

УДК 622.271

## УЧЕТ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИБОРТОВЫХ МАССИВОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ КАРЬЕРОВ

**Слободянюк В. К., Перегудов Ю. В.**  
(Криворожский национальный университет,  
г. Кривой Рог, Украина)

*Досліджено вплив геолого-структурних особливостей прибортового масиву на безпечність відкритої розробки при формуванні та розносі тимчасово нерабочих бортов кар'єру.*

*Effect of geological and structural features of the cut-off solid on safety of an open-pit when shaping and cutting the temporary non-mining pitwalls has been investigated.*

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Поэтапная открытая разработка крутопадающих месторождений сопровождается работами по формированию и разносу временно нерабочих бортов. Высота участка временно нерабочего борта между смежными по высоте рабочими зонами карьера достигает 60-100 м, угол откоса временно нерабочих бортов равен углу откоса нерабочего борта и существенно превышает угол откоса рабочего борта. При этой системе разработки особую роль играют вопросы учета особенностей залегания рыхлых и плотных пород в прибортовом массиве, которые оказывают существенное влияние на устойчивость борта карьера и на обеспечение безопасных условий производства горных работ. В отечественной практике проектирования не принято выделять в проекте карьера промежуточные этапные контура, и соответственно, влиянию локальных особенностей залегания горных пород на устойчивость борта карьера не уделяется достаточного внимания. Это лишает

горных инженеров проектного обоснования для разрешения горнотехнических ситуаций, требующих в определенные периоды времени изменения конструкции борта карьера и кратковременного повышения эксплуатационного коэффициента вскрыши.

**Анализ исследований и публикаций.** В исследовании [1] управляемым параметром является угол откоса уступа. В этом случае существует множество вариантов сочетания параметров уступов, слагающих оцениваемый борт карьера, которые имеют близкие значения коэффициента запаса устойчивости. Но многие из этих вариантов изначально не являются технологически целесообразными, особенно те, в которых нижние уступы борта имеют пологий откос уступа, а необходимый коэффициент запаса устойчивости борта карьера достигается увеличением угла откоса верхних уступов, обычно сложенных рыхлыми и плотными породами.

Известно, что технико-экономические показатели открытой разработки будут наилучшими при максимально допустимом угле откоса нерабочего борта карьера. Угол откоса уступа в данном случае не является неизвестной искомой и оптимизируемой величиной, в большинстве случаев значения углов откоса уступов, обеспечивающих их краткосрочную и долгосрочную устойчивость, известны из проекта разработки и уточнены в ходе эксплуатации карьера.

Актуальной научно-производственной задачей является определение минимального количества и ширины предохранительных берм, обеспечивающих нормативное значение запаса устойчивости борта карьера. Особенно это важно в случаях, когда соблюдение нормативных параметров берм безопасности не обеспечивает безопасных условий производства горных работ в конкретных горно-геологических условиях.

**Постановка задачи.** Целью работы является совершенствование поэтапной системы разработки за счет обоснования безопасной конструкции временно нерабочего борта карьера на основе учета геолого-структурных особенностей строения прибортового массива горных пород и неопределенности информации об их физико-механических свойствах.

**Изложение материала и результаты.** Механико-математической основой современных методов расчета устойчивости откосов является теория предельного равновесия «сыпучей среды». Для практического использования в расчетах устойчивости откосов применяются методы, основанные на том, что предельное равновесие в откосе удовлетворяется не во всех точках некоторой области массива, а лишь по ее внутренней границе (по наиболее напряженной поверхности скольжения) [4]. Известно, что физико-механические свойства горных пород носят вероятностный характер, они зависят от степени обводненности массива и изменяются на протяжении периода эксплуатации карьера. Граница плотных и скальных пород во многих случаях не является горизонтальной плоскостью. В зависимости от наклона этой плоскости по отношению к выработанному пространству карьера при одних и тех же физико-механических свойствах горных пород оценка устойчивости борта карьера будет различной. Известны примеры (Приазовские железорудные месторождения, месторождения Правобережной аномалии), когда вдоль линии простирания месторождения плоскость кристаллического фундамента имеет многочисленные подъемы и падения, то есть при разработке такого месторождения геомеханические характеристики борта карьера будут постоянно изменяться.

