

Е. А. Несмашный /д. т. н./

А. В. Болотников /к. т. н./

ГУВЗ «Криворожский национальный университет», г. Кривой Рог, Украина
Академия горных наук г. Кривой Рог, Украина
e-mail: bolotnikovav@ukr.net

Определение прочности скальных пород с использованием современного оборудования на примере месторождения «Большая Глееватка»

Y. A. Nesmashnyi /Dr. Sci. (Tech.)/

A. V. Bolotnikov /Cand. Sci. (Tech.)/

SIHE «Kryvyi Rih National University», Kryvyi Rih, Ukraine

Academy of mining Sciences Kryvyi Rih, Ukraine
e-mail: bolotnikovav@ukr.net

Determination of strength of rock cut iron ore mine «Bolshay Hleyuvatka»

Цель. Определение прочности скальных пород на срез железорудного месторождения «Большая Глееватка» с использованием пресса, компьютеризированной системы управления и обработки получаемых данных.

Методика. Определение прочности скальных пород на срез осуществлялось в соответствии с действующими государственными стандартами.

Результаты. Получены паспорта прочности всех литологических разновидностей скальных и полускальных вскрышных пород данного месторождения.

Научная новизна. Установлено, что характер разрушения скальных пород в крест напластования и по напластованию оказался принципиально различным.

Практическая значимость. На основании полученных данных пересмотрены углы откоса бортов карьера № 1 ЧАО «ЦГОК» в сторону их увеличения, что позволит получить значительный экономический эффект. (Ил. 4. Табл. 2. Библиогр.: 8 назв.)

Ключевые слова: прочность скальных пород на срез; устойчивость бортов; углы откоса бортов карьеров; коэффициент запаса устойчивости (КЗУ).

Введение. В настоящее время горные работы в железорудных карьерах Кривбасса ведутся на глубине 350–400 м, проектами развития карьеров предусматривается увеличение их глубины до 750–1000 м. В этих условиях повышение углов откоса бортов таких карьеров является практически единственным способом снижения коэффициента вскрыши, а значит, и обеспечения рентабельности добычи полезного ископаемого.

Постановка проблемы. Повышение углов откоса бортов глубоких железорудных карьеров невозможно без достоверной оценки прочностных свойств скальных пород. При этом необходимо учитывать, что практически во всех геомеханических схемах по определению устойчивости породного откоса определяющим параметром прочности горных пород, влияющим на их устойчивость, является предел прочности на срез при разных углах приложения сдвиговых

нагрузок (практический интерес представляют углы среза в пределах 30–75°).

Вместе с тем необходимо отметить, что имеющиеся в настоящее время обобщенные данные о прочностных свойствах скальных пород Криворожского месторождения определялись в конце 60-х – начале 70-х годов прошлого века институтами ВНИМИ или ВИОГЕМ на том оборудовании, которое существовало в то время. И хотя в соответствии с [1; 4] сцепление и угол внутреннего трения скальных пород рекомендовалось определять в результате испытания цилиндрических образцов на срез в специальных матрицах, но такие испытания выполнялись не часто в связи с отсутствием сервоуправляемых прессов и соответствующих матриц.

За прошедшие с тех пор 50 и более лет, горные работы существенно понизились и переместились на нижележащие горизонты (прочностные свойства горных пород с глубиной, как правило,

возрастают), а в геомеханических расчетах до сих пор используются прочностные параметры, характеризующие породы практически приповерхностного слоя, глубиной 100–150 м.

Методика исследований. Для изменения сложившейся ситуации с определением прочностных свойств скальных пород на глубоких горизонтах криворожских карьеров Академия горных наук Украины (КП «Академический Дом») создала соответствующую лабораторию, оснастив ее современным оборудованием, в том числе сервоуправляемым 50-тонным прессом, который соединен непосредственно с компьютеризированной системой управления и обработки получаемых данных (рис. 1а).

Для изготовления цилиндрических образцов, в соответствии с [2; 3], применялось специальное оборудование, которое позволяет их получать методом выбуривания из отобранных проб горных пород специальным буровым станком (рис. 1б). При этом получают образцы цилиндрической формы диаметром 50 мм, высота которых, как правило, равняется диаметру. Пробы горных пород под буровой штангой располагаются таким образом, чтобы получить 3 образца горной породы по напластованию и 3 образца – в крест напластования. После выбуривания, торцы образцов обрезаются циркулярной пилой с алмазным кругом, с последующей проверкой прямолинейности образующих, плоскости торцов и их перпендикулярности. Нестандартные образцы выбрасываются.

