Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XXXVI, вып. 1, 1958 г.

УТОЧНЕНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ОТКРЫТЫХ РАБОТ ПРИ КОНКРЕТНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Д. Ф. БОРИСОВ

Предусмотренное пятилетним планом увеличение добычи угля открытым способом (122 *млн. т* в 1960 г. против 66 *млн. т* в 1955 г.) по темпам намного превосходит общий рост добычи угля по Советскому Союзу, и особенно из подземных работ: добыча угля открытым способом увеличивается на 88%, суммарная добыча на 52%, подземная — примерно на 40%.

Такой повышенный темп развития открытых работ связан с общеизвестными их преимуществами, заключающимися, кроме повышения производительности труда и снижения себестоимости, в значительном улучшении условий труда, повышении безопасности работ и резком сокращении потерь в недрах, особенно при разработке мощных крутопадающих пластов и жил. Травматизм на угольных карьерах примерно в пять раз меньше, чем в подземных (сокращение тяжелых и смертельных случаев еще больше).

Условия труда на карьерах также значительно благоприятнее, так как заражение воздуха пылью и вредными газами при наличии непосредственной связи с атмосферой фактически отсутствует, а заболевания силикозом и случаи отравления газами (кроме серных рудников) практически не известны.

Потери при разработке мощных пластов открытыми работами значительно ниже, чем при подземных. Например, при выемке мощных крутопадающих пластов щитовой системой потери достигают 35%, а при открытой разработке — редко выше 5%.

Как показала практика, механизация и экономическая эффективность открытых работ растут значительно быстрее, чем подземных. Поэтому, имея в виду совершенствование открытых работ в процессе отработки карьерного поля, а также преимущества их по безопасности труда и полноте извлечения запасов, открытым работам следует отдавать предпочтение, даже при несколько менее выгодных расчетных показателях, как правило, определяемых по нормативам сегодняшнего дня.

Между тем, выбор границ выгодности применения открытых работ определяется, исходя из одинаковой стоимости (реже трудоемкости) 1 *т* полезного ископаемого при открытых и подземных работах без учета дополнительных преимуществ открытых работ. В отдельных случаях граница между подземными и открытыми работами устанавливается даже в ущерб последним, что является пережитком отрицатель-

ного отношения к открытым работам, возникшего в свое время из-за отсутствия соответствующего оборудования.

Из изложенного ясна необходимость проверки правильности существующей методики определения границ между открытыми и подземными работами.

Впервые аналогичная задача поставлена в работе А. С. Фиделева [1], где была выдвинута перспективная и по существу правильная идея выбора границы между подземными и открытыми работами с учетом выделения максимальных запасов для открытых работ при соблюдении одинаковой стоимости добычи полезного ископаемого из подземных и открытых разработок. Поэтому данное исследование и начато рассмотрением указанной работы А. С. Фиделева, методика которой при конкретном проектировании до настоящего времени не нашла применения [1].

Как известно, А. С. Фиделев, в отличие от общепринятой методики сравнения открытых и подземных работ, исходит из следующего [1]:

1. Стоимость выемки полезного ископаемого и вскрыши из открытых работ возрастает с глубиной и определяется аналитически (с учетом расходов на транспорт, содержание путей и водоотлив при обводненных месторождениях), а стоимость подземной добычи остается постоянной.

2. Выделяется амортизация капитальных затрат («органически связанных со сроком существования карьера») на подготовительные работы по строительству, выемку покрывающих выход пласта пород, предварительный дренаж, поверхностные сооружения и др.

Таким образом, карьерная себестоимость расчленяется на элементы — амортизацию и эксплуатационные расходы, которые принимаются зависимыми от глубины выемки, транспорта вдоль фронта и др. Стоимость же подземных работ дается без разделения по элементам и считается не зависящей от глубины.

При такой методике и графическом определении предельного коэффициента вскрыши неизбежно получаются два пересечения кривых шахтной и карьерной стоимости. Одно из них А. С. Фиделев называет «фиктивным предельным горизонтом», который будто бы «показывает, что на данном месторождении при заданной производительности недопустимо проектировать карьер на такую глубину». Практически же «фиктивный горизонт» представляет собой такую глубину карьера, до которой (если признать правильной принятую методику) подземные работы будут выгоднее. (?!).

Этот парадоксальный вывод получается вследствие неправильного толкования физического смысла «фиктивного горизонта», а также специфики методики расчета. Выделяемая для открытых работ амортизация с увеличением глубины и срока службы карьера уменьшается, а при подземных работах дается в скрытом виде. Если подобным образом расчленить себестоимость подземных работ и учесть, что капиталовложения при подземных работах выше, чем на открытых в 1,5—2 раза, то кривые себестоимости при графическом определении границ подземных и открытых работ пересекутся только в одной точке и «фиктивного горизонта» не получится. Два пересечения могут возникнуть лишь в исключительном случае при большой мощности наносов, покрываю-

---

Подробные исследования были нами закончены свыше трех лет назад — ранее, чем вышло издание II работы А. С. Фиделева. Статья по этому поводу была тогда же послана в «Горный журнал», а затем, по рекомендации редакции последнего, в Металлургиздат, где она по неизвестным причинам не получила движения.

щих выход крутопадающего пласта, когда коэффициент вскрыши на верхнем (обычно одном первом) горизонте больше, чем на последующих.

Поскольку об ошибочности введения «фиктивного горизонта» имеются упоминания в технической литературе, дальше останавливаться на этом вопросе не будем и перейдем к рассмотрению реальности выдвинутого А. С. Фиделевым «. нового условия, основывающегося на существенных для социалистического хозяйства преимуществах открытых работ, которое может быть сформулировано таким образом: *получение наибольших запасов полезного ископаемого для добычи открытым способом при соблюдении равенства стоимостей добычи единицы полезного ископаемого из подземных и открытых разработок*» [1, Изд. 1, стр. 27].

Задача выбора границ открытых работ в таких условиях решается А. С. Фиделевым применительно к горизонтальным месторождениям, имеющим неограниченное распространение по площади и на глубину, которые разделяются им на две группы: а) разрабатываемые подземными и открытыми работами; б) разрабатываемые только открытыми работами (распространенные полезные ископаемые).

Для месторождений первой группы определение рациональных границ открытых работ сводится к совместному решению двух уравнений

$$e = f(x,\ n,\ L_x) \text{ и } e = E \text{ при } nxL_x = \max,$$

где e и E — стоимость 1 m угля соответственно при открытых и подземных работах;

n — число уступов;

x и L_x — соответственно ширина и длина карьера на последнем горизонте.

Решение в общем виде, как редко встречающееся, А. С. Фиделевым опускается и задача рассматривается для двух частных случаев:

1) при заданной длине L требуется найти ширину карьера x и число уступов n;

2) при заданных ширине x и длине L карьера определяется число уступов n.

Решение этих задач сводится к определению карьерной стоимости полезного ископаемого в зависимости от изменения размеров карьера (x и n или только x) и сопоставлению ее со стоимостью подземной добычи. Для первого условия стоимость из открытых работ $[(e=f(n, x, L_x)]$ определена А. С. Фиделевым в виде общего уравнения[1]

$$e = f(n,\ x) = k_1 + k_2 n + \frac{k_3}{n} + k_4 x + \frac{k_5}{x} + \frac{k_6 x}{n} + \frac{k_7 x^2}{n} + \frac{k_8}{xn}.$$

Искомые величины предельного числа уступов n и ширины карьерного поля x А. С. Фиделев определяет способом множителей, принятым для нахождения относительного максимума или минимума функций нескольких переменных, связанных между собой заданным соотношением (в данном случае $nx = \max$). Сначала составляется новое уравнение для F, связывающее оба уравнения $[e = f(x,n)]$ и $(nx = \max)$, а затем обычным путем по частным производным отыскивается максимум или минимум функции.

---

[1] Значение отдельных k, являющихся функцией стоимостных параметров, не приводим.

В заданных условиях

$$F = n,\ x + \lambda(e - E),$$

где $e = f(x,\ n)$.

