© Б.Р. Ракишев, Г.К. Саменов,
А.Е. Куттыбаев,
Ж.Н. Хамметова, 2007

УДК 622.271.04

Б.Р. Ракишев, Г.К. Саменов, А.Е. Куттыбаев,
Ж.Н. Хамметова

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ И ЧИСЛА УСТУПОВ НА ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Семинар № 16

Под рабочей зоной мы понимаем ту часть карьерного поля, в которой в рассматриваемый момент времени ведутся подготовительные, вскрышные и добычные работы в соответствующих выработках. С развитием горных работ в пространстве и времени эта часть карьера находится в постоянном движении и изменении вплоть до последовательной постановки рабочих уступов в промежуточное или предельное положение. Таким образом, рабочая зона представляет собой перемещающуюся и изменяющуюся по размерам и форме часть карьерного поля с течением времени [1].

Рабочая зона может охватить часть какого-либо борта, один, два или все борта карьера и состоять из зон вскрышных и добычных работ. Положения последних зависят от горно-геологических условий залегания полезных ископаемых, их геометрических размеров, технологий горных работ и принятого плана производства.

В условиях сложноструктурных месторождений не всегда могут быть достаточно четко выделены границы вскрышной и добычной зон. Поэтому в общей изменяющейся рабочей зоне можно выделить изменяющуюся по месту расположения, но стабильную по суммарной мощности добычную зону, в которой обеспечивается заданная производительность карьера по полезному ископаемому с учетом установленного режима выдачи раз-личных сортов руд.

Практикой горных предприятий установлено, что с ростом глубины карьеров увеличивается число рабочих уступов, так как снижаются запасы горных пород на отдельных уступах. Для того чтобы достичь установленной производительности по горной массе число рабочих уступов и длины фронтов работ должны обеспечить необходимый объем вскрытых и готовых к выемке запасов полезного ископаемого и вскрыши, рациональную расстановку принятого числа оборудования в карьере.

Таким образом, возникает необходимость в обосновании рациональных размеров рабочей зоны карьера, в первую очередь числа рабочих уступов, объемов вскрытых и готовых к выемке запасов горных пород.

Для решения этой проблемы рассмотрим взаимосвязь между параметрами рабочей зоны [2]. Элементами рабочей зоны являются рабочие уступы и рабочие площадки, а ее основные параметры: высота, ширина, угол откоса рабочего борта карьера, длина фронта работ каждого уступа, площади рабочих площадок, проекция рабочего борта на горизонтальную плоскость и объем породы в рабочей зоне в данный момент времени (см. рис. 1).

