

УДК 622.271.333

Ю.М. НИКОЛАШИН, д-р техн. наук, А.В. ПЛОТНИКОВ, д-р геологич. наук,
Криворожский национальный университет

УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТА ГЛУБОКОГО КАРЬЕРА В ЗОНЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ КРУПНОГО ТЕКТОНИЧЕСКОГО РАЗЛОМА ГОРИШНЕ-ПЛАВНИНСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Изучены инженерно-геологические условия формирования борта карьера в зоне крупного тектонического нарушения и предложены меры обеспечения устойчивости откосов.

Проблемы и ее связь с практическими задачами. Техническим проектом разработки карьера ОАО «Полтавский ГОК» предусмотрено поэтапное формирование конечного контура юго-западного борта карьера, значительная часть которого размещена в вмещающих породах – граноидах кировоградского комплекса палеопротерозой PR_1kg ; геолого-структурные и инженерно-геологические условия которых изучены с ограниченным количеством скважин только в северной части Горишне-Плавнинского месторождения. Дополнительным фактором, негативно влияющим на устойчивость юго-западного борта карьера, является наличие в границах западного крыла синклинойной зоны Западного глубинного разлома, с крутым западным падением ($75-80^\circ$), приуроченного к контакту сланцевой и железистой толщи криворожской серии.

В связи с проявлением локальных нарушений устойчивости отдельных участков прибортового массива, приуроченных к вмещающим граноидам на отметках от $+20 \div -30$ м до $-94 \div -108$ м, актуальным является изучение геолого-структурных и инженерно-геологических условий гранитного массива, с последующей оценкой устойчивости откосов борта на конечных контурах карьера.

Опыт формирования бортов глубоких железорудных карьеров в зонах динамического влияния крупных разрывных нарушений отсутствует. В связи с чем, недостаточно данных об инженерно-геологической изученности вмещающих пород в зоне разлома.

Для определения величин углов наклона борта карьера необходимо установить геолого-структурные особенности нарушенного массива горных пород в зоне разлома, включающего поверхности ослабления большой протяженности, интенсивность тектонической трещиноватости, ослабляющей прочность массива.

Одним из основных факторов, влияющих на инженерно-геологические условия в ходе формирования бортов карьера, является техногенная разгрузка от выемки горной массы, изменяющие естественные поля гравитационных и тектонических напряжений, действующих в призме возможного обрушения. При этом наибольшая активность проявления деформаций и их скоростей возникает в зонах динамического влияния тектонических разломов.

Анализ исследований и публикаций. Инструментальными и наклономерными наблюдениями в штольне за деформациями подработанного временно нерабочего восточного борта высотой до 240 м и углом наклона до 40° карьера №1 Центрального ГОКа в зоне Саксаганского разлома, зарегистрированные следующие текущие скорости смещения массива горных пород: в призме возможного обрушения – до 60 мм/год; в 50 м от нее зоны разлома – до 25 мм/год [1]. Указанные скорости смещения массива горных пород не относятся к критической стадии развития деформаций откосов при сроке службы борта (не более трех лет) [2]. Дальнейшая расконсервация восточного борта привела к формированию результирующего угла наклона в пределах $30-36^\circ$ и стабилизации скоростей смещения массива горных пород до 5-10 мм/год.

В Кривбассе выполнены инструментальные наблюдения на Южном геодинамическом полигоне за оседаниями и поднятиями земной поверхности в зоне Криворожского глубинного разлома протяженностью несколько сот км, включающего Саксаганский разлом и «Главный разлом» на Горшине-Плавнинском месторождении. В результате наблюдений установлены скорости вертикальных смещений земной поверхности в пределах от $(-10,8)$ до $(+2,6)$ мм/год, которые можно использовать при начальных наблюдениях за деформациями бортов в качестве фоновой тектонической составляющей подвижности разлома [3].

Ряд исследований обращают внимание на геодинамику техногенных движений, связанных

с подземными горными работами, последствием которых являются горные удары, землетрясения, рост тектонических напряжений и смещений, трещинообразование, раскрытие систем тектонических трещин массива горных пород [4].

