

Паук Л.Г., Джиоева А.К.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЫПУСКА РУДЫ ПОД ОБРУШЕННЫМИ ПОРОДАМИ

Многочисленными исследованиями по выпуску руды, проведенными Г.М. Малаховым, В.В. Куликовым, Н.Г. Дубининым и другими, установлены основные закономерности выпуска обрушенной руды из блоков и характер выпускных перемещений частиц сыпучего материала. Однако, несмотря на это, нет надежной методики расчета и прогнозирования показателей выпуска руды под налегающими породами для рудных тел с различными условиями залегания. Это связано с тем, что отсутствует единое мнение о характере процесса, происходящего при формировании разубоженной рудной массы.

В существующих методиках расчета формирование разубоживания начинается после того, как эллипсоид выпуска достигает поверхности контакта отбитой руды с налегающими породами, а воронка внедрения пород достигает выпускного отверстия. При дальнейшем выпуске рудной массы эллипсоид выпуска выходит за пределы выпускного слоя руды в обрушенные породы. При этом объемное разубоживание определяется как отношение породной части эллипсоида к общему его объему. Объемное разубоживание в дозах выпуска определяется как отношение разности объемов породы, отсекаемых эллипсоидами, к разности объемов эллипсоидов (рис. 1).

Такое формирование разубоживания справедливо для выпуска из одиночного отверстия. Авторы этой методики автоматически распространяют ее на выпуск из системы взаимно влияющих отверстий, и показатели выпуска руды определяются по соответствующим показателям одиночного отверстия.

Однако при выпуске 2, 3, ..., n доз рудной массы соответствующие им высоты эллипсоидов выпуска h_2, h_3, h_n увеличиваются и, как правило, оказываются больше критической высоты. В этом случае малая ось эллипсоида также увеличивается и становится больше расстояния между выпускными отверстиями. Фигура выпуска выходит за пределы зоны, приходящейся на выпускное отверстие, и распространяется в зоны влияния смежных отверстий (рис. 2).

В связи с тем, что объем выпускаемой руды над отверстием является величиной постоянной, а описываемая методика предусматривает расположение пород только над слоем руды и не предусматривает ограничения распространения эллипсоидов выпуска в сторону смежных отверстий, в вычисляемом объеме уменьшается количество породы, заключенное в фигуре выпуска и увеличивается ко-

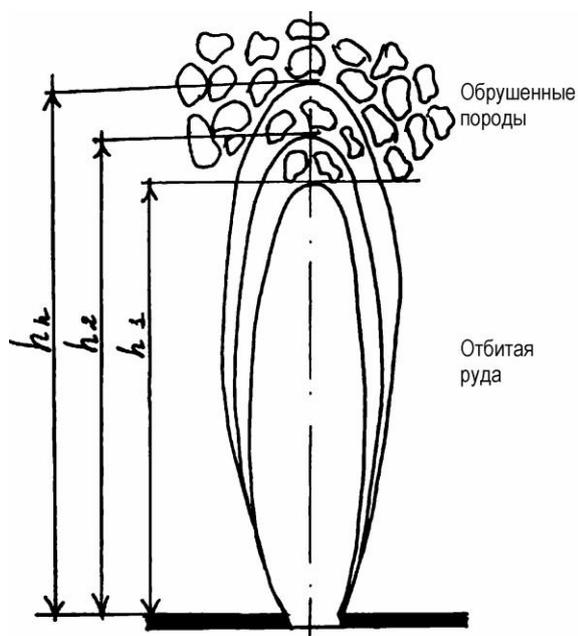


Рис.1. Существующая схема формирования разубоживания при выпуске из одиночного отверстия

