

## ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО КОНТРОЛЮ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ УСТУПОВ НА КАРЬЕРАХ

*Б.Р. Ракишев, К. Сейтулы, Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева, Республика Казахстан*

*А.С. Ковров, А.Ю. Череп, Национальный горный университет, Украина*

Определены мероприятия, позволяющие сократить объемы вскрышных работ на карьере с обеспечением устойчивости откосов уступов. Выполнен расчет годового экономического эффекта при проведении мероприятий по устойчивости откосов уступов для условий Мотроновско-Анновского участка Малышевского циркон-рутил-ильменитового месторождения.

**Введение.** Выбор эффективных мероприятий по контролю устойчивости уступов на карьерах связан с экономической оценкой ущерба от возможных деформаций массива горных пород в области призмы возможного обрушения, определением затрат на укрепление пород в массиве, изменением схемы вскрытия, системы разработки, структуры комплексной механизации, с учетом фактора времени на сопоставляемые затраты. В то же время экономическая эффективность производства имеет множество частных аспектов, и для их оценки применяются многочисленные самостоятельные показатели, в том числе такие, как производительность, себестоимость продукции, приведенные затраты, фондоотдача, прибыль и др. [1].

Управление откосами уступов карьера является важной составной частью экономики горного предприятия. Эффективность этого управления характеризуется обеспечением безопасного ведения горных работ и сокращением объемов вскрыши при сохранении устойчивости откосов уступов. При этом, устраняются убытки, связанные с оползневыми явлениями, нарушением графика ведения горных работ, разрушением транспортных коммуникаций, потерей полезного ископаемого и простоями горно-транспортного оборудования. В ряде случаев нарушение устойчивости бортов карьеров и отвалов относят к категории аварий, при расследовании причин которых, прежде всего, стремятся установить соответствие фактического состояния откосов уступов проектному, уровень инженерно-геологической изученности условий месторождения и исследований устойчивости откосов уступов [2].

**Состояние вопроса, выделение нерешенной части проблемы.** В работе [3] детально рассмотрены горно-геологические условия залегания вскрышных пород и рудных песков перспективного Мотроновско-Анновского участка Малышевского циркон-рутил-ильменитового россыпного месторождения, проанализированы возможные технологические схемы разработки, предложена наиболее рациональная технологическая схема работы горно-транспортного оборудования.

Технологической особенностью данного месторождения является сложный и изменчивый характер горно-геологических условий разработки, а с учетом гидрогеологических условий возникает повышенная опасность образования сдвигов вскрышных пород прибортового массива, представленных четвертичными глинами и суглинками.

**Формулировка целей.** Учитывая актуальность проблемы управления долговременной устойчивостью откосов уступов и бортов карьеров *целью данной работы* является оценка экономической эффективности мероприятий по управлению устойчивостью этих уступов для условий Мотроновско-Анновского участка Малышевского месторождения. Для решения этой проблемы поставлены следующие **задачи**:

1. Рассчитать объем вскрышных работ при изменении геометрических параметров откоса уступа;
2. Оценить экономический эффект от изменения угла наклона откоса вскрышного уступа для условий Мотроновско-Анновского участка Малышевского месторождения.

**Изложение основного материала исследования.** Один из основных показателей экономической эффективности открытого способа разработки - углы наклона бортов карьера на

предельном контуре, изменение на каждый градус которых существенно влияет на общий объем вскрышных работ.

При увеличении угла наклона откоса уступа в предельно устойчивом состоянии сокращаются объемы вскрыши, однако при заложении слишком крутых углов возникает опасность оползней, что связано с увеличением горно-капитальных работ на уборку обрушенной горной массы (рис. 1).

Критерием оценки состояния откосов уступов и бортов карьеров является коэффициент запаса устойчивости (КЗУ), который можно представить как отношение интегралов удерживающих и сдвигающих сил по предполагаемой линии (поверхности) скольжения. Существует три состояния породного массива в откосе:  $KЗУ > 1$  – устойчивое;  $KЗУ = 1$  – предельное;  $KЗУ < 1$  – неустойчивое (обрушение или оползень, рис. 1, б).