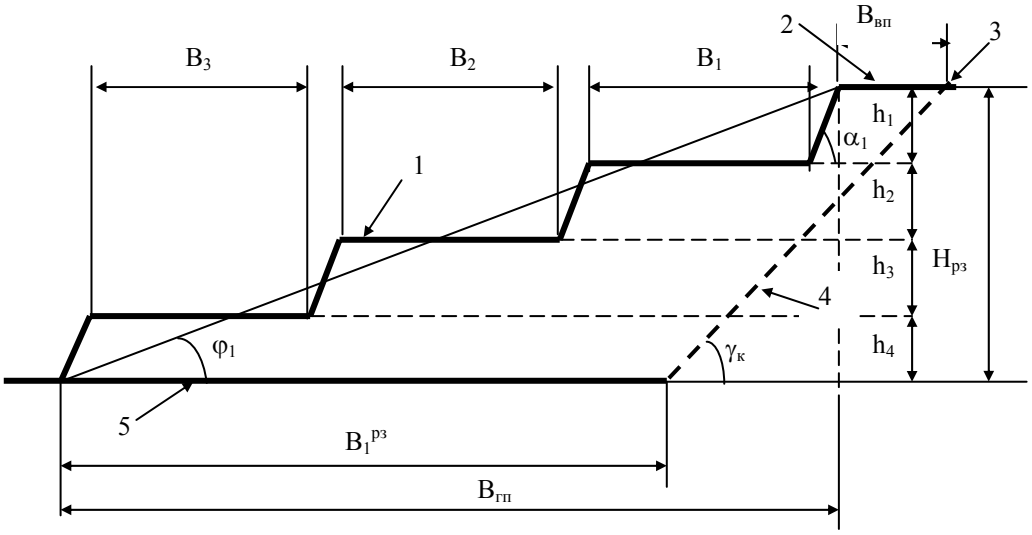

Рис. 1. Поперечный разрез рабочей зоны карьера: *1* – рабочий борт, *2* – верхняя площадка первого рабочего уступа, *3* – тыльная сторона верхней площадки первого рабочего уступа, *4* – текущий контур, *5* – основание самого нижнего рабочего уступа, т.е. рабочей зоны

Известно, что высота рабочей зоны (Нрз) равняется сумме высот (hμ) действующих (n) уступов, составляющих эту зону, т.е.:

$$H_{рз} = \sum_{\mu=1}^{n} h_{\mu} \quad . \qquad (1)$$

Все остальные искомые параметры рабочей зоны при известной Нрз являются функциями угла откоса рабочего борта карьера.

Последний показатель обычно определяется углом наклона линии, соединяющей нижнюю бровку нижнего и верхнюю бровку верхнего рабочих уступов, к горизонту [3, 4]. Этот угол для i-го положения поверхности рабочей зоны вычисляется по зависимости:

$$tg\varphi_i = \sum_{\mu=1}^{n} h_{\mu} \, / \left(\sum_{\mu=1}^{n-1} B_{\mu} + \sum_{\mu=1}^{n} h_{\mu} ctg\alpha_{\mu} \right), \qquad (2)$$

где Bμ – ширина рабочей площадки на μ-м уступе; αμ – угол откоса μ-го уступа.

Знаменатель выражения (2) представляет собой проекцию рабочего борта на горизонтальную плоскость, т.е.:

$$B_{гп} = \left(\sum_{\mu=1}^{n-1} B_{\mu} + \sum_{\mu=1}^{n} h_{\mu} ctg\alpha_{\mu} \right) . \qquad (3)$$

Следовательно,

$$tg\varphi_i = H_{рз}^{i} \, / \, B_{гп}^{i} .$$

Ширина рабочей зоны – расстояние между точками пересечений линий откосов рабочего борта и текущего контура рабочей зоны с плоскостью основания нижнего уступа на g-ом участке блока (по длине фронта работ) определяется по формуле (см. рис. 1):

$$B_{рз}{}^{i} = H_{рз}^{i} \left(ctg\varphi_i - ctg\gamma_k \right) + B_{вп} \qquad (4)$$

или

$$B_{рз}{}^{i} = B_{гп}^{i} + B_{вп} - H_{рз}^{i} ctg\gamma_k ,$$

где γк – угол откоса борта карьера в предельном положении; Ввп – ширина верхней площадки первого рабочего уступа.

Площадь поперечного сечения рабочей зоны, представляющая объем породы на 1 пог. м длины фронта работ g-го участка для i-го положения поверхности рабочей зоны с достаточной точностью может быть найдена из выражения (см. рис. 1):

$$S_i = \frac{1}{2}(H^i_{рз})^2\left(ctg\varphi_i - ctg\gamma_k\right) + H^i_{рз}B_{вп}$$

(5)

или

$$S_i = \frac{1}{2}H^i_{рз}(B^i_{рз} + B_{вп}).$$

Аналитические зависимости (1-5), взаимоувязывающие между собой рассмотренные параметры рабочей зоны, позволяют установить влияние числа уступов в рабочей зоне на: горизонтальную проекцию откоса рабочего борта, угол его откоса, ширину рабочей зоны и объем пород в рабочей зоне. В этих целях можно промоделировать различные ситуации, встречающиеся на действующих и проектируемых карьерах. Можно рассматривать рабочие зоны, состоящие из уступов различной высоты, с различными величинами ширины рабочих площадок и т.д.