При выемки горной массы в карьере происходит упругое смещение контуров бортов и поднятие дна, которые могут стать причиной ослабления прочности массива и развития сдвиговых деформаций призм возможного оползания откосов [5]. Так одной из возможных причин возникновения катастрофического нарушения устойчивости борта крупнейшего меднорудного карьера «Bingham-Canyon» глубиной до 800 м, разрабатываемого с 1904 г. (штат Юта, США) [6], произошедшего в апреле 2013 г., является длительное снижение прочности массива пород в процессе их разуплотнения и развитие деформаций ползучести при неблагоприятной форме борта в плане (в виде выпуклых контуров), при которой отсутствует боковой распор: сжимающие горизонтальные напряжения действующие по простиранию борта [7].

Целью выполненных исследований является изучение инженерно-геологических условий зоны динамического влияния «Главного разлома» Горшине-Плавнинского железорудного месторождения на устойчивость участка юго-западного борта и откосов уступов карьера «Полтавский ГОК» в пределах проектных контуров.

Содержание и результаты исследований. Объектом исследования является массив вмещающих пород, представленный гранитоидами крупного тектонического разлома (раздвига) шириной не меньше 300 м, слагающий участок верхних горизонтов борта на глубину 140 м.

Объем работ включал: бурение с отбором монолитов через пятиметровый интервалы в пяти инженерно-геологических скважинах глубиной от 85 до 129 м по профилю гор. (+30) м длиной 1150 м; геологическая документация керн; маршрутная инженерно-геологическая съемка обнажений уступов с замерами ориентировки систем тектонических трещин; минералогическое изучение под микроскопом шлифов тектонитов; лабораторные исследования физико-механических свойств тектонитов (гранитоидов, амфиболитов, мигматитов); графо-аналитические расчеты устойчивости уступов и борта карьера.

В результате инженерно-геологических исследований получены следующие исходные данные для оценки устойчивости борта и уступов:

геолого-структурный план и инженерно-геологические разрезы участка южно-западного борта;

величины показателей физико-механических свойств и инженерно-геологические элементы толщи гранитов в пределах «Главного разлома» и призм вероятного обрушения борта (табл. 1);

структура решетки и интенсивность тектонической трещиноватости вскрытых горизонтов (+30)...(-120) м;

величины коэффициентов структурного ослабления сцепления массива горных пород;

схема инженерно-геологического районирования участка борта.

По данным бурения инженерно-геологических скважин и минералогических исследований шлифов установлено, что зона разлома состоит из пересекающихся параллельных трещин в блоках, разделенных линзами и глыбами сравнительно мало нарушенными, но с развитием на их границах явления перетиранья и раздробления, сформированная скальная структура пород в зоне разлома по прочности уступает сланцам рудно-кристаллической толщи в 2,5-5 раз (см. табл. 1). Продуктами перетиранья является мелкая тектоническая брекчия, состоящая из обломков катаклазита микроскопических размеров и милонита до состояния пыли.

Ориентировка решетки трещиноватости в обнажениях уступов, состоящей из субмеридиональных, субширотных, диагональных и других секущих трещин в зоне тектонического разлом, согласуется только в пределах одной замерной станции на горизонте по длине от 10 до 50 м.

Измерения положения трещин определены с использованием солнечного компаса и графика зависимости азимута тени Солнца, времени суток и месяца года, а также географических координат пункта наблюдений.

В зависимости от интенсивности трещиноватости W , равной от 5 до 20, высот уступов и борта определены коэффициенты λ_r структурного ослабления массива, равные от 0,037 до 0,068 для выделенных инженерно-геологических элементов пород [8].

