

АНАЛИТИЧНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОБЕМИТЕ НА ОТКРИТИТЕ ПРОСТРАНСТВА ПРИ ПОДЗЕМНО РАЗРАБОТВАНЕ НА РУДНИ НАХОДИЩА

Георги Трапов¹, Георги Михайлов²

¹ Минно-геоложки университет "Св.Иван Рилски", 1700 София

² Минно-геоложки университет "Св.Иван Рилски", 1700 София, E-mail: mihayg@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Представен е модел за определяне на обема на откритите добивни пространства при разработване на стръмнотазягащи рудни тела. Той позволява оперативно да се оценява влиянието на откритите добивни пространства при паралелно извършване на отбиването и запълването със сух скален материал. Посочват се възможностите за практическа реализация при системи с открито добивно пространство и магазиниране.

AN APPROACH FOR ANALYTICAL VOLUME'S DETERMINATION OF UNDERGROUND ORE MINING

George Trapov, George Mihaylov

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

² University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: mihayg@mgu.bg

ABSTRACT. A model is presented for determining the volume of open stope for ore vein mining. It allows to assess the impact of open stope simultaneous: blasting and rock filling. Possibilities are pointed out for implementation of open stope and shrinkage methods.

1. Въведение

При подземно разработване на рудни находища съществено влияние върху ефективността на добивната технология оказват празните пространства, които неизбежно съпътстват минните работи. При изземване на ленти в добивния блок се оформят стъпала, чиито параметри зависят от същността на системата на разработване, а тя от своя страна – от устойчивостта на рудата и страничните скали. Проблемът е особено актуален при прилагане на сондажно отбиване и оформяне на открити пространства със значителни размери. Те са предпоставка за постигане на висока интензивност на разработване, която може да осигури необходимата ефективност при условие, че страничните стени и тавана на камерите са в устойчиво състояние. Възникват предпоставки за разглеждане на масива като обект, чийто свойства се подават на управление, т.е. те могат да се изменят при подходящи външни технологични въздействия. Теорията и практиката на подземно разработване на рудни находища показва, че устойчивостта на страничните скали при оформяне на камери със значителни размери (значителен обем) на празните пространства може да се управлява чрез използване на дълбоки въжени или стоманобетонни анкери. Друг аспект за подобряване на устойчивостта е прилагане на различни видове запълващ материал (най-често основаващ се на различни деформационни и якостни свойства), което предопределя съвместната работа на преместванията при взаимодействието на естествената природна среда с изкуствения масив.

Внимателният анализ показва, че способностите на скалния материал, използван като поддържащ елемент на добивните пространства не са напълно изучени, а следователно не са изчерпани техните потенциални възможности. Скалната подготовка на рудните тела осигурява подобри експлоатационни качества на прилаганата добивна технология. Проблемът се задълбочава, когато тази скална маса трябва да се транспортира до повърхността и там да се устрои върху подходящи терени. Това е предпоставка за нарушаване на екологичното равновесие, което довежда до допълнителни финансови разходи.

Тогава основателно възниква въпросът може ли добитата скална маса да се премести във вече иззетите пространства, като по този начин тя ще подобри тяхното поведение като конструктивен елемент с устойчиви параметри? На този въпрос е потърсен отговор в настоящата статия. Ефективността от прилагането на подобно технологично решение ще зависи от взаимното положение на трите компонента: реалния масив, сухото скално запълнение и откритото пространство между тях. Очевидно върху устойчивостта на тази трикомпонентна система (празно пространство и две материални среди с различни механични свойства) най-съществено влияние ще оказва големината на откритото пространство. Трудностите, които съпътстват определянето на неговите размери, може да се счита като най-сериозната пречка за успешното прилагане на технологично решение, основаващо се на паралелно развитие на добивните работи и запълване на иззетите пространства.

ва с определена стъпка на изоставане. Ето защо тук ударението се поставя върху разработване на подходящ модел и съставяне на алгоритъм за реализация на решението за определяне на обема на откритите пространства.

2. Определяне на геометрията и обема на пълзящия конус на разбухналата минна маса след взривяване

Установява се правоъгълна координатна система (фиг.1) с начало в края на откоса на насипания запълвачен скален материал. Разглежда се забой с три стъпала, номерирани с числата 1, 2, 3 от долу нагоре. Неговата форма се определя от височините h_1, h_2, h_3 и абсцисите x_1, x_2, x_3 на точките $P_1, Q_1, P_2, Q_2, P_3, Q_3$, т.е. координатите на тези точки са $P_1(x_1, 0), Q_1(x_1, h_1), P_2(x_2, h_1), Q_2(x_2, h_1+h_2), P_3(x_3, h_1+h_2), Q_3(x_3, h_1+h_2+h_3)$, където е положено $h=h_1+h_2+h_3$.