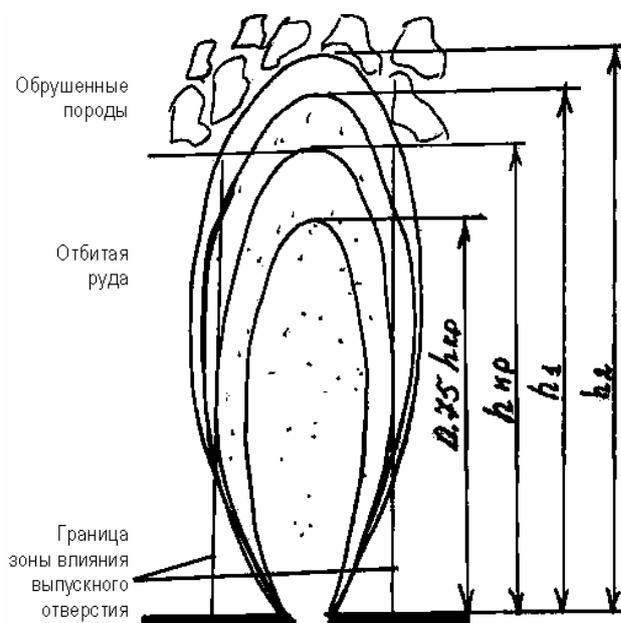


Рис.2. Схема формирования разубоживания при выпуске из нескольких отверстий

личество руды за счет прихвата из смежных зон. В результате таких расчетов занижается разубоживание и завышается извлечение руды.

Предлагаемая методика определения разубоживания при горизонтальном контакте руды с налегающими породами предполагает, что эллипсоид дозы представляет две части, состоящие из породы и руды. Порода занимает среднюю часть и может быть представлена суммой объемов конуса V_k и эллиптического сегмента V'_e (рис. 3).

Руда занимает периферийную часть эллипсоида.

Объем породы можно определить, зная высоту пересечения конуса с эллипсоидом дозы выпуска, которую можно найти, сведя к решению плоской задачи, заменить эллипсоид эллипсом, а конус его образующей.

Исследование формы воронки внедрения проводилось на модели с прозрачной стенкой, проходящей по оси выпускного отверстия. Налегание породы имитировалось магнетитом, который по цвету отличался от руды и обладал магнитными свойствами.

Положение контакта руды с породами по мере выпуска фиксировалось. При этом отмечено, что угол наклона на образующей к горизонту по высоте воронки уменьшается.

Математически такое изменение описывается логарифмической кривой. Опытами установлено, что уравнение образующей воронки внедрения к началу разубоживания с достаточной степенью точности можно выразить в виде

$$y = \kappa \ln(x + 1 - r_0) \text{ при } x \geq 0, \tag{1}$$

где y – ордината точки на поверхности воронки внедрения; x – абсцисса этой же точки; κ – показатель крутизны образующей воронки внедрения; \ln – натуральный логарифм; r_0 – средний радиус куска породы.

Величина показателя крутизны откоса образующей воронки внедрения зависит от физико-механических свойств руды: эксцентриситета эллипсоида выпуска (ε), высоты обрушенного слоя (H), расстояния между выпускным и отверстиями (l), радиуса выпускного отверстия (r), т. е.:

$$\kappa = f(\varepsilon, H, r, l). \tag{2}$$

Учитывая, что воронка внедрения является телом вращения образующей на оси выпускного отверстия, то можно считать, что она к началу разубоживания по форме представляет собой усеченный логарифмический конус, основание которого находится на первоначальном уровне контакта руды с налегающими породами, а вершина – в центре выпускного отверстия (рис. 4).

