

УДК 622.271.3.001.63

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ  
ГЛУБОКИХ ЗАЛЕЖЕЙ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ  
ЭЛЕМЕНТОВ ИХ ВСКРЫТИЯ И ПАРАМЕТРОВ КАРЬЕРОВ**

**Г. Г. Саканцев<sup>1</sup>, М. Г. Саканцев<sup>1</sup>, В. И. Ческидов<sup>2</sup>, В. К. Норри<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт горного дела УрО РАН, E-mail: lubk\_igd@mail.ru,  
ул. Мамина-Сибиряка, 58, 620219, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: cheskid@misd.nsc.ru,  
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия

Рассмотрены вопросы снижения объемов вскрышных работ при разработке глубокозалегающих месторождений на основе применения клиновидной формы дна карьеров. Дана расчетная схема и выполнен корреляционный анализ взаимосвязи объемов вскрышных работ и определяющих их факторов. Приведены ограничивающие условия применения клиновидной формы дна карьеров.

*Глубокий карьер, вскрышные работы, вскрытие, профиль дна карьера*

Современные отечественные карьеры по добыче большинства видов минерального сырья, особенно руд черных и цветных металлов, характеризуются большой глубиной, относительно небольшой длиной и значительными объемами вскрышных работ. Коэффициент вскрыши на отечественных карьерах в среднем в 4 раза выше по сравнению с карьерами ведущих горнодобывающих стран мира. Россия, производя 5.8 % товарной продукции минерального сырья, перерабатывает 27 % мировых объемов горной массы [1].

Основными причинами высоких коэффициентов вскрыши при разработке месторождений является большая глубина карьеров, отработка которых повсеместно ведется с чрезмерно большими углами погашения бортов вследствие необходимости разноса последних для размещения вскрывающих выработок, а также недочетов в планировании развития горных работ на перспективу без должного учета фактора времени. Объемы дополнительного разноса бортов для размещения вскрывающих выработок на глубоких карьерах достигают многих десятков миллионов кубометров вскрышных пород. Это обусловлено тем, что размещение вскрывающих выработок требует уменьшения углов наклона бортов карьеров до значений, обеспечивающих транспортную доступность на нижележащие горизонты. Опыт эксплуатации карьеров показал, что углы погашения бортов по технологическим условиям, как правило, меньше их устойчивых значений [2, 3]. Борта карьеров по условиям устойчивости чаще всего имеют выпуклый профиль, а по технологическим — вогнутый.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 12-Т-5-1021).

Причиной последнего является увеличение удельного веса вскрывающих выработок в общей массе площадок и берм на бортах по мере увеличения глубины карьера. Особенно это характерно для карьеров с небольшой длиной дна, в которых уменьшение протяженности уступов, влияющей на количество вскрывающих выработок, с глубиной идет особенно интенсивно [4].

Одним из возможных путей снижения объемов вскрышных работ на глубоких карьерах может стать применение комплексного подхода к обоснованию границ карьеров и выбору способов вскрытия, в основе которого лежит принцип формирования контуров и отдельных элементов карьеров в соответствии со вскрываемыми выработками [5]. Согласно результатам последних исследований по обоснованию границ карьеров по простиранию [6–8], замена ломаного продольного профиля в его торцах на полукруглый обеспечивает значительное перераспределение объемов полезного ископаемого и вскрышных пород по длине карьеров [9]. Появляется возможность снижения объемов вскрышных работ без уменьшения объемов добываемого полезного ископаемого. Существенный эффект может обеспечить также изменение продольной конфигурации дна карьера путем создания от бортов к центру наклонных частей с уклонами, обеспечивающими транспортную доступность к полезному ископаемому. При этом дно карьера приобретает клиновидную форму, его наклонная часть будет выполнять функции вскрывающей выработки (рис. 1).

