

УДК 622.271

Г.И.ТКАЧЕНКО, Е.В. ГЕРАСИМОВА, кандидаты. техн. наук, доц.,  
Криворожский национальный университет,  
А.Е. БИЛЕНКО, ГП «ГПИ «Кривбасспроект»,  
А.В. БОЛОТНИКОВ, канд. техн. наук, Академия горных наук Украины, КП «Академический дом».

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ РЕЗУЛЬТИРУЮЩИХ УГЛОВ НАКЛОНА БОРТОВ КАРЬЕРА ПУТЕМ ОБРАТНЫХ РАСЧЕТОВ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОРОД НА ПРИМЕРЕ ГЛЕЕВАТСКОГО КАРЬЕРА ПАО «ЦГОК»

В статье разработана вариация метода обратных расчетов прочностных свойств скальных пород на основании метода алгебраического сложения сил, определены усредненные показатели прочностных свойств скальных и полускальных массивов Глееватского карьера. Выполнен расчет максимально-допустимых углов наклона бортов Глееватского карьера ПАО «ЦГОК» на основании анализа текущего положения откосов с учетом текущих проектных решений по его углубке до глубины 500 метров.

В качестве исходных данных для расчета использовались: - стратиграфия строения массива горных пород в районе восточного борта Глееватского карьера; - значения прочностных свойств вскрышных пород Глееватского месторождения по результатам обратных расчетов и по данным Криворожского отделения института ВИОГЕМ с учетом величины коэффициента структурного ослабления.

**Ключевые слова:** устойчивость бортов, физико-механические свойства пород, обратные геомеханические расчеты, углы наклона бортов, текущее положение откосов.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Современное состояние открытых горных работ на карьерах Криворожского железорудного бассейна характеризуется закономерным увеличением глубины действующих карьеров. Так большинство разрабатываемых месторождений открытым способом характеризуется глубиной карьеров в 350-400 м, а проектные проработки предусматривают понижение горных работ на глубины до 700-800 м. В данных условиях проблема геомеханического обеспечения горных работ, в аспекте обеспечения добычи полезного ископаемого с минимальными затратами на проведение вскрышных работ с одновременным обеспечением достаточно степени устойчивости бортов разрабатываемых карьеров, выходит на один из первых планов в общем объеме задач направленных на обеспечение экономической эффективности открытых горных работ. Ориентировочные расчеты показывают, что увеличение генеральных углов наклона бортов карьера всего на один градус позволяет сократить выемку вскрышных пород на 0,5 млн м<sup>3</sup> для 100 м в простирации борта.

Одним из основных факторов ограничивающих, с геомеханической точки зрения, генеральные углы наклона бортов карьеров является значение прочностных свойств пород слагающих данные борта. В настоящее время для определения значения прочностных свойств пород проводятся специальные исследования направленные на определения пределов прочности образцов пород с последующим расчетом угла внутреннего трения и сцепления для каждой из выделенной группы пород. Однако следует отметить, что проведение таких исследований довольно дорогостояще и осложнено отсутствием необходимого оборудования.

Ориентируясь на вышеизложенное можно отметить необходимость разработки методов определения прочностных свойств пород в массиве на основе анализа текущего состояния карьерных откосов действующих карьеров с использованием потенциала метода обратных геомеханических расчетов.

**Анализ исследований и публикаций.** Анализ исследований направленных на определение прочностных свойств скальных массивов карьеров горнорудных предприятий Кривбасса [1,2] показывает, что данные исследования в последний раз проводились более 35-40 лет назад, то есть при глубинах действующих карьеров на уровне 100-150 м. С другой стороны исходя из теоретических предпосылок существуют предположения, которые так же нашли свое подтверждение в практических исследованиях [3], о том что с увеличением глубины возрастают значения прочностных свойств горных пород и наиболее интенсивно возрастает параметр сцепления в массиве.

Метод обратных геомеханических расчетов прочностных свойств горных пород широко описан в литературных источниках [4,5] и действующих инструкциях по обеспечению устойчивости бортов карьеров и отвалов [6,7], на основе его анализа применительно к горно-

геологическим Глееватского карьера ПАО «ЦГОК» и были выполнены расчеты усредненных прочностных свойств пород в массиве и определена возможность повышения углов наклона бортов при последующем понижении горных работ.

