

УДК 622.261.5: 622.27

Н.И. СТУПНИК, Б.Н. АНДРЕЕВ, доктора техн.наук, проф.,
С.В. ПИСЬМЕННЫЙ, канд.техн.наук, доц.
ГВУЗ "Криворожский национальный университет"

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ОТРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Приведены результаты исследования крепления горных выработок, разработана методика по определению малого и большого радиуса свода подземных горных выработок с анкерным креплением для условий Криворожского железорудного бассейна.

Проблема и ее связь с научной и практической задачей. Глубина карьеров, расположенных в Криворожском железорудном бассейне составляет 200...350-450 м. Прогнозная проектная (конечная) глубина карьеров не превышает 150-200...300 м. Определена себестоимость добычи при открытом способе разработки на предельных глубинах превышает себестоимость подземной выемки. Достоверные запасы железистых (неокисленных) кварцитов залегают и вплоть до глубин -700±-900 м [1]. С увеличением глубины ведения открытых горных работ резко усложняются горнотехнические условия возникают дополнительные трудности в работе внутрикарьерного транспорта, увеличивается дальность транспортирования руды к пунктам перегрузки при комбинированном транспорте, доля транспортных коммуникаций, располагаемых на уклонах и т.д. Ограничение пространственных размеров глубинной части карьеров требует применения маневренного и мобильного вида транспорта, которым и является на сегодня автомобильный. Для поддержания производственных мощностей карьеров при автомобильном транспорте широко применяются большегрузные автосамосвалы грузоподъемностью 120-180 т и выше, что позволяет сократить количество перевозок горной массы при вскрытии глубоких горизонтов в карьере. Так же возможно сократить расстояние перевозки рудной массы за счет вскрытия крутыми траншеями, оборудованными наклонными подъемниками. Однако применение таких схем вскрытия требует отстройки участка нерабочего борта определенной длины в предельном положении, что в определенной степени сдерживает развитие горных работ в карьере [2,3].

Применение наклонного подъема на карьерах изучалась многими проектными и научно-исследовательскими институтами было установлено, что оптимальная глубина карьера, при которой может быть достигнута наибольшая эффективность от использования конвейерных подъемников в сочетании с внутрикарьерным автотранспортом достигает 330-450 м при средней производительности карьера по горной массе 15-20 млн т/год и интенсивности понижения горных работ 10-15 м/год.

Отработка забалансовых запасов магнетитовых кварцитов открытым способом приведет к значительным увеличенным затратам по отношению к подземному способу добычи.

Анализ исследований и публикаций. М.Г. Новожилов [4] рассматривал возможность применения наклонных скиповых подъемников и схем комбинированного транспорта при отработке глубоких карьеров. При этом выделялись три схемы комбинированного транспорта, отличающиеся лишь видом транспорта на поверхности это крутыми траншеями, наклонными или вертикальными стволами, оборудованными скиповыми подъемниками. Установлено, что в глубоких карьерах комбинированный вид транспорта имеет явное преимущество по сравнению с железнодорожным. Мобильный автотранспорт внутри карьера придает гибкость всему комбинированному транспорту со скиповым подъемом и позволяет применять наиболее рациональный порядок развития горных работ в карьере. Вскрытие крутопадающих залежей на больших глубинах при открытой разработке месторождений М.Г. Новожилов предлагает осуществлять наклонными или вертикальными шахтными стволами с погашающими квершлагами и подвижными концентрационными горизонтами, рис. 1.

Глубина отдельных звеньев принимается 250-300 м, доставка руды из рабочей зоны карьера к пункту перегрузки проводится конвейерным транспортом с предварительным дроблением. Однако здесь не принимается во внимание тот факт, что увеличение количества перегрузок заметно усложнит весь процесс подъема.

