

Изобретение относится к горной промышленности и может быть использовано при открытой разработке месторождений полезных ископаемых.

Известен, принятый в качестве прототипа, способ открытой разработки месторождений полезных ископаемых, включающий отработку пород вскрышного уступа, укладку их в предотвал и отвал, выемку полезного ископаемого и наращивание предотвала (1, с. 252, схема 1).

Недостатком способа является нарушение устойчивости отсыпанных пород отвала и предотвала при необходимости увеличения загрузки отвала. Из-за этого может возникнуть оползень, влияющий на безопасность и работу участка в целом.

В основу изобретения поставлена задача усовершенствования способа открытой разработки месторождений полезных ископаемых, в котором, благодаря выявлению математической зависимости между параметрами наращиваемого отвала и предотвала, обеспечивается повышение приемной емкости и устойчивости отвала при одновременном обеспечении безопасности работ.

Поставленная задача решается тем, что в известном способе открытой разработки месторождений полезных ископаемых, включающем отработку пород вскрышного уступа, укладку их в предотвал и отвал, выемку полезного ископаемого и наращивание предотвала, согласно изобретению, высоту наращиваемого предотвала определяют из соотношения

$$h_2 = \frac{-M \pm \sqrt{M^2 - 4K(P - B)}}{2K}, \text{ м}$$

где K, M, P, B - величины, определяемые, соответственно, из соотношений

$$K = \frac{2 \operatorname{ctg} \gamma_n D - \operatorname{ctg} \gamma_n + \operatorname{tg} \beta D}{4 \cdot \cos^2 \beta},$$

где γ_n - угол наклона откоса пород предотвала, ...;

$$D = \gamma_2 (\cos \beta \operatorname{tg} \varphi - \sin \beta), \text{ т/м}^3,$$

где γ_1 - объемный вес пород предотвала, т/м³;

β - угол наклона основания предотвала по отношению к наиболее напряженной поверхности скольжения,

φ - угол внутреннего трения пород предотвала, ...;

$$\begin{aligned} M = & \frac{1}{2} m D - \frac{1}{4} m \operatorname{tg} \beta \operatorname{ctg} \gamma_n D + \\ & + \frac{2 m D}{4 \cos^2 \beta} - \frac{m \operatorname{tg} \beta \operatorname{ctg} \gamma_n D}{4 \cos^2 \beta} - \\ & - \frac{\operatorname{ctg} \gamma_n m \operatorname{tg} \beta D}{4 \cos^2 \beta} + \frac{c \operatorname{ctg} \gamma_n}{\cos \beta}, \end{aligned}$$

где m - величина предотвала поверху, м²;

c - величина сцепления пород в предотвале, т/м²;

$$P = -\frac{1}{4} m^2 \operatorname{tg} \beta D - \frac{m^2 \operatorname{tg} \beta D}{4 \cos^2 \beta} + \frac{cm}{\cos \beta};$$

$$B = h_1 \left[\frac{1}{2} \operatorname{ctg} \gamma_0 (H_1 + H_2) + t \right] \gamma_1$$

$$(\sin \alpha - \cos \alpha \operatorname{tg} \rho) - kl,$$

где $h_1 = H_2 - H_1$ - абсолютная величина увеличения высоты отвала, м;

γ_0 - угол наклона откоса пород отвала,

H_1 - высота начального отвала, м;

H_2 - конечная высота отвала, м;

t - расстояние от вершины (верхней бровки) отвала до трещины отрыва наиболее напряженной поверхности скольжения, м;

γ_1 - объемный вес пород отвала, т/м³;

α - угол наклона основания отвала по отношению к наиболее напряженной поверхности скольжения, ...;

ρ - угол внутреннего трения пород отвала, ...;

k - величина сцепления пород в отвале, т/м²;

$$l = h_1 \operatorname{ctg}^2 \gamma_0 \cos \gamma_0 + \frac{H_2 \operatorname{ctg} \gamma_0}{\cos \alpha} -$$

площадь поверхности сцепления основания отвала по наиболее напряженной поверхности скольжения, м²

Заявляемое техническое решение позволяет увеличить приемную емкость отвала и увеличить его устойчивость.