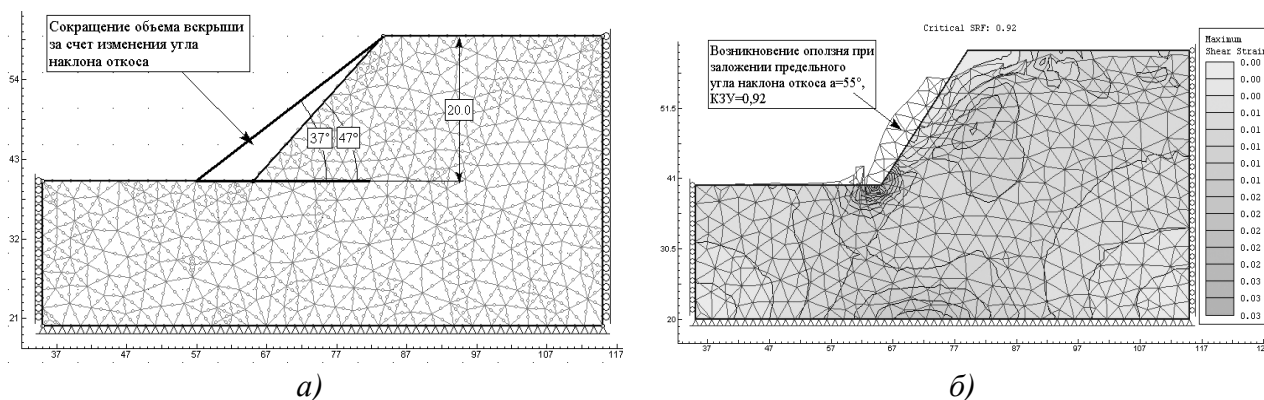


Рис. 1. Пояснительная схема к выбору углов наклона откоса уступа:  
 а) сокращение объема вскрыши при изменении угла наклона откоса уступа;  
 б) возникновение оползней при заложении предельных углов ( $KЗУ = 0,92$ )

Обоснование уменьшения КЗУ бортов карьера только на 5%, в конечном итоге, может позволить уменьшить объем извлекаемой горной массы и площадь карьера от 1,5 до 20 % в зависимости от горно-геологических условий разработки (при сохранении объемов извлекаемого полезного ископаемого) [4].

В настоящее время Мотроновско-Анновский участок Малышевского месторождения планируется к вводу в эксплуатацию. Согласно предварительным инженерным изысканиям по освоению месторождения вскрышные работы для рассматриваемого участка предлагаются по транспортной и комбинированной (транспортной и транспортно-отвальной) системам разработки с внутренним отвалообразованием. Вскрышные работы планируется производить двумя роторными комплексами с экскаваторами типа SRs-2000, поставляемых фирмой «MAN TAKRAF». Ожидаемый объем выемки вскрышных пород - 9,5-10 млн. м<sup>3</sup>/год. Отработку уступа высотой 30 м экскаватор SRs-2000 (теоретическая производительность 5000 м<sup>3</sup>/ч, диаметр ротора 12 м) будет осуществлять в 4 слоя средней высотой по 7,5 м.

По результатам научных исследований, выполненных УкрНИИПроект, определены величины устойчивых углов откосов рабочих уступов и внутрикарьерных отвалов, а именно:

- откоса рабочего уступа в обводнённом состоянии - не более 25°, после выполнения дренажных работ - не более 37°;
- откоса верхнего вскрышного уступа - не более 20°, нижнего вскрышного уступа - не более 31°;
- погашение нерабочих бортов в торцах карьера - не более 24°;
- откоса нижнего яруса отвала, отсыпанного: а) на глинистый экран - не более 16,5°; б) на песчаную подушку или её смесь с глиной - не более 19,5°;
- результирующий угол внутреннего отвала, при условии формирования берм безопасности между подъярусами и ярусами шириной 30-50 м - не более 16° [3].

По мнению авторов, приведенные значения углов откосов уступов являются заниженными, что вызывает необходимость дополнительной оценки устойчивости уступов в сложно-

структурном массиве посредством численного моделирования и другими методами для определения рациональных геометрических параметров.

По результатам моделирования методом конечных элементов, лабораторных исследований процессов обрушения на эквивалентных материалах и экспериментальных испытаний горных пород на сдвиг было установлено, что для обеспечения кратковременной устойчивости с учетом сложной геологической структуры угол наклона откоса для вскрышных уступов, сложенных желто-бурыми и красно-бурыми суглинками, может достигать 55°. Однако для долговременной устойчивости породного массива этого значения может оказаться недостаточно, если учитывать гидрогеологические и климатические условия, а также нагрузки горно-транспортного оборудования. Так, при визуальном обследовании передового уступа на карьере №7 «Север» установлено, что на некоторых участках вдоль фронта работ углы наклона откосов достигают 60° и более, что обуславливает возникновение масштабных обрушений и оползней.

