

УДК 622.013.3; 622.276.6

А.И. Косолапов, А.И. Пташник

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ
ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ
МОЩНОСТИ КАРЬЕРОВ ПРИ ЭТАПНОЙ РАЗРАБОТКЕ
КРУТОПАДАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Рассмотрены вопросы управления развитием рабочей зоны карьера, разработан алгоритм действий и приведена методика оценки возможного приращения производственной мощности карьера при этапной разработке крутопадающих месторождений в условиях рыночной экономики

Ключевые слова: интенсификация производственной мощности, режим горных работ, этапная разработка месторождений.

Основным показателем, определяющим масштаб производства и его интенсивность, является производственная мощность. Исследованиями [1, 2, 3, 4] доказано, что эффективность открытой разработки месторождения максимальна при постоянном значении производственной мощности за оцениваемый период работы карьера. Вместе с тем, опыт работы горных предприятий в современных условиях показывает, что при отсутствии стабильного объема заказов на добываемую продукцию, данный подход не совсем корректен. Поэтому, адаптация горнодобывающего производства к требованиям рынка, является актуальной научно-практической задачей, которая сводится к установлению рационального режима горных работ. Опыт разработки месторождений свидетельствует о том, что из-за инерционности горного производства, синхронизация производственной мощности карьера с величиной спроса, частично достигается за счёт прогнозирования поведения рынка. Инерционность в данном случае predetermined принятым порядком развития рабочей зоны карьера, мобильностью горного оборудования и значительными затратами времени на поставку и его монтаж. Все это указывает о необходимости ориентирования предприятия на внутренние ресурсы при интенсификации его производственной мощности.

Обычно, при проектировании глубоких карьеров, предпочтение отдают этапной разработке с формированием временно нерабочих бортов (ВНБ) [5, 6]. При этом величина производственной мощности ограничивается скоростью углубки карьера, площадью добычного участка рабочей зоны, количеством и единичной мощностью комплексов оборудования и его концентрацией. При этапной разработке (рис. 1) рабочая зона карьера состоит из двух частей [5]:

- основной, обеспечивающей добычу запланированного объема руды;
- зоны разноса ВНБ.

Горные работы для поддержания производственной мощности ведут одновременно в обеих частях.

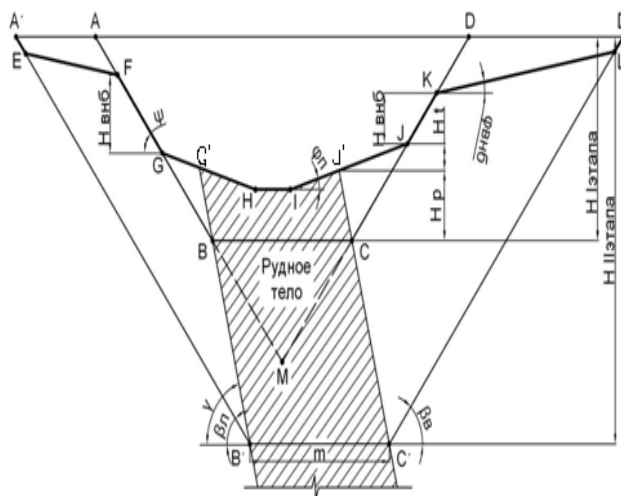


Рис. 1. Принципиальная схема рабочей зоны при поэтапной разработке

Опыт работы карьеров свидетельствует, что высота ВНБ варьирует по мере понижения горных работ, а за счет ее изменения и регулирования угла наклона можно исключить случаи выбытия производственной мощности при сползании ВНБ в добычную зону, что способствует уменьшению последней. Управление развитием рабочей зоны является сложнейшей задачей, требующей соответствующей квалификации, как проектировщиков, так и производственников, осуществляющих среднесрочное календарное планирование.

Автором работы [7] для определения максимальной высоты ВНБ, соответствующей текущей глубине карьера, предложена следующая зависимость:

$$H_{\text{ВНБ}} = H_t \frac{v_{\text{ВНБ}}(\text{ctg}\varphi_{\text{П}} - \text{ctg}\psi) - v_{\text{П}}(\text{ctg}\varphi_{\text{ВНБ}} - \text{ctg}\psi)}{h_r(\text{ctg}\psi \pm \text{ctg}\gamma)\text{ctg}\varphi_{\text{П}} - \text{ctg}\psi}, \text{ м} \quad (1)$$

где H_t – высота рабочего борта по породе на участке между контактом рудного тела и нижним основанием ВНБ, м; $v_{\text{ВНБ}}$, $v_{\text{П}}$ – скорость подвигания рабочего борта соответственно на участке разноса ВНБ и под ним, м/год; ψ – угол наклона ВНБ, град.; $\varphi_{\text{П}}$ и $\varphi_{\text{ВНБ}}$ – угол наклона рабочего борта под ВНБ и на участке разноса ВНБ, град.; γ – угол падения рудного тела, град.; h_r – скорость углубки карьера, м/год.