Частные производные от F

$$\frac{\partial F}{\partial x} = n + \lambda\left(k_4 - \frac{k_5}{x^2} + \frac{k_6}{n} + \frac{2k_7 x}{n} - \frac{k_8}{nx^2}\right) = 0;$$

$$\frac{\partial F}{\partial n} = x + \lambda\left(k_2 - \frac{k_3}{n^2} - \frac{k_6 x}{n^2} - \frac{k_7 x^2}{n^2} - \frac{k_8}{n^2 x}\right) = 0.$$

После совместного решения этих уравнений

$$n_1 = \frac{k_4 x^2 - k_5 + \sqrt{(k_4 x^2 - k_5)^2 + 4k_2 x^3\left(2k_6 x + 3k_7 x^2 - \frac{k_3}{x}\right)}}{2k_2 x}. \qquad (1)$$

Второе значение n_2 находится совместным решением уравнения $f(x,n) - E = 0$ с исходным уравнением (1)

$$n_2 = \frac{4k_7 x^3 + 3k_6 x^2 + k_8 + k_3 x}{(E - k_1)x - 2k_4 x^2} \qquad (2)$$

Как видно из приведенного, только второе уравнение связано с E, а первое зависит от стоимостных параметров открытых работ.

Численный пример решается А. С. Фиделевым для следующих данных.

Производственная мощность карьера 1 200 000 $м^3$ Длина карьера 600 $м$, начальная мощность вскрыши покрывающих пород $H = 6$ $м$; повышение мощности по мере отработки карьера $\mathrm{tg}\,\mu = 40^0/_{00}$; угол откоса по вскрыше $\varphi = 45°$; отходы полезного ископаемого 20%; коэффициент извлечения 0,9. Высота уступа 10 $м$.

На основании приведенных геологических данных и стоимостных параметров по отдельным видам работ (погрузка экскаваторами, транспорт, отвалообразование, водоотлив и др.) выводятся значения коэффициентов $\kappa_1 \div \kappa_8$, после подстановки которых

$$e = f(n,\ x) = 13{,}1 + 1{,}1n + \frac{3{,}6}{n} + 0{,}4x + \frac{0{,}8}{x} + 24\frac{x}{n} + \frac{1{,}1x^2}{n} + \frac{6}{xn}$$

Значение n_1 по формуле (1)

$$n_1 = \frac{0{,}4x^2 - 0{,}8 + \sqrt{(0{,}4x^2 - 0{,}8)^2 + 4{,}4x^3\left(48 + 3{,}3x + \frac{3{,}6}{x}\right)}}{2{,}2x}; \qquad (3)$$

n_2 при $E = 28$ руб. по формуле (2)

$$n_2 = \frac{4{,}4x^3 + 72x^2 + 6 + 3{,}6x}{14{,}9 - 0{,}8x^2}. \qquad (4)$$

Корни этих уравнений $n = 8$, $x = 1{,}35$ $км$ определяются графически, как одна из точек пересечения кривых n_1 и n_2 (рис. 1). При этом А. С. Фиделев дает следующие пояснения:

«Второе решение $x = 0{,}3$ $км$ должно быть отброшено, так как $nx = 0{,}9$ не является относительным максимумом... Полученные размеры карьерного поля, как обычно, следует скорректировать... с учетом

шахтных полей, которые будут заложены за границей проектируемого карьера...» [1, стр. 5].

Таким образом, автор рекомендует рядом с карьером заложить шахты и по условию задания ($e = E$) ниже горизонта $n = 8$ перейти на подземные работы.

Изобразив графически границы карьера, мы видим, что *для подземных работ предназначена площадь* (600 × 1300 *м*), *на которой полезное ископаемое обнажено и выемка которого подземными работами вообще невозможна* (рис. 2).

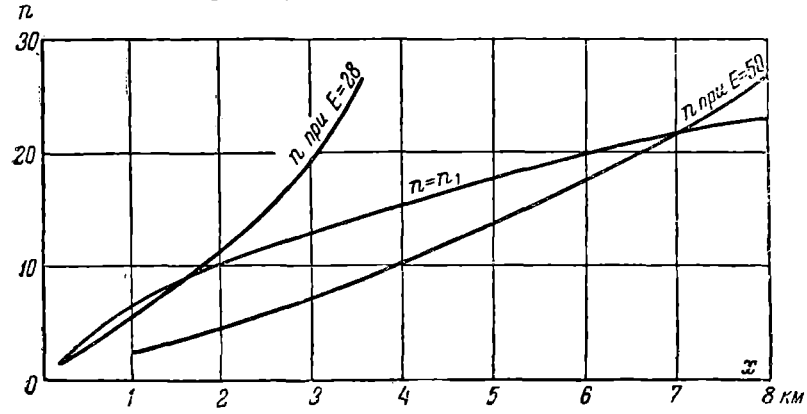


Рис. 1.

Совершенно непонятно, почему здесь надо рядом закладывать шахты, а не новые карьеры.

Неправильность этого вывода объясняется ошибочной предпосылкой о возможности и целесообразности перехода на подземную разработку месторождений неограниченной мощности — глубины и ошибкой в расчетах, связанной с неправильным определением вскрытого объема

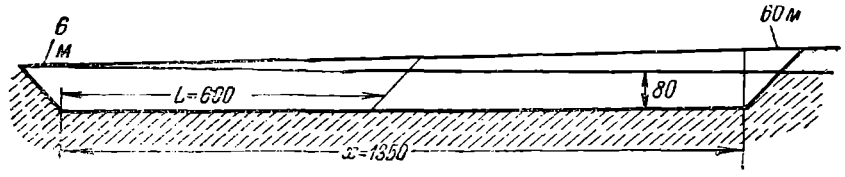


Рис. 2.

полезного ископаемого. Этот объем будет (рис. 3) выражаться не призмой высотой nh, как это принимает А. С. Фиделев, а призмой высотой $nh + x\operatorname{tg}\varphi$ (пунктирные линии на рис. 3 нанесены нами — Д.Б.). Тогда с развитием работ карьера (его ширины) коэффициент вскрыши, как видно из рис. 3, будет постоянно уменьшаться, а глубина карьера увеличиваться.

При решении второго частного случая, когда x и L_x постоянны (рис. 4) и когда стоимость открытых работ зависит только от глубины $e = f(n)$, для определения n рекомендуется квадратное уравнение, при котором разница между E и e будет минимальной

$$n^2 - \frac{E - C_1}{C_2} n + \frac{C_3}{C_2} = 0, \qquad (5)$$

где C_1, C_2, C_3 — стоимостные параметры.

«Когда открытые работы рентабельны, корни квадратного уравнения (5) будут положительными», — дает пояснения А. С. Фиделев [1, изд. стр. 78]. Можно предположить, что отрицательные корни соответствуют условиям, при которых подземные работы будут рентабельны.

Между тем, если решить последнее квадратное уравнение, то легко обнаружить, что отрицательных вещественных корней оно вообще не

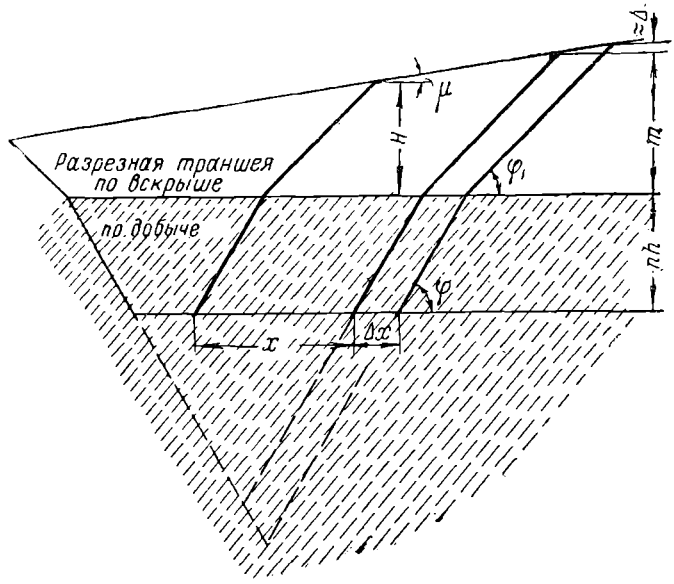


Рис. 3.

будет иметь, так как все отрицательные корни мнимые. Поэтому надлежало сделать вывод: отсутствие вещественных корней (оба корня мнимые) показывает, что на всех горизонтах подземные работы выгоднее открытых. Вернемся к исходным данным. По заданию принимаются постоянными L длина и x ширина карьера по полезному ископаемому на предельной глубине. На вышележащих горизонтах с углублением карьера эти величины по полезному ископаемому возрастают. На первом горизонте, например, ширина карьера возрастает до x_n, а длина до L_n, соответственное уширение карьера будет и на всех нижележащих горизонтах (рис. 4), кроме последнего.