При лабораторных испытаниях прочность горных пород на срез получают непосредственно приложением сдвигающих усилий к образцу

горной породы, находящейся непосредственно в наклонной матрице, которые обеспечивают срез горной породы по определенной плоскости.

Углы наклона применяемых матриц 35°, 45, 55 и 65°.

Испытуемый образец породы укладывается во вкладыши нижней матрицы и закрывается сверху вкладышем верхней матрицы. Все приспособление с образцом устанавливается в центре между плитами пресса. Между образцом и обоймами матрицы прокладывается антифрикционный материал. Образец нагружается равномерно со скоростью роста срезающих напряжений 1-5 МПа/с до полного его разрушения по плоскости среза.

Нормальное давление σ_n на площадь среза определяется из выражения (1), а сопротивление сдвигу $\tau_{сдв}$ при данном нормальном давлении – из выражения (2).

$$\sigma_n = \frac{F_{раз}}{S} \cdot \sin \theta, \text{ Па}; \quad (1)$$

$$\tau_{сдв} = \frac{F_{раз}}{S} \cdot \cos \theta, \text{ Па}, \quad (2)$$

где S – площадь среза, m^2 ; $F_{раз}$ – разрушающее усилие, фиксируемое на мониторе пресса, Н; θ – угол наклона матрицы к вертикали, град.

При построении паспорта прочности, по результатам лабораторных испытаний, нормальное давление σ_n откладывалось по оси абсцисс, а соответствующие срезу давление $\tau_{сдв}$ – по оси ординат. Аппроксимация полученных данных производилась с помощью математического аппарата Microsoft Excel-2003, который позволял



а)



б)

Рис. 1. Оборудование, применявшееся для определения прочности скальных пород на срез

получить эмпирическую зависимость в таком виде:

$$\tau_{сдв} = \sigma_n \operatorname{tg}\varphi + C, \quad (3)$$

где φ – угол внутреннего трения горной породы, град.; C – молекулярное сцепление горной породы, Па.

Качество аппроксимации полученных эмпирических зависимостей определялось величиной универсального критерия R^2 .

Если результаты испытаний представить в графическом виде (рис. 2), то угол наклона графика к горизонту определяет тангенс угла трения $\operatorname{tg}\varphi$, точка пересечения графика с осью ординат – величину сцепления C , а точка пересечения графика с осью абсцисс – предел прочности породы на растяжение σ_p [2; 3].

Выше описанное оборудование и методика его применения аттестовано ДП «Криворожский научно-производственный центр стандартизации, метрологии и сертификации» на проведение испытаний по определению прочности горных пород на срез, растяжение и одноосное сжатие.

Полученные результаты. В результате выполненных работ были отобраны пробы скальных и полускальных пород из 65 точек, расположенных на разных глубинах в карьере № 1 ПАО «ЦГОК», из расчета охвата всех литологических

разностей пород данного месторождения. Из каждой пробы было выбурено 6 образцов, диаметром 50 мм. Три из них выбуривались в крест напластованию слоев, три – по напластованию. Всего было испытано 390 образцов горных пород. Одна серия испытаний состояла из образцов, выбуренных в крест напластования, а другая – по напластованию. По полученным данным строился паспорт прочности при срезе для данной пробы как по напластованию, так и в крест напластования.

Было установлено, что характер разрушения образцов в крест напластования и по напластованию был принципиально различным (рис. 3). При срезе по напластованию образец разрушался на несколько практически равных прямоугольников, а при срезе в крест напластования, оставались практически полностью дезинтегрированные остатки.

Таким образом, получены паспорта прочности всех литологических разностей вскрышных скальных и полускальных пород месторождения «Большая Глееватка» [5].

В качестве иллюстрации в табл. 1 приведены результаты определения прочностных свойств сланца данного месторождения.

