых гранитов, залегающих на несколько метров глубже, обладающих отличными от марганцевых руд физическими свойствами и нуждающихся в иной технологии добычи [13].

После полной отработки марганцевой руды 16 (рис. 1) в направлении залежи серых гранитов 17 углубляют вертикальные стволы 1–3, в горизонтальной плоскости главного добычного горизонта проводят дополнительные выработки (подготовительные 4–9 и очистные 10–12), благодаря которым формируют соответствующие очистные камеры 12. Далее создают очистное пространство по типу камерно-столбовой системы разработки 13. В каждом очистном забое выкалывают монолит гранита почвоуступным забоем с помощью стандартного бурового и погрузочного оборудования. В процессе очистных работ формируются камерные целики 14,



▲ Рис. 1. Схема вскрытия шахтного поля вертикальными и наклонными стволами с обустройством околоствольного двора:

a — горизонт добычи сопутствующего полезного ископаемого; *б* — откаточный горизонт

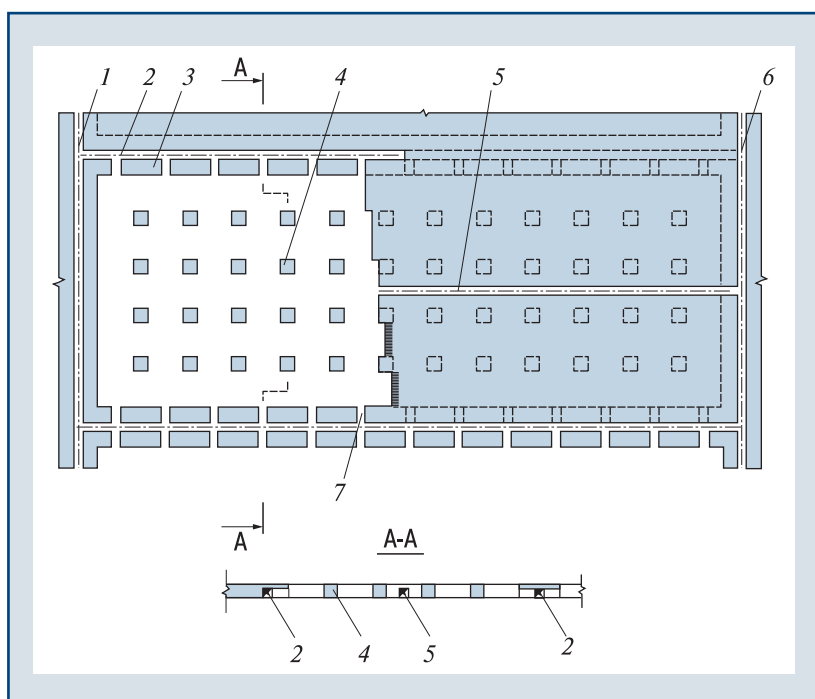
▲ Fig. 1. Scheme of opening-up of the mine by vertical and inclined well bores with the shaft inset development:

a — horizon of mining of the associated mineral; *b* — hauling horizon

которые поддерживают выработанное пространство. Подготовительные и очистные выработки проводят за пределами охранного целика промышленной площадки шахты 15 [14].

Камерно-столбовая система разработки

Особенность камерно-столбовых систем разработки в том, что они могут применяться при соблюдении следующих условий: мощность залежи 2–30 м; угол падения залежи не более 45°; достаточная устойчивость руд и вмещающих пород; низкая или средняя ценность руды при систематическом чередовании очистных камер с ленточными и опорными целиками. Такой подход связан с оставлением до 25–60 % запасов полезного ископаемого в целиках (рис. 2, здесь 1, 6 — транспортные штреки; 2, 5 — штреки соответственно панельный и вентиляционный; 7 — заезд; 3 — ленточный целик; 4 — опорный целик). Наибольшие потери возникают при добыче бедных руд, соли или гипса и др.