В формуле (1) $\text{ctg}\gamma$ принимаем со знаком плюс при расположении ВНБ со стороны висячего бока залежи и знаком минус – со стороны лежащего бока.

Основные параметры управления высотой ВНБ – это скорость понижения горных работ по его разному (h_r) и угол его наклона (ψ). Величина последнего обусловлена технологией расконсервации ВНБ и обеспечивает безопасность ведения горных работ в добычной зоне. Для оценки изменения высоты ВНБ от управляющих параметров и во времени, смоделировано развитие рабочей зоны, соответствующей реальному объекту с $h_r = 20$ м/год. Результаты моделирования приведены в виде графиков на рис. 2 и 3.

Анализ графиков на рис. 2 позволяет сделать вывод о том, что предельная высота ВНБ более заметно возрастает при увеличении скорости разноса и в меньшей степени зависит от угла ВНБ. Максимальная интенсивность прираще-

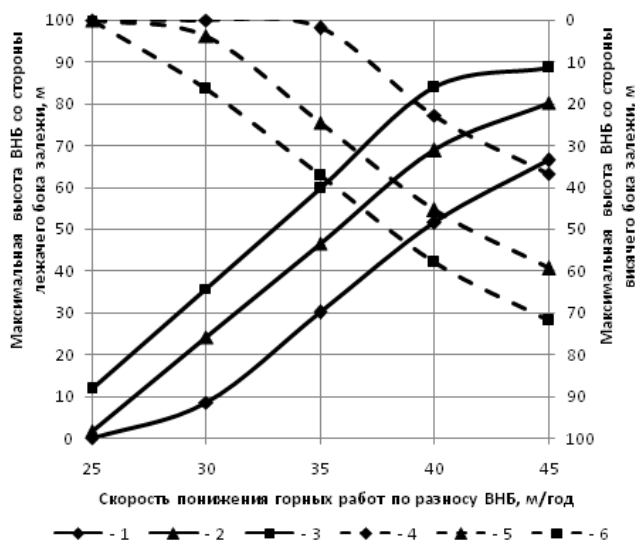


Рис. 2. Зависимость $H_{\text{внб}}=f(h_p)$ при угле наклона ВНБ: 1, 3 - 40°; 2, 4 - 50°; 3, 6 - 60°; 1, 2, 3 – ВНБ со стороны лежачего бока залежи; 4, 5, 6 – ВНБ со стороны висячего бока залежи

этом случае ее решение состоит в оперативном установлении потенциальных возможностей по интенсификации, а именно в количественном определении величины возможного приращения производственной мощности и продолжительности периода последнего.

В первую очередь, для оперативной оценки потенциальных возможностей по интенсификации, необходимо определить по выражению (1) максимально допустимую высоту ВНБ для текущей глубины карьера и параметров системы разработки, и сравнить её с существующей на карьере. Если значение высоты ВНБ меньше максимально допустимой, то возможно приращение производственной мощности без ввода дополнительных комплексов горно-транспортного оборудования (ГТО), без выбытия в последующем производственной мощности. При этом моментом прекращения наращивания мощности, является условие, когда существующая высота ВНБ достигнет своего максимально допустимого значения для текущей глубины карьера. Во всех остальных случаях необходим ввод дополнительных комплексов ГТО.

Ниже рассмотрены возможные случаи интенсификации производственной мощности карьера, причём для первых двух случаев общим условием является исключение выбытия производственной мощности в последующем. Во всех случаях интенсификация производственной мощности предусматривается за счёт внутренних ресурсов предприятия, т.е. за счёт переноса части вскрышного оборудования в добычную зону.

1. Известна проектная производственная мощность $A_{\text{п}}$ и задана требуемая величина ее приращения $\Delta A_{\text{п}}$. Необходимо определить продолжительность

ния объёмов консервации вскрышных пород, отнесённая к текущей глубине карьера, соответствует области значений глубины, характерной переходу от одного этапа к следующему (рис. 3). Следует отметить, что разработка эффективной технологии расконсервации ВНБ, сформированных под крутым углом, создаёт положительные предпосылки для интенсификации производственной мощности карьера [8].

