

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

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 россыпного месторождения.

Визначено заходи, що дозволяють скоротити обсяги розкривних робіт на кар'єрі із забезпеченням стійкості укосів уступів. Виконано розрахунок річного економічного ефекту при проведенні заходів щодо стійкості укосів уступів для умов Мотронівсько-Анновської ділянки Малишевського розсипного родовища.

Measures allowing to decrease daylighting operations at open-pit with ensuring slope stability are defined. Calculation of the saving rate from slope stability measures for conditions of Motronovsko-Annovskiy section of Malyshevskoye placer deposit is carried out.

Актуальность работы. 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].

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.

Постановка 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.

Основная часть. 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 горнокапитальных 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).

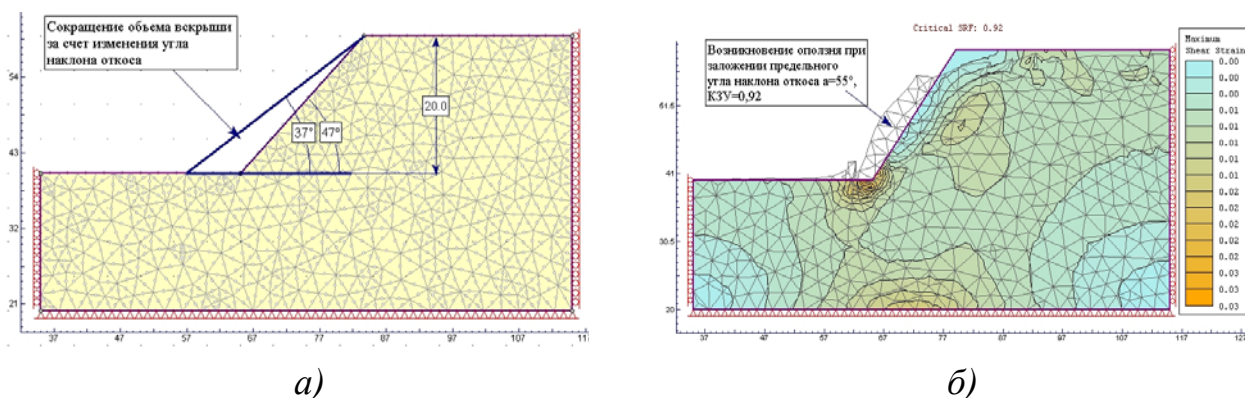


Рис. 1. Пояснительная схема к выбору углов наклона откоса уступа:
а) сокращение объема вскрыши при изменении угла наклона откоса уступа;
б) возникновение оползней при заложении предельных углов ($KЗУ=0,92$)

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. м³/год. Отработку уступа высотой 30 м экскаватор SRs-2000 (теоретическая производительность 5000 м³/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 внутри-карьерных 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 сложноструктурном 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 участ-

ках 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 $W_{отн}=16...18\%$. Для существующих гидрогеологических условий с учетом физико-механических свойств пород установлено, что рекомендуемый $KЗУ=1,1...1,3$ будет обеспечен при угле наклона откоса $\alpha=37...47^\circ$ (рис.2).