**Постановка задачи.** Целью работы является определение возможности повышения углов наклона бортов Глееватского карьера ПАО «ЦГОК» на основе анализа текущего состояния карьерных откосов и применения вариации метода обратных геомеханических расчетов прочностных свойств пород в массиве.

**Изложение материала и результаты.** В геологическом строении рассматриваемого месторождения принимают участие метаморфические породы криворожской серии и осадочные породы. Характерной чертой пород криворожской серии является моноклинальное крутое их залегание с западным падением под углом 40-55° и северо-восточное простирание под углом 20-25°.

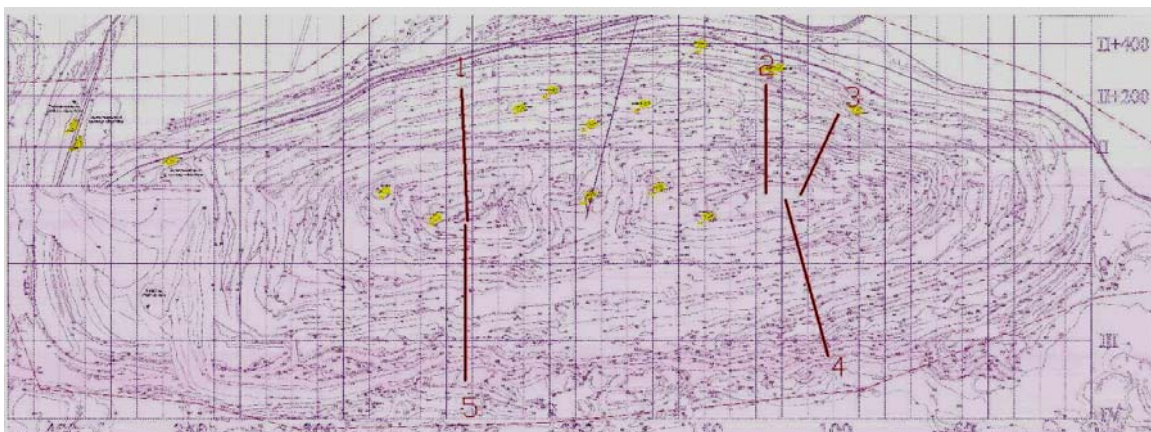
Применительно к горно-геологическим условиям карьера № 1 ПАО «ЦГОК» последняя работа по изучению прочностных и деформационных свойств пород проводилась институтом ВИОГЕМ в рамках НИР «Исследование устойчивости бортов карьеров №1,2,3 ЦГОКа до глубины отработки 300-500 м и разработка рекомендаций по уточнению параметров откосов с учетом динамического воздействия взрывов» [1].

В соответствии с полученными результатами по значениям физико-механических свойств пород слагающих борта, институтом ВИОГЕМ были выполнены расчеты максимально допустимых углов наклона бортов Глееватского карьера: результирующий угол выпуклого борта в осях 280-428 (на участке подработки от залежи «Северная-Червоная») - 33°, на неподроботанных участках - 35°. Углы наклона по частям приняты такими: для нижней высотой 168 м - 38°, для средней (в горизонтах -86÷-254) - 37°, в верхней зоне выветрелых пород (от +82÷-86) - 29°, для рыхлых пород и наносов - 25°.

В ходе дальнейшей разработке карьера № 1 вплоть до сегодняшнего времени, то есть более 35 лет, исследования физико-механических свойств пород карьера не проводились, хотя есть все основания для предположения о том, что с понижением горных работ прочность горных пород увеличивается и соответственно появляются аргументы для пересмотра максимально-допустимых углов наклона бортов данного карьера.

В виду вышеизложенного нами проведен анализ текущего состояния откосов скальных пород на карьере № 1 ПАО «ЦГОК» (см. рис. 2) по состоянию на 01.10.2012 г., предоставленного институтом ГП «ГПИ «Кривбасспроект», была выполнена геометризация пяти расчетных разрезов.

Результаты выполнения этой работы показаны на рис. 3,4.