Однако, решение задачи по управлению развитием рабочей зоны усложняет вариация производственной мощности во времени соразмерно спросу. В

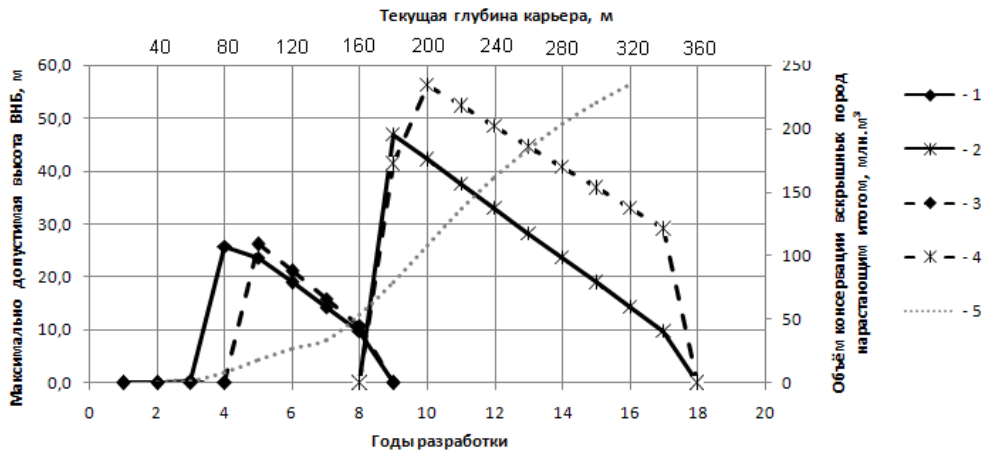


Рис. 3. Временная динамика высоты ВНБ (1, 2, 3, 4) и объёмов консервации вскрыши (5): 1, 2 – при формировании ВНБ со стороны лежачего бока залежи соответственно между I – II и II – III этапами разработки; 3, 4 – при формировании ВНБ со стороны висячего бока залежи соответственно между I – II и II – III этапами разработки

работы карьера Т с заданной ($A_{\text{п}} + \Delta A_{\text{п}}$) производственной мощностью в пределах этапа разработки, количество $N_{\text{э}}$ и срок ввода T^1 ГТО.

2. Известна проектная производственная мощность $A_{\text{п}}$, возможное количество дополнительных комплексов ГТО $N_{\text{э}}$ и срок его ввода T^1 . Необходимо определить величину возможного приращения производственной мощности $\Delta A_{\text{п}}$ и продолжительности работы карьера Т в пределах этапа разработки с производственной мощностью ($A_{\text{п}} + \Delta A_{\text{п}}$).

3. Известна проектная производственная мощность $A_{\text{п}}$ и задана величина её приращения $\Delta A_{\text{п}}$. Необходимо определить продолжительность работы карьера Т с заданной производственной мощностью ($A_{\text{п}} + \Delta A_{\text{п}}$) в пределах этапа разработки до момента полного выбытия производственной мощности, при условии, что ГТО дополнительно вводиться не будут.

Далее, приведена методика установления показателей по вышеописанным вариантам.

1 случай. В начале рассчитываем скорость углубки карьера $h_{\text{г}}$ для заданной производственной мощности ($A_{\text{п}} + \Delta A_{\text{п}}$):

$$h_{\text{г}} = \frac{A_{\text{п}} + \Delta A_{\text{п}}}{mL\rho \frac{1-\eta}{1-\nu}}, \text{ м/год} \quad (2)$$

где m – горизонтальная мощность рудного тела, м; L – длина залежи, м; ρ – плотность руды, т/м^3 ; η – потери руды, д.ед.; ν – разубоживание руды, д.ед.

Затем, определяем расстояние по вертикали $H_{\text{р}}$ (рис. 1):

$$H_{\text{р}} = Ht \frac{\text{ctg}\varphi_{\text{п}} - \text{ctg}\psi}{\text{ctg}\psi \pm \text{ctg}\gamma}, \text{ м} \quad (3)$$

где φ_{Π} – угол наклона рабочего борта, град.; ψ – угол наклона ВНБ, град.; γ – угол падения рудного тела, град.

Тогда, продолжительность работы карьера T с заданной производственной мощностью ($A_{\Pi} + \Delta A_{\Pi}$) в пределах этапа разработки:

$$T = \frac{H_p}{h_r}, \text{ лет} \quad (4)$$

Вертикальную скорость наращивания ВНБ со стороны лежачего и висячего боков залежи находим по формуле

$$h_{нар} = \frac{h_r(ctg\varphi_{\Pi} \pm ctg\gamma)}{ctg\varphi_{\Pi} - ctg\psi}, \text{ м/год} \quad (5)$$

В формулах (3) и (5) $ctg \gamma$ принимается со знаком плюс при формировании ВНБ со стороны висячего бока залежи и минус – со стороны лежачего бока.