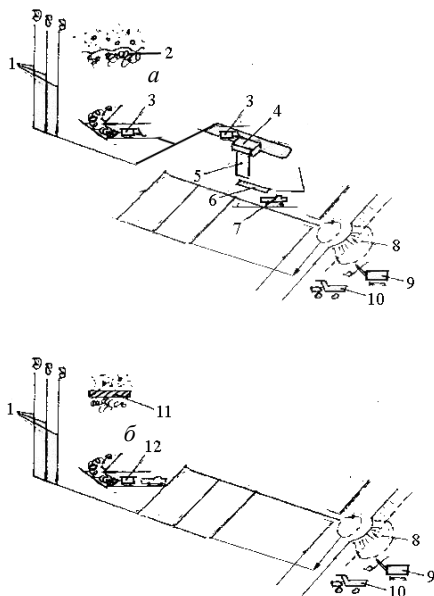


Рис. 1. Технологические схемы вскрытия при открыто-подземной отработке: *а* - с массовым обрушением, погрузкой ПДМ, перегрузкой в подземный автосамосвал и выдачей на перегрузочный склад в карьере; *б* - с массовым обрушением руды и выпуском ее под "плавающей" потолочиной, экскаваторной погрузкой и автомобильным транспортом по штольне на перегрузочный склад в карьере; 1 - вентиляционные скважины; 2 - отбитая руда; 3 - погрузочно-доставочная машина; 4 - опрокид; 5 - дробильная установка; 6 - автоматический шахтный люк; 7 - шахтный автосамосвал; 8 - перегрузочный рудный склад в карьере; 9 - карьерный экскаватор; 10 - карьерный автосамосвал; 11 - "плавающая" потолочина; 12 - гидравлический подземный экскаватор

В.А. Щелканов [2,5] рассматривал основные вопросы выбора схем вскрытия в отработки карьерных полей с использованием шахтных стволов, рудоспусков и штолен, рис. 1. Большое внимание уделено исследованию устойчивости капитальных рудоспусков, их сооружению в эксплуатации, конструкциям выпускных устройств и перегрузочных узлов. Использование подземных выработок для вскрытия глубоких горизонтов карьеров позволит, увеличить углы погашения бортов карьера, уменьшить расстояние транспортирования при перевозке горной массы внут-

рикьерным транспортом, повысить интенсивность открытых горных работ.

Нашими исследованиями целесообразности отработки запасов комбинированным открыто-подземным способом подтверждены актуальность и перспективность ее применения в Криворожском железорудном бассейне [6].

Постановка задачи. При отработке запасов подземным способом необходимо учитывать напряжения, которые будут воздействовать на выработки, находящейся в подкарьерном пространстве. Снизить вредное воздействие на подземные горные выработки возможно за счет оставления подкарьерного целика, а также образования горных выработок оптимальной формы с учетом напряжений, формируемых чашей.

Изложение материала и результаты. Широко распространено мнение об оптимальности горных выработок круглого сечения. Однако им присущи свои недостатки: значительная стоимость крепления и проходки, сложность последующего обслуживания крепления. Как показывает практика, при проходке наклонных горных выработок широко применяются следующие формы сечения и типы крепления горных выработок: арочные, круглые и сводчатые; армоблочное, бетонное, тюбинговое, набрызгбетонное, анкерное и комбинированное, рис. 2.

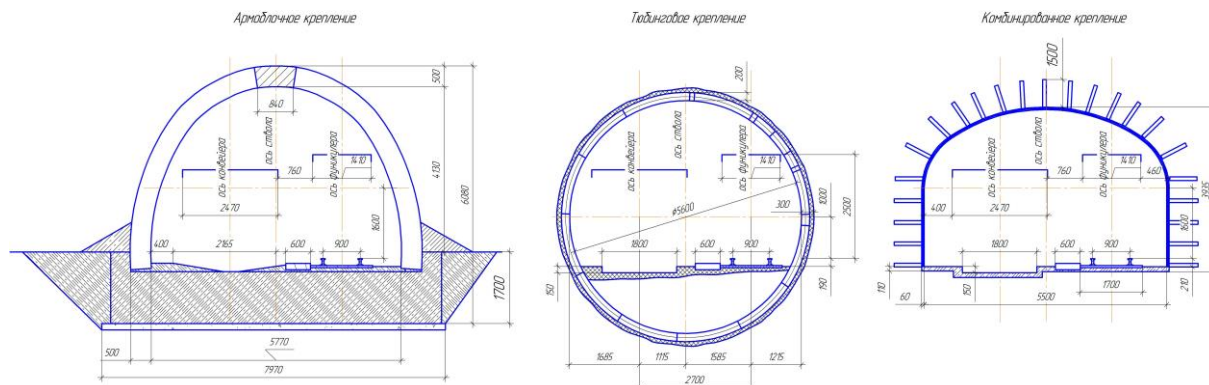


Рис. 2. Форма сечения и типы крепления капитальных наклонных горных выработок

Армоблочное и тюбинговое применялось в основном при проходке в слабых породах с коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова 1-4. Комбинированное крепление используется при проходке в крепких породах с коэффициентом крепости 15-16 (в целиках).