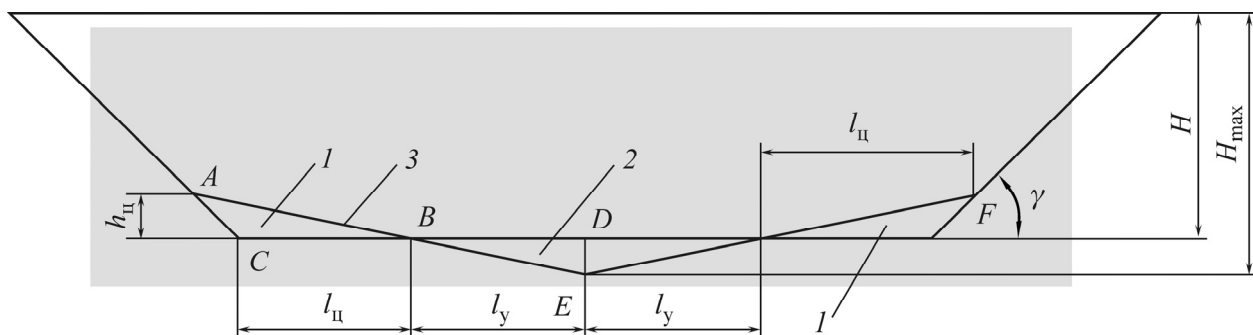


Рис. 1. Схема оптимизации границ карьера по простиранию: 1 — целики; 2 — углубочная выемка; 3 — границы карьера после реконструкции

Для обоснования границ карьера с дном клиновидной формы может быть использована общепринятая методика (с традиционной формой дна) на основе установления равенства общего для всего карьера контурного коэффициента вскрыши  $K_k$  и торцевого контурного  $K_T$  с дисконтированным граничным  $K_{гр}$ :

$$K_T \leq K_{гр}, \quad K_k \leq K_{гр}.$$

Для месторождений с выдержанной мощностью полезного ископаемого длина залежи, исключаемой из контура карьера, определяется по формуле [10]

$$l_T = \frac{(K_{гр} + 2)K_{гр}M}{4(K_{гр} + 1)},$$

где  $M$  — мощность полезного ископаемого.

Затем на основе расчета формируются границы дна карьера с клиновидным дном (рис. 1, линия  $ABEF$ ). Для этого по обоим флангам карьера предусматривается оставление клиновидных целиков с уклоном к середине карьера, равным уклону вскрывающих выработок, продолжением которого в средней части дна устраивается углубочная выемка объемом, равным суммарному объему целиков.

Наиболее важные показатели, характеризующие формируемое карьерное пространство, — это уменьшение объемов вскрышных работ в результате изменения конфигурации его дна и уменьшение объема дополнительного разноса бортов для размещения вскрывающих выработок. Они зависят от значительного числа взаимосвязанных факторов. В первую очередь, это высота целика и руководящий уклон вскрывающих выработок, а также длина и глубина карьера. При заданной длине и глубине карьера основной задачей обоснования его геометрических параметров является установление высоты целика и уклона вскрывающих выработок, в данном случае дна карьера. Их взаимосвязь определяется условием сохранения при реконструкции границ карьера неизменного объема полезного ископаемого. То есть при определении параметров дна карьера должно быть сохранено равенство площадей фигур  $ABC$  и  $BDE$  (см. рис. 1).

Площадь фигуры  $ABC$

$$S_x = \frac{h_{ц}^2(1 - i \operatorname{ctg} \gamma)}{2i}, \quad (1)$$

площадь фигуры  $BDE$

$$S_y = 0.5i(0.5L + h_{ц} \operatorname{ctg} \gamma - h_{ц}/i)^2, \quad (2)$$

где  $h_{ц}$  — высота целика, м;  $i$  — уклон вскрывающих выработок, доля ед.;  $\gamma$  — угол откоса предельных бортов карьера, град;  $L$  — длина дна карьера до его реконструкции, м.

Приравняв правые части зависимостей (1) и (2) и разрешив полученное выражение относительно одного из неизвестных показателей  $h_{ц}$  или  $i$ , запишем выражение для их определения. В качестве заданного следует принимать значение уклона, так как он является известным параметром предполагаемого вида транспорта. Тогда выражение для определения высоты целика будет иметь вид

$$h_{ц} = \frac{4L(1-i)i + \sqrt{[4L(1-i)i]^2 + 16(1-i)i^3L^2}}{8(1-i)}. \quad (3)$$

Задаваясь вариантом уклона дна карьера, кроме высоты целика может быть определен также объем вскрышных работ  $V_k$  в новых реконструируемых границах:

$$V_k = \frac{\pi}{3}(H - h_{ц})^3 \operatorname{ctg}^2 \gamma + \frac{1}{3}(L + 2h_{ц} \operatorname{ctg} \gamma)[(H + l_b i)^2 + (H + l_b i)(H - h_{ц}) + (H - h_{ц})^2]. \quad (4)$$

Уменьшение объемов дополнительного разноса бортов для размещения вскрывающих выработок  $\Delta V_b$  при переходе от прямолинейной формы дна карьера к клиновидной найдется из выражения

$$\Delta V_b = \frac{(2H - h_{ц})h_{ц}B_{тр}}{2i}. \quad (5)$$

С целью выявления степени влияния определяющих факторов на снижение объемов вскрышных работ проведена статистическая обработка 80 вариантов различных сочетаний исходных данных при глубине карьера от 200 до 400 м, длине от 500 до 1500 м, уклона вскрывающих выработок от 0.15 до 0.25 доли ед. и соответствующей этим значениям высоте целика.