Инженерно-геологические элементы тектонитов и их физико-механические свойства

Наименование пород (номер инженерно-геологического элемента – ИГЭ)	Вертикальная мощность, средн., м	Плотность в условиях естественного залегания, кг/м ³	Пористость, %	Естественная влажность, %	Предел прочности водонасыщенных пород, МПа		Угол внутреннего тре- ния, град.	Сцепление в образце МПа×10 ²
					на сжатие	на растяжение		
Гранит (ИГЭ-1):								
а) гранит микроклиновый неизмененный, свежий (1.1)	40-100	2625	1,9	0,1	43-93	8-16	30,1	1529
б) гранит микроклиновый, свежий (1.2)	18	2610	0,6	0,1	70	23	30,4	2006
в) гранит микроклиновый выщелоченный (1.3)	55	2400	9,0	0,2	17-43	4-9	41,9	419
г) гранит микроклиновый окварцованный (1.4)	5-20	2610	4,1	0,1	56-107	18-35	30,9	1587
д) гранит плагиоклаз микроклиновый с биотитом, катаклазиро- ванный, брекчированный (1.5)	47	2625	2,5	0,6	58-83	11-19	41,8	1616
е) гранит плагиоклаз-микро-клин- амфиболовый, выщелоченный (1.6)	12-43	2265	13,6	0,3	11-26	3-6	35,0	395
ж) гранит выветренный (1.7)	5-20	2300	–	–	–	–	–	–
Мигматит (ИГЭ-2):								
а) мигматит амфиболовый, интенсивно гема- титизированный 2(1)	20	2320	15,6	0,1-0,7	20-25	5-6	36,7	224
б) мигматит слабыветренный 2(2)	7	2320	–	–	–	–	–	–
в) мигматит выветренный 2(3)	20	2320	–	–	–	–	–	–
Полемигматит (ИГЭ-3):								
а) катаклазит полемигматиту меланократового 3(1)	92	2730	0,8-3,9	0,3-1,0	22-51	7-14	34,0	917
б) полемигматит биотит-амфиболовый, среднезернистый катаклазированный 3(2)	6	2680	2,4	0,7	25-48	9-17	42,3	1208
Амфиболит (ИГЭ-4):								
а) амфиболит окварцованный, катаклазированный 4(1)	24	2680	0,2-3,8	0,5-1,0	25-48	9-17	30,2	1356
б) амфиболит гранитизированный окварцованный, катаклазированный 4(2)	30	2960	0,6	0,7	27-33	10-13	28,1	953
Милонит (тектоническая зона) (5)	1-17	2765	0,7-3,0	0,5	20-51	7-11	28,5	612
Зона измельчения пород (6)	до 15	2300	–	–	–	–	–	–
Зона брекчирования пород (7)	3-15	2950	3,3	0,1-0,5	8-63	1-20	34,0	140
Сланцы (8)	более 100	3015	2	–	75-186	–	30,0	2320

Кроме этого, определено ослабление прочности массива в зависимости от длительных действующих гравитационных и тектонических напряжений (λ_0) и структурной нарушенности керна пород (λ_k) [9]

$$\lambda_0 = \lambda_T \cdot \lambda_\theta \cdot \lambda_k,$$

где $\lambda_0 = 0,85$, λ_k равен в пределах 0,568-0,851, тогда λ_0 изменяется от 0,018 до 0,045.

Нормативные показатели величин сцепления C_0 и углов внутреннего трения φ , град пород в образце определены расчетом использованием лабораторных испытаний на сжатие σ_c и растяжения σ_p по формулам

$$C_0 = 0,5 \cdot \sqrt{\sigma_c \cdot \sigma_p}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{0,5 \cdot (\sigma_c - \sigma_p)}{\sqrt{\sigma_c \cdot \sigma_p}},$$

где соблюдено условие, что действующие нормальные напряжения σ_n напряжения по поверхностям скольжения призм возможного обрушения не превышают величин, равных (0,1-0,2) σ_c [9].

Графико-аналитические расчеты устойчивости уступов и борта выполнены с использованием типовых схем, учитывающей крутопадающие слои в сторону массива, методом векторного сложения сил по разработанной блок-схеме (рис. 1,2), алгоритм, разработанный ст. научн. сотр. Рыбчинской Е.Н.

