



Рис. 4. График затрат по технологическим процессам для условий крепости пород  $f = 15$

На основе минимума суммы затрат по всем технологическим процессам установлена величина оптимального дробления пород взрывом. Для пород крепостью  $f = 15$  по Протождяконову она находится в пределах  $d_{ср} = 230-240$  мм. По другим исследованиям для экскаваторов с меньшей вместимостью ковша она находилась в пределах 200–225 мм. Это свиде-

тельствует, что при применении экскаваторов с большей вместимостью ковшей степень раздробленности горных пород взрывом может быть ниже.

**Выводы и направление дальнейших исследований**

Установлена зависимость удельных затрат на ремонт и содержание экскаваторов от размера среднего куска в развале, а также общих расходов на экскавацию совместно с расходами на содержание оборудования. Установлены зависимости содержания негабарита в развале пород от количества негабаритов, проходящих на 1000 м³ отгруженных горных пород. Обоснована модель оптимизации взрывного разрушения скальных горных пород на карьерах взрывом в соответствии с применяемым оборудованием и его параметрами.

**Библиографический список**

1. Крысин Р.С., Новинский В.В. Модели взрывного дробления горных пород: монография. - Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2006. - 144 с.
2. Влияние дробления пород на эффективность технологических процессов открытой разработки / М.Ф. Друкованый, Б.Н. Тартаковский, В.С. Вишняков, Э.И. Ефремов. - К.: Наукова думка, 1974. - 271 с.

Поступила 18.11.2013

УДК 622.34

Вольфсон П.М. /к.т.н./  
НИИБТГ КНУ

Приймаченко В.М.

Компания «АрселорМиттал» горнорудных предприятий стран СНГ

Производство

**Закономерности выпуска руды под обрушенными породами в режиме касания эллипсоидов разрыхления**

*В статье освещаются неизвестные закономерности недозированного выпуска - постоянство отношения высоты гребней к высоте слоя и высоты слоя к расстоянию между дучками, установленному из условия касания эллипсоидов, - позволяющие оптимизировать параметры схем с обрушением при этом режиме. Табл. 1. Библиогр.: 6 назв.*

**Ключевые слова:** критическая высота, оптимальные расстояния между дучками при недозированном выпуске

*The article highlights the unknown regularities undosed registration - constancy of the ratio of height to the height of the ridges layer and layer height to the distance between Dutschke established conditions of touch ellipsoids - allows optimal schemes collapse when this mode. Table. 1. Refs.: 6 titles.*

**Keywords:** critical height, the optimal distance between Dutschke at issue undosed

Выпуск руды является одним из наиболее трудоемких и опасных процессов при подземной разработке рудных месторождений. Большая трудоемкость этого процесса в отличие о других процессов, например проходки выработок, когда 1 м выработки подготавливает 1000 т руды, или бурения глубоких скважин, когда 1 м скважины подготавливает

25-30 т руды, обусловлена тем, что каждую тонну отбитой руды нужно реально пропустить через выпускные отверстия в днище блока. А большая опасность выпуска обусловлена неравномерной и значительной кусковатостью отбиваемой руды, несовершенством конструкций и параметров приемных устройств, вызывающие чистые

зависания руды и необходимым их ликвидации под зависшими кусками, находящимися в состоянии неустойчивого равновесия. В связи с этим становится очевидным необходимость новых исследований процесса выпуска с целью изыскания способов и средств снижения трудоемкости и повышения его безопасности.

Системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород имеют доминирующее применение при подземной добыче руд. Эволюция этих систем происходила с изменением методов отбойки, крепления и доставки руды. Однако неизменными на протяжении более 60 лет остаются расстояния между выработками горизонта доставки (5 м между дучками и 10 м между выработками скреперования), несмотря на увеличение глубины разработки с 200-300 до 1300-1400 м и значительное возрастание горного давления. Эти расстояния выбраны из условия применения равномерного выпуска руды под обрушенными породами. Вместе с тем дозированный выпуск не соблюдается, о чем свидетельствуют фактические потери (17-19 %) и засорение руды (12-13 %). Основные причины несоблюдения дозированного выпуска следующие: недостаток в организации работ по выпуску; психологические факторы (выпуск из ближних дучек); раздавливание выработок приемного горизонта горным давлением; некачественное разбуривание и разрушение ручного массива; разрушение выработок взрывными работами; выход из строя средств доставки и погрузки; неоднородное содержание металла в рудном массиве и стабильный план по качеству руды.

Из рассмотрения причин, обуславливающих применение недозированного выпуска, вытекает, что довести коэффициент одновременности работы забоев до единицы невозможно [1], хотя увеличить значение его нужно по крайней мере до 0,7-0,75. Это вызывает необходимость приведения параметров систем с обрушением в соответствие с применяемым режимом выпуска, исходя из условия обеспечения максимального извлечения руды при недозированном выпуске или иными словами изыскания оптимальных параметров недозированного выпуска.