Статистическая обработка проведена в два этапа. На первом определены характер и теснота связи фактора функции с факторами аргументами. В результате из дальнейшего анализа исключены высота целика и уклон вскрывающих выработок как наименее значимые. На втором этапе, выполненном методом Д. В. Брандона [11], получена регрессионная модель уменьшения

объема вскрышных работ (млн м<sup>3</sup>) в границах карьера с клиновидной формой дна и проведена ее статистическая оценка:

$$\Delta V_k = (0.718 - 0.0182H + 0.0000897H^2)(-0.058 + 0.00227L - 0.00000104H^2), \quad (6)$$

где  $r$  — множественное корреляционное отношение,  $r = 0.981$ ;  $\delta$  — остаточная среднеквадратическая ошибка модели,  $\delta = 13.5$  %.

Наибольшее влияние на уменьшение объемов оказывает глубина карьера. Чем больше глубина, тем больше снижение объемов. Аналогичное, но значительно меньшее влияние на объемы оказывает длина карьеров, особенно при относительно небольшой их глубине.

Уменьшение объемов вскрышных работ в карьере с клиновидным дном, помимо изменения формы дна, обусловлено также снижением объемов дополнительного разноса бортов в связи с размещением вскрывающих выработок на придонных целиках.

Регрессионная модель уменьшения объема вскрывающих выработок может быть представлена так:

$$\begin{aligned} \Delta V_b = & (0.528 - 0.00386H + 0.00000748H^2)(-0.302 + 0.00188L - 0.000000492L^2) \times \\ & \times (1.197 - 8.056i + 33.94i^2), \end{aligned} \quad (7)$$

$$r = 0.994, \delta = 5.6 \text{ \%}.$$

В данной модели тесную связь обеспечивают три определяющих фактора: глубина, длина карьера и уклон поверхности целика как величина, определяющая его высоту. При этом последний фактор является управляющим. Увеличение уклона целика (при неизменной длине карьера) ведет к увеличению его высоты. Так, повышение уклона с 0.15 до 0.25 долей ед. обеспечивает, в зависимости от условий, увеличение высоты целика на 20–50 м и уменьшение объема вскрывающих выработок на 500–1500 тыс. м<sup>3</sup>.

На рис. 2 представлена зависимость снижения объемов вскрышных работ в результате изменения формы дна карьера и применения целиков для вскрытия нижних горизонтов, определяемых по зависимостям (5), (6). Видно, что это снижение достаточно велико и возрастает при увеличении длины и глубины карьеров. В рассматриваемом примере при глубине карьера 400 м снижение объемов вскрышных работ достигает 10 млн м<sup>3</sup>.

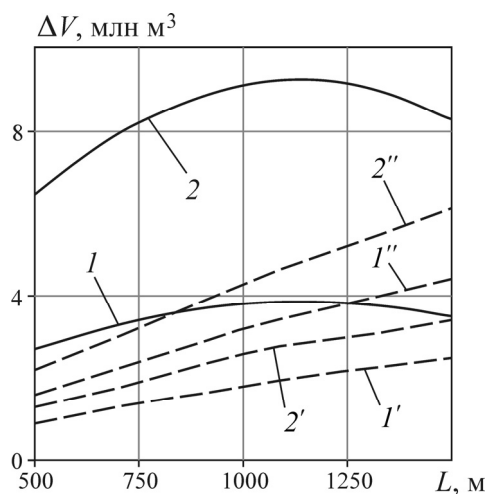


Рис. 2. Зависимость объемов вскрышных работ карьера, связанных с изменением продольного профиля дна карьера (—) и способа вскрытия (---), от длины карьера: 1, 1', 1'' —  $H = 300$  м; 2, 2', 2'' —  $H = 400$  м; 1', 2' —  $i = 0.15$ ; 1'', 2'' —  $i = 0.25$  долей ед.

Однако относительная величина этого снижения имеет несколько другую закономерность, которая зависит от соотношения длины и глубины карьера (рис. 3). В целом при росте длины карьера относительная величина снижения объемов уменьшается в среднем на 0.1 % на каждые 100 м увеличения его длины. Это обусловлено тем, что при большой длине клиновидная форма дна карьера приближается к прямолинейной. Например, при глубине карьера 200 м и его длине 1500 м снижение объемов становится минимальным и использование далее рассмотренных выше технологических решений будет нерациональным. То есть данные параметры карьера фактически являются ограничивающими условиями применения комплексного подхода для решения проблем вскрышных работ глубоких карьеров.