▲ Рис. 2. Камерно-столбовая система разработки рудных залежей по простиранию с отбойкой руды шпурами и доставкой самоходным оборудованием

▲ Fig. 2. Pillar-and-room system for the development of ore deposits across the pitch with breaking ore by drill holes and delivery by self-propelled equipment

Выемочный запас панели высотой 10–20 м, длиной до 300 м и шириной до 100 м обрабатывается в одну стадию. Оработка камер в панели — фланговая, по восстанию, фронт очистной выемки — со сплошным или ступенчатым забоем. Отбойка — шпуровая, выполняется из свободного очистного пространства камеры. Руду в пределах очистного пространства, поддерживаемого опорными целиками в виде столбов (см. рис. 2), доставляют погрузочно-доставочными машинами (скреперами).

Авторами усовершенствована методика проф. С.Г. Борисенко для учета надработки запасов гранита опережающей отработкой марганцевого пласта, также определены технические параметры блока камерно-столбовой системы разработки (табл. 2) [15].

Таблица 2

| Параметр | Без учета надработки | С учетом надработки | Изменение параметра, % |
|---------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|
| Длина столба, м | 150 | 300 | +100 |
| Ширина столба, м | 60 | 80 | +25 |
| Высота очистной камеры, м | 8 | 20 | +150 |
| Ширина, длина камеры, м | 15 | 35 | +133 |
| Ширина опорного целика, м | 6 | 4 | -33 |

Возможны следующие способы отделения монолитов из массива: буровзрывной, химический, гидравлический, огневой, криогенный, буроклиновой и др. Наиболее дешевая методика при буровзрывном способе — использование оконтуривающих шпуров с взрыванием колонковых зарядов, благодаря чему в плоскости расположения шпуров образуется трещина. Процесс контурного взрывания характеризуется сниженной энергоемкостью, более качественными и гладкими стенами отделенных блоков ископаемого, имеющих заданные размеры, форму и внутреннюю монолитную структуру.

Монолиты гранита транспортируют в пределах очистного пространства посредством рельсового либо автомобильного транспорта и поднимают на земную поверхность в клетях вертикальных стволов вместе с платформами при помощи канатного подъема. Затраты на организацию работ по получению блоков заданной формы минимизируют благодаря учету закономерностей расположения трещин в массиве в трех взаимно перпендикулярных плоскостях и рациональному управлению этим параметром.

Использование уже существующих вскрывающих выработок, надшахтного комплекса и штатного персонала шахты [16] в процессе добычи гранита обеспечивает дополнительную экономия ресурсов.

Перенесение горных работ во время их сворачивания на залежь серых гранитов не ведет к полному закрытию шахт с погашением стволов и ликвидацией промышленной площадки на поверх-

ности. Возникает возможность последовательного продолжения добычи, и, как следствие, добыча сопутствующих гранитов становится в несколько раз более дешевой. Дальнейшее усовершенствование технологии добычи нерудных сопутствующих полезных ископаемых на неглубоких рудных месторождениях Украины будет касаться рационализации параметров очистных камер и камерных целиков, взаимного расположения очистных камер и подготовительных выработок, форм и размеров очистных забоев и способов выкалывания монолитных блоков из массива [17].

ным сметным расчетом в ценах 2005 г. и составила более 860 тыс. долл. США, в том числе 150 тыс. долл. США — налог на добавленную стоимость. Наибольшие расходы связаны с рекультивацией земель, занятых отвалом и промышленной площадкой (11,8 %), снятием покрытий на автомобильных дорогах и промышленной площадке (12 %), демонтажем сетей и сооружений водоснабжения и канализации (35,8 %). Общие трудозатраты — 41 375 чел.-дн., суммарная продолжительность выполнения работ — 3 года, в том числе 1 мес на подготовительные операции. Данные приведены ниже и в табл. 3 [18].