Исходя из условия исключения выбытия достигнутой производственной мощности ($A_{\Pi} + \Delta A_{\Pi}$) можно записать следующее выражение:

$$h_{ВНБ} + h_{нар}T - h_{раз}T \leq 0 \quad (6)$$

где $h_{ВНБ}$ – существующая высота ВНБ к моменту приращения производственной мощности; $h_{раз}$ – вертикальная скорость разноса ВНБ.

Равенство левой части выражения (6) говорит о том, что к моменту понижения горных работ в добычной зоне на величину H_p за время T при существующей $h_{раз}$, ВНБ в границах этого этапа будет отработан. Если данное выражение < 0 , значит $h_{раз}$ необходимо уменьшить, в противном случае – увеличить.

Однако, при этом следует различать значения скоростей разноса соответствующие определенным периодам времени:

- а) $h_{раз}$ – до приращения производственной мощности;
- б) $h_{раз}^I$ – с начала приращения производственной мощности и до ввода дополнительного ГТО;
- в) $h_{раз}^{II}$ – после ввода дополнительного ГТО.

В общем случае, соответствующие скорости можно рассчитать по формулам:

$$h_{раз} = \frac{\sum Q_{ВСК}}{S}, \text{ м/год}$$

$$h_{раз}^I = \frac{\sum Q_{ВСК} - \sum Q_{ВСК}^{на доб}}{S}, \text{ м/год} \quad (8)$$

$$h_{раз}^{II} = \frac{\sum Q_{ВСК} - \sum Q_{ВСК}^{на доб} + \sum Q_{ВСК}^{ввод}}{S}, \text{ м/год} \quad (9)$$

где S – площадь горизонтальной проекции зоны разноса ВНБ; $\sum Q_{ВСК}$ – суммарная эксплуатационная производительность вскрышных экскаваторов занятых на разносе ВНБ до приращения производственной мощности, м³/год; $\sum Q_{ВСК}^{на доб}$ – суммарная эксплуатационная производительность вскрышных экскаваторов, перенесенных с разноса ВНБ на добычные работы, м³/год; $\sum Q_{ВСК}^{ввод}$ – суммарная эксплуатационная производительность введенных вскрышных экскаваторов на разнос ВНБ, м³/год.

Следующим шагом, определяем величину суммарной эксплуатационной производительности вскрышных экскаваторов $\sum Q_{ВСК}^{на доб}$ которые необходимо

перенести с разнеса ВНБ на добычные работы при приращении производственной мощности на величину $\Delta A_{\text{ПИ}}$:

$$Q_{\text{ВСК}}^{\text{надоб}} = \frac{\Delta A_{\text{ПИ}}}{\rho \frac{1-\eta}{1-\nu}} K', \text{ м}^3 \quad (10)$$

где $K' > 1$ - коэффициент, учитывающий снижение эксплуатационной производительности вскрышных комплексов оборудования на добычных работах.

С учетом вышеизложенного, выражение (6) можно записать следующим образом:

$$h_{\text{ВНБ}} + h_{\text{нар}} T = h_{\text{раз}}^I T^I + h_{\text{раз}}^{II} (T - T^I) \quad (11)$$

где T^I - период времени от начала приращения производственной мощности до ввода дополнительного ГТО, лет.

Минимальное значение T^I определяем из затрат времени на закупку, поставку и монтаж ГТО. В свою очередь максимальному значению T^I соответствует минимальное значение $(T - T^I)$, которое в этом случае будет ограничено максимально возможной скоростью разнеса $h_{\text{раз}}^{\text{max}}$, определяемой по условию компактной расстановки оборудования:

$$h_{\text{раз}}^{\text{max}} = \frac{Q_{\text{ВСК}} N_{\text{max}}}{S}, \text{ м/год} \quad (12)$$

где $Q_{\text{ВСК}}$ - эксплуатационная производительность экскаватора, достигаемая в условиях работы с высокой концентрацией оборудования, $\text{м}^3/\text{год}$; N_{max} - максимально возможное количество экскаваторов в добычной зоне по условию размещения, ед.