Это достигается отсыпкой наращиваемого предотвала определенной высоты, которая включает в себя не только дополнительную отвальную емкость, но и обеспечивает необходимое усилие подпора для пород, дополнительно отсыпаемых в отвал. Тем самым обеспечивается общая устойчивость всего объема

отсыпанных пород.

Из соотношения, при известной высоте отсыпки наращиваемого предотвала, можно определить другие необходимые его параметры. На фиг. 1,2 приведен пример осуществления предлагаемого способа и даны расчетные схемы.

Приняты следующие обозначения 1-экскаватор, 2 - вскрышной уступ, 3 - начальный отвал, 4 - предотвал, 4 - наращиваемый предотвал, 5, 6 - полезное ископаемое, 7 -навал, 8 - конечный отвал, 9 - наиболее напряженная поверхность скольжения. (Наиболее напряженная поверхность скольжения строится известными способами в соответствии с методикой ВНИМИ (2, с. 16-20).

Экскаватор 1 обрабатывает вскрышной уступ 2. Из пород уступа 2 формируется начальный отвал 3 высотой H_1 . Отвал 3 отсыпается на кровлю предотвала 4. Общая устойчивость отсыпанных пород при этом обеспечивается параметрами отвала 3 и предотвала 4. Часть ископаемого 6 по ширине со стороны предотвала 4 вынимается и складывается в навал 7 или отгружается в средства транспорта. На его место на ширину m наращивается предотвал 4 высотой h_2 . Затем, на величину h_1 , по высоте наращивается отвал 3 до конечной высоты H_2 Контур полученного конечного отвала показан линией 8. Таким образом производится увеличение приемной емкости отвала и предотвала, а наращивание предотвала 4 на величину m высотой H_2 , кроме того, увеличивает устойчивость всей массы отсыпанных пород в целом.

Положение и форму наиболее напряженной поверхности скольжения 9 при небольших изменениях параметров отвала 3 -предотвала 4 можно оставить неизменной · пользоваться ею при расчетах.

Величина h_2 при изменении параметров отсыпанной горной массы, обеспечивающая ее устойчивость будет определяться следующим образом.

Условие предельного равновесия при алгебраическом сложении сил на наиболее напряженной поверхности в соответствии с методикой ВНИМИ (2, с. 24 (15)) можно записать в виде

$$\Sigma F_{сдв} = \Sigma F_{уд} \cdot \tau,$$

где $\Sigma F_{сдв}$ - сумма сдвигающих напряжений, воздействующих в отсыпанной горной массе по наиболее напряженной поверхности скольжения, τ .

$\Sigma F_{уд}$ - сумма удерживающих сил, τ .

При изменении параметров отсыпанной горной массы в ней возникают дополнительные сдвигающие или удерживающие силы, которые могут быть компенсированы силами возникающими в предотвале, путем изменения его параметров, свойствами, отсыпаемых в него пород или другими методами.

При изменении параметров отвала 3 например, (увеличения высоты) для обеспечения общей устойчивости пород уравнение равновесия сил с учетом изменения параметров предотвала для обеспечения их равновесия запишется в виде

$$F_{сдв} - F_{уд} = F_{уд}^I - F_{сдв}^I \cdot \tau, \quad (1)$$

где $F_{сдв}$ - сумма сдвигающих сил по наиболее напряженной поверхности в отвале, τ ;

$F_{уд}$ - сумма удерживающих сил в предотвале τ ;

$F_{уд}^I$ - сумма удерживающих сил в предотвале, τ ;

$F_{сдв}^I$ - сумма сдвигающих сил в предотвале, τ .