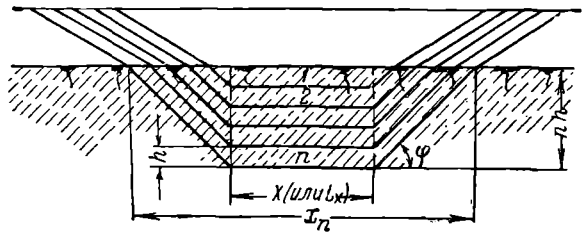


Рис. 4.

Как видно из рис. 2, 3 и 4, автор математически разрешает искусственную задачу определения глубины карьера, исходя из сопоставления открытых и подземных работ в условиях, при которых подземных работ вообще не может быть.

Ошибочные выводы двух этих примеров являются результатом отрыва математических предпосылок от жизни. Оба эти случая А. С. Фиделеву не следовало рассматривать, так как они совпадают с условиями, при которых подземные работы не применимы и возникает необходимость в определении оптимальных размеров карьера. Второй случай, кроме того, вообще физически невозможен.

Ошибки этих двух примеров заключаются не только в неправильно заданных условиях, они являются прямым результатом вообще неправильного положения о том, что при таких месторождениях (неограниченно распространенных на глубину и разрабатываемых подземными работами) размеры карьерного поля должны удовлетворять уравнениям:

$$e = f(n,\ x,\ L);\quad e = E.$$

Для доказательства вернемся к разобранному ранее численному примеру выбора n и x при $L = \text{const}$, рассмотрим его более подробно и попробуем выяснить, как влияет на размеры карьера стоимость полезного ископаемого из подземных работ и сущность предложенной методики.

Для этого дополнительно отыщем границы карьера при заведомо более высокой стоимости подземных работ $E = 50$ руб.*

В этом случае меняется лишь значение коэффициента $(E - \kappa_1)$ при x в знаменателе формул (2) и (4) для n_2, который увеличится до 36,9 с 14,9 ($E = 28$ руб.). Графически (рис.1) пересечением кривых определяются новые x и n. Результирующие данные сведены в табл. 1.

Таблица 1

E	L	x	n	Запасы, *млн/м³*		Срок службы, лет
				геологические	промышленные	
28	0,6	1,35	8	64,8	48,6	40
50	0,6	7,0	22	925,0	690,0	575 **

Для анализа технико-экономических показателей определим динамику изменения стоимости по горизонтам.

После подстановки в $e = f(xn)$ численных значений x и произведения xn получим соответственно для E 28 и 50 руб.

$$e_1 = 14{,}8 + 1{,}0n + \frac{37{,}8}{n};$$

$$e_2 = 16{,}0 + 1{,}1n + \frac{205}{n}$$

Числитель третьего одночлена (n в знаменателе) представляет собой полную стоимость вскрыши (выемка, транспорт и отвалы), очередность обработки которой имеет большое экономическое значение. Так, например, если отработку вести одним горизонтом, то на 1 *м*³ полезного

* В условиях, когда подземные разработки не могут быть продолжением открытых работ, стоимость подземных работ, по-видимому, рассматривается как стоимость того же полезного ископаемого, добытого на другом месторождении или участке.

** Последние цифры, по существу парадоксальные, не расходятся с данными А. С. Фиделева, который останавливается [2] на размерах карьера того же порядка: при $E = 97$ руб.; $x = 10{,}9$ *км* и $n = 18$ (к сожалению, не приведены цифры срока службы карьера в этом случае).

ископаемого, добытого на первом горизонте придется вся мощность вскрыши, т. е. затраты в 37,8 и 205 руб. и его стоимость на первом горизонте будет практически значительно выше, чем в подземных работах, и соответственно равна 53,7 руб. ($E = 28$) и 222 руб. ($E = 50$).

Очевидно, в данном случае надо отработку вести одновременно несколькими уступами, наивыгоднейшее число которых можно определить как минимум e. Для первого уравнения (e_1) наивыгоднейшее число одновременно отрабатываемых уступов равно 6. На самом деле

$$\frac{de}{dn} = 1{,}1 - \frac{37{,}8}{n^2} = 0; \quad n = \sqrt{\frac{37{,}8}{1{,}1}} = 6.$$

Для второго (e_2) соответственно $n = 13$.

Подсчитанная нами стоимость полезного ископаемого при одновременной[1] отработке первой группы уступов (число уступов соответственно равно 6 и 13) при различной ширине карьера x дана в табл. 2. Здесь же даны стоимости при отработке нижней группы уступов, когда вскрыша полностью снята. Значение минимума соответствует $x = 0$, а максимум — ранее найденным значениям (1,35 и 7 *км*). Цифры табл. 2 ниже предельных (28, 50 руб.), так как групповая отработка сгладила их значения.

Таблица 2

E	Отработка верхней пачки				Отработка нижней пачки			
	число рабочих уступов	e_{min}	e_{max}	$e_{ср}$	число рабочих уступов		e_{max}	$e_{ср}$
28,0	6	24,2	25,0	24,6	2	22,35	23,15	22,75
30,0	13	32,6	39,5	36,1	9	28,9	35,9	32,9

Из приведенного видно, что стоимость полезного ископаемого в первый период отработки карьера выше, чем во второй (даже при специальном подборе рабочей группы уступов) и приближается к стоимости подземных работ, составляя 65—90% последней.

Вернемся к вопросу выбора размеров карьера. При стоимости полезного ископаемого из подземных работ на другом месторождении $E = 50$ руб. ширина карьера определена 7 *км*, а глубина 220 *м*; при $E = 28$ руб. ширина карьера 1,35 *км*, глубина 80 *м*. Стоимость добычи из верхней группы уступов первого карьера в среднем около 35 руб., второго — около 24 руб.

Совершенно очевидно, что независимо от стоимости полезного ископаемого из подземных работ целесообразнее 7-километровое поле разбить на ряд более мелких участков в данном случае длиной 0,7 *км* на 10 последовательно отрабатываемых карьеров и в течение первых 180 лет (!) снизить стоимость на 30% и сэкономить на этом громадные средства [2].

---

[1] Ввод в работу такого большого числа уступов связан со значительным разворотом работ и вообще может оказаться практически нецелесообразным. При отработке же меньшего числа уступов разрыв между стоимостью в первый период и последующий будет еще больше.

[2] Здесь следовало бы определить оптимальные размеры карьера, не считаясь со стоимостью подземных работ: в заданных условиях такими размерами будут $n = 7$ и $x = 0{,}7$ и средняя стоимость будет мало отличаться от меньших цифр.

Следовательно, при ориентировке на стоимость из подземных работ другого месторождения получаемый рост запасов карьера осуществляется за счет необоснованного увеличения стоимости полезного ископаемого на верхних горизонтах и доведения ее до искусственно введенной стоимости подземных работ, не свойственной данному месторождению, т. е. за счет ликвидации преимуществ открытых работ на верхних горизонтах. Это подтверждает и принцип составления исходных формул, по которым максимальная стоимость полезного ископаемого из карьера, приравниваемая к стоимости подземных работ, рассчитывается, исходя из увеличивающейся стоимости при удалении работ от одной постоянной точки (примыкание въездной траншеи) до границ карьера по ширине x, длине L и глубине n. Таким образом, математически задача свелась к определению *максимального объема, который можно вывести через одну точку с тем, чтобы максимальная стоимость полезного ископаемого не превосходила заранее заданной величины* (стоимость на подземных работах другого месторождения).

Очевидно, это условие не имеет ничего общего с максимальным увеличением запасов для открытых работ. Когда месторождение имеет неограниченные запасы по площади и на глубину, ни о каком сопоставлении стоимости подземных работ и открытых не может и не должно быть речи. Переход на подземные работы здесь, как указывалось выше, вообще невозможен, так как вскрыша снята на значительной площади (0,8 и 4,2 $км^2$). В этих случаях подземные работы после открытых вообще не применимы, и поэтому может только возникнуть вопрос о целесообразности ликвидации карьера на какой-то глубине и закладке нового. В этих условиях и требование выделения максимальных запасов для открытых работ является ненужной праздной затеей, а предложенная методика приводит к вредным с народнохозяйственной точки зрения решениям.