**Рис. 2.** Положение расчетных разрезов на плане горных работ Глееватского карьера по состоянию на 01.10.2012 г.

Разрез 1 - западный борт, м.о. 242-244, геометризация в отметках (+10)÷(-260) м, форма борта в основном плоская, результирующий угол наклона участка борта 30°, наиболее крутые

углы наклона группы уступов высотой 135 м выявлена в отметках (-45)÷(180) м с результирующим углом наклона 50°.

Разрез 2 - западный борт, м.о. 126, геометризация в отметках (+10)÷(-278) м, форма борта в основном плоская, результирующий угол наклона участка борта 39°, наиболее крутые углы наклона групп уступов определены в отметках (-48)÷(-256) м, угол наклона 45°, высота группы уступов 208 м.

Разрез 3 - западный борт, м.о. 98-112, геометризация в отметках (+10)÷(-278) м, форма борта в основном плоская, результирующий угол наклона участка борта 43°, наиболее крутые углы наклона групп уступов определены в отм. (-75)÷(-260) м, угол наклона 48°, высота группы уступов 185 м.

Разрез 4 - восточный борт, м.о. 102-118, геометризация в отметках (+100)÷(-278) м, форма борта выпуклая, результирующий угол наклона участка борта 33°, наиболее крутые углы наклона групп уступов определены в отметках (+47)÷(-205) м, угол наклона 45°, высота группы уступов 252 м.

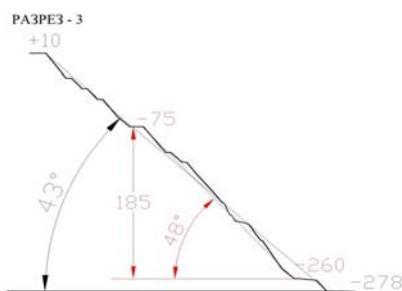


Рис. 3. Геометризация разреза – 3, западный борт карьера

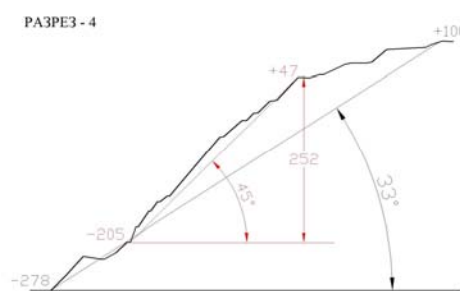


Рис. 4. Геометризация разреза – 4, западный борт карьера

Разрез 5 - восточный борт, м.о. 242, геометризация в отметках (+95)÷(-252) м, форма борта выпуклая, результирующий угол наклона участка борта 32°, наиболее крутые углы наклона групп уступов определены в отметках (-78)÷(-241) м, угол наклона 45°, высота группы уступов 163 м.

Для оценки прочностных свойств пород на выделенных участках нами был использован метод обратных расчетов изложенный ниже.

В большинстве случаев метод обратных расчетов для определения физико-механической свойств горных пород рекомендуется применять при оценке фактов, которые привели к нарушению устойчивости породного откоса [4,5], т.е., обратные геомеханические расчеты применяются для установления реальных физико-механических свойств горных пород в теле оползня.

Однако в виду того, что реальных оползневых процессов на бортах карьера № 1 в скальных породах до сего времени не отмечалось, в данной работе нами предпринята попытка выполнить обратные геомеханические расчеты для участков бортов с наиболее крутыми углами наклона. При этом в качестве базового использовался метод алгебраического сложения сил по плавной криволинейной поверхности скольжения.

Согласно методическим рекомендациям [6,7], при использовании метода алгебраического сложения сил по плавной криволинейной поверхности скольжения, коэффициент запаса устойчивости должен определяться из ниже следующих выражений

$$\eta_3 = \frac{\sum P_i \cos(a) \operatorname{tg}(\rho) + Cl}{\sum P_i \sin(a)} \quad (1)$$

$$P_i = \gamma \cdot S_i, \quad (2)$$

где  $\eta_3$  - коэффициент запаса устойчивости, доли. ед.;  $a$  - угол наклона основания элементарных блоков, град.;  $\rho$  - угол внутреннего трения пород, град.;  $l$  - длина дуги поверхности скольжения, м.;  $C$  - усредненное молекулярное сцепление горных пород по поверхности скольжения, Па;  $P_i$  - вес элементарного блока, Н;  $S_i$  - высота элементарного блока, м;  $\gamma$  - удельный вес пород блока, Н/м<sup>3</sup>.

Общепризнанно, что изменение угла внутреннего трения горных пород с понижением глубины горных работ не отмечается или не значительно, его значение может быть принято постоянным. Поэтому целью любых обратных геомеханических расчетов является определение усредненной величины молекулярного сцепления по вероятной поверхности скольжения.

Тогда, с учетом нормативного значения коэффициента запаса устойчивости, из выражения (1), после соответствующих математических преобразований, получим аналитическое выражение для определения усредненной величины молекулярного сцепления в виде (3)

$$C = \frac{\eta_3 \sum P_i \sin(a) - \sum P_i \cos(a) \operatorname{tg}(\rho)}{l} \quad (1.3)$$

где  $\eta_3$  - нормативное значение коэффициент запаса устойчивости, доли. ед.

На основании геометризации расчетных разрезов по текущему положению горных работ в карьере № 1 по участках бортов с наиболее крутыми углами наклона и в соответствии с выше приведенной методикой, нами выполнены расчеты по определению усредненного показателя молекулярного сцепления пород по вероятной поверхности сдвижения.

При этом учитывались следующие факторы:

выделенные участки бортов карьера являются нерабочими и находятся в текущем положении достаточно длительный период времени (до 10 лет и более), деформационные процессы на рассматриваемых участках слабовыраженные или отсутствуют полностью, поэтому есть основания считать текущий запас устойчивости равным нормативному, а именно  $\eta_3 = 1,30$ ;

для рассматриваемых участков бортов в геомеханических расчетах принимался усредненный угол внутреннего трения, определенный по результатам работ института ВИОГЕМ, проведенным в 1978 г.

Таким образом, в результате выполненных методом обратного расчета вычислений, установлено, что усредненное значение молекулярного сцепления скальных и полускальных пород не может быть меньше следующих величин: для восточного борта карьера № 1:  $C=0,439 \pm 0,046$  МПа; для западного борта карьера № 1:  $C=0,383 \pm 0,059$  МПа.

Для определения возможности увеличения результирующих углов наклона бортов Глееватского карьера на основании полученных данных выполнены численные расчеты максимально-допустимых углов.

Численные расчеты по определению максимально-допустимых углов наклона западного и восточного бортов карьера №1 ПАО «ЦГОК» проводились на основании «Методичних вказівок з визначення оптимальних кутів нахилу бортів, укосів уступів і відвалів залізородних та флюсових кар'єрів», а именно с использованием расчетных схем V, VI и X приведенных в табл. 1 данных указаний [7].

Расчеты устойчивых углов наклона бортов Глееватского карьера проведены с учетом текущих проектных решений по его углубке до глубины 500 м.

В качестве исходных данных для расчета также использовались:

стратиграфия строения массива горных пород в районе восточного борта Глееватского карьера;

значения прочностных свойств вскрышных пород Глееватского месторождения по результатам обратных расчетов и по данным Криворожского отделения института ВИОГЕМ с учетом величины коэффициента структурного ослабления.

Результаты выполненных расчетов максимально-допустимых углов наклона бортов Глееватского карьера ПАО «ЦГОК» на основании анализа текущего состояния карьерных откосов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета устойчивости западного и восточного бортов карьера №1 с учетом текущего состояния откосов

Номер разреза	М.о.	Угол наклона	Высота	КЗУ	Примечания
1-1	266 (западный борт)	40	550	1,30	-
2-2	178 (западный борт)	40	550	1,30	-
3-3	178 (восточный борт)	37	700	1,30	С учетом вторичного воронкообразования
4-4	266 (восточный борт)	40	700	1,30	-

**Выводы и направление дальнейших исследований.** По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. Последнее по времени определение прочностных параметров скальных пород, слагающих борта карьера № 1 ПАО «ЦГОК», проводилось институтом ВИОГЕМ в 1978 г. За прошедшее время глубина горных работ на карьере понизилась на 150-200 м. При этом есть все основания полагать, что прочностные свойства скальных пород с увеличением глубины карьера также будут увеличиваться, а значит, появляется предпосылка для увеличения углов наклона бортов карьера № 1.