Таблица 3

| Статья расходов | Сметная стоимость, тыс. долл. США | | | Прочие затраты, тыс. долл. США | Общая стоимость, тыс. долл. США |
|---|-----------------------------------|-----------------|--------------|--------------------------------|---------------------------------|
| | строительных работ | монтажных работ | оборудования | | |
| Основные объекты ликвидации | 102,1 | 66,6 | 9,5 | — | 178,2 |
| Объекты подсобного назначения | 49,9 | 22,0 | — | — | 71,9 |
| Объекты энергетического хозяйства | 21,0 | 15,1 | — | — | 36,1 |
| Объекты транспорта и связи | 67,8 | — | — | — | 67,8 |
| Наружные сети и сооружения водоснабжения, канализации, тепло- и газоснабжения | 194,1 | 2,5 | — | — | 196,6 |
| Временные здания и сооружения | 3,5 | 0,9 | — | — | 4,4 |
| Прочие работы и затраты | 4,9 | 1,2 | — | — | 6,1 |
| Содержание службы заказчика и авторский надзор | — | — | — | 14,0 | 14,0 |
| Проектные и изыскательские работы | — | — | — | 14,5 | 14,5 |
| Сметная прибыль | 33,3 | 8,1 | — | — | 41,4 |
| Средства на покрытие административных расходов строительно-монтажных организаций | — | — | — | 15,7 | 15,7 |
| Средства на покрытие риска всех участников ликвидации | — | — | — | 35,4 | 35,4 |
| Средства на покрытие дополнительных затрат, связанных с инфляционными процессами | — | — | — | 35,4 | 35,4 |
| Итого | 476,6 | 116,4 | 9,5 | 115,0 | 717,5 |
| Налоги, сборы, обязательные платежи, установленные действующим законодательством и не учтенные в стоимости ликвидации | — | — | — | 0,4 | 0,4 |
| Итого по сводному сметному расчету | 476,6 | 116,4 | 9,5 | 115,4 | 717,9 |
| Налог на добавленную стоимость (20 %) | — | — | — | 143,5 | 143,5 |
| Всего по сводному сметному расчету | 476,6 | 116,4 | 9,5 | 258,9 | 861,4 |
| Возвратные суммы от временных зданий и сооружений | 0,5 | 0,1 | — | — | 0,6 |
| Закупка металла | 9,8 | 1,3 | — | — | 11,1 |

Экономическая эффективность добычи гранитов

Опыт ликвидации шахты № 1-бис раскрыл проблематику и убыточность этого процесса для Никопольского марганцеворудного региона. За 40 лет ее функционирования добыто 19,548 млн т сырой марганцевой руды, но в результате исчерпания балансовых запасов в 2006 г. шахту закрыли. Стоимость соответствующего комплекса работ определена свод-

| | |
|---|---------|
| Общая стоимость работ по ликвидации шахты, тыс. долл. США | 861,250 |
| Затраты на ликвидацию шахты, тыс. долл. США | 717,750 |
| Налог на добавленную стоимость, тыс. долл. США | 143,500 |
| Расходы на рекультивацию земель под отвалом и промплощадкой, тыс. долл. США | 85,000 |

| | |
|--|-----------|
| Расходы на демонтаж оборудования и сооружений шахты, тыс. долл. США | 145,250 |
| Расходы на демонтаж объектов подсобного и обслуживающего назначения, тыс. долл. США..... | 94,250 |
| Расходы на демонтаж объектов энергетического хозяйства, тыс. долл. США..... | 47,250 |
| Расходы на снятие покрытия автодорог и площадок, тыс. долл. США | 86,000 |
| Расходы на разборку железнодорожных путей, тыс. долл. США..... | 2,630 |
| Расходы на демонтаж сетей и сооружений водоснабжения и канализации, тыс. долл. США..... | 257,380 |
| Трудозатраты на ликвидацию шахты, тыс. чел.-дн. | 41,400 |
| Годовые эксплуатационные расходы на наблюдение за осадкой породы в стволах шахты, тыс. долл. США | 0,088 |
| Общая стоимость строительно-монтажных работ, тыс. долл. США | 592,880 |
| Общая продолжительность ликвидации, мес..... | 36,000 |
| Продолжительность подготовительного периода перед ликвидацией, мес | 1,000 |
| Максимальная численность работающих в год, чел. | 141,000 |
| Трудозатраты на выполнение строительно-монтажных работ, чел.-дн. | 41375,000 |

Численность производственного персонала шахты № 1-бис составляла 267 чел. Большинство попавших под сокращение сотрудников (147 чел.) трудоустроилось в цехах комбината на вакантные места в соответствии с квалификацией. По мере завершения ликвидационных работ 35 чел. переведены на шахты № 9–10, еще 85 чел. — на шахты № 14–15. Остальной сокращенный персонал поступил на освобожденные по различным причинам (увольнение по собственному желанию, уход на пенсию или на службу в армию, болезнь и т.п.) должности [15] либо ушел на другие шахты.