Исследованиями выпуска руды над обрушенными породами занимались С.С. Минаев [2], Г.М. Малахов [3], В.В. Куликов [4] и другие ученые и инженеры. Изучение закономерностей выпуска позволило разработать основы теории этого процесса и практические предложения по снижению потерь и засорения руды. Однако все известные работы по выпуску посвящены исследованию равномерного выпуска, который к сожалению на практике не применяется. Поэтому возникла необходимость исследований основных закономерностей неозированного выуска. П.М. Вольфсоном была обоснована и выдвинута идея о целесообразности при системах разработки с обрушением и недозированном выпуске выбора параметров элементов днища из условия касания эллипсоидов разрыхления [5]. Эта идея была основана на том, что при этом методе выбора параметров сохранится фактический уровень извлечения руды, но значительно уменьшится удельная длина нарезных выработок, повысится их устойчивость, возможно оптимизировать сечение выработок приемного горизонта, повысить безопасность процесса выпуска руды и увеличить производительность доставки. Многочисленные промышленные

испытания этих параметров на шахтах Кривбасса подтвердили предполагаемые результаты. Однако оставалось невыясненным почему, несмотря на густую сеть дучек, извлечение чистой руды при недозированном выпуске под обрушенными породами находится в пределах 50 % (как при выпуске в режиме касания). Для этого мы провели специальные исследования. Необходимо было определить фактическую среднюю высоту слоя чистой руды, поскольку при недозированном выпуске высота слоя чистой руды над дучками одной выработки неодинаковая: в дучках, где начинался выпуск, она равна первоначальной высоте слоя, а по мере подключения в выпуск других дучек высота слоя над ними уменьшается.

Поскольку при недозированном режиме выпуск из той или иной дучки носит случайный характер, средняя высота слоя чистой руды может быть определена из суммы математических ожиданий высот слоев, выпускаемых из тех или иных дучек

$$\bar{h}_{cl} = \sum_1^n h_{cl\max} \cdot n$$

Исходя из этих предпосылок, определим уравнение средней высоты слоя чистой руды применительно к наиболее распространенным в практике параметрам днищ блоков (расстоянию между выработками доставки 10 м, расстоянию между дучками  $2b_{\min} = 5$  м, длине выработки доставки  $l = 25$  м) и наиболее часто практикуемому случаю выпуска: поочередному выпуску вначале из дучек с максимальной высотой слоя  $h_{\max}$ , затем из остальных дучек. При это учитываем, что  $2b_{\max} = h_{\max} \cdot \text{tg}^2 \frac{90-\phi}{2}$ .

Вероятность выпуска слоя с высотой  $h_{\max}$  (или вероятность числа дучек, из которых может быть выпущен слой высотой  $h_{\max}$ )

$$n_{h_{\max}} = \frac{l}{2b_{\max}} = \frac{l}{h_{\max} \cdot \text{tg}^2 \frac{90-\phi}{2}}$$

Вероятность выпуска слоя с высотой  $h_{\min}$  (или вероятность числа дучек, из которых может быть выпущен слой высотой  $h_{\min}$ ) в общем виде

$$n_{h_{\min}} = \frac{(l - 2b_{\max} \cdot n_{h_{\max}}) \phi}{2b_{\min}}$$

где  $\alpha$  - коэффициент, зависящий от высоты слоя (учитывает парность дучек).

Средняя высота слоя чистой руды, выпускаемой из  $n$  дучек:

$$\bar{h}_{cl} = \frac{\frac{l}{2b_{\max}} h_{\max} + \alpha (l - \frac{l}{2b_{\max}} 2b_{\max}) (h_{\min} + (\frac{l}{10-2b_{\max}}) (\frac{10-2b_{\max}}{\text{tg}^2 \frac{90-\phi}{2}}))}{\frac{l}{2b_{\max}} + \frac{l}{10-2b_{\max}}} = (1)$$

$$= h_{\max} (2 - 0,2 h_{\max} \text{tg}^2 \frac{90-\phi}{2})$$

б) при  $h > 30$  м

$$\bar{h}_{cl} = \frac{\frac{l}{2b_{max}}h_{max} + \alpha(l - \frac{lh_{max}tg^2 \frac{90-\phi}{2}}{h_{max}tg^2 \frac{90-\phi}{2}})h_{min} + 2(\frac{l}{2b_{max}} - 1)0,5h_{max}}{\frac{l}{2b_{max}} + 2(\frac{l}{2b_{max}} - 1)} = (2)$$

$$= \frac{2h_{max} + (l - 0,5h_{max}tg^2 \frac{90-\phi}{2})}{3l - 2h_{max}tg^2 \frac{90-\phi}{2}}$$

Расчеты, выполненные с помощью формул (1) и (2) для различных значений высоты подэтажа (таблица), показывают, что при недозированном выпуске средняя высота слоя чистой руды  $\bar{h}_{cl} = (0,74 \div 0,81)h_{cl}$  и ее среднее значение  $\bar{h}_{cl} = 0,78h_{cl} = h_{кр}^x$ , (3)

где  $h_{кр}$  - критическая высота, с которой начинается изобоживанный выпуск (высота гребней к началу разубоживания).