Заменим общий вид уравнения (1) конкретным

$$P_1 \sin \alpha - P_1 \cos \alpha \operatorname{tg} \rho - kl =$$

$$= P_2 \cos \beta \operatorname{tg} \varphi + cm_1 - P_2 \sin \beta \cdot [2]$$

где P_1 - вес подсыпанных на начальный отвал 3 пород, заключенный между откосами начального 3 и конечного 8 отвала с одной стороны и вертикальной трещиной отрыва, находящейся на расстоянии t от вершины отвала 6;

α - угол наклона основания отвала по отношению к наиболее напряженной поверхности скольжения, ...;

ρ - угол внутреннего трения пород в отвале;

k - величина сцепления пород в отвале, т/м^2 ;

l - площадь поверхности сцепления основания отвала на наиболее напряженной поверхности скольжения, м^2 ;

P_2 - вес пород, заключенных между кровлей предотвала 4, поверхностью скольжения и проекцией верхней бровки предотвала 4 на поверхность скольжения, τ ;

β -угол наклона основания предотвала по отношению к наиболее напряженной поверхности скольжения,

φ - угол внутреннего трения пород в предотвале.....

c - величина сцепления пород в предотвале, т/м ;

m_1 - площадь поверхности сцепления основания предотвала по наиболее напряженной поверхности скольжения, м^2 .

При расчете устойчивости удобнее перейти к решению плоской задачи, приняв ширину отвала и предотвала вдоль бровки откоса равной 1 м и заменяя вес P_1 и P_2 соответствующими им площадям S и S_2 .

В этом случае уравнение (2) принимает вид

$$S \gamma_1 \sin \alpha - S \gamma_1 \cos \alpha \operatorname{tg} \rho - kl =$$

$$S_2 \gamma_2 \cos \beta \operatorname{tg} \varphi - S_2 \gamma_2 \sin \beta + cm_1, \quad (3)$$

где γ_1 - объемный вес пород отвала, т/м^3 ; γ_2 - объемный вес пород предотвала, т/м^3 .

Далее из фиг. 1 определяем

$$S = S_1 + S_1^1, \text{ м}^2,$$

где S_1 - площадь, заключенная между откосами начального 3 и конечного отвалов 8

$$S_1 = \frac{Z_1 + Z_2}{2} \cdot h = \frac{h_1}{2} \cdot \operatorname{ctg} \gamma_0 (H_1 + H_2) \cdot \text{м}^2,$$

S_1^1 - площадь, заключенная между вертикальной трещиной отрыва и линией hi

$$S_1^1 = h \cdot t \cdot \text{м}^2$$

Отсюда

$$\begin{aligned} S &= \frac{h_1}{2} \operatorname{ctg} \gamma (H_1 + H_2) + h_1 t = \\ &= h_1 \left(\frac{H_1 + H_2}{\sin^2 \gamma} + t \right) \cdot \text{м}^3 \end{aligned} \quad (4)$$

Определяем S_2

$$\begin{aligned} S_2 &= \frac{m + m_1 / \cos \beta}{2} \cdot \frac{h_2 + h_3}{2} = \frac{1}{2} \\ & \left[\left(m + \frac{m_1}{\cos \beta} \right) (h_2 + h_3) \right] \cdot \text{м}^3 \end{aligned} \quad (5)$$

Заменяем в уравнении (3) S и S_2 на уравнения (4) и (5), получаем

$$\begin{aligned} h_1 \left[\frac{1}{2} \operatorname{ctg} \gamma_0 (H_1 + H_2) + t \right] \gamma_1 &= \\ (\sin \alpha - \cos \alpha \operatorname{tg} \rho) - kl = B = \\ = \frac{1}{4} \left[\left(m + \frac{m_1}{\cos \beta} \right) (h_2 + h_3) \right] \gamma_2 &= \\ (\cos \beta \operatorname{tg} \varphi - \sin \beta) + cm_1, \end{aligned} \quad (6)$$

где левая часть уравнения заменена символом B .