Для установления ориентировочной стоимости строительства нового горизонта следует определить время вскрытия и подготовки сопутствующих запасов гранитов, необходимые параметры вскрывающих и подготовительных выработок, рассчитать и составить календарный план вскрытия и подготовки нового горизонта. Методика определения укрупненных параметров вскрытия и подготовки включает изучение ряда параметров, перечисленных ниже [19].

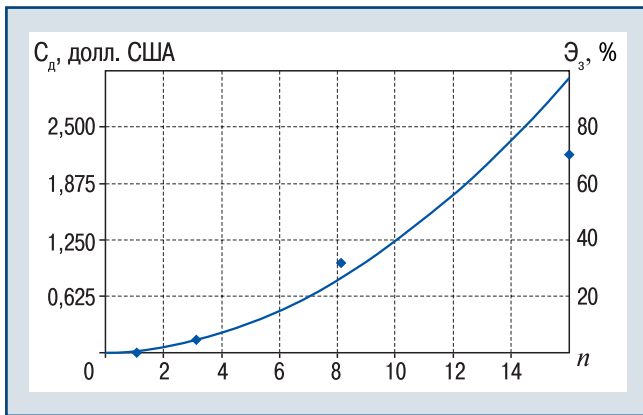
| | |
|--|-------|
| Балансовые запасы горизонта (камеры первой очереди), млн т | 1,2 |
| Годовая производительность шахты, млн т в год..... | 0,2 |
| Капитальные затраты, тыс. долл. США: | |
| на углубку вертикальных стволов..... | 150,0 |

| | |
|--|-------|
| на проведение выработок околоствольного двора | 187,5 |
| на проведение квершлагов | 237,5 |
| на установку горного и электро-механического оборудования..... | 350,0 |
| Итого по горно-капитальным работам, тыс. долл. США..... | 925,0 |
| Прибыль предприятия от реализации гранитного щебня, полученного при проведении горно-капитальных выработок, тыс. долл. США | 312,5 |
| Всего затрат на вскрытие нового горизонта, тыс. долл. США | 612,5 |

Вскрытие нового горизонта, которое включает капитальные затраты на углубление вертикальных стволов, проведение выработок околоствольного двора, квершлагов, а также установку горного и электромеханического оборудования, составляет 925 тыс. долл. США. При сооружении горно-капитальных выработок в объеме 12,5 тыс. м³ получают гранитный щебень фракцией 0–50 мм, реализуемый по цене 25 долл. США за м³, что в итоге позволяет сэкономить более 310 тыс. долл. США [20]. Ликвидация одной марганцеворудной шахты обойдется в среднем в 862,5 тыс. долл. США. Продление срока ее службы за счет сооружения нового горизонта по гранитам сопряжено с расходами на горно-капитальные работы в размере 612,5 тыс. долл. США с учетом прибыли от продажи гранитного щебня, полученного при проведении выработок. Остатка сэкономленных средств (250 тыс. долл. США) достаточно для покрытия текущих капиталовложений, связанных с началом добычи сопутствующего полезного ископаемого — серого гранита [21].

Таким образом, классификация систем разработки сопутствующего сырья по признаку «энергетическое состояние массива на момент разработки» позволяет определить объемы финансовых и энергетических затрат на его разработку. Себестоимость добычи 1 кг ископаемого при этом возрастает по степенной зависимости до примерно 2,2 долл. США, а процесс добычи сопровождается увеличением относительного количества энергии, расходуемой при разработке месторождения (рис. 3).