Исследованиями было установлено [4], что армоблочное и тюбинговое крепление не лишены ряда недостатков. Это подверженность коррозии при разрушении антикоррозийного слоя, разрушение целостности (образование трещин) в креплении из-за резких изменений температуры внутри выработок, проявления горных ударов, а также вследствие не своевременного выполнения ремонтных работ, рис. 3.



Рис. 3. Разрушение крепления наклонных горных выработок: а - армоблочное крепление; б - тюбинговое крепление

Набрызгбетонное, анкерное и комбинированное крепления в подземных горных выработках (анкера по сетке+набрызгбетон) установленные в крепких породах, имеет минимум дефектов и разрушений по сравнению с предыдущими типами крепи. В случае отработки магнетитовых кварцитов комбинированным открыто-подземным способом, необходимо будет проходить горные выработки с длительным сроком службы. Их целесообразно располагать в крепких породах, при этом, вместо дорогого крепления, целесообразно использовать комбинированное (анкера по сетке+набрызгбетон), которое имеет несложную конструкцию, а также требует незначительных затрат на поддержание и эксплуатацию. Однако, при строительстве горных выработок необходимо учитывать тот фактор, что напряжения вокруг горной выработки будут зависеть не только от глубины но и от расположения относительно чаши карьера.

Геомеханическая оценка прилегающего к карьеру участка месторождения определяется поэтапно.

Первоначально определяли поле напряжений с учетом величины нагрузки, снимаемой с бортов и дна карьера в результате выемки горной массы [3].

Привязав к центру дна карьера прямоугольную плоскую систему координат, начало (точка O_1) расположено в центре дна карьера, ось X_1 , запишем значения компонентов напряжений

$$\sigma_{X_1} = \frac{\gamma_p H_k}{\pi} \left(\arctg \frac{a_k - x_1}{z_1} + \arctg \frac{a_k + x_1}{z_1} \right) + \frac{2a\gamma_p H_k z_1 (x_1^2 - z_1^2 - a_k^2)}{\pi \left((x_1^2 + z_1^2 - a_k^2)^2 + 4a_k^2 z_1^2 \right)};$$

$$\sigma_{Z_1} = \frac{\gamma_p H_k}{\pi} \left(\arctg \frac{a_k - x_1}{z_1} + \arctg \frac{a_k + x_1}{z_1} \right) - \frac{2a_k \gamma_p H_k z_1 (x_1^2 - z_1^2 - a_k^2)}{\pi \left((x_1^2 + z_1^2 - a_k^2)^2 + 4a_k^2 z_1^2 \right)};$$

$$\tau_{X_1 Z_1} = \frac{4a_k \gamma_p H_k x_1 z_1^2}{\pi \left((x_1^2 + z_1^2 - a_k^2)^2 + 4a_k^2 z_1^2 \right)},$$

где a_k - половина ширины дна карьера; γ_p - объемная масса руды в массиве; x_1, z_1 - координаты вдоль соответствующих осей.

Для произвольной элементарной площадки, сориентированной под углом β_{zx} в прилегающем к контуру карьера рудном массиве нормальные $\sigma_{\Pi i}$ и касательные $\tau_{\Pi i}$ усилия из условия суперпозиции определяются по формулам

$$\sigma_{\Pi i} = \sigma_{Z_i} \cos^2 \beta_{zx} + \sigma_{X_i} \sin^2 \beta_{zx} + \tau_{X_i Z_i} \sin 2\beta_{zx}, \quad \tau_{\Pi i} = \frac{1}{2} (\sigma_{Z_i} - \sigma_{X_i}) \sin 2\beta_{zx} - \tau_{X_i Z_i} \cos 2\beta_{zx}.$$

На основе приведенных формул с использованием математического пакета "Mathcad" проведено моделирование изменения напряженного состояния в рудной залежи, непосредственно контактирующей с антропогенной морфоструктурой Анновского карьера. Полученные в процессе моделирования результаты показали наличие геомеханического влияния чаши карьера на предполагаемый к подземной отработке подкарьерный рудный массив. По мере удаления от дна карьера, величины компонентов напряжений в исследуемом массиве стремятся к значениям, характерным для естественного поля независимо от горизонтальной координаты X рассматриваемой точки массива.