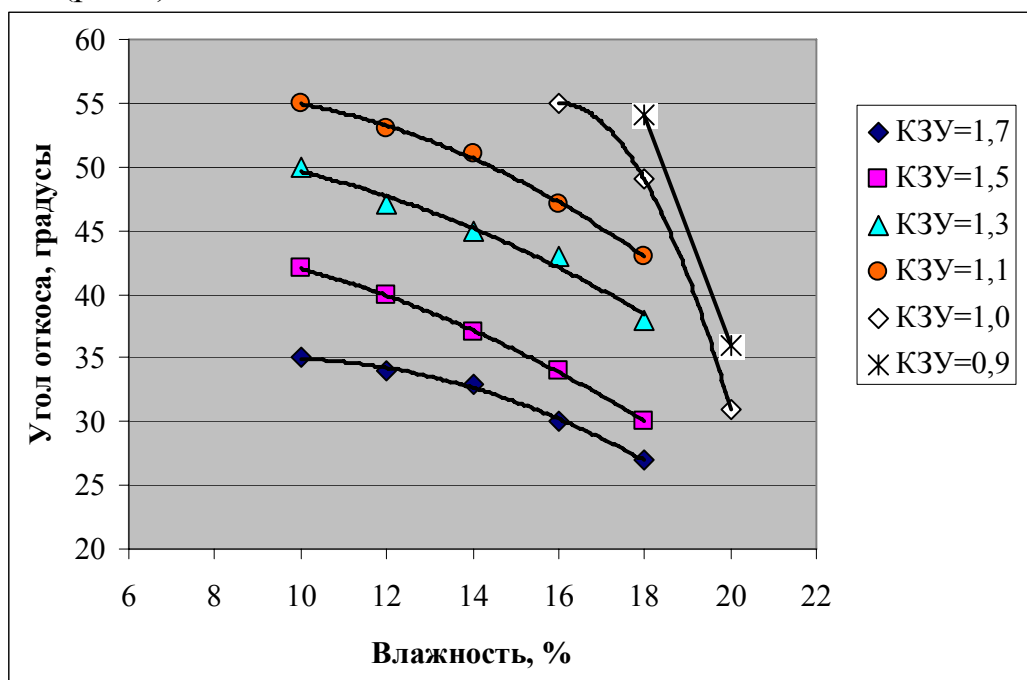


Рис. 2. Зависимость угла откоса уступа от влажности вскрышных пород (суглинки)

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; α_1 и α_2 – проектные и рекомендуемые значения углов наклона откоса уступа, град.

На рис. 3 показаны зависимости сокращения объема вскрышных работ от изменения угла наклона откоса α_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.м³.

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 м³ вскрыши, грн/м³; ΔV – изменение объема вскрышных работ за счет изменения угла откоса уступа, м³.

Для условий Вольногорского ГМК себестоимость 1 м³ вскрышных работ зависит от горно-геологических условий и варьирует в диапазоне $C_6=10,85\dots13,40$ грн/м³.

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.