Результаты определения прочностных свойств скальных и полускальных горных пород месторождения «Большая Глееватка» были

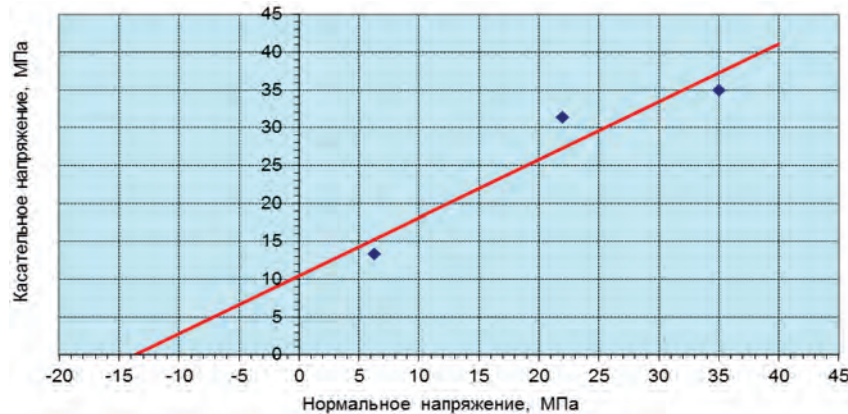


Рис. 2. Паспорт прочности сланца $PR_1sx_1^{2s}$. (качество аппроксимации $R^2 = 0,905$)



а)



б)

Рис. 3. Образец сланца после среза в матрице в крест напластования (а) и по напластованию (б)

Прочностные характеристики сланца месторождения «Большая Глееватка», в крест к напластованиям

Статиграф. индекс	Объемный вес, Н/м ³	Угол внутреннего трения, φ, град.	Молекулярное сцепление, С, Мпа	Предел прочности на растяжение, σ _p , МПа
PR ₁ sx ₁ ^{2s}	27000	37	10,47	13,67

использованы при определении степени устойчивости бортов карьера № 1 ПАО «ЦГОК» при проектировании его углубки до 700 м.

При геомеханических расчетах использовались следующие исходные данные:

- высота уступа в песчано-глинистых породах верхнего участка борта принята равной 10 м;
- высота сдвоенного уступа в скальных породах принята равной 30 м;
- геометрические параметры вертикальных разрезов по перспективным контурам карьера;
- стратиграфия строения массива горных пород, слагающих борта карьера;
- при определении допустимых углов наклона восточного борта карьера учитывалось наличие вторичных зон воронкообразования в его центральной части и падение пластов горных пород в карьер под углом 60–65°;
- при определении допустимых углов наклона западного борта карьера учитывалось наличие зон выветривания в скальных кристаллических породах.

- КЗУ принимался равным не менее 1,3, что соответствует нерабочему борту карьера со сроком службы более 10 лет [6].

Определение степени устойчивости бортов карьера № 1 ПАО «ЦГОК» проводилось методом алгебраического суммирования сил по 10 расчетным разрезам (рис. 4а), в соответствии с расчетными схемами V, VI и X методических

указаний [4]. В качестве иллюстрации на рис. 4б приведена расчетная схема для определения степени устойчивости восточного борта карьера № 1 по разрезу 5.

В результате выполненных расчетов определены и приведены в табл. 2 рекомендуемые значения углов откоса бортов карьера № 1 ПАО «ЦГОК» на конечном контуре отработки месторождения «Большая Глееватка».

На основании данных рекомендаций специалистами ГП «Кривбасспроект» произведены предпроектные проработки развития карьера № 1 ПАО «ЦГОК» в двух вариантах: при его углубке до отметки –422 м или при его углубке до отметки –494 м исходя из принципа оптимизации параметров открытых горных выработок [7].

Для обоих вариантов развития горных работ на карьере произведен расчет степени устойчивости его бортов, в результате которых получены следующие значения КЗУ:

- для восточного борта карьера, с учетом его подработки подземными горными выработками, в пределах 1,30÷1,65;

- в пределах 1,32÷2,53 для всех остальных бортов по соответствующим расчетным разрезам.

Таким образом, все полученные значения КЗУ не меньше нормативного, а это значит, что предложенные ГП «Кривбасспроект» варианты углубки карьера № 1 с геомеханической точки