В правой части уравнения (6) площадь поверхности сцепления l находим через известные величины (см. фиг. 2). Вначале запишем уравнение из которого видно, что криволинейная площадь l складывается приблизительно из двух прямолинейных составляющих

$$l \approx \Delta_1 + \Delta_2, \text{ м}^2$$

Путем тригонометрических преобразований последовательно определяем эти составляющие Δ_1 и Δ_2 . Вначале определим Δ_1

$$\begin{aligned} \frac{t^l}{\sin (90^\circ - \gamma_0)} &= \frac{h_1}{\sin \gamma_0}; t^l = h_1 \operatorname{ctg} \gamma_0; \\ t &= \frac{t_1}{\sin (90^\circ - \gamma_0)}, t_1 = t^l \cos \gamma_0 = \\ &= h_1 \operatorname{ctg} \gamma_0 \cdot \cos \gamma_0; \end{aligned}$$

$$\frac{\Delta_1}{\sin (90^\circ - \gamma_0)} \approx \frac{t_1}{\sin / 90^\circ - (90^\circ - \gamma_0)};$$

Отсюда, составляющая Δ_1 определится через известные величины по формуле

$$\Delta_1 = \frac{t_1 \cos \gamma_0}{\sin \gamma_0} = t_1 \operatorname{ctg} \gamma_0 = h_1 \operatorname{ctg}^2 \gamma_0 \cos \gamma_0;$$

Величину Δ_2 получим из соотношений

$$\frac{l_1}{\cos \gamma_0} = \frac{H_2}{\sin \gamma_0}, l_1 = H_2 \operatorname{ctg} \gamma_0;$$

$$\Delta_2 \approx \frac{l_1}{\cos \alpha}$$

Окончательно получаем

$$\begin{aligned} l &= \Delta_1 + \Delta_2 = h_1 \operatorname{ctg}^2 \gamma_0 \cos \gamma_0 + \frac{l_1}{\cos \alpha} = \\ &= h_1 \operatorname{ctg}^2 \gamma_0 \cos \gamma_0 + \frac{H_2 \operatorname{ctg} \gamma_0}{\cos \alpha} \quad (7) \end{aligned}$$

В правой части формулы (6) через технологически известную величину наращивания предотвала по ширине m выразим m_1 - площадь поверхности сцепления основания предотвала по наиболее напряженной поверхности (см. фиг. 3).

Заменяем криволинейную площадь m_1 через сумму прямолинейных отрезков Δ_1 и Δ_2

$$m_1 = \Delta_1 + \Delta_2, \text{ м}^2$$

По теореме синусов выразим вначале Δ_2 через длину откоса Z_1

$$\begin{aligned} \frac{Z_1}{\sin / 180^\circ - (90^\circ - \gamma_n + \gamma_n - \beta)} &= \\ = \frac{\Delta_2}{\sin (90^\circ - \gamma_n)}; \end{aligned}$$

Отсюда

$$\Delta_2 = Z_1 \frac{\cos \gamma_n}{\cos \beta}.$$

В свою очередь

$$Z_1 = \frac{h_2}{\sin \gamma_n},$$

отсюда

$$\Delta_2 = \frac{h_2}{\cos \beta} \operatorname{ctg} \gamma_n.$$

Аналогично отыскиваем Δ_1

$$\Delta_1 = \frac{m}{\sin (90^\circ - \beta)} = \frac{m}{\cos \beta}.$$

Окончательно

$$m \approx \Delta_1 + \Delta_2 = \frac{m}{\cos \beta} + \frac{h_2}{\cos \beta} \operatorname{ctg} \gamma_n, \text{ м}^2.$$

(8)