При запасах, неограниченных на глубину и по площади, надо отыскивать оптимальные размеры карьера, так как стоимость подземной добычи полезного ископаемого на других месторождениях ничего не определяет, а выделение месторождений полезных ископаемых, имеющих неограниченное распространение и разрабатываемых подземными работами, в самостоятельную группу неправильно.

При определении границ карьера распространенных полезных ископаемых (подземными работами не добываемых) А. С. Фиделев находит «.. не предельные, а оптимальные границы, то есть такие, при которых будет наименьшая стоимость добычи единицы полезного ископаемого» [1, стр. 87].

Эта задача сводится к решению уравнения

$$e = f(n,\ x,\ L_x)\ e = \tau e_{\min} \text{ при } (nLx) = \max,$$

где τ — допустимая точность подсчета при оконтуривании месторождений, примерно равная 1,05—1,15 и в среднем 1,1 [1, стр. 28].

Подробно разбирается случай определения nx при заданной постоянной длине карьера L_x.

В результате преобразования определяется n — оптимальное число уступов, как корней уравнения

$$e_{\min} = r_1 + r_2 n + \frac{r_3}{n}$$

Корни этого уравнения можно найти по предложенной Л. Д. Шевяковым методике решения с цельночисленными величинами или по известному правилу отыскания минимальных значений функции.

По найденному $n_{оп}$ А. С. Фиделев рекомендует окончательно определить корни уравнения

$$n_2 - \frac{\tau e_{min} - r_1}{r_2} n + \frac{r_3}{r_2} = 0 \qquad (6)$$

и считает, что только больший из корней этого уравнения является искомой (оптимальной) величиной.

«Все соображения, высказанные ранее целиком приложимы и к выражению (6) с той разницей, что здесь вместо истинного предельного (экономически рационального) горизонта будет истинный, оптимальный горизонт» [1, стр. 92].

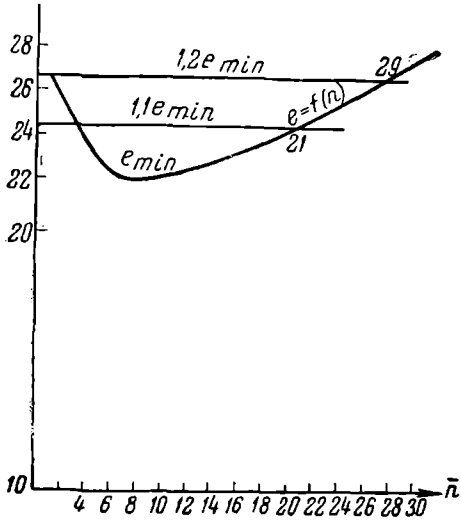


Рис. 5.

Числовой пример определения оптимальной глубины карьера для месторождений распространенного ископаемого (не разрабатываемого подземными работами) решается для годовой производительности 3 000 000 $м^3$. Размеры поля ограничены $L_x = 1200$; $x = 800$; $n = 10$ $м$. Постоянный объем вскрыши 12 000 000 $м^3$.

После подстановки численного значения и стоимостных параметров задача сводится к решению уравнения

$$e_{min} = r_1 + r_2 n + \frac{r_3}{n} = 16{,}9 + 0{,}32n + \frac{23}{n},$$

откуда оптимальное значение $n_{оп} = 8$ $м$ при $e_{min} = 22{,}3$ руб.

$$\tau e_{min} = 1{,}1 \cdot 22{,}3 = 24{,}5 \text{ руб.}$$

Далее, по предыдущему

$$n^2 + \frac{24{,}5 - 16{,}9}{0{,}32} n + \frac{23}{0{,}32} = 0.$$

«Отсюда, — говорит А. С. Фиделев, — большой корень $n = 21$, и есть оптимальная глубина открытой разработки по полезному ископаемому 210 $м$» [1, стр. 94]

Перейдем к существу вопроса. Если величина τ — точность подсчета, определяющая допустимые отклонения от «истинного оптимального горизонта», то выражение (6) дает границы практически равной стоимости. При заданной точности (рис. 5) кривая фактически дает только пределы, в которых себестоимость практически одинакова и тезис о максимуме запасов, вынимаемых данным карьером не имеет смысла. Наоборот, стремление любым путем увеличить запасы карьера за счет его заглубления приведет к снижению производительности труда и понижению общей эффективности открытых работ. В ряде случаев при неограниченных запасах (x не ограничено) целесообразнее заложить рядом новый карьер, использовав существующие поверхностные сооружения, старые работы для отвалов, а не идти в глубину.

Интересно отметить, что при $\tau = 1{,}2$ (точность 20%) $n = 35$ $м$ и «оптимальная глубина карьера» составляет уже 350 $м$ (а не 210 $м$).

Таким образом, «предложенное новое условие», важность которого неоднократно подчеркивается А. С. Фиделевым, сводится к рекомендации уменьшения точности стоимостных параметров (при $\tau = 1$, $n = 8$; $\tau = 1{,}1$, $n = 21$; $\tau = 1{,}2$, $n = 35$ и т. д., см. рис. 5).

В результате следует прийти к следующим выводам:

1. Утверждение А. С. Фиделева о том, что его методика обеспечивает максимально допустимое по экономическим соображениям увеличение запасов открытых работ, не соответствует действительности. Такой методикой практически решается задача не увеличения запасов открытых работ, а одного карьера.

2. Получаемое по методике А. С. Фиделева увеличение запасов карьеров, предназначенных для добычи, разрабатываемых как подземными, так и открытыми работами, вредно, так как оно связано с необоснованным увеличением стоимости добычи на верхних горизонтах.

3. Для полезных ископаемых, разрабатываемых только открытыми работами (известняков и др.) увеличение запасов карьера чисто фиктивное, оно базируется на неточности исходных данных.

*

Поскольку, как указано выше, увеличение запасов открытых работ имеет большое народнохозяйственное значение, приведем наши соображения по этому вопросу, выявляющие значения развития рабочих уступов карьера.

Основным показателем трудоемкости открытых работ является коэффициент вскрыши, отнесенный к 1 $м^3$ вынимаемого полезного ископаемого или к 1 $т$ (как принято на угле), и задача определения границ открытых работ сводится к отыскиванию горизонта равной себестоимости подземных и открытых работ.

В настоящее время принято предельный горизонт определять по максимальному коэффициенту вскрыши при угле погашения карьера (предельном угле откоса). О необходимости же учета изменений стоимости до сих пор нет общей точки зрения. Одни исследователи (П. И. Городецкий, Б. Г Боголюбов и др.) принимают стоимость вскрыши и выемки угля при подземных и открытых работах постоянными, другие (И. А. Кузнецов, А. С. Фиделев) рекомендуют принимать стоимость открытых работ переменной, а подземных работ постоянной. В большинстве случаев стоимостные показатели считают постоянными и для удобства расчетов мощность наносов, выемка которых, как правило, дешевле, приводят к коренным породам, уменьшая ее пропорционально отношению стоимостей выемки 1 $м^3$ в коренных породах и наносах.

В настоящее время, как правило, для определения предельной глубины карьера пользуются формулами П. И. Городецкого, выведенными для крутопадающих и пологопадающих пластов.

Как известно, эти формулы без учета наносов и торцевой забортовки карьеров следующие (рис. 6):

1) для крутопадающих и наклонных пластов, не требующих заоткоски почвы (лежачего бока)

$$h_x = \frac{C_п - C_о}{C_в} \frac{m}{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta};$$

2) для крутопадающих пластов при отработке лежачего бока

$$h_x = \frac{C_п - C_о}{C_в} \frac{m}{\operatorname{ctg}\beta_1 + \operatorname{ctg}\beta_2};$$

где $C_п$ и $C_о$ — соответственно стоимость выемки 1 $м^3$ полезного ископаемого подземными и открытыми работами;

$C_в$ — стоимость 1 $м^3$ вскрыши;

m — горизонтальная мощность пласта;

α — угол падения пласта;

β_1 и β_2 — соответственно углы откосов карьера по висячему и лежачему бокам.

Для пологих пластов П. И. Городецкий рекомендует определять предельный коэффициент вскрыши по формуле

$$K = \frac{h}{m}(1 + \operatorname{ctg}\beta \operatorname{tg}\alpha) = \frac{C_п - C_о}{C_в}$$

где m — вертикальная мощность пласта;

h — вертикальная мощность вскрыши у нижней бровки вскрышного уступа.