Применение геоинформационных технологий компьютерного моделирования [2, 3] позволяет оптимизировать параметры горных выработок, ускоряет процесс определения рациональной конструкции борта карьера и повышает обоснованность проектных решений. В настоящем исследовании использовалась студенческая версия программы GeoStudio 2007.

Информационной основой численного эксперимента является математическая модель борта карьера и прибортового массива горных пород с учетом физико-механических свойств горных пород и положения основных водоносных горизонтов. Одной из задач данной работы являлось исследование закономерностей изменения коэффициента запаса устойчивости борта карьера при изменении параметров залегания пластов плотных (глина, каолин) и скальных пород, слагающих прибортовой массив. Были построены и изучены три упрощенные модели борта карьера:

1) прибортовой массив сложен пластами пород, падение которых направлено в сторону выработанного пространства карьера;

2) прибортовой массив сложен горизонтально залегающими пластами горных пород;

3) прибортовой массив сложен пластами пород, падение которых направлено вглубь массива горных пород.

Для каждой из упрощенных моделей определена высота борта карьера, угол откоса пород, его слагающих, физико-механические свойства горных пород (плотность, угол внутреннего трения, сцепление пород). Положение контактов горных пород в плоскости откоса борта карьера во всех моделях принято одинаковым. Зона скальных пород в данном исследовании считается устойчивой и угол откоса борта карьера определялся только в рыхлых и плотных пород.

Рациональные параметры борта карьера определяются в ходе последовательных итераций, уменьшающих угол откоса борта карьера до достижения значения, обеспечивающего в конкретных горно-геологических условиях нормативный коэффициент запаса устойчивости.

После определения безопасного угла откоса борта карьера строится ступенчатый профиль, состоящий из уступов (с заданным углом откоса уступа) и количеством берм безопасности, общая ширина которых определяется высотой борта и разностью начального и безопасного углов откоса борта карьера.

Основным предположением нашего исследования является гипотеза о значительном влиянии на безопасность, технологию и технико-экономические показатели открытой разработки геолого-структурных особенностей прибортового массива, в частности угла падения пластов горных пород по отношению к борту карьера. Основным способом устранения опасной геомеханической ситуации является изменение геометрии борта карьера за счет интенсификации вскрышных работ на опасных направлениях. Было исследовано 5 упрощенных моделей борта карьера, в которых последовательно изменялся угол наклона пласта песчано-глинистых пород по отношению к выработанному пространству карьера. Угол наклона пласта пород изменялся от  $-12^\circ$  до  $+12^\circ$

(отрицательный (-) угол наклона в данном случае означает падение пластов в выработанное пространство карьера, положительный (+) угол – падение пластов вглубь прибортового массива).

Зону скальных пород считаем устойчивой, угол уклона борта карьера оптимизируем только в зоне расположения рыхлых и плотных пород. Угол наклона борта карьера принят равным  $35^\circ$  и не изменялся в ходе проведения исследований. Высота рассматриваемого участка борта карьера – 50 м.

С целью установления зависимости коэффициента запаса устойчивости от физико-механических свойств горных пород с учетом угла падения геологических тел были выполнены две группы численных экспериментов на упрощенных моделях.

Первая группа экспериментов. Управляющими переменными являются угол внутреннего трения  $\varphi$  и угол падения геологических слоев: угол внутреннего трения  $\varphi$  изменялся в диапазоне от  $20^\circ$  до  $30^\circ$ , угол падения геологических слоев  $\alpha$  от  $-12^\circ$  до  $+12^\circ$ . Сила сцепления и удельный вес принимались неизменными: 75 КПа и  $2,2 \text{ т/м}^3$  соответственно.

Вторая группа экспериментов. Управляющими переменными являются сила сцепления  $C$  и угол падения геологических слоев  $\alpha$ : сила сцепления изменялась в диапазоне от 50 КПа до 100 КПа, угол падения геологических слоев от  $-12^\circ$  к  $+12^\circ$ . Угол внутреннего трения  $\varphi$  и удельный вес принимались неизменными:  $25^\circ$  и  $2,2 \text{ т/м}^3$  соответственно.