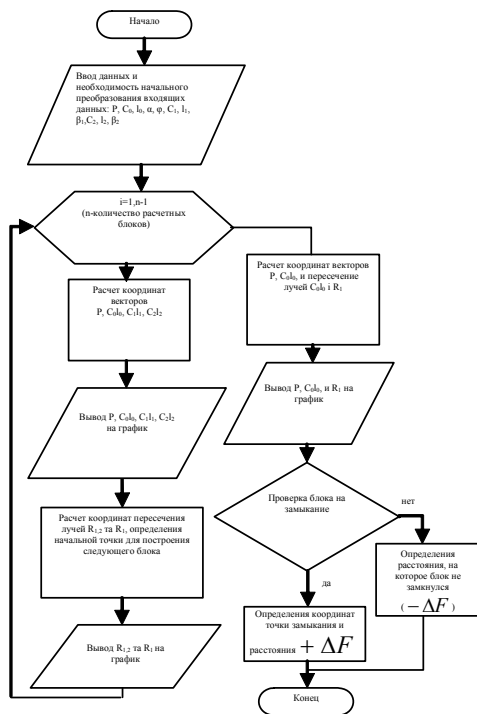


Рис. 1. Блок-схема алгоритма расчета стойкости бортов методом многоугольника сил

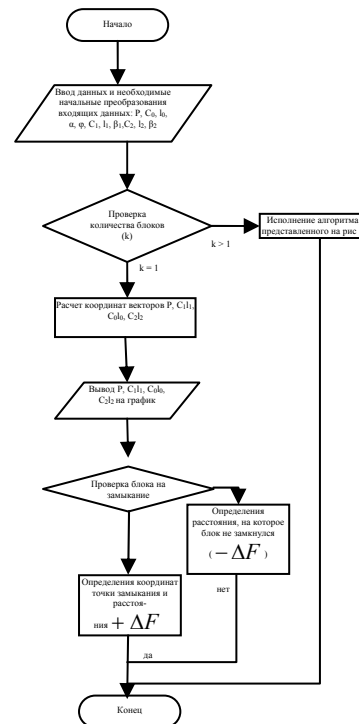


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета стойкости уступов с вертикальными углами откосов методом многоугольных сил

Выводы и направление дальнейших исследований. Результаты геомеханических исследований позволяют рекомендовать выполнить корректировку следующих проектных параметров юго-западного борта: результирующего угла наклона борта до 40° , заоткоску уступов в предельном положении до 90° и высотой от 10 до 30 м при условии выполнения заверочного, направленного, наклонного бурения инженерно-геологических скважин в призме возможного обрушения борта высотой до 100 м.

Список литературы

1. Корчагин Н.В. Паспортизация и мониторинг сдвижения горных пород при открытых работах / Н.В. Корчагин, Ю.М. Николашин, Д.С. Палий // Разраб. рудн. месторожд., 2010. – Вып. 93. – С. 24-27.
2. Ильин А.И. О роли гравитационных напряжений в разуплотнении массива горных пород при открытой разработке месторождений полезных ископаемых / А.И. Ильин, Ю.М. Николашин, И.А. Широков // Приложение результатов исследования полей напряжений к решению задач горного дела и инженерной геологии. – Апатиты, Кольский филиал АН СССР. – 1985. – С. 31-35.
3. Куликовская О.Е. Вертикальные смещения реперов геодинамического полигона на территории эксплуатируемого месторождения / О.Е. Куликовская, В.Д. Сидоренко // Разраб. рудн. месторожд., 2010. – Вып. 93. – С. 81-86.
4. Николаев Н.И. Новейшая тектоника и геодинамика литосферы // Н.И. Николаев. – М.: Недра, 1988. – С. 438-472.
5. Николашин Ю.М. Результаты исследования допредельного состояния бортов глубоких карьеров с целью прогноза их устойчивости / Ю.М. Николашин, И.В. Потапов // Геотехнічна механіка, 2000. – Вып. 21. – С. 144-148.
6. Бингем (Bingham) // Горная энциклопедия, Том 1. – М., Изд-во «Советская энциклопедия», 1984. – С. 236-237.
7. Шейдеггер А.Е. Физические аспекты природных катастроф // А.Е. Шейдеггер. Пер. с англ. – М.: Недра, 1981. – С. 69-96.
8. Методичні вказівки з визначення оптимальних кутів нахилу бортів укосів уступів і відвалів залізрудних та флюсових кар'єрів / Мінполітики та ІППЕ НАН України: Днепропетровск, 2009. – 201 с.
9. Каргашов Ю.М. Прочность и деформируемость горных пород // Ю.М. Каргашов, Б.В. Матвеев, Г.В. Михеев, А.Б. Фадеев – М.: Недра, 1979. – С. 50-112.

Рукопись поступила в редакцию 25.03.14