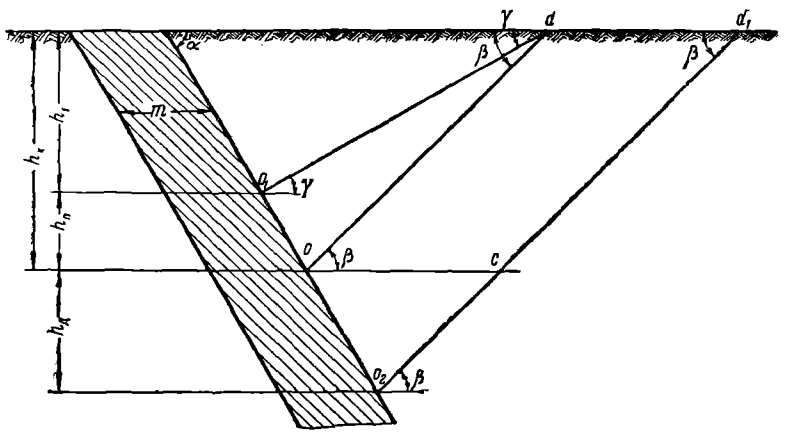


Рис. 6.

Из приведенного выражения видно, что предельный коэффициент вскрыши отличен от геологического коэффициента вскрыши (отношения глубины кровли пласта и его мощности), обычно наносимого на геологические карты в качестве изогипсов коэффициента вскрыши.

Для перехода от геологического коэффициента вскрыши к искомому предельному П. И. Городецким была составлена специальная таблица [3], а затем было рекомендовано с этой разницей не считаться [4].

Практически величина $(1 + \operatorname{ctg}\beta \operatorname{tg}\alpha)$ имеет определенное геометрическое значение и представляет собой приращение мощности вскрыши на участке между нижней и верхней бровками карьера.

На самом деле (рис. 7) основание треугольника ad_1c равно $h_1 \operatorname{ctg}\beta$ и приращение глубины oa равно $h_1 \operatorname{ctg}\beta \operatorname{tg}\alpha$.

Следовательно,

$$h_x = h_1(1 + \operatorname{ctg}\beta \operatorname{tg}\alpha),$$

где h_x — глубина кровли пласта у верхней бровки карьера.

Следовательно, предельный коэффициент соответствует отношению мощности вскрыши у верхней бровки пласта к вертикальной мощности пласта и для установления предельного положения карьера по пласту (по кровле) достаточно от изогипсы коэффициента вскрыши, соответствующей равенству стоимости из открытых и подземных работ, про-

вести на геологическом разрезе линию борта карьера до пересечения с кровлей пласта.

Таким образом, во всех трех перечисленных случаях предельный коэффициент вскрыши представляет собой отношение расстояния от границы карьера на поверхности до пласта к мощности последнего. Из этого можно вывести следующее простое правило: для определения предельных границ карьера при отсутствии заоткоски лежачего бока и пра-

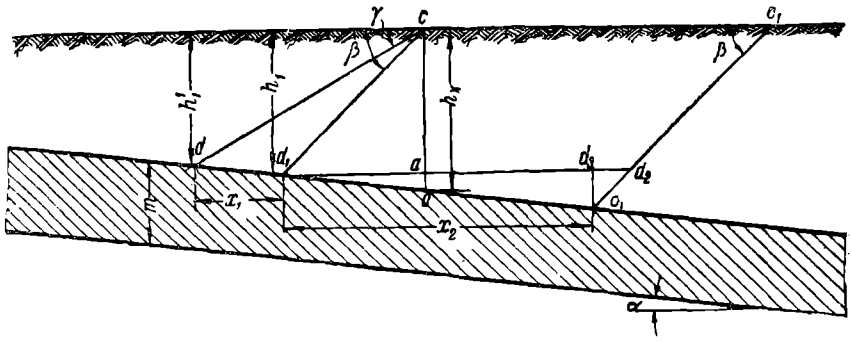


Рис. 7.

вильном залегании пласта постоянной мощности, т. е. в тех случаях, когда возможно применение аналитического метода достаточно: 1) построить на поверхности линии равного коэффициента вскрыши; 2) от

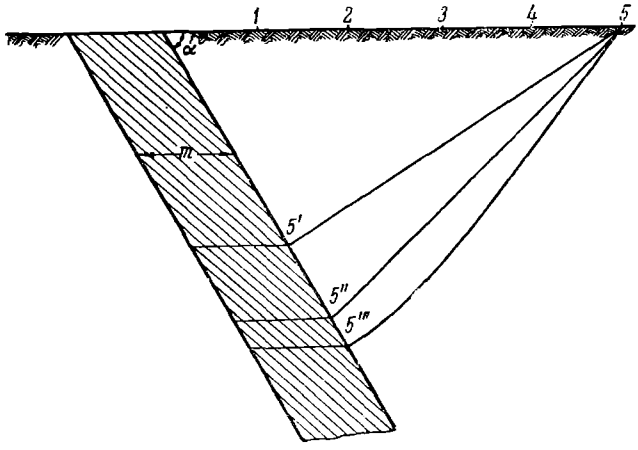


Рис. 8.

соответствующей точки в плоскости разреза провести линию (или профиль) заоткоски борта карьера при его погашении. Пересечение этой линии или кривой (рис. 8, линии *5—5'*; *5—5''* и *5—5'''*) с кровлей пласта и определит искомое предельное положение нижней бровки карьера по кровле пласта.

При определении границы открытых работ по целочисленным величинам, исходя из отработки карьера уступами одинаковой высоты, приходится несколько изменить формулу для подсчета предельной глубины открытых работ. Здесь приращение вскрыши при углублении карьера

на один уступ и увеличении их числа до n уступов высотой h_y (от $n-1$ уступов) будет равно

$$\left[\frac{n^2h_y^2}{2}-\frac{(n-1)^2h_y^2}{2}\right](\operatorname{ctg}\alpha+\operatorname{ctg}\beta)=\left(nh_y^2-\frac{h_y^2}{2}\right)(\operatorname{ctg}\alpha+\operatorname{ctg}\beta).$$

Если учесть увеличение запасов на mh_y и зависимость предельного коэффициента вскрыши от стоимостных параметров, то получим

$$K=\frac{C_п-C_o}{C_в}=\frac{nh_y-\frac{h_y}{2}}{m}(\operatorname{ctg}\alpha+\operatorname{ctg}\beta).$$

Далее предельная глубина работ

$$h_x=nh_y=\frac{C_п-C_o}{C_в}\frac{m}{\operatorname{ctg}\alpha+\operatorname{ctg}\beta}+\frac{h_y}{2} \qquad (7)$$

Таким образом, предельная глубина получалась больше на $\frac{h_y}{2}$. Это объясняется тем, что в данном случае предельный коэффициент вскрыши (определенный по тем же стоимостным параметрам, что и ранее) относится не к линии, а к конкретному объему (запасам, вскрыше) уступа и показывает, что здесь на результаты влияют не только геометрические, но и организационные факторы.

В. В. Ржевский показывает целесообразность усреднения объемов вскрыши с точки зрения сокращения расходов на оборудование [5], а границы карьера принимает заданнными или определенными по обычной, по-видимому, методике. Между тем в этом случае, очевидно, границы открытых работ также следовало бы расширить.

Проектировщики неоднократно замечали, что на границы открытых и подземных работ значительно влияет расхождение между углом бортов карьера при погашении и углом рабочих бортов во время эксплуатации, которое бывает значительным.

При нормальной работе одноковшевых экскаваторов без взрывных работ угол откоса рабочего борта обычно равен 30—35° При взрывных работах за счет разноса взорванной массы он уменьшается до 20—30°. При работе многочерпаковых экскаваторов этот угол находится в пределах 15—25°. Между тем, при погашении карьера средние углы для тех же условий не менее 45—55° в крепких породах и 40° в слабых, вынимаемых многочерпаковыми экскаваторами.

Таким образом, практически в начале эксплуатации карьер вынимает излишнюю вскрышу и работает с более высокой стоимостью, а затем объем вскрыши падает и карьер прекращает работу при уменьшающемся объеме вскрыши (стоимости угля), т. е. в условиях, не соответствующих принятым при определении его границ.