В формуле (6) остаются неизвестными h_2 и h_3 . Исходя из фиг.4 выразим h_3 через h_2 . Вначале заметим, что $h_3 = h_2 - \Delta h$, м,

По теореме синусов запишем

$$\frac{m_1}{\sin [180^\circ - (\beta + \gamma_n - \beta)]} = \frac{d}{\sin \beta}.$$

отсюда

$$d = \frac{m_1 \sin \beta}{\sin \gamma_n}$$

В свою очередь

$$\frac{\Delta h}{\sin \gamma_n} = d \text{ или } \Delta h = d \sin \gamma_n.$$

Подставим в начальную формулу найденное выражение Δh

$$h_3 = h_2 - \Delta h = h_2 - d \sin \gamma_n =$$

$$= h_2 - \frac{m_1 \sin \beta}{\sin \gamma_n} \cdot \sin \gamma_n = h_2 - m_1 \sin \beta.$$

Поскольку, m_1 , известно из формулы (8), окончательно получим

$$h_3 = h_2 - \left(\frac{m}{\cos \beta} + \frac{h_2}{\cos \beta} \operatorname{ctg} \gamma_n \right) \sin \beta, \text{ м} \quad (9)$$

Далее, в выражении (5) последовательно заменим величину h_3 выражением (9), з величину m_1 , выражением (8) и, таким образом, окончательно получим выражение с одним неизвестным - искомой высотой h_2 .

Вначале выполним первое из названных преобразований (замена h_3 через h_2).

$$\frac{1}{4} \left(m + \frac{m_1}{\cos \beta} \right) (h_2 + h_2 - m \operatorname{tg} \beta -$$

$$- h_2 \operatorname{tg} \beta \operatorname{ctg} \gamma_n) \gamma_2 (\cos \beta \operatorname{tg} \varphi - \sin \beta) + c m_1 = B$$

$$(10)$$

для уменьшения громоздкости формулы обозначим ее часть

$$\gamma_2 (\cos \beta \operatorname{tg} \varphi - \sin \beta) = R \quad (11)$$

Переходя ко второй части преобразований (замена m_1 на m) получим

$$\frac{1}{4} m (2 h_2 - m \operatorname{tg} \beta - h_2 \operatorname{tg} \beta \operatorname{ctg} \gamma_n)$$

$$R + \frac{1}{4 \cos \beta} \left(\frac{m}{\cos \beta} + \frac{h_2}{\cos \beta} \operatorname{ctg} \gamma_n \right) \times$$

$$\times (2 h_2 - m \operatorname{tg} \beta - h_2 \operatorname{tg} \beta \operatorname{ctg} \gamma_n) R +$$

$$+ C \left(\frac{m}{\cos \beta} + \frac{h_2}{\cos \beta} \operatorname{ctg} \gamma_n \right) = B$$

Для решения найденного уравнения относительно искомой высоты наращиваемого предотвала h_2 выполним дальнейшие преобразования

$$\left(\frac{1}{2} m h_2 - \frac{1}{4} m^2 \operatorname{tg} \beta - \frac{1}{4} m h_2 \operatorname{tg} \beta \operatorname{ctg} \gamma_n \right)$$

$$R + \frac{1}{4 \cos \beta} \left(\frac{m}{\cos \beta} 2 h_2 - \frac{m^2}{\cos \beta} \right.$$

$$\operatorname{tg} \beta - \frac{m}{\cos \beta} h_2 \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{ctg} \gamma_n +$$

$$+ \frac{2 h_2^2}{\cos \beta} \operatorname{ctg} \gamma_n - \frac{h_2}{\cos \beta} \operatorname{ctg} \gamma_n m \operatorname{tg} \beta -$$

$$- \frac{h_2^2}{\cos \beta} \operatorname{ctg}^2 \gamma_n \operatorname{tg} \beta \left. \right) R + \frac{cm}{\cos \beta} + \frac{ch_2}{\cos \beta}$$