Поскольку разработанный подход универсален для иллюстрации возможности его применимости рассмотрим конкретный пример. Пусть высота уступа принимает значения 10, 15 и 20 м, а высота рабочей зоны – 30, 40, 60, 80, 90, 100 и 120 м. Верхний предел высоты рабочей зоны обусловлен опытом работы крупных предприятий с открытым способом разработки. Он показывает, что даже в случаях достижения максимальной производительности по горной массе 80-120 млн м^3 в год высота рабочей зоны не превышает 120 м. Ширина рабочей площадки уступа изменяется от 75 до 30 м. Нижний предел имеет наибольшее распространение на карьерах цветной металлургии Казахстана.

Численные значения искомых параметров, найденные по формулам (1-5) при принятых значениях высоты рабочей зоны, высоты составляющего уступа и ширины рабочей площадки сведены в таблицу. При расчетах ширина верхней площадки первого рабочего уступа на 10 метровых уступах принята равной 20 м, на 15 метровых уступах – 25 м и на 20 метровых уступах – 30 м, угол откоса уступа во всех случаях принят равным 65°, а угол откоса борта карьера в предельном положении равным 40°.

Данные таблицы показывают, что на 10 метровых уступах при всех рассматриваемых величинах ширины рабочей площадки с увеличением числа уступов растет ширина рабочей зоны. Темпы этого роста более интенсивны при Врп= 75 м, нежели при Врп= 30 м. Например, в первом случае ширина рабочей зоны при μ = 3 (Нрз = 30 м) составляет 148,2 м, при μ = 12 (Нрз = 120 м) – 758 м (рост в 5,1 раза), а во втором случае рассматриваемый параметр соответственно достигает величины 58,2 м и 263 м (рост 4,5 раза). В то же время при прочных равных условиях с уменьшением ширины рабочей площадки наблюдается сильное сокращение ширины рабочей зоны, она уменьшается, например, при μ = 3 с 148,2 до 58,2 м а при μ = 12 с 758 до 263 м.

Аналогичный характер влияния числа уступов на ширину рабочей зоны сохраняется и при h = 15 м, h = 20 м. На этих уступах с увеличением их числа интенсивность роста ширины