Следовательно,

$$h_{\text{раз}}^{\text{max}} \geq h_{\text{раз}}^{II} = \frac{h_{\text{ВНБ}} + h_{\text{нар}} T - h_{\text{раз}}^I T^I}{T - T^I} \quad (13)$$

Тогда, количество вводимых экскаваторов $N_{\text{Э}}$ на разнос ВНБ можно рассчитать по формуле:

$$N_{\text{Э}} = \frac{h_{\text{раз}}^{II} S}{Q_{\text{ВСК вввод}}}, \text{ ед} \quad (14)$$

где $Q_{\text{ВСК.ввод}}$ - эксплуатационная производительность вводимого экскаватора, $\text{м}^3/\text{год}$.

Из вышеизложенного следует, что значения $N_{\text{Э}}$ и T^I взаимосвязаны. Увеличение T^I приводит к росту $N_{\text{Э}}$. Затраты времени на закупку, поставку и монтаж ГТО равно минимальному значению T^I , а максимально возможная скорость разнеса $h_{\text{раз}}^{\text{max}}$ определяет максимум значения T^I .

2 случай. Решение задачи в такой постановке возможно методом вариантов. Задаем конкретную величину приращения производственной мощности и по формуле (2) определяем скорость углубки карьера $h_{\text{г}}$ и по формуле (10) величину $\sum Q_{\text{ВСК}}^{\text{на доб}}$. Затем по аналогии с первым случаем по формулам (3), (4) и (5) вычисляем значения $N_{\text{р}}$, T и $h_{\text{нар}}$.

Для заданного приращения производственной мощности $\Delta A_{\text{ПИ}}$ выполняем оценку по формуле (11). Если условие не выполняется, то путём подбора значения $\Delta A_{\text{ПИ}}$ обеспечиваем равенство левой и правой частей выражения (11).

Причём, если левая часть выражения (11) больше правой, то необходимо уменьшать, а в противном случае – увеличивать $\Delta A_{\text{пш}}$.

3 случай. Момент полного выбытия производственной мощности наступит тогда, когда ВНБ со стороны лежачего FG и висячего KJ боков залежи пересекутся в точке М (см. рис. 1). Площадь руды на разрезе (рис. 1), подлежащая отработке за это время, ограничена треугольником ВСМ и многоугольником ВСJING'. Умножение суммы их площадей на длину залежи по простиранию дает объём полезного ископаемого в целике (м^3), который можно извлечь до полного выбытия производственной мощности. Следовательно, продолжительность работы карьера Т в пределах этапа разработки до момента полного ее выбытия без ввода дополнительного ГТО, можно с достаточной точностью рассчитать по формуле

$$T = \frac{V_{\text{ц}} \rho \frac{1-\eta}{1-\nu}}{A_{\text{пш}} + \Delta A_{\text{пш}}}, \text{ лет} \quad (15)$$

где $V_{\text{ц}}$ - объём полезного ископаемого в целике, который может быть извлечён до момента полного выбытия производственной мощности, м^3 .

Таким образом, предложенная методика позволяет выполнить количественную оценку возможности интенсификации производственной мощности на крутопадающих месторождениях разрабатываемых этапами, обеспечивая при этом управляемое развитие рабочей зоны на вскрышных и добычных горизонтах при наличии временно нерабочих бортов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арсентьев А.И. Определение производительности и границ карьеров. 2-е изд. пер. и доп. – М.: Недра, 1970. – 319 с.
2. Мельников Н.В., Винницкий К.Е., Меньшов В.С., Реентович Э.И. Вопросы выбора производственной мощности карьера. – М.: Наука, 1971. – 166 с.
3. Новожилов М.Г. и др. Технологические параметры глубоких карьеров. – М.: Недра, 1982 – 175 с.
4. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Ч. 2. Технология и комплексная механизация. – М.: Недра, 1985. – 549 с.
5. Селянин В.Г. Интенсификация горных работ в глубоких карьерах. – М.: Недра, 1977. – 192 с.
6. Решение о выдаче патента на способ открытой разработки месторождений полезных ископаемых [Текст] / А.И. Косолапов, А.И. Пташник, Ю.П. Пташник. Заявка № (21)2010107719/03(010822), решение выдачи 01.03.2011.
7. Линева В.П. Определение параметров рабочей зоны карьера с участками временно нерабочего борта // Горный журнал. – 1986. - №5. – С. 15-17.
8. Решение о выдаче патента на способ расконсервации временно нерабочего борта карьера [Текст] / А.И. Косолапов, А.И. Пташник, Ю.П. Пташник. Заявка № (21)2010107653/03(010742), решение выдачи 03.03.2011. **ПАТБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Косолапов А.И. –

Паршина Елена Анатольевна – доктор экономических наук, профессор кафедры менеджмента производственной сферы ГВУЗ НГУ