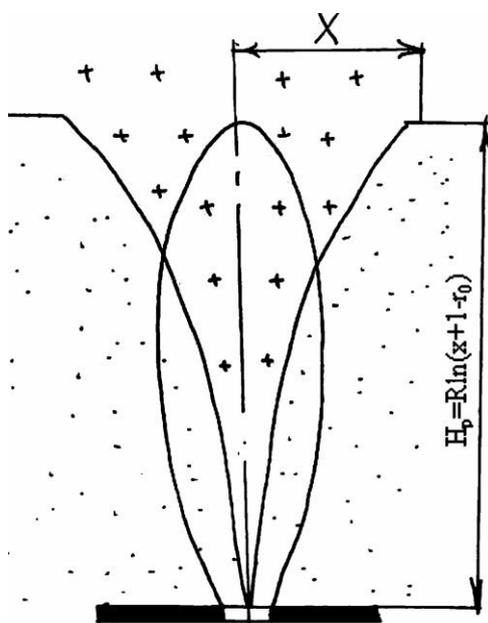


Рис. 3. Предлагаемая схема формирования разубоживания

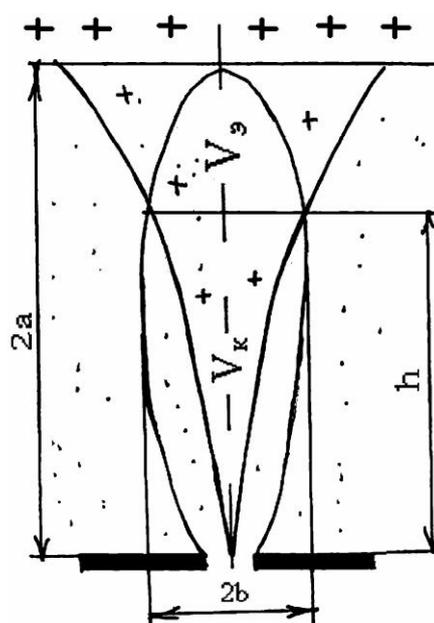


Рис. 4. Формирование воронки внедрения при выпуске из одиночного отверстия

По мере выпуска разубоженной руды воронка увеличивает свои размеры, выпускное отверстие отсекает её вершину, превращая в усеченный конус. Уравнение образующей такого конуса с достаточной точностью описывается формулой

$$y = k' \ln(x + 1 - r_0) \text{ при } x \geq r_0, \quad (3)$$

где r – радиус нижнего основания усеченного логарифмического конуса; k' – показатель крутизны образующей усеченного конуса.

Выпуск разубоженной руды продолжается и после того, как нижнее основание усеченного конуса займет все выпускное отверстие.

Объем воронки внедрения в этом случае определяется

$$V_{\kappa} = \pi \kappa \left[\frac{1}{2}(x + 1 - r_0)^2 - 2(1 - r_0)(x + 1 - r_0) + (1 - r_0)^2 \ln(x + 1) + \frac{3}{2} - 2r \right]. \quad (4)$$

Величину показателя крутизны откоса (κ) при выпуске из одиночного отверстия можно определить, приравняв объемы выпущенной руды до начала разубоживания и образовавшейся при этом воронки внедрения (вторичным разрыхлением для простоты расчетов пренебрегаем).

Объем выпущенной руды определяется эллипсоидом выпуска с высотой, равной высоте выпускаемого слоя, который можно определить по известному выражению:

$$Q = 0,524H^3(1 - \varepsilon^2); \quad (5)$$

$$K = \frac{0,524H^3(1 - \varepsilon^2)}{\pi \left[\frac{1}{2}(x + 1 - r_0)^2 - 2(1 - r_0)(x + 1 - r_0) + (1 - r_0)^2 \ln(x + 1 - r_0) + \frac{3}{2} - 2r \right]}. \quad (6)$$

При выпуске руды из нескольких взаимно влияющих отверстий перемещение контакта руды с породой происходит горизонтально до уровня критической высоты ($h_{кр}$), после чего контакт начинает прогибаться и образуется воронка внедрения.

Показатель крутизны откоса воронки внедрения при таком выпуске определяется после достижения критической высоты. До начала разубоживания из отверстия выпускается количество чистой руды, равное объему эллипсоида критической высоты, т.е.:

$$Vr_{кр} = \frac{4}{3} \pi a_{кр} \vartheta_{кр}^2 \quad (7)$$

или

$$Vr_{кр} = 0,524h_{кр}l^2, \quad (8)$$

где $Vr_{кр}$ – объем эллипсоида критической высоты; $a_{кр} = \frac{h_{кр}}{2}$ – большая полуось эллипсоида критической высоты; $\vartheta_{кр} = \frac{l}{2}$ – малая полуось того же эллипсоида; l – расстояние между выпускным и отверстиями.