Для горно-геологических условий Малышевского циркон-рутил-ильменитового месторождения влажность вмещающих пород является доминирующим фактором устойчивости откосов уступов [5]. Так, для суглинков естественная влажность, обусловленная наличием водоносных горизонтов и атмосферными осадками, составляет  $W_{омн}=16...18\%$ . Для существующих гидрогеологических условий с учетом физико-механических свойств пород установлено, что рекомендуемый КЗУ=1,1...1,3 будет обеспечен при угле наклона откоса  $\alpha=37...47^\circ$  (рис.2).

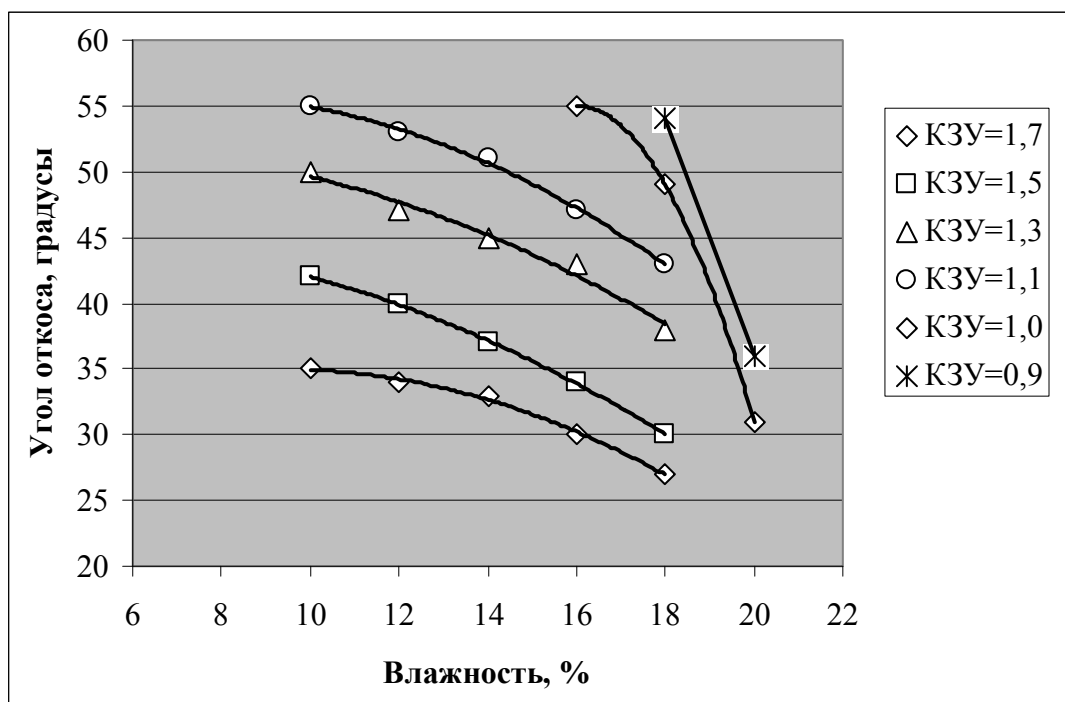


Рис. 2. Зависимость угла откоса уступа от влажности вскрышных пород (суглинки)

Сокращение объема вскрыши за счет применения специальной заоткоски, укрепления уступов и упрочнения прибортового массива горных пород определяют по формуле:

$$\Delta V = \frac{H^2 l}{2} (\operatorname{ctg} \alpha_1 - \operatorname{ctg} \alpha_2), \quad (1)$$

где  $H$  - высота борта, м;  $l$  - длина борта, м;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – проектные и рекомендуемые значения углов наклона откоса уступа, град.

На рис. 3 показаны зависимости сокращения объема вскрышных работ от изменения угла наклона откоса  $\alpha_2$  по сравнению с проектными  $\alpha_1=37^\circ$  на 1 км длины фронта работ. При высоте передового уступа  $H=20$  м и заложении максимального рекомендуемого угла наклона

откоса уступа  $\alpha_2=47^\circ$ , сокращение объема вскрыши за счет применения заоткоски составит  $\Delta V=78,91$  тыс.м<sup>3</sup>.

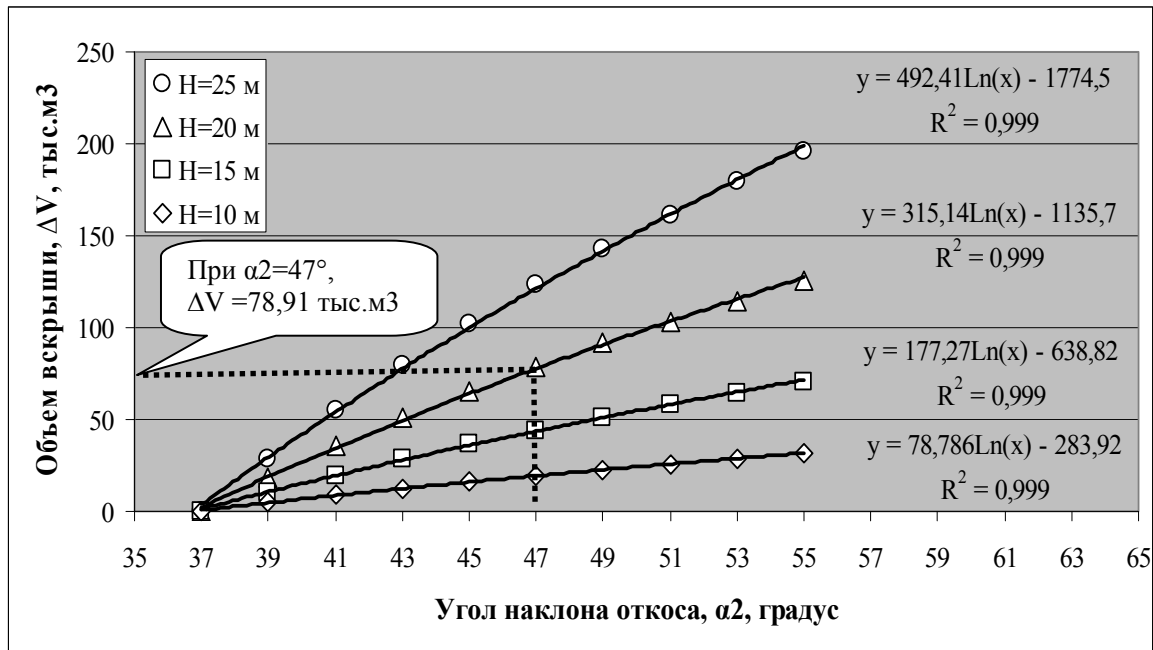


Рис. 3. Зависимость объема вскрыши от изменения угла наклона откоса уступа  $\alpha_2$

Экономия затрат от мероприятий по установлению рационального угла откоса уступа  $C_3$  определяется по формуле:

$$C_3 = C_6 \Delta V, \quad (2)$$

где  $C_6$  – себестоимость 1 м<sup>3</sup> вскрыши, грн/м<sup>3</sup>;  $\Delta V$  – изменение объема вскрышных работ за счет изменения угла откоса уступа, м<sup>3</sup>.

Для условий Вольногорского ГМК себестоимость 1 м<sup>3</sup> вскрышных работ зависит от горно-геологических условий и варьирует в диапазоне  $C_6=10,85 \dots 13,40$  грн/м<sup>3</sup>.

Годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_2$  от мероприятий по заложению рационального угла откоса уступа рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_2 = E - E_n \cdot C, \quad (3)$$

где  $E$  - годовая экономия либо результаты, которые достигаются в результате конкретной деятельности;  $E_n$  - нормативный коэффициент эффективности, постоянная величина, которая зависит от конкретной сферы деятельности, 0,12-0,15 (для горных предприятий обычно принимают  $E_n=0,15$ );  $C$  - затраты на конкретную деятельность, для которой подсчитывается экономический эффект.

На рис. 4 приведены результаты расчета экономического эффекта  $\mathcal{E}_2$  от мероприятий по установлению рационального угла наклона откоса уступа  $\alpha_2$  и сокращению объемов вскрыши  $\Delta V$ .

Так, для высоты передового уступа  $H=20$  м и углах наклона откоса  $\alpha_2=39 \dots 55^\circ$  достигается экономический эффект  $C_3=0,17 \dots 1,43$  млн. грн на 1 км длины фронта вскрышных работ. Угол  $\alpha_2=55^\circ$  является предельным для откосов передового уступа, обеспечивая при относительной влажности  $W_{отн} \leq 16\%$  (рис. 2) кратковременную устойчивость породного массива.