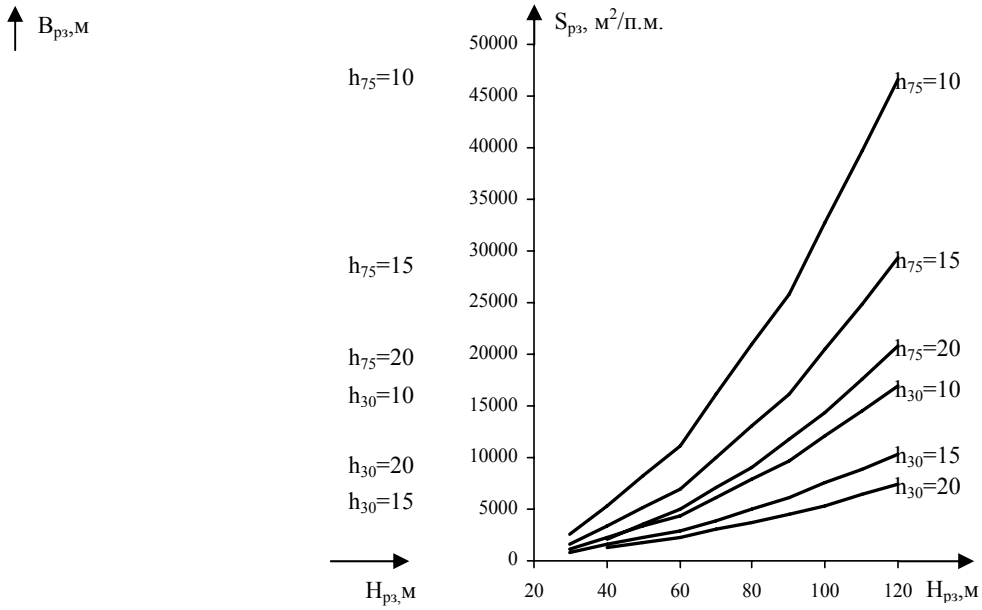

Рис. 3. Зависимость изменения объемов породы в рабочей зоне от $H_{рз}$

рабочей зоны остается на прежнем уровне. В частности, на 15 метровом уступе с шириной рабочей площадки 75 м при μ = 2, (Нрз = 30 м) Врз равняется 78,2 м, при μ = 8, (Нрз = 120 м) – 463 м, а при Врп = 30 м ширина рабочей зоны при числе уступов, равным 2 и 8, соответственно составляет 33,2 и 148 м. На 20 метровом уступе при указанных Врп ширина рабочей зоны изменяется от 76,0 до 317,9 м при μ=2, (Нрз = 40 м) и от 31 до 92,9 м при μ = 6, (Нрз = 120 м).

При постоянстве высоты рабочей зоны с увеличением высоты уступа во всех случаях наблюдается уменьшение ширины рабочей зоны. При убывании ширины рабочей площадки с 75 м до 30 м во всех рабочих зонах происходит сокращение ее ширины. Оно более интенсивно на меньших высотах уступов.

Рис. 2. Зависимость изменения ширины рабочей зоны от $H_{рз}$

Описанные закономерности графически изображены на рис. 2. На этом и последующих рисунках нижний индекс у высоты уступа означает ширину рабочей площадки. Интересно отметить, что ширина рабочей зоны размером, например, 300 м достигается на уступах различной высоты с шириной рабочей площадки 75 м при одинаковом числе уступов. Аналогичная картина сохраняется и для уступов с шириной рабочей площадки 30 м. Эти закономерности подтверждают известные из практики факты.

Изменения объема пород в рабочей зоне в зависимости от числа уступов (высоты рабочей зоны) характеризуются данными таблицы. Как видно из нее, на 10 метровых уступах при Врп = 75 м, μ = 3 (Нрз = 30 м) поперечная площадь рабочей зоны составляет 2523,7 м^2, а при μ = 12 (Нрз = 120 м) – 46680 м^2. При ширине рабочей площадки 30 м анализируемые показатели соответственно