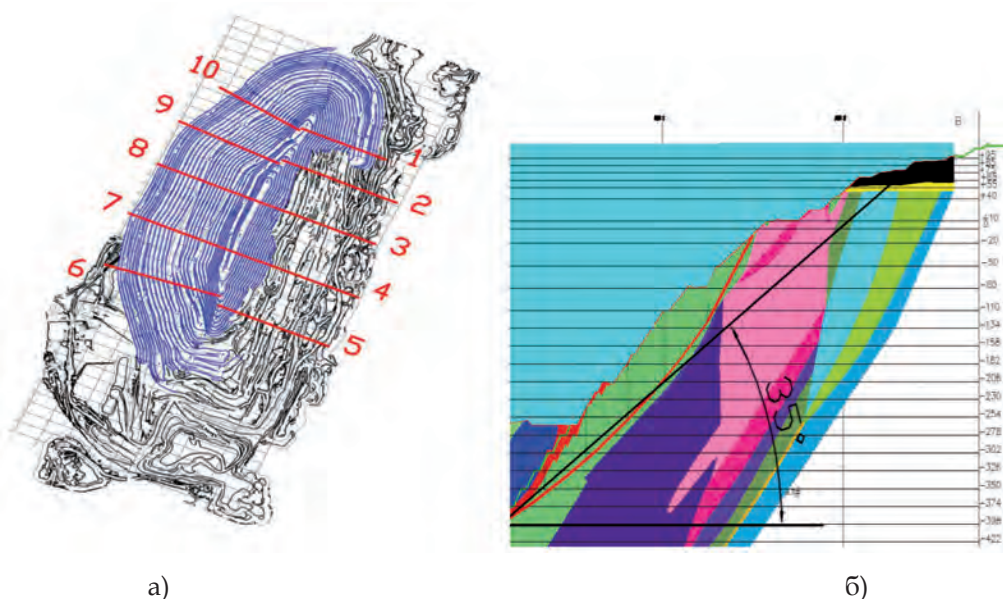


Рис. 4. Положение расчетных разрезов на плане карьера № 1 ПАО «ЦГОК» (а) и схема к расчету устойчивости восточного борта карьера по разрезу 5 (б)

Рекомендуемые углы наклона уступов и бортов карьера № 1 ПАО «ЦГОК», при его углубке до 700 м

№ п/п	Участок борта	Маркш. оси	Угол наклона уступа, град.	Угол наклона борта, град.	Примечание
Восточный борт					
1	Северная часть	0–100	60	41	–
2	Центральная часть	100–200	60	38	–
3	Южная часть	200–360	60	41	–
Западный борт					
4	Северная часть	0–100	50	35	В породах гданцевской свиты
5	Центральная часть	100–200	50	35	
6	Южная часть	200–360	50	35	
7	Северная часть	0–100	70	48	В скальной толще
8	Центральная часть	100–200	70	48	
9	Южная часть	200–360	70	48	
10	Южный торец в скальных породах		60–70	45	–
11	Северный торец в скальных породах		60–70	42	–

зрения являются полноценными, так как открытые горные выработки имеют достаточную степень устойчивости.

При этом представляют несомненный интерес результаты технико-экономического обоснования развития карьера № 1 ПАО «ЦГОК» при углах откоса горных выработок, приведенных в табл. 2, при его углубке как до отметки –422 м, так и до отметки –494 м, которое выполнено специалистами ГП «Кривбасспроект».

Так при варианте углубки карьера до отметки –422 м обеспечивается рентабельная работа карьера, производительностью 6 млн т руды в год, до 2034 г. При этом объем вскрыши уменьшается по сравнению с проектной на 79,2 млн м³ (с 226,8 млн м³ до 147,6 млн м³), а коэффициент вскрышной массы уменьшается с 1,89 м³/т до 1,23 м³/т. Это соответствует уменьшению вскрышных работ на 3,96 млн м³ в год. Суммарный экономический эффект в текущих ценах от такого сокращения вскрышных работ, составляет 4,9 млрд грн, что соответствует 245,5 млн грн в год.

При варианте углубки карьера до отметки –494 м обеспечивается рентабельная работа карьера, производительностью 6 млн т руды в год, до 2046 г. При этом объем вскрыши уменьшается по сравнению с проектной на 115,2 млн м³ (с 422,4 млн м³ до 307,2 млн м³), а коэффициент вскрышной массы уменьшается с 2,2 м³/т до 1,6 м³/т. В этом случае годовое уменьшение вскрышных работ составляет 3,6 млн м³. Суммарный экономический эффект в текущих ценах от такого сокращения вскрышных работ составляет 7,14 млрд грн, что соответствует 223,1 млн грн в год.

Выводы и перспективы дальнейших работ. На основании всего выше изложенного можно

сделать вывод, что достоверное определение прочностных свойств скальных и полускальных вскрышных пород на срез, выполненное на современном компьютеризированном оборудовании, позволяет положительно решать вопрос о повышении углов откоса глубоких железорудных карьеров при сохранении их нормативной степени устойчивости.