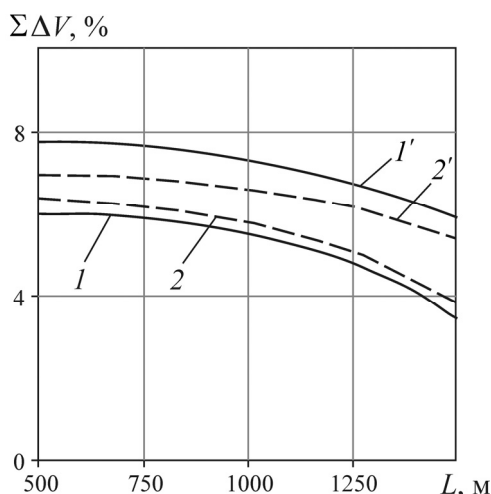


Рис. 3. Зависимость относительной величины уменьшения объемов вскрышных работ, обусловленной суммарным влиянием изменения профиля дна и способа вскрытия, от глубины карьера: 1, 1' —  $H = 300$  м; 2, 2' —  $H = 400$  м; 1, 2 —  $i = 0.15$ ; 1', 2' —  $i = 0.25$  долей ед.

## ВЫВОДЫ

Одним из важных направлений научных исследований при эксплуатации глубоких карьеров является совершенствование систем разработки месторождений полезных ископаемых с целью сокращения объемов вскрышных работ на основе оптимизации параметров карьеров и элементов вскрытия залежей.

Для реализации задачи предложены комплексный метод обоснования границ глубоких карьеров в увязке с системой вскрытия, а также технологические решения, обеспечивающие сокращение объемов вскрышных работ с сохранением извлекаемых запасов полезного ископаемого. Это достигается путем вскрытия нижних горизонтов с помощью целиков, оставляемых в торцах карьера в качестве вскрывающих выработок, а также формирования дна карьера клиновидной формы. Уклон целиков должен приниматься из условия применения специализированных транспортных средств, способных преодолевать крутые уклоны (автосамосвалы с шарнирно-сочлененной рамой, гусеничные тележки и т. п.).

Главными управляющими факторами, определяющими возможность регулирования объемов вскрышных работ при клиновидной форме дна глубоких карьеров, являются уклон вскрывающих выработок и высота целиков, выполняющих функции этих выработок. Предлагаемые решения обеспечивают возможность сокращения (в среднем на 3–4 %) объемов вскрышных

работ в карьере за счет клинообразной конструкции его дна, а также существенного уменьшения дополнительного разноса бортов для размещения вскрывающих выработок со значительным повышением эффективности разработки глубокозалегающих месторождений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Место России в минерально-сырьевой базе мира // Минеральные ресурсы России. — 1995. — № 6.
2. Фисенко Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. — М.: Недра, 1974.
3. Зотеев В. Г. Теоретические основы обеспечения устойчивости и формирования скальных откосов глубоких карьеров: дис. ... д-ра техн. наук. / ИГД МЧМ СССР. — Свердловск, 1981.
4. Саканцев Г. Г. Исследование возможностей и условий применения крутых уклонов вскрывающих выработок на глубоких карьерах // Изв. УГГУ. Серия: Горное дело. — 2005. — Вып. 21.
5. Кортелев О. Б., Ческидов В. И., Норри В. К. Влияние параметров рабочей зоны на режим горных работ и границы карьеров // ФТПРПИ. — 2011. — № 5.
6. Лавренов В. И. Определение глубины карьеров для месторождений сложного геологического строения. — Фрунзе: Илим, 1967.
7. Саканцев М. Г. Обоснование границ карьеров при проектировании разработки сложноструктурных рудных месторождений: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / ИГД УрО РАН. — Екатеринбург, 2006.
8. Яковлев В. Л., Саканцев М. Г., Саканцев Г. Г. Границы карьеров при проектировании разработки сложноструктурных месторождений. — Екатеринбург: УрО РАН, 2009.
9. Ческидов В. И., Саканцев Г. Г. Установление технологически возможной области применения ресурсосберегающей технологии ведения горных работ с внутренним отвалообразованием // ФТПРПИ. — 2014. — № 3.
10. Кумачев К. А., Майминд В. Я. Проектирование железорудных карьеров. — М.: Недра, 1981.
11. Brandon D. V. Developing mathematical models for computer control, ISA Journal, 1959, No. 7.

*Поступила в редакцию 14/V 2014*