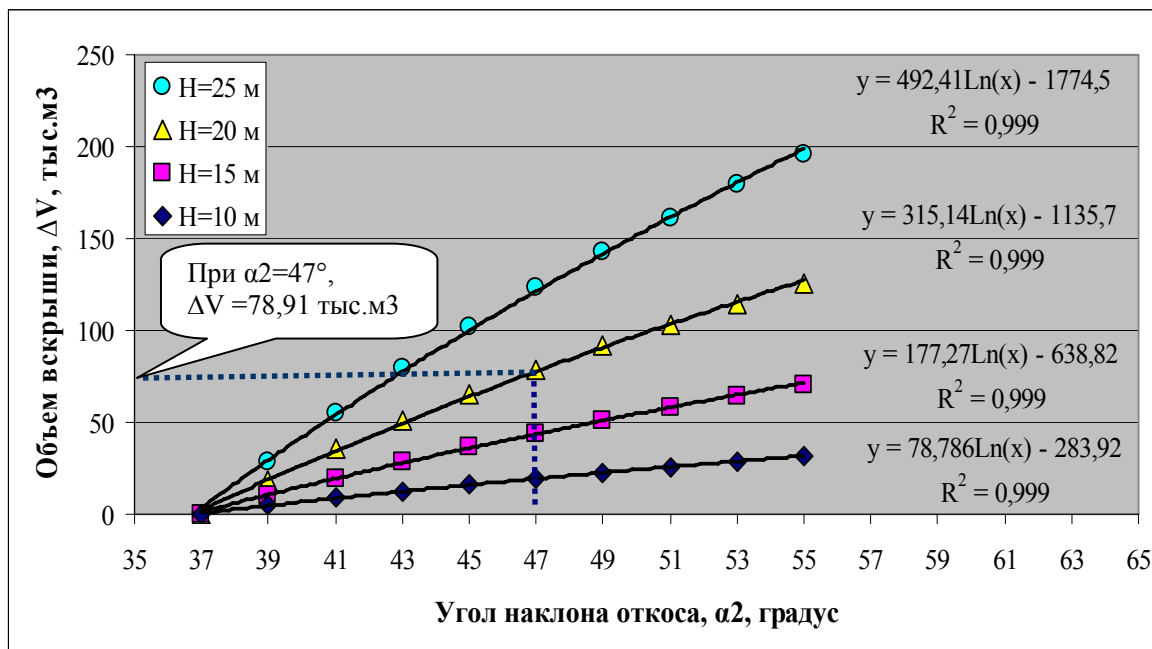


Рис. 3. Зависимость объема вскрыши от изменения угла наклона откоса уступа α_2

На рис. 4 приведены результаты расчета экономического эффекта \mathcal{E}_2 от мероприятий по установлению рационального угла наклона откоса уступа α_2 и сокращению объемов вскрыши ΔV .

Так, для высоты передового уступа $H=20$ м и углах наклона откоса $\alpha_2=39\dots55^\circ$ достигается экономический эффект $C_3=0,17\dots1,43$ 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.

В случае рекомендуемого угла наклона откоса $\alpha_2=47^\circ$, экономический эффект $C_3=0,72\dots0,90$ млн. грн на 1 км длины фронта вскрышных работ.

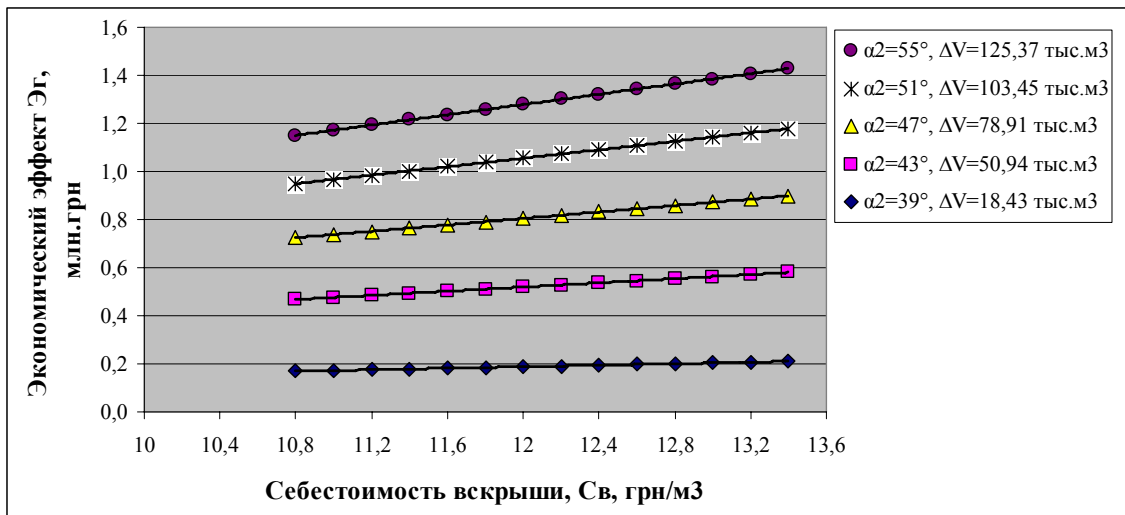


Рис. 4. Зависимость экономического эффекта от себестоимости вскрышных работ

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 $\alpha=37...47^\circ$.

2. Установлено, что при средней высоте вскрышного уступа 20 м и изменении угла наклона откоса с проектных 37° до рекомендуемых 47° для условий Вольногорского горно-металлургического комбината сокращение объемов вскрышных работ на 1 км длины фронта работ составит $\Delta V=78,91$ тыс.м³.

3. В результате корректировки угла наклона откоса уступа и формирования более крутого геометрического профиля уступа, при его высоте $H=20$ м, на 10° ($\alpha_1-\alpha_2=47^\circ-37^\circ$) рассчитан экономический эффект $C_3=0,72...0,90$ млн. грн на 1 км длины фронта горных работ при средней себестоимости вскрыши $C_6=10,85...13,40$ грн/м³.

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. – К.; 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. - Днепрпетровск: 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.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Сдвіжковою О.О.
Надійшла до редакції 15.06.11*