Такие технические решения помогут значительно увеличить срок службы действующих железорудных карьеров, принести существенный экономический эффект и не только применительно к карьере № 1 ПАО «ЦГОК», но и для любых других глубоких карьеров.

Библиографический список / References

1. Породы горные. Метод определения предела прочности при срезе со сжатием / Государственный стандарт СССР 21153.5-88. М., 1988.
Porodi gornyye. Metod opredelenia predela prochnosti pri creze so czatiem [Rocks. Method for the determination of cut strength limit] State standard of the USSR 21153.5-88. Moscow, 1988.
2. Породы горные. Методы отбора проб для испытаний / Государственный стандарт СССР 21153.0-75. / М., 1976.
Porodi gornyye. Metodi otbora prob dla ispitaniy [Rocks. Sampling methods for testing] State standard of the USSR 21153.0-75. Moscow, 1976.
3. Ильницкая Е. И. Свойства горных пород и методы их определения / Е. И. Ильницкая, Р. И. Тедер. – М.: Недра, 1969. – 392 с.
Ilizkai E. I., Teder R. I. *Svoistva gornix porod i metodi ix opredelenia* [Properties of rocks and methods of their definition]. Moscow, Nedra, 1969, 392 p.
4. Методичні вказівки з визначення оптимальних кутів нахилу бортів, укосів уступів і

відвалів залізорудних та флюсових кар'єрів / за ред. проф. А. Г. Шапаря. – К., 2009. – 201 с.

Shapar A. G. (ed.) (2009). *Metodichni vказivky z vyznachennya optimalnyh kutiv bortiv, ukosiv ustupiv i vidvaliv zalizorudnih ta flyusovyh karyeriv* [Methodological guidelines on determining optimal slope angles of walls, slopes, benches and dumps at iron ore and flux open pits], Kyiv, 201 p.

5. Определение прочностных свойств скальных пород месторождения «Большая Глееватка» и геомеханические расчеты максимально допустимых углов наклона бортов карьера № 1 ПАО «ЦГОК» при его отработке до глубины 700 м. Этап 1. Определение физико-механических свойств пород месторождения // Отчет по НИР / науч. рук. проф. Е. А. Несмашный. – Кривой Рог: Академический Дом, 2014. – 733 с.

Opedelenie prochnostnix svoistv skalnix porod mestorozdenia "Bolshay Hleyuvatka" i geomexanichskie rascheti maksimalno dopyatimix yglon naklona bortov karera № 1 PAO "CGOK" pri ego otrabotke do glybini 700 m. Etap 1. Opredelenie fiziko-mexanicheskix svoistv porod mestorozdenia [Determination of the strength properties of the rock deposits in the "Bolshay Hleyuvatka" and geomechanical calculations of maximum permissible angles of inclination of pit №. 1 of PJSC "CGOK" in its working out to a depth of 700 m. Step 1. Determination of physic-mechanical properties of rocks field]. Research Report. Nauk. ker. Y. A. Nesmashnyi. Kryvyi Rih, Academic Dom, 2014, 733 p.

6. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. – К., 2007.

Normy tehnologichnogo proektuvannya girnychodobuvnyh pidpriemstv iz vidkrytym sposobom rozrobky rodovysch korysnyh copalyn [Norms of technological design of open pit mining enterprises], Kyiv, 2007.

7. Несмашный Е. А. Оптимизация параметров открытых горных выработок / Е. А. Несмашный. – Кривой Рог: Минерал, 1999. – 118 с.

Nesmashnyi Y. A. *Optimizaia parametrov otkritix gornix virabotok* [Optimization of parameters in opencast mines], Kryvyi Rih, Mineral, 1999, 118 p.

Purpose. Determination of strength of rock cut iron ore mine «Bolshay Hleyuvatka». Technique. Determination of strength of rock shear was carried out in accordance with the applicable state standards.

Methodology. Received passport strength of all lithological differences of the rock overburden of the Deposit.

Originality. Set that the character of destruction of rocks in the cross strata and stratification was fundamentally different.

Practical value. Based on these data, the revised slope angles of the open pit № 1 of PJSC «CGOK» in the direction of their increase that will allow to obtain significant economic effect.

Key words: strength of rock shear; stability of the boards; the corners of the slope of pit walls; the factor of resistance (SPC).

Рекомендована к публикации
д. т. н. М. С. Четвериком

Поступила 12.03.2017