Проведя аппроксимацию значений себестоимости добычи 1 кг сырья, получаем уравнение зависимости ее ориентировочного уровня от порядкового номера систем разработки. Для камерно-столбовой системы (объем энергозатрат на добычу \mathcal{E}_3 доходит до 98 %) функция себестоимости добычи, выраженная в денежных единицах, имеет вид степенной зависимости типа $C_d = 0,015n^2$, где n — порядковый номер системы разработки. При составлении графика (см. рис. 3) использованы показатели для селективной ($n = 1$), щелевой ($n = 4$),



▲ Рис. 3. Зависимость себестоимости добычи гранита от применяемой системы разработки

▲ Fig. 3. Dependence of the production cost of the granite on the applied system of development

буровой ($n = 8$) и пильной ($n = 16$) систем как типовых в своих группах.

Направление дальнейших исследований

В пластичных породах (марганцевые руды, глины, суглинки) на глубинах до 350 м (Никополь-Марганецкий бассейн) активно развиваются процессы зональной конвергенции и дивергенции. При сравнении условий проявления зональной дезинтеграции горных пород с геодинамическими данными, полученными на шахтах Украины, становится очевидным, что это явление не имеет связи с пределом прочности пород на сжатие и, соответственно, с коэффициентом динамичности. Систему защитных зон вокруг выработки целесообразно назвать предохранительной капсулой, а сам феномен — зональным капсулированием подземной выработки. Это одно из первых физических явлений, для описания которого требуются философское осмысление и разработка энергетической теории с привлечением аппарата синергетики, квантовой механики, проверки сходимости результатов моделирования на мега-, макро- и микроструктурных уровнях материальных тел и окружающих их физических полей [22].

Выводы

1. Установлено, что технология добычи серого гранита, основное воздействие на которую оказывает выработанное пространство шахт, в шахтных полях с нарушенным энергетическим состоянием горного массива базируется на оценке порядка и взаимного влияния техногенных образований на отработку запасов месторождений марганцевых руд. Зависимость себестоимости добычи серого гранита от применяемой системы разработки описывается степенной зависимостью вида $C_d = 0,015n^2$.

2. Предложен способ отработки серого гранита для условий затухания горных работ по извлечению запасов марганцевой руды в отводах шахтных полей Никополь-Марганецкого бассейна. Благодаря

учету снижения уровня геознергии в горном массиве такая методика позволяет до 2,5 раз увеличить устойчивые параметры эксплуатационных блоков камерно-столбовой системы разработки, вдвое снизить затраты на добычу и продлить срок службы шахт вместо их ликвидации.

3. Рекомендована новая технология получения монолитных блоков серого гранита с максимальными размерами 1,5×1 м в соответствии с нормативными требованиями камнеобрабатывающей промышленности Украины. Участковая себестоимость отделенного буровзрывным способом монолита таких габаритов составляет около 50 долл. США, а общешахтная себестоимость — около 65 долл. США.

Список литературы

1. Цариковский В.В., Цариковский В.В., Ляшенко В.И. Повышение эффективности камерных систем разработки рудных месторождений// Горный журнал. — 2011. — № 11. — С. 49–52.
2. Ляшенко В.И., Дядечкин Н.И. Развитие технологий и технических средств обращения с отходами уранового производства// Горный журнал. — 2013. — № 4. — С. 82–87.
3. Sadovenko I., Rudakov D., Inkin O. Geotechnical schemes to the multi-purpose use of geothermal energy and resources of abandoned mines// Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining. — Rotterdam: CRC Press / Balkema, 2014. — P. 443–450.
4. Determining of the displacements of rock mass nearby the dismantling chamber under effect of plow longwall/ O.O. Sdvyzhkova, D.V. Babets, K.V. Kravchenko, A.V. Smirnov// Scientific Bulletin of National Mining University. — 2016. — № 2. — P. 34–42.
5. Ecological problems of post-industrial mining areas/ A. Gorova, A. Pavlychenko, S. Kulyna, O. Shkremetko// Geomechanical Processes During Underground Mining. — Rotterdam: CRC Press / Balkema, 2012. — P. 35–40.
6. Busylo V., Savelieva T., Serdyuk V. Applying noncantilevered support of mechanized complexes for developing flat seams// Mining of Mineral Deposits. — 2016. — Vol. 10 (2). — P. 9–17. DOI: 10.15407/mining10.02.009
7. Sobolev V.V., Bilan N.V., Khalymendyk A.V. On formation of electrically conductive phases under electrothermal activation of ferruginous carbonate// Scientific Bulletin of National Mining University. — 2017. — № 4. — P. 53–60.
8. Khomenko O., Kononenko M., Bilegsaikhan J. Classification of theories about rock pressure// Solid State Phenomena. — 2018. — Vol. 277. — P. 157–167. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.277.157
9. Analytical research of the stress-deformed state in the rock massif around faulting/ V. Lozynskiy, P. Saik, M. Petlovanyi et al.// International Journal of Engineering Research in Africa. — 2018. — Vol. 35. — P. 77–88. DOI: 10.4028/www.scientific.net/JERA.35.77
10. Bondarenko V., Symanovych G., Koval O. The mechanism of over-coal thin-layered massif deformation of weak rocks in a longwall// Geomechanical Processes during Underground Mining. — 2012. — Vol. 6. — P. 41–44.