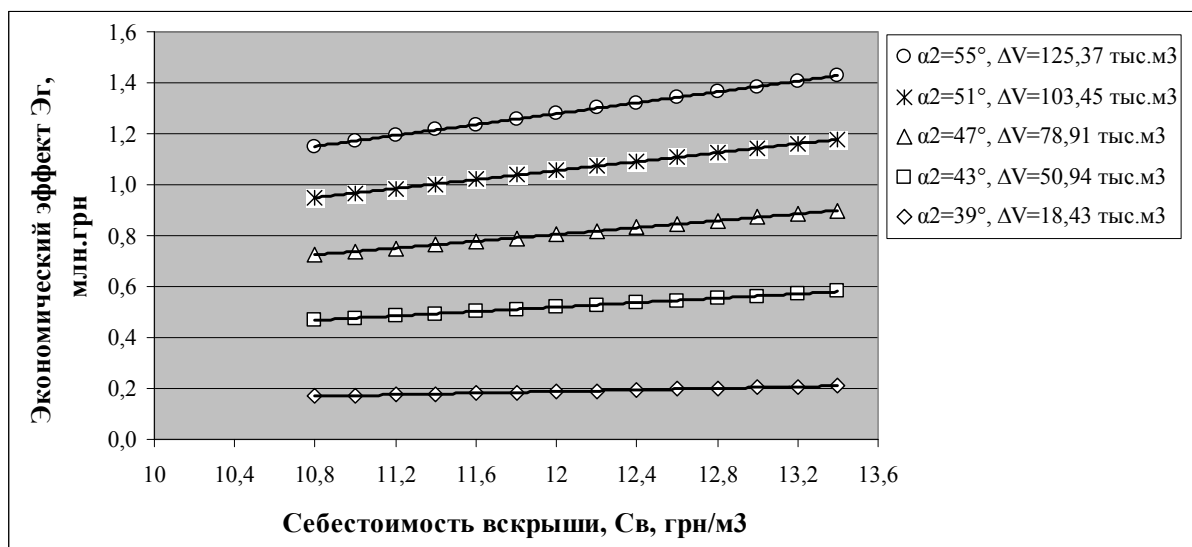


Рис. 4. Зависимость экономического эффекта от себестоимости вскрышных работ

В случае рекомендуемого угла наклона откоса  $\alpha_2=47^\circ$ , экономический эффект  $C_3=0,72\dots 0,90$  млн. грн на 1 км длины фронта вскрышных работ.

**Выводы.** 1. В проведенных исследованиях выявлено, что доминирующим фактором устойчивости откосов уступов и бортов карьера для горно-геологических условий Малышевского месторождения является влажность вскрышных пород, которая влияет на заложение углов наклона откосов уступов. Для рабочих уступов карьера рекомендуемый КЗУ=1,1...1,3 будет обеспечен при угле наклона откоса уступа  $\alpha=37\dots 47^\circ$ .

2. Установлено, что при средней высоте вскрышного уступа 20 м и изменении угла наклона откоса с проектных  $37^\circ$  до рекомендуемых  $47^\circ$  для условий Вольногорского горно-металлургического комбината сокращение объемов вскрышных работ на 1 км длины фронта работ составит  $\Delta V=78,91$  тыс. м<sup>3</sup>.

3. В результате корректировки угла наклона откоса уступа и формирования более крутого геометрического профиля уступа, при его высоте  $H=20$  м, на  $10^\circ$  ( $\alpha_1-\alpha_2=47^\circ-37^\circ$ ) рассчитан экономический эффект  $C_3=0,72\dots 0,90$  млн. грн на 1 км длины фронта горных работ при средней себестоимости вскрыши  $C_6=10,85\dots 13,40$  грн/м<sup>3</sup>.

#### Список литературы

1. Певзнер М.Е. Геомеханика: Учебник для вузов. - 2-е изд., стер. - М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2008.- 438 с: ил.
2. Астафьев Ю. П. Управление состоянием массива горных пород при открытой разработке месторождений полезных ископаемых / Астафьев Ю. П., Попов Р. В., Николашин Ю. М. - Киев; Донецк: Вища шк. Головное изд-во, 1986. - 272 с.
3. Гамалинский А.И. Выбор и обоснование технологических схем вскрытия и разработки Мотроновско-Анновского участка Малышевского месторождения в сложных горно-геологических условиях / А.И. Гамалинский, И.А. Гамалинский, В.В. Терещенко // Науковий вісник НГУ.- 2009.- №12. – С.36-42.
4. Прогноз устойчивости и оптимизация параметров бортов глубоких карьеров / [Полищук С. З., Лашко В.Т., Кучерский Н.И. и др.]; под общ. ред. д.т.н. С. З. Полищука. - Днепропетровск: Изд-во "Полиграфист", 2001. – 370 с.
5. Шашенко А.Н. Влияние сложной геологической структуры и обводнения массива пород на устойчивость откосов карьеров / А.Н. Шашенко, А.С. Ковров // Науковий вісник НГУ.- 2011.- №5-6. – С.36-42.