Налегающие породы, занимая освободившееся пространство, внедряются в руду, образуя воронки внедрения (**рис. 5**), высота которых может быть меньше или равна критической высоте.

В общем случае объем внедрившихся пород ($V_{нор}$) в пределах критической высоты можно представить суммой объемов конуса (V_{κ}) и параллелепипеда ($V_{нар}$):

$$V_{нар} = V_{\kappa} + V_{нор}. \quad (9)$$

Высота воронки внедрения равна высоте гребней, а высота параллелепипеда – разности между критической высотой и высотой гребней:

$$h_g = h_{\overline{сп}} - k \ln \left(\frac{l}{2} + 1 - r_0 \right); \quad (10)$$

$$h_{нар} = h_{сп} - k \ln \left(\frac{l}{2} + 1 - r_0 \right). \quad (11)$$

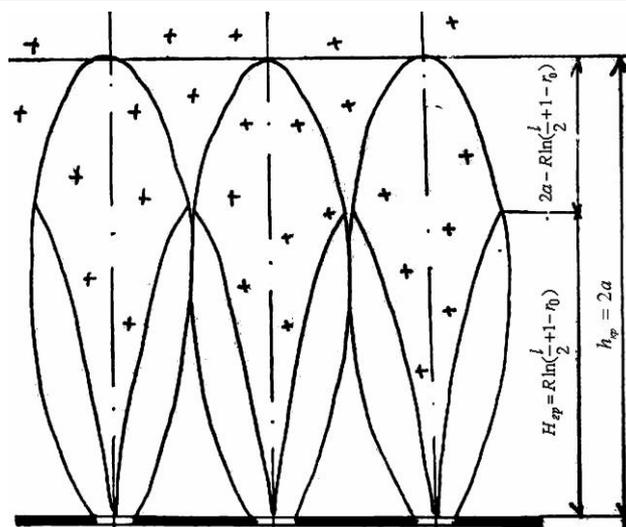


Рис. 5. Формирование воронки внедрения при выпуске из нескольких отверстий

Объем конуса можно определить, подставив в выражение (6) значение высоты гребней из выражения (10):

$$V_{\kappa} = \pi \kappa \left[\frac{1}{2} \left(\frac{l}{2} + r_0 - 1 \right) - 2(1 - r_0) \left(\frac{l}{2} + 1 - r_0 \right) + (1 - r_0)^2 \ln \left(\frac{l}{2} + 1 - r_0 \right) + \frac{3}{2} + 2r \right]. \quad (12)$$

Объем параллелепипеда можно определить из выражения

$$V = \left[h_{кр} - k \ln \left(\frac{l}{2} + 1 - r_0 \right) \right] l^2. \quad (13)$$

Подставляя выражения (12) и (13) в (9), приравняв объем породы к объему эллипсоида критической высоты (8), получим:

$$0,524 h_{кр} l^2 = \pi \kappa \left[\frac{1}{2} \left(\frac{l}{2} + 1 - r_0 \right) - 2(1 - r_0) \left(\frac{l}{2} + 1 - r_0 \right) + (1 - r_0)^2 \ln \left(\frac{l}{2} + 1 - r_0 \right) + \frac{3}{2} - 2r + h_{кр} l^2 - l^2 k \ln \left(\frac{l}{2} + 1 - r_0 \right) \right]. \quad (14)$$

Решая полученное выражение относительно k , получим:

$$k = \frac{0,476 h_{кр} l^2}{l^2 \ln \left(\frac{l}{2} + 1 - r_0 \right) - \pi \left[\frac{1}{2} \left(\frac{l}{2} + 1 - r_0 \right) - 2(1 - r_0) \left(\frac{l}{2} + 1 - r_0 \right) + (1 - r_0)^2 \ln \left(\frac{l}{2} + 1 - r_0 \right) + \frac{3}{2} - 2r \right]}. \quad (15)$$

Нетрудно убедиться, что числитель выражения (15) представляет количество руды, оставшееся над выпускным отверстием. При дальнейшем выпуске рудной массы нижнее основание воронки внедрения увеличивается до размеров выпускного отверстия. Показатель крутизны второго откоса воронки можно определить с учетом выпуска дополнительного количества рудной массы.