**Таблица. Значение критической высоты при недозированном выпуске**

Высота подэтажа h, м	Высота слоя руды, выпускаемого под обрушенными породами, h <sub>сл</sub> , м	Критическая высота выпуска, h <sub>кр</sub> , м	$\frac{h_{кр}}{h_{cl}}$
25	22,5	17,8	0,78
30	26,5	21,7	0,81
40	36,0	27,0	0,75
50	50,0	33,0	0,74

Следовательно, при недозированном выпуске средняя высота слоя чистой руды относится к первоначальной высоте слоя как критическая высота к высоте эллипсоидов касания при дозированном выпуске [6]. Это означает, что при недозированном выпуске общая высота слоя соответствует высоте эллипсоидов касания, а высота слоя чистой руды – критической высоте. В отличие от дозированного выпуска, при котором критическая высота определяется принятым расстоянием между дучками, при недозированном выпуске критическая высота определяется принятой высотой слоя, то есть  $h_{кр} = 0,78h_{cl} = 0,78 \frac{2b_{max}}{tg^2 \frac{90-\phi}{2}}$ .

И действительно, о какой зависимости критической высоты от принятого расстояния между дучками, например 5 м, может идти речь, если выпуск происходит не планомерно из равномерно удаленных отверстий, а хаотично из различных отверстий, расположенных на различных расстояниях. В этом случае извлечение руды определяется малой осью эллипсоидов с высотой, равной высоте слоя. Например, при  $h_{п/ст} = 40$  м и  $h_{сл} = 36$  м  $2b_{max} = 36tg^2 \frac{90-l}{2} = 7,7$  м. Такие расстояния и надо принимать при проектировании.

Полученный вывод о том, что при недозированном выпуске высота подэтажа является, по сути, высотой эллипсоидов касания убедительно показывает, что при этом режиме выпуска может извлекаться ~ 50 % чистой руды (теоретически 52,3 %), что подтверждается практическими данными по извлечению чистой руды на шахтах. Следовательно, применяемый повсеместно недозированный выпуск фактически ведется в режиме касания при параметрах днища для равномерного выпуска, хотя это, к сожалению,

не осознается. Вполне очевидно, что параметры элементов днища необходимо привести в соответствие с применяемым режимом выпуска.

Доказательством того, что выбор параметров панелей из условия касания эллипсоидов разрыхления обеспечивает сохранение достигнутого уровня потерь и засорения руды при применяемых параметрах элементов днищ панелей и недозированном выпуске может служить тот факт, что при увеличении высоты подэтажа при системе подэтажного обрушения с отбойкой глубокими скважинами в Кривбассе с 20-25 до 37,5-40 м и, соответственно, увеличении отношения  $\frac{h}{m}$  с 2,3-2,5 до 3,5-4 уровень потерь и засорения руды не изменился. Это объясняется тем, что фактические, а не расчетные значения отношения  $\frac{h}{m}$  не изменились, поскольку при недозированном выпуске фактические расстояния между дучками при различной высоте подэтажа разные, так как зависят от высоты слоя:

при  $h = 25$  м  $2b_{max} = 5$  м, при  $h = 40$  м  $2b_{max} = 7,4$  м; при этом отношение  $\frac{h}{m} = \frac{25}{10} = \frac{40}{14,8} = 2,5 = const$ .

Постоянство отношений высоты гребней руды к высоте слоя и высоты слоя к фактическим расстояниям между дучками, разными при различной высоте слоя, объясняют одинаковый уровень потерь руды при различной высоте подэтажа и недозированном выпуске и является важнейшей закономерностью недозированного выпуска, позволяющей оптимизировать параметры систем с обрушением при этом режиме.

**Заключение**

Соблюдение выпуска руды в режиме касания необходимо, чтобы среднее расстояние между выпускными отверстиями на площади блока было равно расчетному расстоянию, установленному из условия касания эллипсоидов при трехмерной высоте слоя.

Установленные закономерности открывают широкие перспективы изменения традиционно применяемых расстояний между выработками доставки и выпуска, исходя из равномерного выпуска, который в силу ряда отмеченных выше неустраняемых причин нигде не применялся и не применяется.

**Библиографический список**

1. Вольфсон П.М., Приймаченко В.Н. Причины несоблюдения дозированного выпуска в шахтных условиях // Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо-металургійного комплексу. - 2006. – Вып. 7.
2. Минаев С.С. Лабораторные исследования выпуска руды // Фонд НИГРИ, 1940.
3. Малахов Г.М. Выпуск руды из обрушенных блоков. – М.: Металлургиздат, 1952.
4. Куликов В.В. Выпуск руды. - М.: Недра, 1980.
5. Вольфсон П.М. О целесообразных расстояниях между выработками горизонта доставки при условии большого горного давления // Изв. вузов. Горный журнал. - 1965. - № 7.
6. Вольфсон П.М. О критической высоте выпуска // Сб. Вопросы подземки и открытой разработки в Криворожском бассейне. - Надра. - 1964. - С. 3-8.

Поступила 13.08.2013