

УДК 622.271

А.И. Косолапов, Е.В. Черепанов

О ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЯХ УПРАВЛЕНИЯ ВСКРЫШНЫМИ РАБОТАМИ НА РУДНЫХ КАРЬЕРАХ

На карьерах имеющих вскрышное отставание возможно управление вскрышными работами за счет разделения временно нерабочего борта на два участка. Отработку участков ведут с разной интенсивностью. Это позволяет создать необходимый объем подготовленных запасов полезного ископаемого и рабочую зону карьера с проектными параметрами.

Ключевые слова: временно нерабочие борты, вскрышные работы.

Разработка карьеров с оставлением временно нерабочих бортов широко известна в горной практике. Исследованиям данного вопроса посвящены работы ученых В.В. Ржевского, Н.В. Мельникова, А.И. Арсентьева, М.Г. Новожилова и других. В последние годы интерес к технологии горных работ с временно нерабочим бортом (далее ВНБ) и способам его расконсервации не ослабевает. Пристальное внимание к данной теме связано с тем, что при открытой разработке крутопадающих месторождений опережающая выемка значительных объемов вскрышных пород уменьшает экономическую эффективность разработки месторождения открытым способом и приводит к замораживанию значительного объема денежных средств. Повысить эффективность работы горного предприятия возможно за счет консервации определенного объема вскрышных пород на некоторое время и оставлении в породной зоне карьера ВНБ.

Экономический кризис 90-х годов привел к систематическому невыполнению планов вскрышных работ и стихийному созданию временно нерабочих участков в карьерах. За по-

следнее десятилетие обстановка на карьерах улучшилась, однако вопрос удаления вскрыши, законсервированной на карьерах в период экономического спада, до сих пор не потерял своей актуальности. Для некоторых предприятий эти объемы составляют 5—10 годовых планов производства вскрышных работ.

Проблема вскрышного отставания в карьерах была известна и ранее. Дискуссии на эту тему неоднократно поднимались, в том числе, и на страницах ведущих научных печатных изданий в конце прошлого века. Но должного развития данная тема не нашла, вследствие наступившего экономического кризиса на территории Советского Союза.

В настоящее время, при разработке программ выхода предприятий из кризиса возникают значительные трудности, связанные с отсутствием обоснованных рекомендаций по ликвидации вскрышного отставания на карьерах. Это удерживает инвесторов от вложений в развитие карьеров, на которых необходимо провести ликвидацию вскрышного отставания.

В работах советских и российских ученых даны понятие и методика опре-

деления размера вскрышного отставания в карьере, а также причины его возникновения. В частности В.Г. Близиных [1] дал определение вскрышного отставания (задолженности по вскрышным работам), как отставание на текущий момент времени фактически выполненных за весь период работы карьера объемов вскрыши определенным на тот же период проектом.

Донченко Т.В. [2] предложил классификацию основных причин вскрышного отставания, вследствие которых на карьерах формируют временно нерабочие борта непредусмотренные проектом:

- нарушение законов развития карьерного пространства;
- недостаточное количество оборудования;
- отсутствие достоверной геологической информации.

Все указанные причины имеют стихийный характер, не позволяющий заранее определить возможность и точное время их проявления никак. Поэтому решение о выходе из создавшегося положения нередко принимают, когда уже назрела острая необходимость ликвидации вскрышного отставания (далее ЛВО).

Современный опыт горных работ, производимых в условиях вскрышного отставания, сводится к попыткам приведения временно нерабочих участков борта в рабочее положение (расконсервации) и ведению дальнейшей работы с минимально необходимыми для обеспечения требуемой производительности по руде объемами вскрыши. При этом удаление накопленных вне плана объемов вскрышных работ обычно представляют и ведут по известным схемам расконсервации временно нерабочих бортов, оставленных для регулирования режима горных работ. В большинстве случаев такой подход не оправдывает себя, потому что в период ЛВО отставший борт сдвигается в рудную зону и стесняет производство добычных работ. Известные же схемы ведения горных работ с применением ВНБ не предполагают формирование целиков в добычной зоне.

Чтобы задать порядок производства горных работ необходимо определить условия наличия вскрышного отставания в карьере и окончания работ по его ликвидации.

Вскрышное отставание на карьере чаще всего представлено в виде целика на рабочем борту, угол откоса которого больше проектного значения. Поэтому при вскрышном отставании будет иметь место следующее условие

$$\varphi_{\text{т}} > \varphi_{\text{п}}, \quad (1)$$

где $\varphi_{\text{т}}$ — текущий угол откоса рабочего борта карьера, град.; $\varphi_{\text{п}}$ — проектный угол откоса того же борта, град.

Процесс ЛВО рассмотрен на примере карьера (рис. 1), отрабатывающего крутопадающее рудное месторождение по висячему боку залежи и имеющего некоторый объем вскрышного отставания $abcd$, вследствие чего сформирован ВНБ по линии bc . Современное положение горных работ представлено линией $bcoe$, а проектное положение рабочей зоны линией $dое$.

Развитие добычных и вскрышных работ в контуре $eocfp$ необходимо вести совместно с отработкой контура $abfsr$. При этом по линии bf будет формироваться целик, высота которого зависит от интенсивности ведения горных работ в указанных контурах. После отработки необходимого объема горной массы рабочая зона займет положение rsp , соответствующее одному из ее проектных положений. Таким образом, при выполнении условия $\varphi_{\text{т}} = \varphi_{\text{п}}$, завершаются работы по ЛВО.

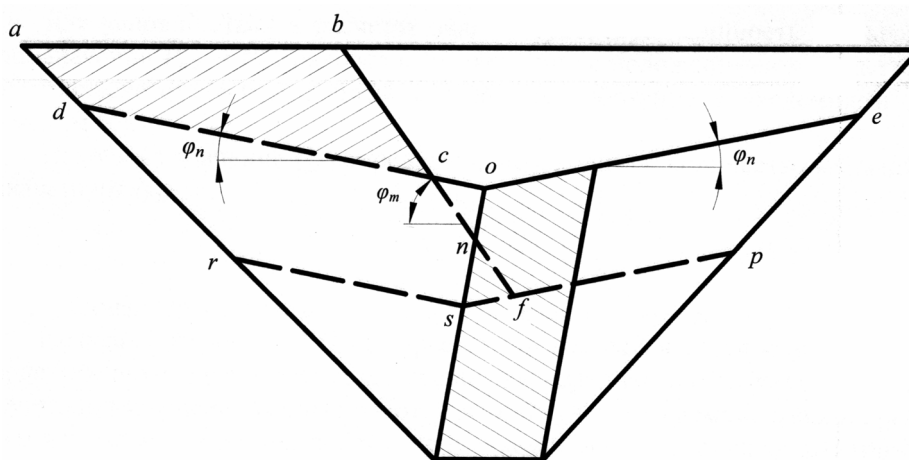


Рис. 1. Схема развития горных работ в карьере при ликвидации вскрышного отставания

Процесс ЛВО имеет связь с известным принципом ведения горных работ с применением ВНБ, предложенным А.И. Арсентьевым [3]

$$H_a = h_o \cdot T_a = h_p \cdot T_p, \quad (3)$$

где H_a — глубина карьера к моменту окончания разноса ВНБ, м; h_o и h_p — скорости понижения горных работ соответственно при создании и разносе ВНБ, м/год; T_a и T_p — время создания и разноса борта соответственно, лет.

При этом величина H_a равна высоте борта сформированного по линии bn (рис. 1). Однако при выходе ВНБ в рудную зону трудно определить необходимую величину H_a , поскольку точки окончания разноса ВНБ f и ликвидации вскрышного отставания s не совпадают (рис. 1).

Поэтому предложено проводить расчеты интенсивности горных работ исходя из величины объема ЛВО, который характеризует объем всей горной массы, удаляемой с момента начала работ по ЛВО до их окончания (контур $abcoepsr$ на рис. 1).

Учитывая условие (3) объем ЛВО можно определить следующим образом

$$V_l = t_{ЛВО} \cdot (Q_{в.л.} + Q_{р.л.}) = V_{в.л.} + V_{р.л.}, \quad (4)$$

где V_l — объем ЛВО, м³, $t_{ЛВО}$ — время ЛВО, годы; $Q_{в.л.}$ и $Q_{р.л.}$ — производительности карьера по вскрыше и руде в период ЛВО, м³/год; $V_{в.л.}$ и $V_{р.л.}$ — объемы вскрыши и руды в объеме ЛВО, м³.

Определить время ЛВО можно из условия

$$t_{ЛВО} = \frac{V_{в.л.}}{Q_{в.л.}} = \frac{V_{р.л.}}{Q_{р.л.}}. \quad (5)$$

Далее находим необходимую годовую производительность карьера по вскрыше

$$Q_{в.л.} = \frac{V_{в.л.} \cdot Q_{р.л.}}{V_{р.л.}}. \quad (6)$$

Для условий ЛВО в расчетах задать проектную мощность карьера по руде. Значения $V_{в.л.}$ и $V_{р.л.}$ находят в соответствии с положениями метода горно-геометрического анализа работы карьера, разработанного академиком В.В. Ржевским [4].

Исходя из значения $Q_{в.л.}$ определяют необходимое количество вскрышных экскаваторов N_3 ,

$$N_3 = \frac{Q_{в.л.}}{q_3}, \quad (7)$$

где q_3 — производительность вскрышного экскаватора, м³/год.

Практика отработки *ВНБ* в карьерах показывает, что наиболее часто производят их поуступный разнос до границ карьера, что объясняется простотой организации и ведения горных работ. В этом случае, что немало важно, практически всегда можно использовать, применяемое на горном предприятии оборудование на сформированной ранее материально-технической базе.

Ниже приведен пример расчета объема горных работ и времени *ЛВО* для следующих исходных данных:

- вскрышное отставание — 24,2 млн. м³;
- производственная мощность карьера по руде — 2000 тыс. м³/год;
- производительность вскрышного экскаватора — 1400 тыс. м³/год.

Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Анализ результатов расчетов (табл. 1) позволяет сделать вывод о

возможности уменьшения времени *ЛВО* за счет увеличения количества вскрышных экскаваторов, то есть за счет инвестирования в горное оборудование. Поэтому выбор варианта *ЛВО* необходимо осуществлять, учитывая временную динамику инвестиций и их результатов, используя в качестве экономического критерия чистый дисконтированный доход (*ЧДД*). Результаты расчета его величины для условий рассмотренного примера представлены на рис. 2 и свидетельствуют о том, что чем меньше время восстановления добычной рабочей зоны, тем более эффективны работы по *ЛВО*, несмотря на рост инвестиций.

Однако при ликвидации вскрышного отставания основным недостатком поуступного разноса *ВНБ* до границ карьера является низкая скорость расконсервации и значительный объем выемки породы для восстановления добычной зоны карьера с проектными параметрами. Поэтому для минимизации объемов горных работ и инвестиций необходимы технологические решения, позволяющие дополнительно сократить время восстановления добычной зоны карьера.

Таблица 1

Расчет объема и периода ликвидации вскрышного отставания

Количество звеньев вскрышного оборудования, ед.	Понижение горных работ в карьере за время ЛВО, м.	Объем горных работ, выполняемых за время ЛВО, тыс. м ³			Время ЛВО, лет
		руды	вскрыши	горная масса	
11	90	22 000	156 170	178 170	11
10	150	26 000	175 160	201 160	13
9	160	32 000	200 450	232 450	16
8	200	40 000	224 940	264 940	20
7	230	50 000	246 800	296 800	25

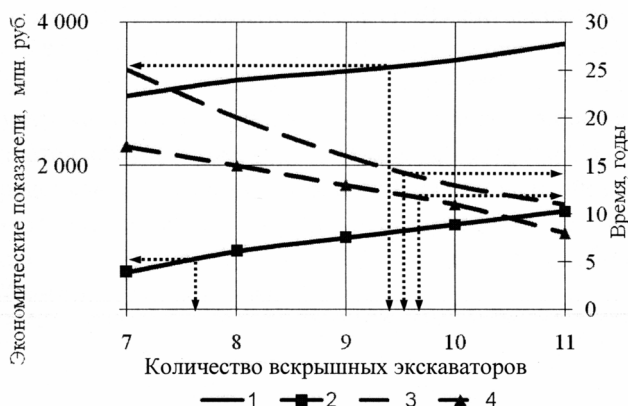


Рис. 2. Зависимость величины ЧДД (1), объема инвестиций (2), времени ЛВО (3) и восстановления добычной рабочей зоны (4) от количества вскрышных экскаваторов при ЛВО по технологии поуступного разнуса ВНБ

С этой целью предложено объем ЛВО разделить на две части (рис. 3) [5]. Разделяющая объем ЛВО линия st выходит из точки s , определяющей положение дна карьера в момент завершения ЛВО. Отрезок tb равен ширине панели, необходимой для расстановки оборудования. Контур $tb_{соерс}$ ограничивает объем, отрабатываемый при опережающей выемке, а контур $atsr$ — оставшийся объем ЛВО, вынимаемый до проектных границ карьера (объем доработки ЛВО).

Объем опережающей выемки (далее ООВ) интенсивно отрабатывают в первые годы ЛВО для создания добычной зоны с проектными параметрами. После этого интенсивность горных работ внутри ООВ соответствует проектным темпам углубки, а высвободившееся оборудование направляют на ЛВО.

Это свидетельствует о том, что для каждого конкретного случая на карьере можно определить оптимальный вариант ЛВО при ведении работ по

предлагаемой технологии. В результате численных исследований установлено, что при данной технологии существует определенное количество оборудования, при котором ЧДД достигает максимума (рис. 4).

С целью обеспечения возможности использования полученных результатов применительно к условиям других месторождений, а также для прогнозирования динамики ликвидации вскрышного отставания, результаты исследований, представленные выше, приведены в относительном виде. Для этого

введена величина относительного времени ликвидации вскрышного отставания $dt_{ЛВО}$, вычисляемая по формулам

$$dt_{ЛВО} = \frac{t_i}{t_0} \cdot 100\% \quad \text{или} \quad dt_{ЛВО} = \frac{t_i}{t_0}, \quad (8)$$

где t_i — время ликвидации вскрышного отставания в i -ом варианте количества вскрышных экскаваторов, лет; t_0 — время доработки запасов месторождения, лет.

Затем, провели исследования изменения $dt_{ЛВО}$ в зависимости от объема накопленной вскрыши и количества вскрышных экскаваторов, дополнительно вводимого во время ликвидации вскрышного отставания

$$dt_{ЛВО} = f(dN_3; t_{во}), \quad (9)$$

где dN_3 — относительное увеличение количества вскрышных экскаваторов, %; $t_{во}$ — время вскрышного отставания (время необходимое для отработ-

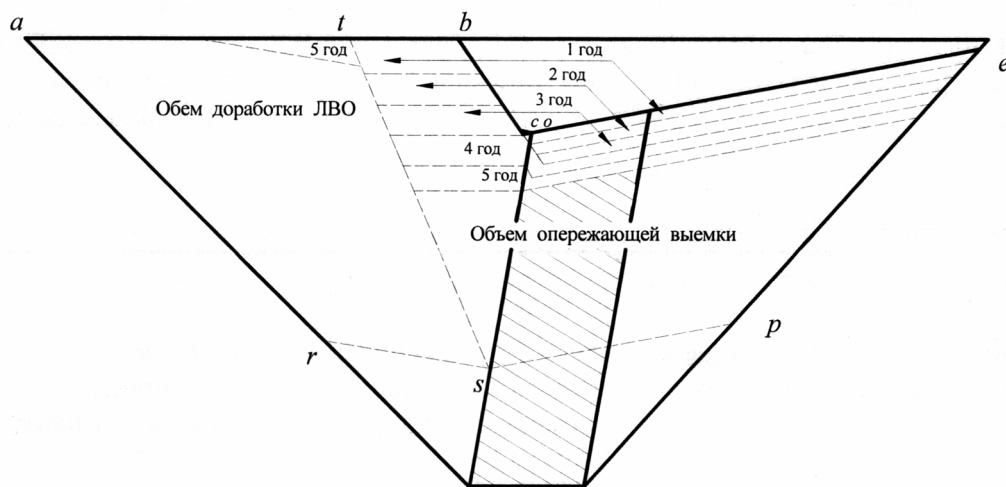


Рис. 3. Схема к расчету объема опережающей выемки ЛВО

ки объема вскрышного отставания при плановой производительности карьера по вскрыше), лет.

Значения dN_9 и $t_{во}$ вычисляли по формулам

$$dN_9 = \left(\frac{n_i - n_0}{n_0} \right) \cdot 100\%; \quad (10)$$

$$t_{во} = \frac{V_{во}}{A_в}, \quad (11)$$

где n_i — количество вскрышных экскаваторов при i -ом варианте ликвидации вскрышного отставания; n_0 — количество вскрышных экскаваторов, применяемое на карьере до начала ликвидации вскрышного отставания; $V_{во}$ —

объем вскрышного отставания на карьере, m^3 ; $A_в$ — плановая (при нормальном развитии горных работ) мощность карьера по вскрыше, $m^3/год$.

Результаты соответствующих исследований представлены в виде графиков на рис. 5.

В результате обработки данных представленных на рис.5 получено уравнение для расчета относительного времени ЛВО

$$dt_{ЛВО} = 76,88 + (0,012 \times t_{во}^{-0,44}) \cdot dN_9^2 - (0,024 \cdot t_{во}^2 - 0,203 \cdot t_{во} + 1,75) \cdot dN_9 + 7,14 \cdot t_{во} \quad (12)$$

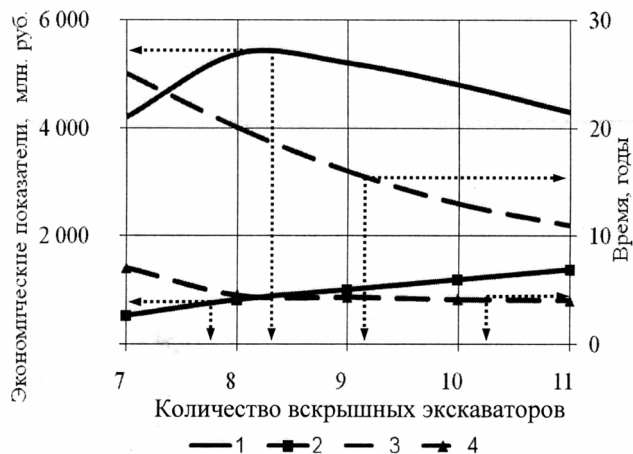


Рис. 4. Зависимость величины ЧДД (1), объема инвестиций (2), времени ЛВО (3) и восстановления добычной рабочей зоны (4) от количества вскрышных экскаваторов при технологии горных работ с выделением ООВ

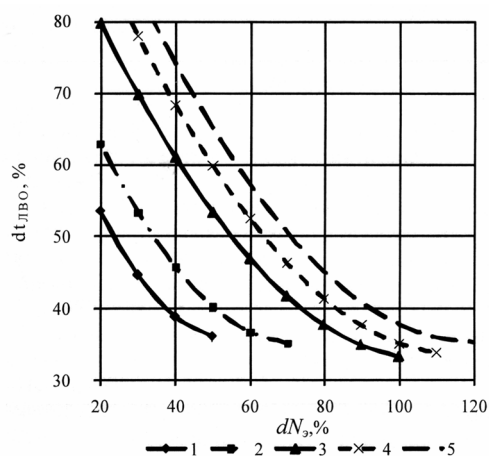


Рис. 5. Влияние относительного количества вскрышных экскаваторов (dN_3), дополнительно вводимого для ликвидации вскрышного отставания на его относительное время ($dt_{ЛВО}$), в зависимости от времени вскрышного отставания ($t_{во}$): 1 — 1 год; 2 — 2 года; 3 — 3 года; 4 — 5 лет; 5 — 7 лет

Проведенные исследования позволяют рекомендовать формулы для расчета в первом приближении времени ликвидации вскрышного отставания и необходимого для этого ко-

личества вскрышных экскаваторов, зная время вскрышного отставания ($t_{во}$), время доработки запасов (t_0) и количество вскрышного оборудования, имеющегося на карьере до начала ликвидации вскрышного отставания (n_0) для условий любого карьера

$$t_{ЛВО} = \frac{t_0 \cdot dt_{ЛВО}}{100}; \quad (13)$$

$$n_i = n_0 \cdot \left(1 + \frac{dN_{эл}}{100}\right). \quad (14)$$

Таким образом, предложенная технология горных работ при ЛВО позволяет:

- создать проектные параметры добычной зоны в несколько раз быстрее, чем при ЛВО по технологии поуступного разноса ВНБ;
 - выполнять горные работы с минимальными затратами;
 - вести добычные работы на всей площади рудной залежи.
- Полученные зависимости позволяют определить время ликвидации вскрышного отставания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Близнюков В.Г., Зайцев И.Н. Методика определения размера отставания вскрышных работ в карьере // Разработка рудных месторождений — 1986. — Выпуск 41. — С. 21—25.
2. Донченко Т.В. Обоснование и разработка технологии приведения в рабочее положение временно законсервированных бортов карьера. Автореф. дисс.... канд. техн. наук. — Санкт-Петербург: РИЦ СПбГИ. — 2002. — 24 с.
3. Арсентьев А.И. Определение производительности и границ карьеров. М.: Недра, 1970. — 320 с.
4. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Учебник для вузов. В двух частях. Часть 2. Технология и комплексная механизация. 4-е изд. Перераб. и доп. — М.: Недра, 1985. — 549 с.
5. Черепанов Е.В. Обоснование технологии разработки крутопадающих вытянутых месторождений при ликвидации отставания вскрышных работ. Автореф. дисс.... канд. техн. наук. — Кемерово. — 2008. — 20 с.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Косолапов Александр Иннокентьевич — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, действительный член академии горных наук, член-корреспондент САН ВШ, kosolapov1953@mail.ru,
Черепанов Е.В. — кандидат технических наук, cherepanov7777@mail.ru,
ООО «Полус Проект».