Предполага се, че след взривяване напредването на забойните стъпала е съответно z_1, z_2, z_3 . Тогава новото положение на забоя ще се даде с точките $P'_1(x_1+z_1, 0), Q'_1(x_1+z_1, h_1), P'_2(x_2+z_2, h_1), Q'_2(x_2+z_2, h_1+h_2), P'_3(x_3+z_3, h_1+h_2), Q'_3(x_3+z_3, h_1+h_2+h_3)$.

Ако с k_p се означава коефициентът на разбухване, то обема на взривената руда ще се изрази с формулата $R_m = k_p(z_1h_1 + z_2h_2 + z_3h_3)$.

Ъгълът на естествения откос на взривената минна маса се означава с φ , при което $k = \tan \varphi$. Върхът на конуса е означен с $C(x_c, h_c)$, където x_c, h_c са съответно абсцисата и ординатата му.

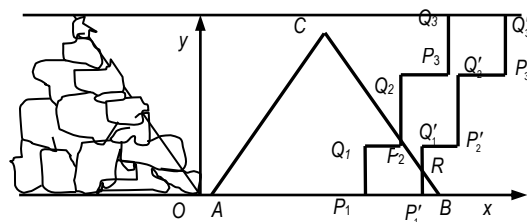
При $h_k \leq h$ от взривената руда ще се формира конус или част от конус (фиг. 1) с примерно сечение $A(x_A, 0), P'_1, Q'_1, R(x_1+z_1, k(2x_c - x_A - x_1 - z_1)), C(x_c, h_c)$, където в този случай R е пресечна точка на бедрото BC и отсечката $P'_1Q'_1$.

Ако $h_k > h$ се получава пресечен конус, или част от пресечен конус. В разглежданото примерно сечение (фиг. 2) това е фигурата

$$A(x_A, 0), P'_1, Q'_1, R\left(2x_c - x_A - \frac{h}{k}, h_1\right), \\ C_2(2x_c - x_c^{\max}, h), C_1(x_c^{\max}, h),$$

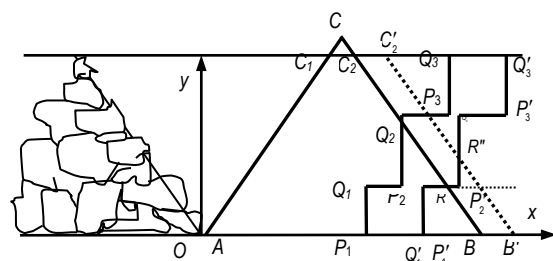
където $x_c^{\max} = \frac{h}{k} + x_A$. Тук R е пресечна точка на бедрото BC и отсечката $Q'_1P'_2$.

Макар, че в повечето случаи формата на взривената руда не е конус, а част от конус по-нататък за краткост ще се нарича пак конус.



Фиг. 1.

Оказва се, че при зададени $x_1, x_2, x_3, z_1, z_2, z_3, h_1, h_2, h_3, k_p$ и φ с избора на x_A и намирането на x_c , геометрията и обема на пълзящия конус са напълно определени. Наистина координатите на точките, ограничаващи конуса се изразяват със стойностите на тези величини. Ето защо задачата се свежда до намиране на начин във всеки конкретен случай да се определи x_c от задължителното условие обема S_k на пълзящия конус да е равен на обема R_m на разбухналата руда, т.е. $S_k = R_m$.



Фиг. 2.

Това дава основание да се изгради следната изчислителна схема, която може да се разглежда и като алгоритъм за решаване на задачата.

2. Алгоритъм за намиране обема на пълзящия конус

1. Задават се стойностите за x_1, x_2, x_3, k_p и φ ;
2. Задават се стойностите за $z_1, z_2, z_3, h_1, h_2, h_3, k_p$;
3. Избира се стойност на x_A ;
4. Правата $BC: y = -kx + k(2x_c - x_A)$ се прекарва през точка P'_1 (т.е. $B = P'_1$). Тогава $x_c = 0,5(x_A + x_1 + z_1)$. Намира се $S_1 = S_{\Delta AP'_1C} = k(x_c - x_A)^2$.

Ако $R_m > S_1$ се преминава към точка 5.

Ако $R_m \leq S_1$, то обемът на взривената минна маса е по-малък от обема на конуса AP'_1C и следователно точка B трябва да е наляво от точка P'_1 , т.е. принадлежи на отсечката AP'_1 . От условието $S_k = R_m$, което тук изглежда така:

$$k(x_c - x_A)^2 = R_m \text{ се намира } x_c = x_A + \sqrt{\frac{R_m}{k}}.$$

При $x_c \leq x_c^{\max}$ върхът на конуса е под тавана на изработката. Пресмята се височината на конуса $h_k = k(x_c - x_A)$. Координатите на точките $A(x_A, 0)$, $B(2x_c - x_A, 0)$, $C(x_c, h_k)$ са напълно определени, а с това и търсения конус.

Премахва се към точка 10.

При $x_c > x_c^{\max}$ върхът на конуса е над тавана на изработката и разбухналата минна маса се опира в тавана и всъщност е пресечен конус. В разглежданото сечение фигурата ще е трапеца $A(x_A, 0)$, $B(2x_c - x_A, 0)$, $C_2(2x_c - x_c^{\max}, h)$, $C_1(x_c^{\max}, h)$. Сега условието $S_k = R_m$ изглежда така:

$$k(x_c - x_A)^2 - (x_c - x_c^{\max})[k(x_c - x_A) - h] = R_m,$$

от където

$$x_c = \frac{-x_A^2 + x_c^{\max} \left(x_A + \frac{h}{k} \right) + \frac{R_m}{k}}{x_c^{\max} - x_A + \frac{h}{k}}.$$

С това координатите на точките $A(x_A, 0)$, $B(2x_c - x_A, 0)$, $C_2(2x_c - x_c^{\max}, h)$, $C_1(x_c^{\max}, h)$ са напълно определени.

Сега има две възможности:

- стойността на x_c е такава, че отсечката C_2B пресича следващата отсечка (в случая P_1Q_1') от начупената линия $AP_1Q_1'P_2Q_2'P_3Q_3'$. Тогава се преминава към подточка 5.1;
- стойността на x_c е такава, че отсечката C_2B пресича текущата отсечка (в случая AP_1') от начупената линия $AP_1Q_1'P_2Q_2'P_3Q_3'$. Търсеният конус е намерен.

Премахва се към точка 10;

5). Построява се правата BC така, че да минава през точка Q_1' . Тогава $x_c = 0,5 \left(x_A + x_1 + z_1 + \frac{h_1}{k} \right)$. Намира се

$$S_2 = S_{AP_1Q_1C} = k(x_c - x_A)^2 - \frac{h_1^2}{2k}.$$

Ако $R_m > S_2$ се преминава към точка 6.

Ако $S_1 < R_m \leq S_2$, то обемът на взривената минна маса е по-голям от обема на конуса AP_1C и по-малък от обема на конуса $AP_1Q_1'C$ следователно точка R на конуса AP_1RC трябва да принадлежи на отсечката P_1Q_1' . От условието $S_k = R_m$, което тук представлява следното квадратно уравнение:

$$k(x_c - x_A)^2 - 0,5(2x_c - x_A - x_1 - z_1)^2 = R_m \text{ се намира } x_c.$$

При $x_c \leq x_c^{\max}$ върхът на конуса е под тавана на изработката. Пресмята се височината на конуса $h_k = k(x_c - x_A)$.

Сега координатите на точките A , P_1' , $R(x_1 + z_1, k(2x_c - x_A - x_1 - z_1))$, $C(x_c, h_k)$ са напълно определени, а с това и търсения конус.

Премахва се към точка 10.

При $x_c > x_c^{\max}$ върхът на конуса е над тавана на изработката и разбухналата минна маса се опира в тавана и всъщност е пресечен конус. В разглежданото сечение фигурата ще е трапеца $A P_1' R C_2 C_1$.

5.1. Сега условието $S_k = R_m$ представлява следното квадратно уравнение:

$$k(x_c - x_A)^2 - 0,5k(2x_c - x_A - x_1 - z_1)^2 - (x_c - x_c^{\max})[k(x_c - x_A) - h] = R_m,$$

от където се определя x_c .

С това координатите на точките A , P_1' , $R(x_1 + z_1, k(2x_c - x_A - x_1 - z_1))$, $C_2(2x_c - x_c^{\max}, h)$, $C_1(x_c^{\max}, h)$ са напълно определени.

Има две възможности:

- стойността на x_c е такава, че отсечката C_2B пресича следващата отсечка (в случая $Q_1'P_2'$) от начупената линия $AP_1Q_1'P_2Q_2'P_3Q_3'$. Тогава се преминава към подточка 6.1;
- стойността на x_c е такава, че отсечката C_2B пресича текущата отсечка (в случая P_1Q_1') от начупената линия $AP_1Q_1'P_2Q_2'P_3Q_3'$. Търсеният конус е намерен.

Премахва се към точка 10;

6). Тук първоначално правата BC се прекарва през точка P_2' . Тогава $x_c = 0,5 \left(x_A + x_2 + z_2 + \frac{h_1}{k} \right)$. Намира се

$$S_3 = S_{AP_1Q_1P_2C} = k(x_c - x_A)^2 - \frac{h_1^2}{2k} - (x_2 + z_2 - x_1 - z_1)h_1.$$

Ако $R_m > S_3$ се преминава към точка 7.

Ако $S_2 < R_m \leq S_3$, то обемът на взривената минна маса е по-голям от обема на конуса $AP_1Q_1'C$ и по-малък от обема на конуса $AP_1Q_1'P_2'C$ следователно точка R на конуса $AP_1Q_1'RC$ трябва да принадлежи на отсечката $Q_1'P_2'$. От условието $S_k = R_m$, което тук представлява следното квадратно уравнение:

$$k(x_c - x_A)^2 - (2x_c - x_A - x_1 - z_1)h_1 + \frac{h_1^2}{2k} = R_m,$$

се намира x_c .

При $x_c \leq x_c^{\max}$ върхът на конуса е под тавана на изработката. Пресмята се височината на конуса $h_k = k(x_c - x_A)$. Координатите на точките A , P'_1 , Q'_1 , $R\left(2x_c - x_A - \frac{h_1}{k}, h_1\right)$, $C(x_c, h_k)$ са напълно определени, а с това и търсения конус.

Премахва се към точка 10.

При $x_c > x_c^{\max}$ върхът на конуса е над тавана на изработката и разбухналата минна маса се опира в тавана и всъщност е пресечен конус. В разглежданото сечение фигурата ще е трапеца $A P'_1 Q'_1 R C_2 C_1$.

6.1. Сега условието $S_k = R_m$ представлява следното уравнение:

$$k(x_c - x_A)^2 - (2x_c - x_A - x_1 - z_1)h_1 + \frac{h_1^2}{2k} - (x_c - x_c^{\max})[k(x_c - x_A) - h] = R_m,$$

от където се получава x_c :

$$T = -x_A^2 - (x_A + x_1 + z_1)\frac{h_1}{k} - \frac{h_1^2}{2k^2} + x_c^{\max}\left(x_A + \frac{h}{k}\right) + \frac{R_m}{k}$$

$$Z = x_c^{\max} - x_A + \frac{h - 2h_1}{k}$$

$$x_c = \frac{T}{Z}.$$

С това координатите на точките A , P'_1 , Q'_1 , $R\left(2x_c - x_A - \frac{h_1}{k}, h_1\right)$, $C_2(2x_c - x_c^{\max}, h)$, $C_1(x_c^{\max}, h)$ са напълно определени.

Има две възможности:

- стойността на x_c е такава, че отсечката C_2B пресича следващата отсечка (в случая $P'_2Q'_2$) от начупената линия $AP_1Q'_1P'_2Q'_2P'_3Q'_3$. Тогава се преминава към подточка 7.1;
- стойността на x_c е такава, че отсечката C_2B пресича текущата отсечка (в случая $Q'_1P'_2$) от начупената линия $AP_1Q'_1P'_2P'_3Q'_3$. Търсеният конус е намерен.

Премахва се към точка 10;

7). Тук бедрото BC минава през точка Q'_2 . Тогава $x_c = 0,5\left(x_A + x_2 + z_2 + \frac{h_1 + h_2}{k}\right)$. Намира се

$$S_4 = S_{AP_1Q'_1P'_2Q'_2C} = k(x_c - x_A)^2 - \frac{(h_1 + h_2)^2}{2k} - (x_2 + z_2 - x_1 - z_1)h_1.$$

Ако $R_m > S_4$ се преминава към точка 8.

Ако $S_3 < R_m \leq S_4$, то обемът на взривената минна маса е по-голям от обема на конуса $AP_1Q'_1P'_2C$ и по-малък от обема на конуса $AP_1Q'_1P'_2Q'_2C$ следователно точка R на конуса $AP_1Q'_1P'_2RC$ трябва да принадлежи на отсечката $P'_2Q'_2$. От условието $S_k = R_m$, което тук представлява следното квадратно уравнение:

$$k(x_c - x_A)^2 - 0,5k(2x_c - x_A - x_2 - z_2)^2 - (x_2 + z_2 - x_1 - z_1)h_1 = R_m$$

При $x_c \leq x_c^{\max}$ върхът на конуса е под тавана на изработката. Пресмята се височината на конуса $h_k = k(x_c - x_A)$.

Координатите на точките A , P'_1 , Q'_1 , P'_2 , $R(x_2 + z_2, k(2x_c - x_A - x_2 - z_2))$, $C(x_c, h_k)$ са напълно определени, а с това и търсения конус.

Премахва се към точка 10.

При $x_c > x_c^{\max}$ върхът на конуса е над тавана на изработката и разбухналата минна маса се опира в тавана и всъщност е пресечен конус. В разглежданото сечение фигурата ще е трапеца $A P'_1 Q'_1 P'_2 R C_2 C_1$.

7.1. В случая условието $S_k = R_m$ представлява следното квадратно уравнение:

$$k(x_c - x_A)^2 - 0,5k(2x_c - x_A - x_2 - z_2)^2 - (x_c - x_c^{\max})[k(x_c - x_A) - h] = R_m,$$

от където се определя x_c .

С това координатите на точките A , P'_1 , Q'_1 , P'_2 , $R(x_2 + z_2, k(2x_c - x_A - x_2 - z_2))$, $C_2(2x_c - x_c^{\max}, h)$, $C_1(x_c^{\max}, h)$ са напълно определени.

Има две възможности:

- стойността на x_c е такава, че отсечката C_2B пресича следващата отсечка (в случая $Q'_2P'_3$) от начупената линия $AP_1Q'_1P'_2Q'_2P'_3Q'_3$. Тогава се преминава към подточка 8.1;
- стойността на x_c е такава, че отсечката C_2B пресича текущата отсечка (в случая $P'_1Q'_2$) от начупената линия $AP_1Q'_1P'_2P'_3Q'_3$. Търсеният конус е намерен.

Премахва се към точка 10;

8). Сега правата BC се прекарва през точка P'_3 . Тогава

$$x_c = 0,5 \left(x_A + x_3 + z_3 + \frac{h_1 + h_2}{k} \right). \text{ Намира се}$$

$$S_5 = S_{AP_1Q_1P_2Q_2P_3C} = k(x_c - x_A)^2 - \frac{(h_1 + h_2)^2}{2k} - (x_2 + z_2 - x_1 - z_1)h_1 - (x_3 + z_3 - x_2 - z_2)(h_1 + h_2).$$

Ако $R_m > S_5$ се преминава към точка 9.

Ако $S_4 < R_m \leq S_5$, то обемът на взривената минна маса е по-голям от обема на конуса $AP_1Q_1P_2Q_2C$ и по-малък от обема на конуса $AP_1Q_1P_2Q_2P_3C$ следователно точка R на конуса $AP_1Q_1P_2Q_2RC$ трябва да принадлежи на отсечката $Q_2P'_3$. От условието $S_k = R_m$, което тук представлява следното квадратно уравнение:

$$k(x_c - x_A)^2 - (x_2 + z_2 - x_1 - z_1)h_1 - (2x_c - x_A - x_2 - z_2)(h_1 + h_2) + \frac{(h_1 + h_2)^2}{2k} = R_m \text{ се намира } x_c.$$

При $x_c \leq x_c^{\max}$ върхът на конуса е под тавана на изработката. Пресмята се височината на конуса $h_k = k(x_c - x_A)$.

Координатите на точките $A, P'_1, Q'_1, P'_2, Q'_2, R(2x_c - x_A - \frac{h_1 + h_2}{k}, h_1 + h_2), C(x_c, h_k)$ са напълно определени, а с това и търсения конус.

Преминава се към точка 10.

При $x_c > x_c^{\max}$ върхът на конуса е над тавана на изработката и разбухналата минна маса се опира в тавана и всъщност е пресечен конус. В разглежданото сечение фигурата ще е трапеца $AP'_1Q'_1P'_2Q'_2RC_2C_1$. Сега условието $S_k = R_m$ представлява следното уравнение:

$$k(x_c - x_A)^2 - 0.5k(2x_c - x_A - x_2 - z_2)^2 - (x_c - x_c^{\max})[k(x_c - x_A) - h] = R_m,$$

от където се определя x_c :

$$T = -x_A^2 - (x_A + x_2 + z_2)\frac{h_1 + h_2}{k} - \frac{(h_1 + h_2)^2}{2k^2} + x_c^{\max} \left(x_A + \frac{h}{k} \right) + \frac{R_m}{k};$$

$$Z = x_c^{\max} - x_A + \frac{h - 2(h_1 + h_2)}{k};$$

$$x_c = \frac{T}{Z}.$$

С това координатите на точките $A, P'_1, Q'_1, P'_2, Q'_2, R(2x_c - x_A - \frac{h_1 + h_2}{k}, h_1 + h_2), C_2(2x_c - x_c^{\max}, h), C_1(x_c^{\max}, h)$ са напълно определени.

Има две възможности:

- стойността на x_c е такава, че отсечката C_2B пресича следващата отсечка (в случая $P'_3Q'_3$) от начупената линия $AP_1Q_1P_2Q_2P_3Q'_3$. Тогава се преминава към подточка 9.1;
- стойността на x_c е такава, че отсечката C_2B пресича текущата отсечка (в случая $Q'_2P'_3$) от начупената линия $AP_1Q_1P_2Q_2P_3Q'_3$. Търсеният конус е намерен.

Преминава се към точка 10;

9). Сега правата BC минава през точка Q'_3 . Тогава

$$x_c = 0,5 \left(x_A + x_3 + z_3 + \frac{h}{k} \right). \text{ Намира се}$$

$$S_6 = S_{AP_1Q_1P_2Q_2P_3Q'_3C} = k(x_c - x_A)^2 - \frac{h^2}{2k} - (x_2 + z_2 - x_1 - z_1)h_1 - (x_3 + z_3 - x_2 - z_2)(h_1 + h_2).$$

Ако $R_m > S_6$ се преминава към точка 11.

Ако $S_5 < R_m \leq S_6$, то обемът на взривената минна маса е по-голям от обема на конуса $AP_1Q_1P_2Q_2P_3C$ и по-малък от обема на конуса $AP_1Q_1P_2Q_2P_3Q'_3C$ следователно точка R от конуса $AP_1Q_1P_2Q_2P_3RC$ трябва да принадлежи на отсечката $P'_3Q'_3$. От условието $S_k = R_m$, което тук представлява следното квадратно уравнение:

$$k(x_c - x_A)^2 - 0.5k(2x_c - x_A - x_3 - z_3)^2 - (x_2 + z_2 - x_1 - z_1)h_1 - (x_3 + z_3 - x_2 - z_2)(h_1 + h_2) = R_m \text{ се намира } x_c.$$

При $x_c \leq x_c^{\max}$ върхът на конуса е под тавана на изработката. Пресмята се височината на конуса $h_k = k(x_c - x_A)$.

Координатите на точките $A, P'_1, Q'_1, P'_2, Q'_2, P'_3, R(x_3 + z_3, k(2x_c - x_A - x_3 - z_3)), C(x_c, h_k)$ са напълно определени, а с това и търсения конус.

Преминава се към точка 10.

При $x_c > x_c^{\max}$ върхът на конуса е над тавана на изработката и разбухналата минна маса се опира в тавана и всъщност е пресечен конус. В разглежданото сечение фигурата ще е трапеца $AP'_1Q'_1P'_2Q'_2RC_2C_1$. Сега условието $S_k = R_m$ представлява следното уравнение:

$$k(x_c - x_A)^2 - 0.5k(2x_c - x_A - x_2 - z_2)^2 - (x_c - x_c^{\max})[k(x_c - x_A) - h] = R_m,$$

от където се определя x_c :

$$T = -x_A^2 - (x_A + x_2 + z_2) \frac{h_1 + h_2}{k} - \frac{(h_1 + h_2)^2}{2k^2} +$$

$$x_c^{\max} \left(x_A + \frac{h}{k} \right) + \frac{R_m}{k}; \quad Z = -x_c^{\max} - x_A + \frac{h - 2(h_1 + h_2)}{k};$$

$$x_c = \frac{T}{Z}.$$

С това координатите на точките A , P'_1 , Q'_1 , P'_2 , Q'_2 , $R \left(2x_c - x_A - \frac{h_1 + h_2}{k}, h_1 + h_2 \right)$, $C_2(2x_c - x_c^{\max}, h)$, $C_1(x_c^{\max}, h)$ са напълно определени.

Има две възможности:

- стойността на x_c е такава, че отсечката C_2B и надясно от начупената линия $AP'_1Q'_1P'_2Q'_2P'_3Q'_3$. Тогава се преминава към точка 11;

- стойността на x_c е такава, че отсечката C_2B пресича текущата отсечка (в случая $P'_3Q'_3$) от начупената линия $AP'_1Q'_1P'_2Q'_2P'_3Q'_3$. Търсеният конус е намерен.

10). Съхранява се информация за пълзящия конус, получена в една от точките 4 до 9. Възможно е да се премине към точка 3 с цел търсене на друг вариант на разположение на конуса. Ако намереният вариант е удовлетворителен се преминава към точка 2, за да се зададе и моделира новото напредване, или се прекратява изчислителния процес;

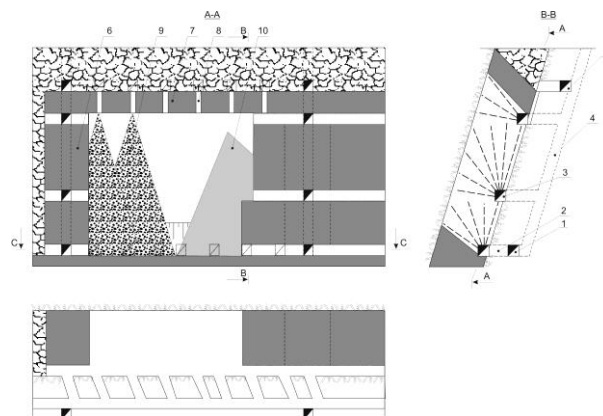
11). Достигането до тази точка означава, че при това изпробване не е получен пълзящия конус. Това може да се дължи на задаване на твърде голямо напредване и предвидената за взривяване руда не може да формира конуса в останалото празно пространство. Тогава се преминава към точка 2 за да се зададе ново, по-малко напредване. Ако празното пространство е достатъчно голямо, но стойността на абсцисата x_A на точка A е голяма и пространството надясно от бедрото AC е твърде малко, за да побере разбухналата руда, трябва да се премине към точка 3 за избор на нова стойност на x_A .

4. Оценка на практическите възможности за реализация на предлагания подход

Процедурата за определяне на обема на откритите добивни пространства намира приложение при добивната технология "пълзящ конус", подробно разгледана в [7]. Нейната същност се свежда до последователно източване на добитата руда следвайки линията на разпространение на рудното тяло. Това означава, че предлаганият метод е подходящ при камерна система с отбиване на рудата от подетажни изработки.

На фиг.3. е показано принципно технологично решение на метода "пълзящ конус". Разглежда се стръмно-западаща рудна жили с дебелина $2 \div 5$ m, т.е. по класификацията за дебелина тя се отнася към средно дебелите.

Предвижда се дължината на добивния блок L_{bl} да съответства на дължината на рудния стълб по линията на разпространение L_{cm} , например: $L_{bl} = L_{cm} = 250 \div 300$ m. Подготовката е етажна, като височината на етажа се приема $H_{ет} = 50$ m. Предлаганата технология може да се прилага при по-голяма височина на етажа, например $H_{ет} = 60 \div 100$ m, което е едно от направлението за по-нататъшно усъвършенстване. Задължително условие е подготовката да бъде скална. Блоковите комини и етажните галерии се прокарват на $10 \div 12$ m от контура на рудното тяло. Доставка на рудата в добивното пространство се извършва под действие на гравитационните сили. Дъното на блока се оформя чрез траншейно подсичане, което осигурява висока производителност, респ. интензивност на изземване. За натоварване и доставка на рудата до участъковия рудоспуск се използват самоходни товаро-транспортни машини с дизелово задвижване и пневмоколесен ход. Между траншейното подсичане на блока и етажната извозна галерия се прокарват разсечки за товарене. Разстоянието между разсечките за товарене е $8 \div 10$ m. Отбиването на рудата се извършва с дълбоки взривни дупки или сондажи, които се пробиват от подетажни галерии. По този начин се оформят подетажи с височина $h_{ле} = 10 \div 12$ m. Височината на подетажа зависи от степента на изменчивост на елементите на залягане, съдържанието на полезния компонент в рудата A_m , а така също и от вида на използваната механизация.

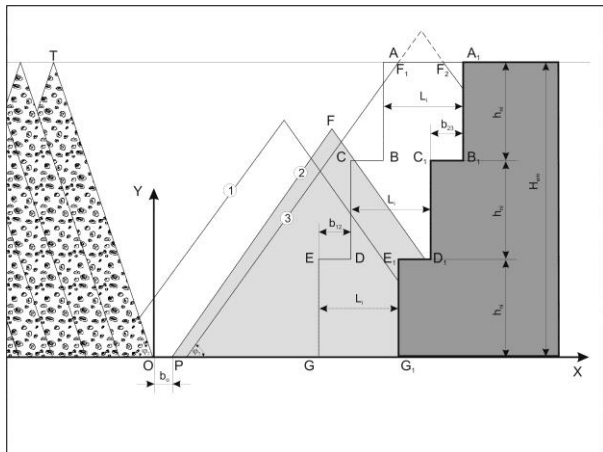


Фиг.3 Принципно схема на метода "пълзящ конус": 1 – извозна галерия; 2 – разсечки за товарене; 3 – подетажни галерии; 4 – блокови комини; 5 – вентилационна галерия; 6 – междукामерен целик; 7 – междуетажен целик; 8 – късометражни комини за подаване на запълващ материал; 9 – скален материал за запълване на добивното пространство; 10 – отбита руда във форма на конус.

Отбиването на рудата от подетажни изработки съществено подобрява условията за безопасна работа. Едновременно взривяване от всички подетажи спомага за увеличаване на интензивността на разработване на добивния блок. Посоката на преместване на фронта на минните работи е по линията на разпространение, докато при класическия вариант на системата с магазиниране, тя е по линията на западане – изземване на ленти от извозната към вентилационната галерия.

За да се определи ефективността на метода "пълзящ конус" следва да се оцени състоянието на откритите пространства, които неизбежно съществуват. Те се намират в динамично равновесие, което зависи от напрегнатото и деформирано състояние на масива около добивните изработ

ботки, устойчивостта на рудата и страничните скали, скоростта на напредване на фронта на добивните работи. Подходящ количествен показател за оценка е хидравличният радиус HR , който се определя като отношение на площта (S) към периметъра (P) на откритите пространства, т.е. $HR=S/P$. На фиг.4 е показана принципна изчислителна схема за определяне на хидравличния радиус. Както се вижда откритото пространство представлява сложно тяло.



Фиг.4 Параметри на модела и изчислителна схема за определяне на хидравличния радиус на откритите пространства: 1,2,3 – контури на “пълзящия конус” при различни варианти на разположение спрямо откоса на запълнението и рудния масив.

Това налага въвеждане на определени условия за неговото изчисляване. Задачата се поставя като равнинна, за сметка на многократно по-малката ширина на добивното пространство, в сравнение с останалите два размера. Те се визуализират като [дължина] и [височина] във вертикалната равнина, прокарана по линията на разпространение на рудното тяло. При този подход конусът на отбитата руда и откосът на скалното запълнение се редуцират до равнинни фигури: триъгълници, правоъгълници, четириъгълници и пр. Основен момент в изчислителната процедура е определянето на върха на конуса F . Както вече се посочи конусът се деформира двукратно: веднъж по ширината на добивното пространство и втори път - от вертикалната равнина на забойната стена, по която се извършва отбиването. Възможни са няколко случая на разполагане на контура на “пълзящия конус” (вж. фиг.4). Те определят различна големина на откритото пространство, а от там и различна стойност на хидравличния радиус. В зависимост от приетата организация на източване на рудата градиентът на изменение на HR може да се променя в широки граници. На трето (но не и на последно) място профилът на стъпаловидната повърхност, която се получава при отбиване на рудата от подетажните изработки може да бъде право или обратно стъпало. В първия случай за отбиване на рудата се използват възходящи сондажи, а във втория – низходящи. Изчислителната схема, разработена в конкретния случай (вж. фиг.1 и фиг.2) разглежда право стъпало, т.е. възходящо разположени сондажи. Следователно HR е една динамично променяща се величина, която зависи от определена съвкупност минно-геоложки и организационни фактори.

За намиране на координатите на върха F се въвежда равнинна координатна система XOY , чието начало е в

пресечната точка на откоса на скалното запълнение с хоризонталната линия, прокарана в основата на добивния блок. Търсят се X_F и Y_F . Решението на задачата налага използване на итеративна изчислителна процедура. За целта е разработен алгоритъм и съставена изчислителна програма KONUS за персонален компютър, подробно описана в предишния параграф.

Входните показатели на модела са: височина на подетажа h_i , където $i = \overline{1, n}$, а n е броят на подетажите; L_i – големина на напредване на фронта на i -я подетаж след всяко взривяване; $b_{i,i+1}$ – технологично разстояние между ръбовете на две съседни стъпала i и $i+1$; b_0 – разстояние между откоса на насипване на сухия скален материал и откоса на отбитата руда; h_k – височина на конуса; ϕ_1 и ϕ_2 – ъглите на естествения откос, съответно за отбитата руда и насипания скален материал.

Камерно-целиковите системи на разработване, които нямат алтернатива при изземване на рудни тела с голяма дебелина, са една от възможните области на приложение на метода “пълзящ конус”. Той осигурява паралелно извършване на добивните работи и запълване на камерата със сухо скално запълнение. Както вече се посочи ефективността на това технологично решение ще зависи от големината на откритото пространство. Натрупаният фактически опит ще даде възможност да се определи интервалът, в който се изменя HR при източването $[HR_{max}, HR_{min}]$. От друга страна известна е зависимостта $HR=f(Mo)$, където Mo е показателят, характеризиращ качеството на масива, респ. устойчивостта на страничните скали [5]. Тогава, отчитайки конкретните минно-технологични и организационни фактори (количество едновременно отбивана руда, последователност на източване, положение на конуса спрямо откоса на запълнението и рудния масив), може да се определи оптималният вариант на технологията “пълзящ конус”.

Големи перспективи за приложение на метода “пълзящ конус” съществуват при прилагане на система с магазиниране на отбитата руда. Сухият скален материал, който се използва за запълване на камерата след пълно източване на рудата, ще позволи да се разшири областта на приложение на тази добивна технология, отчитайки съвместното действие на междуетажните целици и запълнението.

5. Заключение

Методът “пълзящ конус” е принципно ново технологично решение, осигуряващо ефективно разработване на стръмно залягащи, средно дебели жили на границата между устойчиви и средно устойчиви руди и странични скали. Анализът на конструктивните и геомеханични аспекти е извършен на базата на натрупания опит при изследване на отделни детайли в реални природни условия. Това дава основание да се направят следните изводи:

- Възможностите на сухото скално запълнение не са изчерпани напълно. То може да се превърне в мощен инструмент за управление на скалния натиск при допълнително обработване: импрегниране с циментово мляко или механично уплътнение.
- Съвременната минно-добивна механизация притежава големи адаптивни възможности по отношение на сте-

пента на изменчивост на природните фактори. Това спомага за създаване на широка гама технологични решения, способни да съчетаят предимствата, характерни за отделни класове системи на разработване.

- Методът "пълзящ конус" е рационална добивна технология, която има големи резерви за приложение в переходната зона между устойчиви и средно устойчиви руди и странични скали. Този факт потвърждава необходимостта от детайлен анализ на зависимостта $HR = f(Mb)$, която е достатъчно представителен критерий за количествена оценка.

Литература

1. Михайлов, Г., Др. Стефанов, Г. Трапов, Ст. Байрев. Изследване на възможностите за прилагане на нетрадиционни технологии при изземване на запасите в предпазни целици (за условията на р-к "Ерма река"). Минно дело и геология, 8/1998, с.9-14.
2. Михайлов, Г. Геомеханични аспекти на системата с магзиниране при подземно разработване на рудни находища. Минно дело и геология, 5/2002, с.39-43.

3. Куликов, В.В. Выпуск руды. Недра, Москва, 1980, с.304.
4. Kvapil, R. Sublevel Caving. SME Mining Engineering Handbook, 2nd edition, Volume 2. Senior Editor Howard L. Hartman. Littleton, Colorado, 1992, pp.1789-1814.
5. Михайлов, Г. Научно-методологични основи на процедура за избор на оптимално технологично решение при подземно разработване на рудни находища. Хабилюционен труд. София, 2007, с.185.
6. Именитов, В.Р. Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений. Недра, Москва, 1984, с.504.
7. Михайлов, Г. Разработване на сръмнозападащи рудни жили по метода "пълзящ конус", Национална научно-техническа конференция "Съвременни технологии и практики при подземно разработване на полезни изкопаеми", 26-29 май 2008, гр.Девин, стр. 46-51

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Подземно разработване на полезни изкопаеми", МТФ