Анализ результатов исследования (рис. 1, 2) подтверждает наличие влияния на коэффициент запаса устойчивости борта карьера направления падения пластов горных пород относительно выработанного пространства. На рис. 1 показано изменение коэффициента запаса устойчивости борта карьера в зависимости от угла падения пород  $\alpha$ , при изменении значения угла внутреннего трения в диапазоне от 20 до  $30^\circ$ . Аналогично на рис. 2 показано изменение коэффициента запаса устойчивости в зависимости от угла падения  $\alpha$ , при изменении силы сцепления в диапазоне от 50 до 100 КПа.

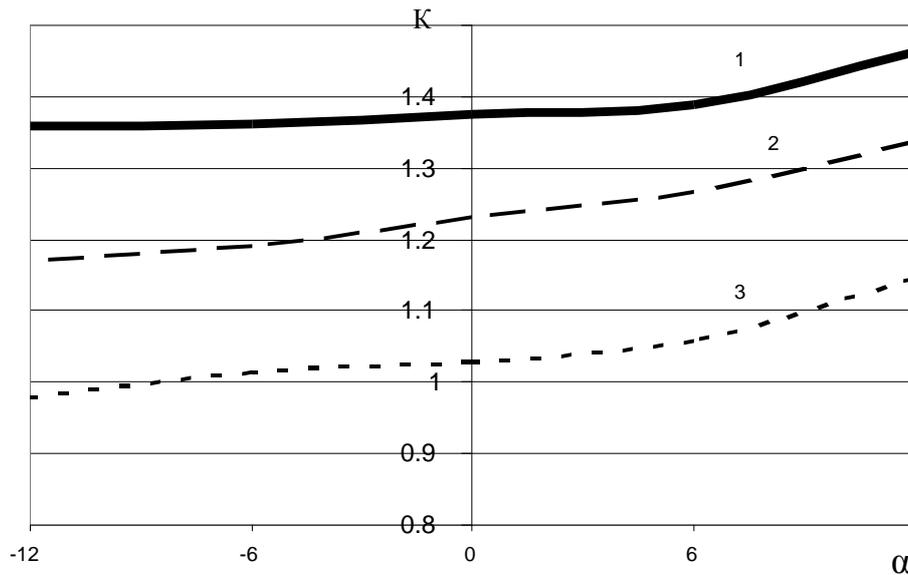


Рис. 1. Изменение коэффициента запаса устойчивости (K) временно нерабочего борта в зависимости от угла падения ( $\alpha$ ) стратиграфических слоев, при изменении угла внутреннего трения  $\varphi$ : 1 -  $30^\circ$ ; 2 -  $25^\circ$ ; 3 -  $30^\circ$

Выполненные исследования позволили установить зависимость коэффициента запаса устойчивости борта карьера от физико-механических свойств горных пород и геолого-структурных особенностей массива для упрощенных условий.

Установлено, что при изменении угла падения геологических пластов от  $-12^\circ$  до  $+12^\circ$  коэффициент запаса устойчивости изменяется в среднем на 11,63 %. В первой группе экспериментов, где изменялся угол внутреннего трения, этот показатель составил 10,95 %. Во второй группе – 12,32 %.

При максимальных значениях угла внутреннего трения и силы сцепления значения коэффициента устойчивости превышают 1,2. При минимальных значениях угла внутреннего трения и силы сцепления значения коэффициента устойчивости меньше 1,2. Наименьшее значение коэффициента запаса устойчивости (0,98) получено при угле внутреннего трения равном  $25^\circ$ , угле падения геологических слоев ( $-12^\circ$ ), силе сцепления 50 КПа и удельном весе  $2,2 \text{ т/м}^3$ .

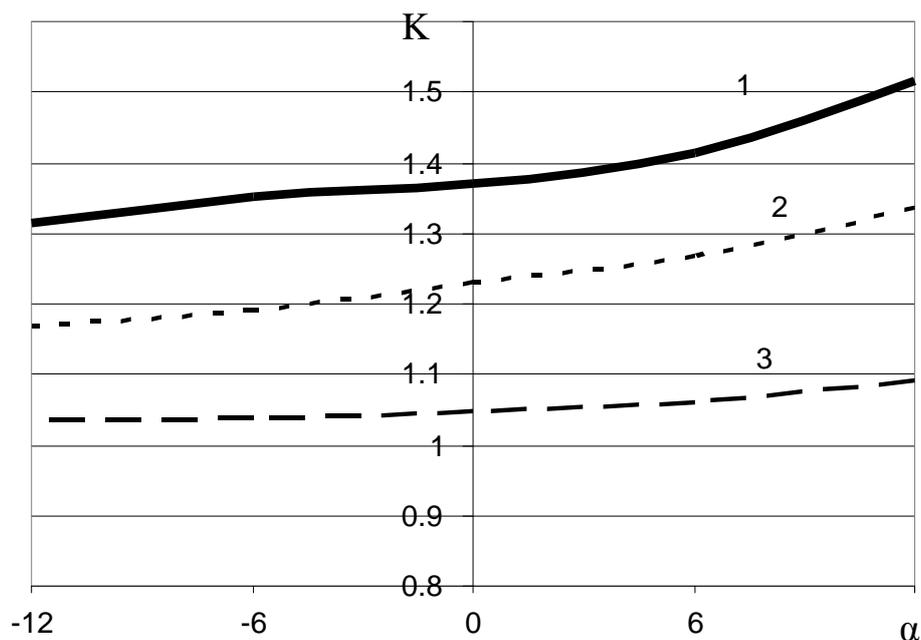


Рис. 2. Изменение коэффициента запаса устойчивости (K) временно нерабочего борта в зависимости от угла падения ( $\alpha$ ) стратиграфических слоев, при изменении силы сцепления: 1 - 100 КПа ; 2 - 75КПа; 3 - 50 КПа

В случае, когда физико-механические свойства горных пород имеют средние значения ( $\varphi = 25^\circ$ ,  $c = 50$  КПа,  $\rho = 2,2$  т/м<sup>3</sup>), коэффициент запаса устойчивости борта изменяется от 1,17 до 1,337. При  $\alpha = 0^\circ$  коэффициент запаса устойчивости равен 1,231, что отвечает требованиям безопасности. Но при  $\alpha < 0^\circ$  коэффициент запаса устойчивости равен 1,17 – 1,19, что меньше нормативного значения. При  $\alpha = +12^\circ$ , коэффициент запаса устойчивости борта карьера равен 1,337, что удовлетворяет условиям долговременной устойчивости борта карьера.

Результаты моделирования показывают, что при оценке в проекте параметров борта карьера необходимо учитывать не только физико-механические свойства горных пород, но и геолого-структурные особенности прибортового массива.

Так как в реальных горно-геологических условиях сбор достоверной информации о свойствах пород является сложной, дорогостоящей, а иногда и неосуществимой задачей, данная методика позволяет быстро и эффективно смоделировать множество

возможных вариантов поведения борта карьера. Таким образом, даже при неточных или недостающих данных, появляется возможность определить вероятную область возможных оползней и обрушений борта карьера.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Разработана методика обоснования в условиях неопределенности данных о свойствах прибортового массива горных пород конструктивных параметров борта карьера, обеспечивающих безопасное производство горных работ. Результаты моделирования показывают, что при оценке в проекте параметров борта карьера необходимо учитывать не только физико-механические свойства горных пород, но и параметры залегания пород в прибортовом массиве.

В дальнейших исследованиях будут проанализированы и исследованы наиболее типичные примеры геологического строения прибортовых массивов горных пород с целью разработки рекомендаций по выбору безопасной конструкции борта карьера.

### **СПИСОК ССЫЛОК**

1. Летучий В.В. К оптимизации параметров бортов открытых горных выработок // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 4. – С. 64 – 67.
2. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ. – М.: Издательство МГУ, 2003. – 473 с.
3. Попов В.Н., Шпаков П.С., Знаков Ю.Л. Управление устойчивостью карьерных откосов. – М.: Издательство МГУ, 2008. – 683 с.
4. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М. Недра, – 1965. – 375 с.