11. *Method of simulation of rock mass stability in laboratory conditions using equivalent materials/* M. Stupnik, V. Kalinichenko, S. Pysmennyi et al.// *Mining of Mineral Deposits.* — 2016. — Vol. 10. — № 3. — P. 46–51.

12. *Testing complex-structural magnetite quartzite deposits chamber system design theme/* N.I. Stupnik, V.A. Kalinichenko, V.A. Kolosov et al.// *Metallurgical and Mining Industry.* — 2014. — Vol. 6. — Iss. 2. — P. 88–93.

13. *Tereshchuk R.M., Khoziaikina N.V., Babets D.V.* Substantiation of rational roof-bolting parameters// *Scientific Bulletin of National Mining University.* — 2018. — № 1. — P. 19–26. DOI: 10.29202/nvngu/2018-1/18

14. *Self-regulating roof-bolting with the rock pressure energy use/* O. Khomenko, M. Kononenko, L. Kovalenko, D. Astafiev. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/35/e3sconf_usme2018_00009.pdf (дата обращения: 20.07.2018).

15. *Khomenko O.* Implementation of energy method in study of zonal disintegration of rocks// *Scientific Bulletin of National Mining University.* — 2012. — № 4. — P. 44–54.

16. *Cheberiyachko S.I., Yavorska O.O., Morozova T.I.* Study of mechanical half-mask pressure along obturation bar// *Technical and Geoinformational Systems in Mining.* — Rotterdam: CRC Press / Balkema, 2011. — P. 317–323.

17. *Khomenko O., Kononenko M., Myronova I.* Ecological and technological aspects of iron-ore underground mining// *Mining Of Mineral Deposits.* — 2017. — Vol. 11. — Iss. 2. — P. 59–67. DOI: 10.15407/mining11.02.059

18. *Hrinov V., Khorolskyi A.* Improving the process of coal extraction based on the parameter optimization of mining equipment. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/35/e3sconf_usme2018_00017.pdf (дата обращения: 20.07.2018).

19. *Principles of rock pressure energy usage during underground mining of deposits/* O. Khomenko, A. Sudakov, Z. Malanchuk, Y. Malanchuk// *Scientific Bulletin of National Mining University.* — 2017. — № 2. — P. 34–43.

20. *Хоменко О.Е., Ляшенко В.И.* Геодинамическая безопасность при увеличении глубины разработки рудных месторождений// *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова.* — 2018. — Т. 16. — № 4. — С. 4–12. DOI: 10.18503/1995-2732-2018-16-4-4-12

21. *Хоменко О.Е., Кононенко М.Н.* Безопасная разработка декоративных джеспилитов в энергетически нарушенных горных массивах// *Безопасность труда в промышленности.* — 2018. — № 8. — С. 15–23. DOI: 10.24000/0409-2961-2018-8-15-23

22. *Numerical modelling of massif zonal structuring around underground working/* M. Kononenko, O. Khomenko, A. Sudakov et al.// *Mining of Mineral Deposits.* — 2016. — Vol. 10. — Iss. 3. — P. 101–106. DOI: 10.15407/mining10.03.101

vilyashenko2017@gmail.com

Материал поступил в редакцию 1 августа 2018 г.

«**Bezопасnost Truda v Promyshlennosti**»/ «**Occupational Safety in Industry**», 2019, № 1, pp. 53–61.

DOI: 10.24000/0409-2961-2019-1-53-61

Safe Mining of Granites at the Manganese Ore Deposits of Ukraine

O.E. Khomenko, Dr. Sci. (Eng.), Prof.

M.N. Kononenko, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.

National Technical University «Dneprovskaya Politekhnik», Dnepr, Ukraine

V.I. Lyashenko, Cand. Sci. (Eng.), Senior Research Assistant, vilyashenko2017@gmail.com

GP «UkrNIPPII promtekhologii», Zheltuye Vody, Ukraine

Abstract

The main scientific and practical results of safety improvement of the granite development at the manganese ore deposits of Ukraine in energetically fractured zones of rock massifs are described based on the example of the development of the reserves of Nikopol basin. In this case, the improved methods were used concerning mining, laboratory and mathematical studies, theoretical and physical modeling, as well as the analysis and generalization of the obtained results using various methods. Issues were studied related to the development of gray granites in the energetically fractured zones of the rock massifs taking into account the manifestation of the energy of rock pressure around the underground workings, physical essence of the phenomenon of zonal encapsulation is revealed. Physical properties of the rocks were studied, new hypotheses about rock pressure were tested. Assessment of the degree of outcropping stability was considered, the regularities of their deformation and destruction were identified, the parameters of structural elements of the development systems, methods of support and the corresponding types of lining were determined. Process solutions were systematized related to the control of the mined-out space, which consider technogenic factors influencing energy state of the massif, and predetermine the ways to increase safety of granite development at manganese deposits. The method was proposed concerning mining of the gray granite in the conditions of attenuation of mining operations on production of manganese ore reserves in the mining branches of the mine fields of Nikopol-Marganetsky basin. This approach allows to improve the parameters of the operational blocks of the pillar-and-room development system, to reduce twice the cost of production and significantly extend the life of manganese deposits instead of liquidating them. The new technology is recommended for producing monolithic blocks of gray granite in accordance with the regulatory requirements of the stone-processing industry of Ukraine.

Key words: rock massif, energetically fractured zones, manganese ores, gray granites, work safety.

References

1. Tsarikovskiy V.V., Tsarikovskiy V.V., Lyashenko V.I. Improving the efficiency of chamber mining of ore deposits. *Gornyy zhurnal = Mining Journal.* 2011. № 11. pp. 49–52. (In Russ.).

2. Lyashenko V.I., Dyadchkin N.I. Development of technologies and technical means for handling waste from uranium production. *Gornyy zhurnal = Mining Journal.* 2013. № 4. pp. 82–87. (In Russ.).

3. Sadovenko I., Rudakov D., Inkin O. Geotechnical schemes to the multi-purpose use of geothermal energy and re-

sources of abandoned mines. Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining. Rotterdam: CRC Press / Balkema, 2014. pp. 443–450.

4. Sdvyzhkova O.O., Babets D.V., Kravchenko K.V., Smirnov A.V. Determining of the displacements of rock mass near-by the dismantling chamber under effect of plow longwal. Scientific Bulletin of National Mining University. 2016. № 2. pp. 34–42.

5. Gorova A., Pavlychenko A., Kulyna S., Shkremetko O. Ecological problems of post-industrial mining areas. Geomechanical Processes During Underground Mining. Rotterdam: CRC Press / Balkema, 2012. pp. 35–40.

6. Busylo V., Savelieva T., Serdyuk V. Applying noncantilevered support of mechanized complexes for developing flat seams. Mining of Mineral Deposits. 2016. Vol. 10 (2). pp. 9–17. DOI: 10.15407/mining10.02.009

7. Sobolev V.V., Bilan N.V., Khalymendyk A.V. On formation of electrically conductive phases under electrothermal activation of ferruginous carbonate. Scientific Bulletin of National Mining University. 2017. № 4. pp. 53–60.