Иногда отработка вскрыши производится последовательно по горизонтам, начиная сверху с максимальным коэффициентом вскрыши, и тогда карьер принужден прекратить работу (все бермы погашены)— при отсутствии вскрыши.

Для иллюстрации разберем случай отработки крутопадающего пласта с углом падения α и погашения β и углом откоса рабочего борта при нормальной эксплуатации γ. Тогда вскрышные работы достигнут верхней границы карьера не при глубине h_x, а при меньшей — h_1, причем коэффициент работ в этот период, очевидно, будет равен предельному для карьера (рис. 6)

$$\frac{h(\operatorname{ctg}\beta+\operatorname{ctg}\alpha)}{m}.$$

Соотношение между этими глубинами

$$\frac{h_x}{h_1} = \frac{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\gamma}{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta}.$$

В дальнейшем, если отрабатывать карьер в пределах установленного контура, то объем вскрыши начнет значительно сокращаться.

В этом определенное противоречие положению, выдвинутому при выборе границ карьера. Если нельзя сокращать разнос рабочих бортов, то надлежит закрыть карьер на глубине h_1, так как стоимость в этот момент достигнет предельной. Если же можно вести работу с меньшим разносом уступов, то не следовало бы увеличивать объем вскрыши на верхних горизонтах.

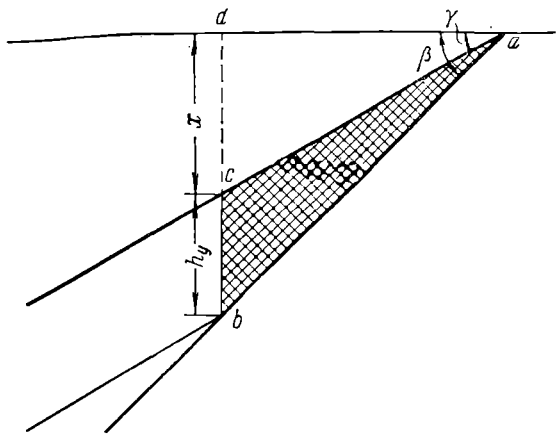


Рис. 9.

Для дальнейшей отработки карьера с запасами $(h_x - h_1)x$ остается объем вскрыши

$$\frac{h_x(h_x - h_1)(\operatorname{ctg}\beta + \operatorname{ctg}\alpha)}{2},$$

при коэффициенте вскрыши

$$\frac{h_x}{2m}(\operatorname{ctg}\beta + \operatorname{ctg}\alpha)$$

вдвое меньшем, чем предельный, и равном среднему коэффициенту вскрыши за все время отработки карьера. Такое положение допустимо только в том случае, если стоимость вскрыши при погашении будет значительно больше, чем при нормальном разносе бортов.

Увеличение стоимости оставшегося объема вскрыши будет вызвано тем, что вынимается часть вскрыши при сокращенных рабочих площадках.

В таких несколько худших условиях будет отрабатываться не вся вскрыша ниже глубины h_1, а лишь её объем на участке, непосредственно прилегающем к предельному положению борта карьера. Этот объем (рис. 9) в пределах одного уступа будет соответствовать площади треугольника *abc*, ограниченного линией рабочего борта (с углом γ к горизонту), линией погашения карьера (угол β) и откосом уступа (условно принят вертикальным).

Площадь этого треугольника

$$bc\frac{ad}{2} \text{ или } \frac{h_y(h_y + x)\operatorname{ctg}\beta}{2}.$$

Значение x найдем из треугольников *abd* и *adc*

$$x = ad\operatorname{tg}\gamma = (h_y + x)\operatorname{ctg}\beta\operatorname{tg}\gamma.$$

Окончательно

$$x = \frac{h_y \operatorname{ctg}\beta \operatorname{tg}\gamma}{1 - \operatorname{ctg}\beta \operatorname{tg}\gamma}.$$

После подстановки значения x и преобразований получим объем V_y, соответствующий ухудшенным условиям эксплуатации на одном уступе

$$V_y = \frac{h_y^2}{2}\left(1 + \frac{\operatorname{ctg}\beta \operatorname{tg}\gamma}{1 - \operatorname{ctg}\beta \operatorname{tg}\gamma}\right)\operatorname{ctg}\beta = \frac{h_y^2}{2(\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\gamma)}$$

Общий объем, вырабатываемый в «ухудшенных» условиях, можно найти, зная число уступов в пределах между горизонтами h_1 и h_x или отношение между числом уступов n'' ниже горизонта h_1 и числом уступов n', отработанных с нормальным разносом до горизонта h_1. Это отношение, исходя из отношения между глубинами

$$\frac{n''}{n'} = \frac{\operatorname{ctg}\gamma - \operatorname{ctg}\beta}{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta}$$

Если обозначить $h_x - h_1$ через $h_п$, то объем, отрабатываемый при сокращенной рабочей площадке с n'' уступами, равен

$$V_у' = \frac{n'' h_у^2}{2(\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\gamma)} \approx \frac{h_п h_у}{2(\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\gamma)}.$$

При $\alpha = 60°$; $\beta = 45°$; $\gamma = 30°$ получим $n' = 10$; $n'' = 5$

$$V_у' = \frac{5h_у^2}{2(\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\gamma)} = 6h_у^2.$$

Общий остаточный объем в этих условиях, как указано выше,

$$V = \frac{h_x(\operatorname{ctg}\beta + \operatorname{ctg}\gamma)(h_x - h_1)}{2} = \frac{10 \quad 5h_у^2(\operatorname{ctg}\beta + \operatorname{ctg}\gamma)}{2} = 57h_у^2.$$

Таким образом, в данных условиях при сокращенных рабочих площадках погашается лишь около 10% $\left(\frac{6}{57} \; 100\%\right)$ объема и для того, чтобы себестоимость угля достигала предельных значений и было основание закрыть карьер, стоимость этих 10% вскрыши из-за неудобства работ должна возрасти в 11 раз (коэффициент вскрыши ниже отметки h_1 равен половине предельного). Такого увеличения стоимости, очевидно, ожидать нельзя и, следовательно, при значительной разнице между углом рабочих бортов и углом погашения определять границу карьера по предельному коэффициенту вскрыши нельзя и к открытым работам необходимо прирезать какие-то дополнительные запасы угля и соответственный объем вскрыши.

Посмотрим, на какую дополнительную глубину $h_д$ можно разрабатывать карьер, если коэффициент вскрыши при дальнейшей отработке не превзойдет расчетного предельного.

Очевидно, дополнительный объем вскрыши должен равняться

$$h_x(\operatorname{ctg}\beta + \operatorname{ctg}\alpha)(h_x - h_1 + h_д),$$

и соответствовать площади $o_1dd_1o_2$ (рис. 6), состоящей из призмы с основанием $dd_1 = oc$ высотой h_x и двух треугольников odo_1 и o_2oc_1.

Суммарный объем этих трех участков соответственно равен

$$\frac{h_x(h_x - h_1)(\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta)}{2} + \frac{h_д^2(\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta)}{2} + h_x(\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta)h_д.$$

Тогда

$$h_x(\operatorname{ctg}\beta + \operatorname{ctg}\alpha)(h_x - h_1 + h_д) = (\operatorname{ctg}\beta + \operatorname{ctg}\alpha)\left[\frac{h_x(h_x - h_1)}{2} + \right.$$

$$\left. + \frac{h_д^2}{2} + h_д h_x\right],$$

откуда

$$h_д^2 = h_x(h_x - h_1), \text{ но } h_1 = h_x\frac{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta}{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\gamma}$$

и

$$h_д^2 = h_x^2 \frac{\operatorname{ctg}\gamma - \operatorname{ctg}\beta}{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\gamma}.$$

Таким образом, приращение глубины, если считать, что на стоимость вскрыши не влияет ширина рабочих площадок, составляет

$$h_д = h_x \sqrt{\frac{\operatorname{ctg}\gamma - \operatorname{ctg}\beta}{\operatorname{ctg}\gamma + \operatorname{ctg}\alpha}}, \qquad (8)$$

или (вывод опускаем)

$$h_д = h_п \sqrt{\frac{\operatorname{ctg}\gamma + \operatorname{ctg}\alpha}{\operatorname{ctg}\gamma - \operatorname{ctg}\beta}} \qquad (8')$$

При ранее принятых углах бортов

$$h_д = h_x \sqrt{\frac{1{,}73 - 1}{1{,}73 + 0{,}58}} = 0{,}56 h_x \text{ или } h_д = 1{,}6 h_п.$$

Полная глубина карьера составляет 1,56 h_x, что обеспечивает приращение запасов в пределах 55%.