2. В результате геометризации разрезов по западному и восточному бортам карьера № 1 выделено ряд групп уступов с углами наклона 43-50°, высотой до 288 м, находящихся длительное время в устойчивом состоянии. Обратные геомеханические расчеты, выполненные по контурам данных групп уступов показали, что усредненное значение молекулярного сцепления скальных пород не может быть меньше следующих величин: для восточного борта 0,439±0,046 МПа; для западного борта 0,383±0,059 МПа.

3. Рассчитаны максимально-допустимые углы наклона западного и восточного бортов карьера №1 ПАО «ЦГОК» на основании текущего состояния откосов, с учетом нормативного КЗУ=1,3, которые составили:

для западного борта до 40°;

для восточного 37-40°, в зависимости от степени нарушенности прибортового массива вторичным воронкообразованием.

6. Учитывая то, что использование обратного метода расчета прочностных свойств горных пород не разрешено при практическом проектировании степени устойчивости бортов карьеров «Методическими указаниями ...» [6,7], предлагается ПАО «ЦГОК» рассмотреть вопрос о проведении НИР по определению прочностных свойств скальных пород на нижних горизонтах карьера № 1, для получения исходных данных для разработки проекта увеличения углов наклона бортов карьера.

### Список литературы

1. Исследование устойчивости бортов карьеров (№ 1,2,3) ЦГОКа до глубины отработки 300-500 метров и разработка рекомендаций по уточнению параметров откосов с учетом динамического воздействия взрывов // Отчет по НИР // КО ВИОГЕМ, Кривой Рог, 1978.
2. Отчет о гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях на Ингулецком ГОКе Криворожского железорудного бассейна. ВИОГЕМ. г. Белгород, 1968.
3. **Маевский А.М., Несвитайло Н.В., Казола А.Д.** Установление и анализ параметров, влияющих на устойчивость массивов горных пород бортов (уступов) карьера Катока // Материалы международной конференции «Форум Горняков 2013». Том 1. –Днепропетровск: НГУ.-2013. С. 190-195.
4. **Гальперин А.М.** Геомеханика открытых горных работ. – М.: Издательство МГТУ, 2003. – 473с.
5. **Попов И.И., Окатов Р.П.** Борьба с оползнями на карьерах. -М.: Недра, 1980. - 238 с.
6. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. – Л.: ВНИМИ, 1971.- 187 с.
7. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости. Л.: ВНИМИ, 1987- 118 с.
8. Методичні вказівки з визначення оптимальних кутів нахилу бортів, укосів уступів і відвалів залізрудних та флюсових кар'єрів // Під ред. проф. **А.Г. Шапаря** // -К: - 2009. – 201 с.
9. Открытые горные работы: Спр. / **К.Н.Трубецкой, М.Г. Потапов, Н.Н. Мельников и др.** – М.: Горное бюро, 1994. – 590 с.
10. Комп'ютерна програма «Комплекс комп'ютерних програм «РЕПЕР»: Свідчення про реєстрацію авторського права на твір. Україна, МОНУ/ **Є.Я.Бехлер, А.В. Болотников, Є.О. Несмашний, О.В.Максимов, Г.І.Ткаченко.** – № 39943; Зареєстр. 02.09.11.
11. **Попов В.Н., Байков Б.Н.** Технология отстройки бортов карьеров. - М., Недра, 1991. - 250 с.
12. **Зотеев В.Г.** Основные проблемы формирования предельных контуров карьеров в скальных породах: Сб. науч. тр. – Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1987.- №83.- С. 8-15.
13. **С.С. Серый, А.В. Дунаев.** Методика изучения структуры массива скальных пород для оценки устойчивости карьерных откосов // Маркшейдерия и недропользование. №4 (36), июль-август 2008. – С. 40-41.
14. **Ш.А. Мухамедиев, Т.И.Белюсов.** Трещиноватость горных пород: решенные и нерешенные проблемы // Горный информационно-аналитический бюллетень.- №9 - 2006а. – С.48-54.
15. **Чернышев С.Н.** Трещиноватость горных пород и ее влияние на устойчивость откосов. - М. Недра, 1984.

Рукопис подано до редакції 26.02.15