$$k_1 = \frac{0,476 h_{кр} l^2 - \Delta V (1 - \rho)}{l^2 \ln \left(\frac{l}{2} + 1 - r_0 \right) - \pi \left[\frac{1}{2} \left(\frac{l}{2} + 1 - r_1 \right) - 2(1 - r_1) + (1 - r_1)^2 \ln \left(\frac{l}{2} + 1 - r_1 \right) + \frac{3}{2} - 2r \right]}, \quad (16)$$

где ρ – разубоживание в дозах выпуска; ΔV – объем дозы выпуска.

Радиус нижнего основания усеченного конуса можно определить на основании следующего неравенства, учитывая, что высота гребней после выпуска рудной массы не может быть больше, чем к началу разубоживания:

$$k_1 \ln\left(\frac{l}{2} + 1 - r_0\right) \leq k \ln\left(\frac{l}{2} + 1 - r_0\right). \quad (17)$$

При условии равенства высоты гребней показатель крутизны второго откоса конуса можно определить из выражения

$$k_1 = \frac{\kappa \ln\left(\frac{l}{2} + 1 - r_0\right)}{\ln\left(\frac{l}{2} + 1 - r_1\right)}, \quad (18)$$

где r_1 – радиус выпускного отверстия.

В случае, если значение k_1 из выражения (16) после подстановки в него значения r_1 будет больше, чем соответствующее значение из выражения (18), то радиус нижнего основания меньше радиуса выпускного отверстия. Для его определения необходимо решить совместно систему уравнений (16) и (18).

Подставляя значение k_1 из (18) и (16), заменив значение r_0 на r_1 получим радиус нижнего основания воронки внедрения и по (18) определим показатель крутизны k_1 . Если же значение k_1 из (16) после подстановки значения $r = r_1$ будет меньше соответствующего значения из (18), то радиус нижнего основания равен радиусу выпускного отверстия.

УДК 556.3

Кусова Ж.Г.

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТЕРМОМИНЕРАЛЬНЫХ ВОД КАК НАИБОЛЕЕ ЭКОЛОГИЧНЫЙ И ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕДР

Сложно переоценить влияние, которое оказывает энергетическая сфера на жизнедеятельность населения и национальную безопасность. Энергетика – это основа промышленности всего мирового хозяйства. Поэтому последствия влияния энергетики на экологию Земли носит глобальный характер. Воздействие энергетики на окружающую среду разнообразно и определяется видом энергоресурсов и типом энергоустановок. Приблизительно $\frac{1}{4}$ всех потребляемых энергоресурсов приходится на долю электроэнергетики. Остальные $\frac{3}{4}$ приходятся на промышленное и бытовое тепло, транспорт, металлургические и химические процессы [1].

Все более нарастающий дефицит энергии и ограниченность ископаемых ресурсов, в т.ч. и топливных, привели к неизбежному переходу к нетрадиционным, альтернативным источникам сырья и энергии.

В подтверждение этого тезиса приведем только три следующих основных аспекта:

– *экологический*: сегодня общеизвестен и доказан факт пагубного влияния на окружающую среду добычи и переработки традиционных ресурсов;

– *экономический*: переход на альтернативные технологии в промышленности и энергетике позволит уменьшить в общем балансе потребления долю невозобновляемых ресурсов. Кроме того, стоимость ресурсов и энергии, производимых с помощью многих альтернативных источников, особенно в ресурсо- и энергодефицитных районах уже сегодня ниже, как правило, стоимости ресурсов и энергии, получаемых из традиционных источников, да и сроки окупаемости альтернативных электростанций нередко существенно короче;

– *политический*: та страна, которая первой в полной мере освоит энергетику, использующую альтернативные источники, получит признание, повысится ее роль и значимость в мировом сообществе.

В соответствии с резолюцией № 33/148 Генеральной Ассамблеи ООН (1978 г.) к нетрадицион-