При пологих месторождениях дополнительные запасы, которые можно взять после перехода от работы с нормальным углом рабочего откоса к более крутому, можно определить аналогично.

При подходе рабочего уступа к границе карьера остаточный объем вскрыши (рис. 7) характеризуется площадью треугольника dcd_1, которая соответствует разнице площадей треугольников odc и od_1c и составляет

$$V = \frac{h_x^2}{2}\left(\frac{1}{\operatorname{tg}\gamma + \operatorname{tg}\alpha} - \frac{1}{\operatorname{tg}\beta + \operatorname{tg}\alpha}\right) = \frac{h_x^2}{2} \frac{\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\gamma}{(\operatorname{tg}\gamma + \operatorname{tg}\alpha)(\operatorname{tg}\beta + \operatorname{tg}\alpha)}.$$

Объем полезного ископаемого, соответствующий этой вскрыше, очевидно, равен mx_1, где x_1 — разница высот тех же треугольников

$$x_1 = h_x \frac{\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\gamma}{(\operatorname{tg}\gamma + \operatorname{tg}\alpha)(\operatorname{tg}\beta + \operatorname{tg}\alpha)},$$

и коэффициент вскрыши при дальнейшей отработке карьера (погашении) вдвое меньше предельного

$$k = \frac{V}{mx} = \frac{h_x}{2m}$$

В этом случае также целесообразно прирезать дополнительный объем, соответственно отработав карьер до какой-то изолинии вскрыши, до которой будет сохранен предельный коэффициент вскрыши $k = \frac{h_x}{m}$. Этот объем вскрыши соответствует сумме площадей (рис. 7): треугольника dcd_1, призмы $cc_1d_1d_2$ (высота ca, основание d_1d_2) и треугольника $d_1o_1d_2$ (основание d_1d_2, высота o_1d_3). С другой стороны, поскольку при расширении границ карьера запасы увеличатся на $(x_1 + x_2)m$, то и объем вскрыши должен соответственно равняться $(x_1 + x_2)h_x$, где x_2 — проекция линии d_1o_1 (основания четырехугольника $cc_1d_1o_1$) на горизонтальную плоскость.

Высота призмы dcc_1d_2

$$h_x - ao = \frac{h_x}{1 + \operatorname{ctg}\beta \operatorname{tg}\alpha}$$

её основание

$$dd_2 = x_2(1 + \operatorname{tg}\alpha \operatorname{ctg}\beta)$$

и площадь $h_x x_2$.

У треугольника $d_1o_1d_2$ (основание то же) высота

$$o_1d_3 = x_2 \operatorname{tg} \alpha$$

и площадь

$$\frac{x_2^2 \operatorname{tg} \alpha (1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{ctg} \beta)}{2}$$

Площадь треугольника dcd_1 как разница площадей треугольников doc и d_1oc равна

$$\frac{h_x x_1}{2}$$

где

$$x_1 = (h_1 \operatorname{ctg} \gamma - h_1 \operatorname{ctg} \beta)$$

или

$$x_1 = \frac{h_x (\operatorname{ctg} \gamma - \operatorname{ctg} \beta)}{(1 + \operatorname{ctg} \gamma \operatorname{tg} \alpha)(1 - \operatorname{ctg} \beta \operatorname{tg} \alpha)}.$$

Тогда

$$(x_1 + x_2) h_x = \frac{x_1 h_x}{2} + h_x x_2 + \frac{x_2^2 \operatorname{tg} \alpha (1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{ctg} \beta)}{2}$$

Далее

$$\frac{x_1 h_x}{2} = \frac{x_2^2 \operatorname{tg} \alpha (1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{ctg} \beta)}{2}.$$

Отсюда после преобразований и замены x_1

$$x_2 = x_1 \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \beta \operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \gamma}} \qquad (9)$$

или

$$x_2 = \frac{h_x}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \alpha} \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \beta \operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tg}^2 \alpha}} \qquad (9')$$

При $\alpha = 6°$; $\beta = 45°$; $\gamma = 30°$

$$x_2 = x_1 \sqrt{\frac{1}{0{,}1} \frac{0{,}58 + 0{,}1}{1 - 0{,}58}} = 4x_1.$$

Соответственно

$$x_2 \cong 2h_x.$$

Увеличение запасов составляет около 55% от ранее отведенных, считая от выхода пласта (расчет опускаем). Из приведенного видно, что и при пологом падении увеличение запасов также значительное, особенно, если учесть, что при расчете нами взяты более крутые углы, чем это принято на практике.

Как показывают приведенные примеры, разница между рабочими углами борта карьера и углом погашения вызывает значительное уменьшение вскрыши в последние годы работы карьера, что дает основание к пересмотру границ между подземными и открытыми работами в сторону значительного увеличения запасов открытых работ без увеличения стоимости полезного ископаемого.

Из изложенного видна условность существующей методики определения границ карьера, построенной на положении, что при определении стоимости открытых работ надлежит ориентироваться на предельный коэффициент вскрыши, соответствующий предельной глубине. Это правильно только при отработке вскрыши по графику, полностью отражаю-

щему геометрическое увеличение коэффициента вскрыши и, кроме того, при разносе рабочих уступов под углом, равным или близким углу погашения. Во всех остальных случаях, а таких большинство, карьер практически будет закрыт раньше, чем его технические показатели уравняются с показателями добычи из подземных работ.

Таким образом, общепринятое положение о переходе на подземные работы, когда себестоимость открытых работ достигнет стоимости подземных, для ряда случаев превращается в неправильное указание: переходить к погашению карьера, как только себестоимость угля (руды) достигнет стоимости подземной добычи, даже когда при дальнейшей отработке стоимость открытых работ останется такой же, а в отдельных случаях ниже, чем подземных. Это можно объяснить тем, что в общепринятую методику сравнения открытых и подземных работ в неясной форме заложен определенный порядок отработки вскрыши, *наименее выгодный для открытых работ* и соответствующий исключительно геометрическому изменению отношения приращения вскрыши к обнажаемым запасам и, как правило, не отвечающий принимаемой организации вскрышных и добычных работ.

Это можно видеть, если обозначить через h_y мощность вскрыши одновременно отрабатываемой и при выводе формулы (7) заранее заменить nh_y на h_x и вынести h_x за скобку. Тогда

$$\frac{C_п - C_о}{C_в} = \frac{h_x\left(1 - \frac{h_y}{2h_x}\right)}{m}(\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta),$$

и, наконец,

$$h_x = \frac{C_п - C_о}{C_в}\cdot\frac{m}{(\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta)\left(1 - \frac{h_y}{2h_x}\right)}. \qquad (10)$$

Область применения этой формулы ограничивается значениями $h_y = 0$ и $h_y = h_x$.

При $h_y = 0$ (теоретические условия — углубление карьера „тонкой стружкой") формула (10) превращается в формулу П. И. Городецкого, выведенную по предельному геометрическому коэффициенту вскрыши.

При $h_y = h_x$, что соответствует отработке месторождения сразу на всю глубину (разработка участков с незначительными запасами, отрабатываемыми за год—два), глубина работ определяется по среднему коэффициенту вскрыши $\frac{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta}{2m}$

Предельный коэффициент необъективно ухудшает показатели открытых работ, а средний, наоборот, необоснованно их улучшает.

Из изложенного видно, что границы открытых работ должны отвечать не предельному (геометрическому) коэффициенту вскрыши, как в настоящее время принято, и не среднему геометрическому коэффициенту вскрыши (такие предложения были), а эксплуатационному, который зависит от организации работ и влияет на изменение показателей открытых работ.

Предложенные нами формулы (7) — (10) предназначены для предварительного определения границ карьера и возможного прироста запасов, а также для проверки необходимости уточнения границ карьера, полученных по формулам или на основании коэффициентов вскрыши, полученных графически. Определять по ним точные границы карьера не обязательно, так как последние получаются сами собой при составлении

календарного плана отработки за пределами условной границы и анализа полученных экономических показателей. Такой календарный план отразит порядок отработки вскрыши, перераспределение объемов, связанное с улучшением использования оборудования и организации работ и влияние углов откоса.