8. Khomenko O., Kononenko M., Bilegsaikhan J. Classification of theories about rock pressure. Solid State Phenomena. 2018. Vol. 277. pp. 157–167. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.277.157

9. Lozynskiy V., Saik P., Petlovanyi M., Sai K., Malanchuk Y. Analytical research of the stress-deformed state in the rock massif around faulting. International Journal of Engineering Research in Africa. 2018. Vol. 35. pp. 77–88. DOI: 10.4028/www.scientific.net/JERA.35.77

10. Bondarenko V., Symanovych G., Koval O. The mechanism of over-coal thin-layered massif deformation of weak rocks in a longwall. Geomechanical Processes during Underground Mining. 2012. Vol. 6. pp. 41–44.

11. Stupnik M., Kalinichenko V., Pysmennyi S., Fedko M., Kalinichenko O. Method of simulation of rock mass stability in laboratory conditions using equivalent materials. Mining of Mineral Deposits. 2016. Vol. 10. № 3. pp. 46–51.

12. Stupnik N.I., Kalinichenko V.A., Kolosov V.A., Pismenniy S.V., Fedko M.B. Testing complex-structural magnetite quartzite deposits chamber system design theme. Metallurgical and Mining Industry. 2014. Vol. 6. Iss. 2. pp. 88–93.

13. Tereshchuk R.M., Khoziaikina N.V., Babets D.V. Substantiation of rational roof-bolting parameters. Scientific Bulletin of National Mining University. 2018. № 1. pp. 19–26. DOI: 10.29202/nvngu/2018-1/18

14. Khomenko O., Kononenko M., Kovalenko L., Ashtafiev D. Self-regulating roof-bolting with the rock pressure energy use. Available at: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/35/e3sconf_usme2018_00009.pdf (accessed: July 20, 2018).

15. Khomenko O. Implementation of energy method in study of zonal disintegration of rocks. Scientific Bulletin of National Mining University. 2012. № 4. pp. 44–54.

16. Cheberiyachko S.I., Yavorska O.O., Morozova T.I. Study of mechanical half-mask pressure along obturation bar. Technical and Geoinformational Systems in Mining. Rotterdam: CRC Press / Balkema, 2011. pp. 317–323.

17. Khomenko O., Kononenko M., Myronova I. Ecological and technological aspects of iron-ore underground mining. Mining of Mineral Deposits. 2017. Vol. 11. Iss. 2. pp. 59–67. DOI: 10.15407/mining11.02.059

18. Hrinov V., Khorolskiy A. Improving the process of coal extraction based on the parameter optimization of mining equipment. Available at: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/35/e3sconf_usme2018_00017.pdf (accessed: July 20, 2018).

19. Khomenko O., Sudakov A., Malanchuk Z., Malanchuk Y. Principles of rock pressure energy usage during underground mining of deposits. Scientific Bulletin of National Mining University. 2017. № 2. pp. 34–43.

20. Khomenko O.E., Lyashenko V.I. Geodynamic safety when increasing the depth of underground mining of ore deposits. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova = Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2018. Vol. 16. № 4. pp. 4–12. (In Russ.). DOI: 10.18503/1995-2732-2018-16-4-4-12

21. Khomenko O.E., Kononenko M.N. Safe development of the decorative jaspilites in the energetically disturbed massifs. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2018. № 8. pp. 15–23. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2018-8-15-23

22. Kononenko M., Khomenko O., Sudakov A., Drobot S., Lkhagva Ts. Numerical modelling of massif zonal structuring around underground working. Mining of Mineral Deposits. 2016. Vol. 10. Iss. 3. pp. 101–106. DOI: 10.15407/mining10.03.101

Received August 1, 2018



Нормативные документы и периодические издания Ростехнадзора можно заказать по интернету.

Интернет-магазин shop.safety.ru

Будем рады сотрудничеству!

По всем вопросам обращайтесь:
тел/факс: **+7 (495) 620-47-53**
E-mail: **shop@safety.ru**