Таким образом, для определения радиуса свода выработки необходимо учитывать напря-

жения возникающие в приграничном массиве от чаши карьера.

Параметрами, характеризующими устойчивость горных выработок являются компоненты напряжений σ_{z1} и σ_{x1} которые в основном определяют величину радиусов кривизны и оснований свода естественного равновесия. Криволинейная часть поперечного сечения выработки описывается тремя сочлененными кривыми с указанными выше радиусами кривины [4]

Количественно параметры свода определяются системой уравнений

$$\begin{cases} v = 2\sqrt[3]{R\sigma_z^2}, \\ h = 2\sqrt[3]{r\sigma_x^2}. \end{cases}$$

где h и v - вертикальная и горизонтальная полуоси кривой параболической формы, максимально приближенной к контуру свода устойчивого равновесия, м; R , r - большой и малый радиусы свода, м.

Полученная система уравнений позволяет определить малый и большой радиусы свода горных выработок. Применение комплексного подхода при определении параметров горных выработок, позволит без значительных затрат увеличить скорость проходки и устойчивость выработок за счет уменьшения затрат времени на крепление и придания горной выработке оптимальной устойчивой формы.

Список литературы

1. Ступнік М.І. Комбіновані способи подальшої розробки залізрудних родовищ Криворізького басейну / М.І. Ступнік, С.В. Письменний // Гірничий вісник ДВНЗ "Криворізький національний університет". – 2012. – Вип. 95(1). – С. 3-7.
2. Андреев Б.Н. Методические рекомендации по целенаправленному формированию внутренних отвалов в действующих железорудных и флюсовых карьерах / А.Ю. Дриженко, С.А. Сторчак, В.А. Щелканов и др. // Днепрпетровск: НГАУ, 2001. – 58 с.
3. Андреев Б.Н. Вскрытие и отработка подземным способом балансовых запасов под дном и бортами Анновского карьера: Отчет о НИР (заключительный). № ГР 0103U007486 / Криворожский технический унив-т. - № 1-430-03. – КТУ, 2004. – 139 с.
4. Новожилов М.Г. Глубокие карьеры / М.Г. Новожилов, В.Г. Селянин, А.Е. Троп // М.: Госгортехиздат, 1962. – 258 с
5. Щелканов В.А. Комбинированная разработка месторождений / В.А. Щелканов, С.А. Сторчак // Кривой Рог: КТУ, 1996. – 293 с.
6. Андреев Б.Н. Оценка технического состояния крепи наклонных стволов № 1 и № 2 шахты "Артем-2" ПАО "ЦГОК" и выдача рекомендаций по дальнейшей их безопасной эксплуатации: Отчет о НИР (заключительный). № ГР 0103U007486 / Криворожский национальный унив-т. - 1655-13-04/8-891-11. – ГВУЗ "Криворожский национальный университет", 2004. – 139 с.
7. Ступнік Н.І. Перспективні технологічні варіанти подальшої обробки залізрудних родовищ системами з масовим обрушенням руди / Н.І. Ступнік, С.В. Письменний // Вісник ДВНЗ "Криворізький національний університет". – 2012. – Вип. 30. – С. 3-7.

Рукопись поступила в редакцию 22.05.12

УДК 622.34

І.Є. ГРИГОР'ЄВ, канд.техн.наук, доц., ДВНЗ «Криворізький національний університет».

МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ КАР'ЄРІВ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

Розглянуто та запропоновано нові сучасні підходи до проектування гірничих систем з урахуванням їх ієрархічного рівня.

Система, проектування, ієрархічність, рішення.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Кардинальні зміни соціально-економічних умов функціонування держави принципово змінили зовнішнє середовище гірничо-видобувних підприємств. Конкуренція на ринках мінеральної сировини призвела до суттєвого підвищення коливання діапазону цін у 3-6 раз. Частота оновлення модельного ряду виробничих, гірничотранспортних та інших машин підвищилась у 2-3 рази. Зміни законодавчої бази, правових, нормативно проектних документів, які впливають та регламентують роботу гірничих підприємств, значно підвищились. Виснаженість надр, погіршення гірничо-геологічних, екологічних умов функціонування гірничих підприємств призводять до необхідності залучення у розробку родовищ з низькою потужністю покладів корисних копалин, з складною геометрією покладів, низьким вмістом корисного компоненту. Для виведення або підтри-