В свое время в Ленгипрошахте в ряде проектов (Тюльган № 1, Ворошиловский, Хайчжоу и др.) после уточнения расположения уступов и распространения календарного плана отработки всего месторождения или участков за пределами ранее намеченных границ контур карьера был значительно расширен и в одном случае (Тюльган) все запасы, оставляемые для подземных работ, были включены в запасы карьера.[1]

Это показывает, что широко распространенная практика построения «контура карьера после его отработки», в сочетании с составлением календарного плана только в этих границах, неправильна, а в ряде случаев даже вредна, так как может привести к преждевременному переходу на подземные работы или вызвать необходимость трудоемкой реконструкции.[2]

Можно полагать, что эти недостатки общепринятого порядка определения границы открытых работ являются результатом *подхода к ликвидации карьера не с позиций эксплуатационника, закрывающего карьер* по истечении значительного времени, *а с точки зрения проектировщика,* считающего принятые решения неизменными и не учитывающего показателей открытых работ к моменту перехода на подземные.

Максимально целесообразное извлечение запасов открытыми работами связано с сохранением значительных государственных ресурсов и повышением безопасности труда и не может быть задачей только проектировщиков, как бы ни были близки проектные решения к конкретным горнотехническим данным и применяемым организации и механизации работ. Поэтому во время эксплуатации необходимо проведение ряда специальных мероприятий, вызванных условностью проектных решений и обеспечивающих возможность внесения изменений, связанных с улучшением организации и механизации работ, а также осуществление повседневного контроля за их выполнением.

Задача, стоящая перед проектировщиками, связана с приближением методики выбора границ открытых работ к конкретным условиям эксплуатации, а также с расширением и уточнением используемых при расчетах экономических показателей,[3] с учетом, кроме того, положения оставляемых за границами запасов и ожидаемых сроков начала подземной угледобычи.

На практике, как правило, подземная добыча начинается после ликвидации на данном участке открытых работ и лишь в отдельных случаях при разработке прочных руд открытые работы ведутся одновременно с подземными, расположенными ниже по падению.

Разработка угольных пластов одновременно подземными и открытыми работами встречается очень редко и ограничивается выемкой запасов за неподвижными бортами: нерабочим бортом (параллельным фронту) и торцевыми. Это объясняется тем, что ведение подземных работ ниже (по падению) действующего угольного карьера осуществимо только при очень пологом залегании пласта, а также возможностью

---

[1] Это и послужило основанием к настоящему исследованию.

[2] Можно думать, что в известной степени, с недоучетом условности «предельного контура карьера» связана и преждевременная ликвидация открытых работ в Кривом Роге и реконструкции карьеров Ураласбеста.

[3] Вопрос о выборе устойчивых углов откоса и их изменение с глубиной является самостоятельной задачей.

широкого форсирования угледобычи карьеров и высокой их эффективностью по сравнению с подземной добычей. Чаще, наоборот, ввод в эксплуатацию карьера вызывает сокращение подземной угледобычи и даже ликвидацию отдельных шахт.

В соответствии с этим требуется: 1) более точное определение положения нерабочего борта карьера, от которого начинается развитие работ (одностороннее) и который является фиксированной границей; 2) менее точное определение торцов карьера и границы карьера по падению, так как эти границы в процессе эксплуатации могут быть пересмотрены, если закладка шахты и карьера не производится одновременно (тогда все границы должны быть строго фиксированными).

Поскольку нерабочий борт карьера при односторонней отработке обычно служит бортом разрезной траншеи, вынимаемой во время строительства, его положение может выбираться обычным путем, исходя из коэффициента вскрыши, с учетом изменения начального объема вскрышных работ при перемещении траншеи и попутной добычи, а также разницы в стоимости вскрыши во время строительства и эксплуатации. Здесь в целях ускорения начала ввода карьера можно ориентироваться на более низкий коэффициент вскрыши, особенно, если в проекте предусматривать выемку оставленного угля (например, шнекобуровыми машинами).

Вопрос о возможности применения постоянных или переменных стоимостных параметров также следует решать дифференцированно, имея в виду, что увеличение стоимости открытых работ растет с глубиной главным образом за счет увеличения коэффициента вскрыши и возрастания стоимости ее транспорта, тогда как увеличение «чистой» стоимости добычи полезного ископаемого из подземных и открытых работ происходит более или менее равномерно. Поэтому при постоянной стоимости угля подземных и открытых работ следует принимать стоимость вскрыши постоянной для сравнительно неглубоких карьеров и переменной для глубоких. Считать же, как рекомендует, например, А. С. Фиделев, стоимость подземных работ постоянной, а стоимость угля и вскрыши открытых работ переменной недопустимо.

Выводы

Чтобы обеспечить открытым работам запасы, соответствующие их преимуществам и перспективам, и ликвидировать последствия существовавшей ранее недооценки роли открытых работ, необходимо следующее.

I. При проектировании:

1. Расширить количество показателей сравнительной эффективности открытых и подземных работ, включив в список обязательно рассматриваемых факторов: себестоимость, производительность труда (трудоемкость), травматизм (по видам), потери в недрах, расход основных материалов.

2. При сопоставлении экономической эффективности открытых и подземных работ рекомендовать:

а) для неглубоких карьеров (до 50—100 *м*) и при установлении положения нерабочего борта (во всех случаях) принимать все показатели как открытых, так и подземных работ постоянными, не зависящими от глубины;

б) для глубоких карьеров показатели по выемке полезного ископаемого считать постоянными, а показатели по вскрыше принимать зависящими от глубины, определяя их по практическим данным или аналитически;

в) стоимость затрат на строительство карьера не выделять.

3. Подсчеты изменения стоимости и трудоемкости открытых работ продолжать за пределы условной границы и определять из календарного плана отработки вскрыши, учитывающего влияние углов откоса во время работы и при погашении, а также перераспределение объемов вскрыши, принятого по условиям механизации и организационным причинам.

4. При одновременной разработке карьера шахтой и карьером увеличивать запасы полезного ископаемого между подземными и открытыми работами сверх размеров, требуемых по условиям безопасности.

II. При эксплуатации карьера в связи с неизбежным изменением экономических показателей и организации работ:

1. Запретить погашение транспортных берм и обеспечить на верхних горизонтах наличие площадок, достаточных для возобновления вскрышных работ.[1]

2. На поверхности между предельными границами карьера и зоной застройки (во избежание сноса сооружения) оставлять достаточно большие бермы.

III. Для проведения намеченных мероприятий, связанных с уточнением порядка ведения карьерных работ и строительства:

1. В правилах технической эксплуатации карьеров оговорить:

а) необходимость оставления и сохранения на верхних уступах берм, достаточных для возобновления вскрышных работ;

б) запрещение строительства вблизи отвода карьера и установление достаточно большой охранной зоны;

в) увеличение целиков между открытыми и подземными работами (при одновременном их ведении), имея в виду возможное расширение (углубление) карьера;

г) необходимость отработки запасов за нерабочим бортом, (например, шнеко-буровыми машинами).

IV. В связи с тем, что эти мероприятия преследуют увеличение добычи более безопасным способом работ, обеспечивающим, кроме того, сокращение потерь, контроль за их осуществлением целесообразно включить в круг обязанностей Госгортехнадзора.

Выполнение намечаемых нами предложений, кроме введения единообразия в проектировании карьеров и повышения внимания к преимуществам открытых работ, надо полагать, предотвратит возможность несвоевременного закрытия карьера и приведет к реальному увеличению запасов, отводимых открытым работам, до минимума сократив травматизм среди шахтеров и уменьшив потери в недрах.

Использованная литература

1. Фиделев А. С. Оконтуривание месторождений для комплексно-механизированных карьеров. Изд. АН УССР, 1950; изд. II, 1953.

2. Фиделев А. С. Метод оконтуривания месторождений полезных ископаемых, разрабатываемых комплексно-механизированными карьерами. Автореферат докторской диссертации. Изд. АН УССР, 1949.

3. Городецкий П. И. Проектирование горнорудных предприятий. Металлургиздат, 1949.

4. Городецкий П. И. Основы проектирования горнорудных предприятий. Металлургиздат, 1955.

5. Ржевский В. В. Календарное планирование объемов вскрышных работ на карьерах. Горный журнал, № 9, 1956.

---

[1] Погашение берм на верхних горизонтах неизбежно вызывает преждевременное закрытие карьера (например, Ураласбест, Кривой Рог).