$$\operatorname{ctg} \gamma_n = \frac{1}{2} m h_2 R - \frac{1}{4} m^2 \operatorname{tg} \beta R -$$

$$- \frac{1}{4} m h_2 \operatorname{tg} \beta \operatorname{ctg} \gamma_n R + \frac{2 h_2 m R}{4 \cos^2 \beta} -$$

$$\frac{m^2 \operatorname{tg} \beta R}{4 \cos^2 \beta} -$$

$$- \frac{h_2 m \operatorname{tg} \beta \operatorname{ctg} \gamma_n R}{4 \cos^2 \beta} + \frac{2 h_2^2 \operatorname{ctg} \gamma_n R}{4 \cos^2 \beta} -$$

$$- \frac{h_2 \operatorname{ctg} \gamma_n m \operatorname{tg} \beta R}{4 \cos^2 \beta} - \frac{h_2^2 \operatorname{ctg}^2 \gamma_n \operatorname{tg} \beta R}{4 \cos^2 \beta} +$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{cm}{\cos \beta} + \frac{ch_2 \operatorname{ctg} \gamma_n}{\cos \beta} = \\
& = \frac{2 h_2^2 \operatorname{ctg} \gamma_n R - h_2^2 \operatorname{ctg}^2 \gamma_n \operatorname{tg} \beta R}{4 \cos^2 \beta} + \\
& + \frac{1}{2} m h_2 R - \frac{1}{4} m h_2 \operatorname{tg} \beta \operatorname{ctg} \gamma_n R + \\
& + \frac{2 h_2 m R}{4 \cos^2 \beta} - \frac{h_2 m \operatorname{tg} \beta \operatorname{ctg} \gamma_n R}{4 \cos^2 \beta} - \\
& - \frac{h_2 \operatorname{ctg} \gamma_n m \operatorname{tg} \beta R}{4 \cos^2 \beta} + \frac{ch_2 \operatorname{ctg} \gamma_n}{\cos \beta} - \frac{1}{4} \\
& m^2 \operatorname{tg} \beta R - \frac{m^2 \operatorname{tg} \beta R}{4 \cos^2 \beta} + \frac{cm}{\cos \beta} = h_2^2 \\
& \left(\frac{2 \operatorname{ctg} \gamma_n R - \operatorname{ctg}^2 \gamma_n \operatorname{tg} \beta R}{4 \cos^2 \beta} \right) + h_2 \\
& \left(\frac{1}{2} m R - \frac{1}{4} m \operatorname{tg} \beta \operatorname{ctg} \gamma_n R + \frac{2 m R}{4 \cos^2 \beta} - \right. \\
& - \frac{m \operatorname{tg} \beta \operatorname{ctg} \gamma_n R}{4 \cos^2 \beta} - \frac{\operatorname{ctg} \gamma_n m \operatorname{tg} \beta R}{4 \cos^2 \beta} + \\
& + \frac{c \operatorname{ctg} \gamma_n}{\cos \beta} \left. \right) - \frac{1}{4} m^2 \operatorname{tg} \beta R - \\
& - \frac{m^2 \operatorname{tg} \beta R}{4 \cos^2 \beta} + \frac{cm}{\cos \beta} = B
\end{aligned}$$

Для упрощения внешнего вида квадратного уравнения и уменьшения его громоздкости вводим следующие буквенные обозначения

$$1) \frac{2 \operatorname{ctg} \gamma_n R - \operatorname{ctg}^2 \gamma_n \operatorname{tg} \beta R}{4 \cos^2 \beta} = K; \quad (12)$$

$$\begin{aligned}
2) \frac{1}{2} m R - \frac{1}{4} m \operatorname{tg} \beta \operatorname{ctg} \gamma_n R + \frac{2 m R}{4 \cos^2 \beta} - \\
- \frac{m \operatorname{tg} \beta \operatorname{ctg} \gamma_n R}{4 \cos^2 \beta} - \frac{\operatorname{ctg} \gamma_n m \operatorname{tg} \beta R}{4 \cos^2 \beta} + \\
+ \frac{c \operatorname{ctg} \gamma_n}{\cos \beta} = M; \quad (13)
\end{aligned}$$

$$3) -\frac{1}{4} m^2 \operatorname{tg} \beta R - \frac{m^2 \operatorname{tg} \beta R}{4 \cos^2 \beta} + \frac{cm}{\cos \beta} = P \quad (14)$$

Окончательно запишем полученное квадратное уравнение в виде

$$K h_2^2 + M h_2 + P - B, \quad (15)$$

откуда определим искомую высоту предотвала h_2 , обеспечивающую общую устойчивость всего массива отсыпанных пород

$$h_2 = \frac{-M \pm \sqrt{M^2 - 4K(P-B)}}{2K}, \text{ м.} \quad (16)$$

Порядок расчета высоты предотвала h_2 следующий

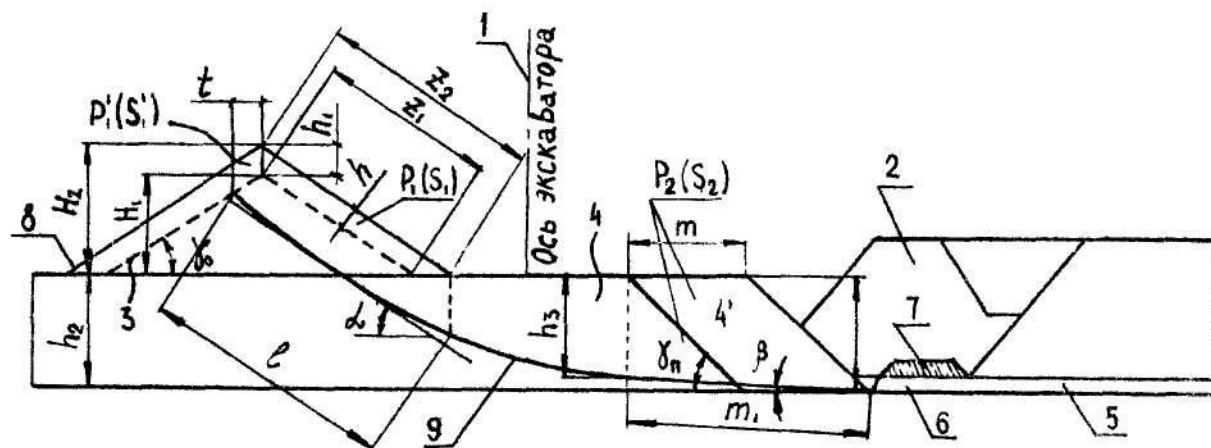
1. В соответствии с формулой (11) определяется величина R .
2. По формулам (10), (12,13,14) определяются коэффициенты квадратного уравнения (15). Это соответственно B, K, M, P .

3. По их значениям составляется квадратное уравнение (15).

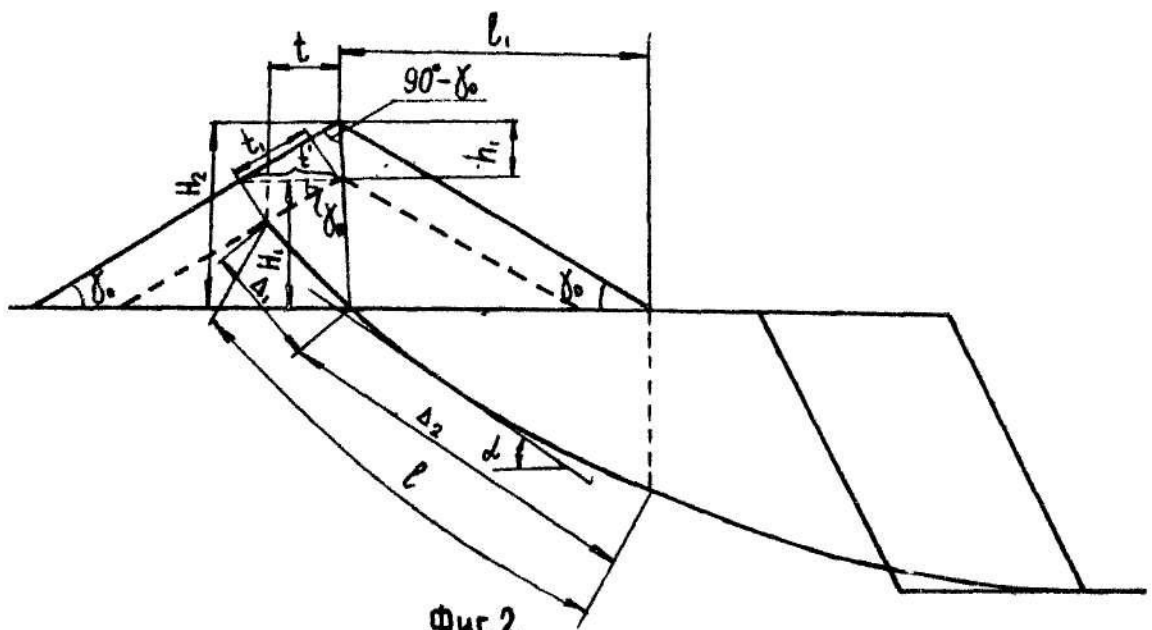
4. При решении квадратного уравнения (15) известными математическими методами по формуле (16) определяется необходимая по условиям устойчивости высота предотвала h_2 .

По известной высоте предотвала h_1 путем преобразований квадратного уравнения (15), можно получить уравнение при решении которого возможно отыскать какую-либо другую неизвестную величину. Например, при технологически известной величине h_2 и других известных параметрах, рассчитывается необходимая величина наращивания предотвала, т. необходимая для обеспечения устойчивости отвала при увеличении его загрузки.

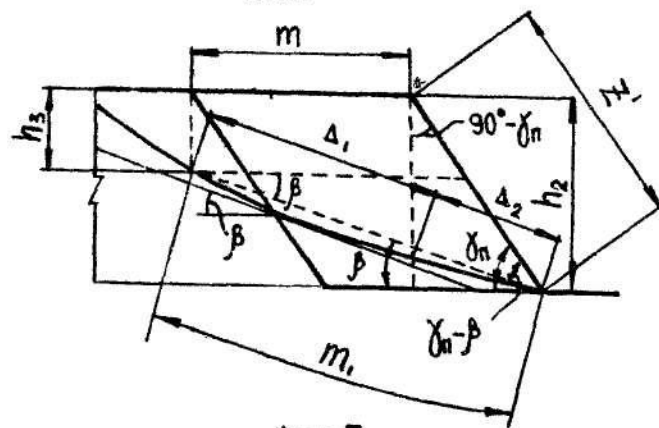
Технические преимущества заявляемого изобретения заключаются в увеличении приемной емкости отвала за счет корректировки высоты предотвала в соответствии с предложенной формулой и возможности оптимального подбора высоты предотвала, при котором емкость отсыпаемого отвала будет максимальной с сохранением безопасности ведения работ.



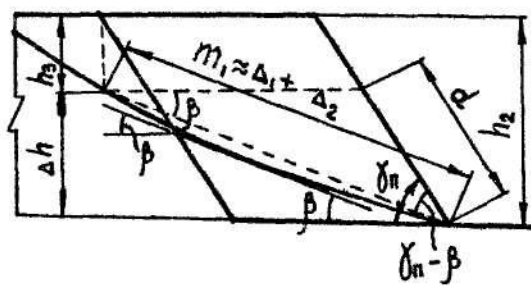
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4