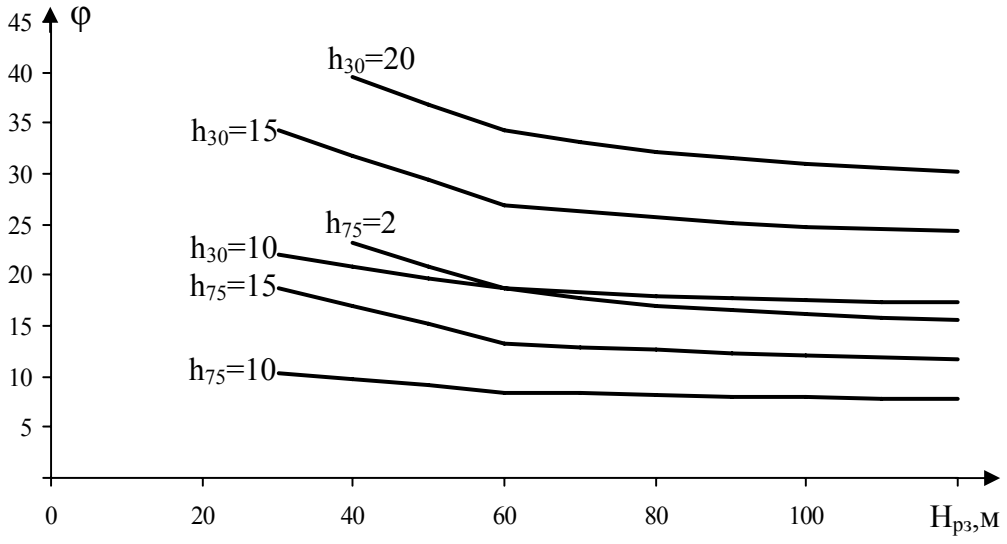

Рис. 4. Зависимость изменения угла откоса рабочего борта от $H_{рз}$

равняются 1173,3 м^2 и 16980 м^2. На 15 метровых уступах при тех же данных площади поперечных сечений рабочей зоны составляют 1549 м^2, 29279,5 м^2 и 874 м^2, 10379,5 м^2, а на 20 метровых уступах соответственно – 2118,6 м^2, 20873,6 м^2 и 1218,6 м^2, 7373,5 м^2. Эти зависимости графическим представлены на рис. 3. Они наглядно показывают, что с увеличением высоты уступа при фиксированных других данных уменьшаются площади рабочих зон. Такое изменение более интенсивно при больших величинах ширины рабочей площадки уступа и большем числе уступов.

Как видно из рис. 3, одинакового объема пород в рабочей зоне, например, 17500 м^2/п.м. при Врп = 75 м на 10 метровом уступе можно достичь при числе уступов 8, на 15 метровом уступе – при μ = 6 и на 20 метровом уступе – при μ = 5-6.

Что касается изменения угла откоса рабочего борта от числа уступов в рабочей зоне, то при фиксированной ширине рабочей площадки с увеличением высоты рабочей зоны (следовательно числа уступов) для всех высот уступов характерно уменьшение угла откоса борта (см. табл. 1). Например, на 10 метровом уступе при Врп = 75 м, μ = 3 φi составляет 10°23′, при μ = 12 – φi = 7о45′. На 15 метровом уступе эти углы при μ = 2 принимают значение 18°37′, а при μ = 8 – 11°40′, на 20 метровом уступе соответственно 23°08′и 15°33′.

При прочих равных условиях, чем меньше ширина рабочей площадки, тем круче угол откоса рабочего борта карьера. С увеличением высоты уступа растет численное зна-чение φi. Эти закономерности графически изображены на рис. 4. Содержание этого рисунка наглядно отражает действительное положение дел на практике.

На основе проведенных исследований также следует отметить, что принятая в научно-технической литературе площадь рабочей зоны, определяемая как произведение горизонтальной проекции рабочей зоны на длину фронта работ, не точно характеризует истинный

объем пород в рабочей зоне, подлежащий извлечению. В действительности извлекаемый объем пород ограничивается положением текущего контура рабочей зоны (см. рис. 1). Вследствие того, что ширина рабочей зоны во всех случаях заметно меньше соответствующей горизонтальной проекции откоса рабочей зоны рассматриваемый объем заметно искажается. Даже на малых высотах уступов при их небольшом числе указанная разница составляет около 20 %.

Изложенное не оставляет сомнений в том, что аналитический подход к определению основных параметров рабочей зоны (зависимости (1-5)) может быть положен в основу научно-технического обоснования высоты уступа, их числа в рабочей зоне с учетом длины фронта работ и других влияющих факторов. При этом окончательное решение должно приниматься на основе технико-экономи-ческого анализа взаимовлияния горно-геологических, технико-технологи-ческих и эколого-экономических сос-тавляющих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ракишев Б.Р.* Рабочая зона карьера и ее параметры. Горный журнал, №3, М., 2003, С. 17-21.
2. *Ракишев Б.Р.* Системы и технологии открытой разработки. Алматы: НИЦ «Ғылым», 2003. – 328 с.
3. *Ржевский В.В.* Открытые горные работы. ч.2. - М.: Недра, 1985. – 550 с.
4. *Трубецкой К.Н., Краснянский Г.Л., Хронин В.В.* Проектирование карьеров. – М.: Из-во АГН, 2001. – т.1. – 519 с.

Коротко об авторах

Ракишев Б.Р. - академик НАН РК, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой открытых горных работ,
Саменов Г.К. – аспирант,
Куттыбаев А.Е. – аспирант,
Хамметова Ж.Н. – аспирантка, ЕИТИ им. К.И. Сатпаева,

Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева.