

МОДЕЛ НА ПОДГОТВИТЕЛНО-НАРЕЗНИ РАБОТИ ПРИ ПОДЗЕМНО РАЗРАБОТВАНЕ НА РУДНИ НАХОДИЩА

Георги Михайлов

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

РЕЗЮМЕ. Съвременната самоходна добивна механизация предоставя възможност за значително увеличаване на размерите на добивните блокове. Много често едно рудно тяло представлява отделен добивен блок. Съществено се променя инфраструктурата на подготвителните и нарезни изработки. Тези обстоятелства налагат нов подход при определяне на топологичната мрежа от изработки. За целта се използва целочислено моделиране, като се разглеждат отделните групи подготвително-нарезни изработки, прокарани съответно по скала и полезно изкопаемо. Извеждат се изрази за оценка на ефективността на подготвително-нарезните работи, които са подходящи при изследване и анализ в многовариантна среда.

A MINING DEVELOPMENT MODEL FOR UNDERGROUND MINING OF ORE DEPOSITS

Georgi Mihaylov

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

ABSTRACT. The present-day self-propelled mining machinery and equipment allows the dimensions of the ore stopes to be increased significantly. It is very common for an ore body to represent a distinct ore stope. The infrastructure of mining development has changed significantly. These circumstances entail the adoption of a new approach to the opening topological grid. Integer modelling has been used and individual clusters of mining developments driven in rock and ore have been considered for this purpose. There have been deduced expressions used to assess the effectiveness of mining development suitable for study and analysis in a non-invariant medium.

Въведение

Като елемент от конструкцията на добивната технология подготвително-нарезните работи (ПНР) задължително се включват в анализа на показателите, характеризиращи ефективността. Въвеждането на високо-производителна мобилна механизация измени до голяма степен представите за добивния блок като основна производствена единица. Това безусловно се отрази върху схемата на разполагане и начина на прокаране на подготвителните и нарезни изработки. В съвременните условия два признака формират представите за същността на ПНР. На първо място това е оформянето на добивните блокове с размери, съответстващи на размерите на рудното тяло (в най-голяма степен това се отнася за щоковете и жилните находища, представени от отделни рудни стълбове). На второ място това е все по-категорично налагащата се необходимост от обединяване на ПНР в една обща група, характеризираща първия етап (стадий) на разработване на добивния блок. Обединени в обща група, обемът на ПНР достига до 30-40% от запасите на блока, което е предпоставка за анализ и оценка на тяхното влияние върху крайните технико-икономически показатели. Целта на настоящата статия е изграждане на нов подход при определяни на коефициентите на подготовка и нарязване на блока, съответно линеен и обемен. Този подход включва създаване на модел на ПНР, в който могат да се отчетат натурални и стойностни показатели и да се обвържат с анало-

гични показатели на добивните работи. Сравнението дава възможност да се оцени промяната на схемата на подготовка и нарязване при запазване на системата на разработване. Процедурата може да се използва и при радикална промяна на добивната технология, включваща подготвително-нарезните и добивните работи.

Входни параметри на модела

За изясняване на същността на модела на ПНР се въвеждат следните параметри и означения.

i – начин на разполагане на изработките спрямо контактите на рудното тяло, $\overline{i=1,m}$;

j – вид на изработката, $\overline{j=1,n}$

k – пореден номер на изработката от даден вид, $\overline{k=1,p}$;

S – сечение на изработката, m^2 ;

L – дължина на изработката, m ;

C – разходи за прокаране на $1m^3$ изработка, USD/m^3 ;

$K_{ПНР}^{\lambda}$ – коефициент на подготвително-нарезни работи, линеен, $m/1000t$;

$K_{ПНР}^{\omega}$ – коефициент на подготвително-нарезни работи, обемен, $m^3/1000t$;

b – обединяване на рудата, %;

a – загуби на рудата, %;

$SUML$ – сумарна (обща) дължина на подготвително-нарезните изработки, m;

$SUMV$ – обща сума на обема на подготвително-нарезните изработки, m³;

$SUMR$ – обща сума на разходите за прокарване на подготвително-нарезните изработки, USD;

γ – плътност на рудата, t/m³;

$Z_{обл}$ – запаси в добивния блок, t;

$SUMZ$ – попълно добита руда при извършване на подготвително-нарезните работи, t;

$K_{доб}$ – коефициент, отчитащ относителния дял на добивните работи;

b_0 – обедняване на рудата при подготвително-нарезните работи, %;

b_{cp} – средна стойност на обедняването с отчитане на различните стадии на работа и различните начини на подготовка, %;

a_{cp} – средна стойност на загубите с отчитане на различните стадии на работа и различните начини на подготовка, %;

$C_{доб}$ – себестойност на 1 t добита руда франко блока, USD/t;

$C_{доб}$ – себестойност на добивните работи (свързани само с производствените процеси в добивния забой), USD/t;

$C_{ПНР}$ – себестойност на подготвително-нарезните работи, USD/t;

$C_{п}$ – пълна себестойност на добитата руда с отчитане на сметите от загубите и обедняването, USD/t

$Щ_b$ – икономическа щета от обедняването b , USD/t;

$Щ_a$ – икономическа щета от загубите a , USD/t;

D_r – относителен дял на r -та добивна технология при разработване на даден блок;

a_0 – загуби на рудата при извършване на подготвително-нарезните работи, %;

Същност на модела на ПНР

Моделът на ПНР се основава на въвеждане на тройна индексация i, j, k при характеристиката на отделните видове изработки, а именно: $i = 1, m$, $m=2$; разглеждат се изработки, прокарани по руда ($i=1$) и изработки, прокарани по скала ($i=2$); $j = 1, n$, $n=4$; разглеждат се хоризонтални изработки ($j=1$), наклонени изработки ($j=2$), вертикални изработки ($j=3$) и камерни изработки ($j=4$); $k = 1, p$, приема се че максималният брой на изработките от всеки вид е 10, т.е. $p=10$. В такъв случай сумарната дължина на подготвителните и нарезни изработки ще бъде

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p L_{ijk} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^{10} L_{ijk} = SUML \quad (1)$$

Общият обем на подготвителните и нарезни изработки ще бъде

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p S_{ijk} L_{ijk} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^{10} S_{ijk} L_{ijk} = SUMV \quad (2)$$

Общата сума за прокарване на подготвителните и нарезни изработки ще бъде

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p S_{ijk} L_{ijk} C_{ijk} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^{10} S_{ijk} L_{ijk} C_{ijk} = SUMR \quad (3)$$

Общият обем на попълно добитата руда при прокарване на подготвително-нарезните изработки ще бъде

$$\gamma \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p L_{ijk} S_{ijk} = \gamma \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^{10} L_{ijk} S_{ijk} = SUMZ \quad (4)$$

Относителният дял на попълно добитата руда при извършване на ПНР ще бъде

$$K_o = \frac{SUMZ}{Z_{обл}} 100, \quad \% \quad (5)$$

Коефициентът, отчитащ относителния дял на добивните работи $K_{доб}$ се определя въз основа на K_o или

$$K_{доб} = (100 - K_o) 100^{-1}, \quad \text{като } 0 < K_{доб} < 1 \quad (6)$$

Коефициентът $K_{доб}$ има важно практическо значение. Той се явява първият интегрален показател, характеризиращ обема на ПНР спрямо общото количество на запасите в блока. Вторият интегрален показател е коефициентът на ПНР. Той има две измерения линеен и обемен и се определя с изразите

$$K_{ПНР}^n = \frac{1000SUML}{Z_{обл} - SUMZ}, \quad \text{m}/1000 \text{ t} \quad (7)$$

$$K_{ПНР}^o = \frac{1000SUMV}{Z_{обл} - SUMZ}, \quad \text{m}^3/1000 \text{ t} \quad (8)$$

Постановка на задачата при изменение на схемата на ПНР. В този случай системата на разработване не се променя. Променят се някои елементи на подготовката и нарязването на блока. Например конструкцията на дъното на блока (във връзка с използването на дънно или челно източване), разстоянието между изработките за товарене – при изменение на начина на доставка на рудата и пр. Такъв казус е налице при системите с обрушаване, когато източването на рудата се извършва при наличие на контакт с обрушени скали. Първата стъпка на процедурата предвижда извеждане на зависимостта $b = f(K_{ПНР})$. Зависимостта е обратно пропорционална, т.е. с увеличаване на $K_{ПНР}$ обедняването намалява и обратно-малките стойности на $K_{ПНР}$ са предпоставка за по-голямо обедняване. Този факт може да се подкрепи най-малко с аргумента, че при голям обем на ПНР, количеството на чисто издетата руда също се увеличава. Интерес представлява случаят, когато ПНР се характеризират с определено обедняване b_0 . Тогава се налага въвеждане на показателя средно обедняване за блока b_{cp} , който се определя съгласно изрази

$$b_{cp} = (1 - K_{доб}) b_0 + K_{доб} b \quad (9)$$

Логично е $b_0 < b$; възможно е $b_0 = 0$. Следователно $b_{cp} < b$.

При навлизане в по-големи детайли на анализа е възможно извеждане и на зависимостта $b_{cp} = f_2(b_o, b, K_{доб})$. За практиката по-голямо значение има зависимостта $(b-b_{cp}) = f_3(K_{доб})$, която също е обратно пропорционална. В случая може да се намери определена гранична стойност на коефициента на добива $K_{доб\ гр}$, при която по-нататъшното увеличение на $K_{доб}$ води до незначително изменение на разликата $b-b_{cp}$. Смисълът на този подход е в обстоятелството, че оценката на изменението на разликата $b-b_{cp}$ не е нужно да се търси в целия интервал $[0,1]$, а за стойности на $K_{доб} < K_{доб\ гр}$. Следващата стъпка е извеждане на зависимостта $C_{бл} = \varphi(K_{ПНР})$. Зависимостта е право-пропорционална т.е. с увеличаване на $K_{ПНР}$ се увеличава и блоковата себестойност. Практиката показва, че себестойността на ПНР е около 3 пъти по-голяма в сравнение с тази на добивните работи. Освен това, ако се приеме, че $C_{бл} = C_{ПНР} + C_{доб}$ и

$$C_{ПНР} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p s_{ijk} L_{ijk} C_{ijk}}{Z_{бл} - SUMZ} = \frac{SUMR}{Z_{бл} - SUMZ}, \quad (10)$$

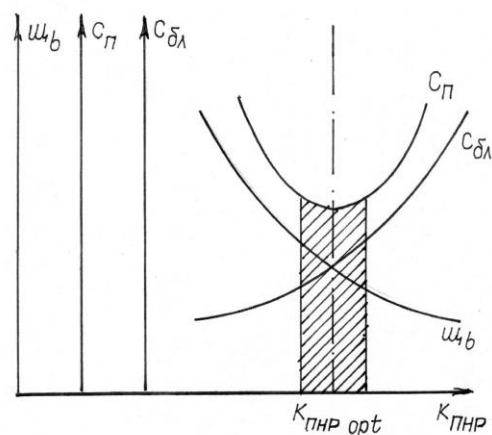
следвайки условието, че се изменя само схемата на подготовка, а не се изменя добивната технология т.е. $C_{доб} \approx const$, право-пропорционалният характер на зависимостта $C_{бл} = \varphi(K_{ПНР})$ не би следвало да буди съмнение. Задължително условие в оценката на ефективността на ПНР е отчитането на щетите от обедняването Ψ_b . В такъв случай пълната себестойност на добитата руда ще бъде

$$C_{\pi} = C_{бл} + \Psi_b = C_{доб} + C_{ПНР} + \Psi_b. \quad (11)$$

Графичното представяне на този израз е показано на фиг.1. То е направено въз основа на изложените по-горе разсъждения. Характерът на зависимостта дава възможност еднозначно да се определи оптималната стойност на коефициента на ПНР $K_{ПНР\ opt}$ при условие, че се променя схемата на подготовка без да се изменя системата на разработване. В такъв тип задачи обикновено се използва не конкретната точка на оптималното решение, а се формира зона на оптималност като нейната големина зависи от конкретните природни и минно-технически условия. Формира се интервалът $[K_{ПНР\ opt} \pm \Delta K_{ПНР}]$. Най-често $\Delta K_{ПНР} = 0.1 K_{ПНР\ opt}$. Точността на полученото решение значително се увеличава ако се отчетат и щетите от загубите Ψ_a , т.е.

$$C_{\pi 1} = C_{бл} + \Psi_b + \Psi_a = C_{доб} + C_{ПНР} + \Psi_b + \Psi_a \quad (12)$$

В конкретния случай е необходим внимателен анализ на източниците на загуби. Те могат да се дължат на целици за опазване на подготовителните изработки (при рудна подготовка), влошен режим на източване, голяма интензивност на развитие на добивните работи и пр. Ето защо в случая следва да се отбележи, че графиката на $C_{\pi 1}$ ще бъде асиметрична по отношение на $K_{ПНР\ opt}$.



Фиг.1. Характер на изменението на $C_{бл}$, C_{π} и Ψ_b в зависимост от $K_{ПНР}$

Постановка на задачата при многостадийни добивни технологии.

При разработване на дебели рудни тела много често възниква въпросът за прилагане на многостадийни добивни технологии. Според известните досега класификации на системите на разработване, тези технологии се отнасят към класа комбинирани системи. В случая броят на използваните стадии на разработване на дадено находище, респ.рудно тяло се оказва подходящ класификационен признак при използване на нетрадиционен подход за обобщаване на множеството добивни технологии. Очевидно всеки отделен стадий на разработване притежава своя специфика в конструкцията и разположението на подготовителните и нарезни изработки. Първият въпрос, на който трябва да бъде даден отговор е броят на стадите s за разработване на рудното тяло и относителният дял на всеки от тях D_r , като очевидно трябва да бъде

спазено условието $\sum_{r=1}^s D_r = 1$. Както вече се посочи единият от показателите, върху който се гради концепцията

за ефективността на добивната технология е обедняването. По аналогия с предишните изчисления средната стойност на обедняването b_{cp} при използване на многостадийно изземване ще бъде

$$b_{cp} = \sum_{r=1}^s D_r b_r; \quad \sum_{r=1}^s D_r = 1. \quad (13)$$

Отчитайки специфичността на ПНР при всеки стадий на разработване средната стойност на обедняването $\overline{b_{cp}}$ ще получи следния израз

$$\begin{aligned} \overline{b_{cp}} = & D_1 [(1 - K_{доб_1}) b_{o_1} + K_{доб_1} b_1] + \\ & + D_2 [(1 - K_{доб_2}) b_{o_2} + K_{доб_2} b_2] + \\ & + D_s [(1 - K_{доб_s}) b_{o_s} + K_{доб_s} b_s] \dots \end{aligned} \quad (14)$$

или в общ вид

$$\overline{b_{cp}} = \sum_{r=1}^s D_r [(1 - K_{доб_r}) b_{o_r} + K_{доб_r} b_r] \quad (15)$$

Тогава пълната себестойност $C_{П2}$ на добитата руда за целия блок при използване на многостадийна схема на разработване ще бъде

$$C_{П2} = C_{\text{en}} + \mathcal{W}_b = C_{\text{доб}} + C_{\text{ПНР}} + \mathcal{W}_b. \quad (16)$$

Ако се използват s на брой добивни технологии с относителен дял $D_r \left(\sum_{r=1}^s D_r = 1 \right)$, изразът за $C_{П2}$ окончателно ще получи вида

$$C_{П2} = \sum_{r=1}^s D_r (C_{\text{доб}_r} + C_{\text{ПНР}_r}) + \mathcal{W}_b \quad (17)$$

В случая $\mathcal{W}_b = \psi_1(\overline{b_{cp}})$. Извеждането на тази функция не е предмет на настоящата статия, но тя подсказва, че в модела задължително следва да се въведе ценността на рудата, респ. съдържанието на полезния компонент и цените, въз основа на които се формира продажбата на крайния продукт (в случая концентрата). Многостадийното изземване предполага използването на технологии с различни загуби a . По аналогия с обедняването може да се определи средната стойност на загубите a_{cp} и средната стойност на загубите с отчитане на дела на ПНР $\overline{a_{cp}}$.

$$a_{cp} = \sum_{r=1}^s D_r a_r, \text{ при условие, че } \sum_{r=1}^s D_r = 1. \quad (18)$$

$$\overline{a_{cp}} = \sum_{r=1}^s D_r [(1 - K_{\text{доб}_r}) a_{0_r} + K_{\text{доб}_r} a_r]. \quad (19)$$

Тогава пълната себестойност $C_{П3}$ на добитата руда за целия блок (рудното тяло) с отчитане на щетите от загубите и обедняването при многостадийно изземване ще бъде

$$C_{П3} = C_{\text{en}} + \mathcal{W}_a + \mathcal{W}_b = C_{\text{доб}} + C_{\text{ПНР}} + \mathcal{W}_a + \mathcal{W}_b \quad (20)$$

$$C_{П3} = \sum_{r=1}^s D_r (C_{\text{доб}_r} + C_{\text{ПНР}_r}) + \mathcal{W}_a + \mathcal{W}_b \quad (21)$$

В случая $\mathcal{W}_a = \psi_2(\overline{a_{cp}})$. Върху точността на полученото решение съществено влияние оказват функциите $\psi_1(\overline{b_{cp}})$ и $\psi_2(\overline{a_{cp}})$. Теорията и практиката по изследване на влияние на щетите от загубите и обедняването показват, че за извеждане на функциите $\psi_1(\overline{b_{cp}})$ и $\psi_2(\overline{a_{cp}})$ като базов вариант се използва функцията $b = \psi_3(a)$. Много често тя се представя като линейна [1]. Конкретният анализ при отчитане на източниците на загубите и обедняването и формиращите се щети от тях следва да покаже дали линейната

апроксимация е достатъчно убедителна при разглеждане на дадения обект.

Заклучение

Съвременните технически средства за извършване на производствените процеси осигуряват висока адаптивност в широки интервали на изменение на природните условия. Това определя ясно изразената тенденция към формиране на ограничено множество от добивни технологии, приложими в подземния рудодобив. Същевременно непрекъснато възникват алтернативи при избора на начин на разработване на дадено находище. От техническа гледна точка конструкцията на блока, респ. мрежата от подготвителни и нарезни изработки притежава по-висока степен на вариантност. Това налага необходимостта от изграждане на подходящ модел на ПНР. Избраният подход за реализация на тази задача в конкретния случай дава основание да се направят следните изводи:

- Изведените функции за себестойността на добитата руда с отчитане на дела на ПНР имат екстремален характер и могат успешно да се използват за решаване на оптимизационни задачи.

- Освен натуралните показатели, характеризиращи ПНР, следва задължително да се оценяват щетите от загубите и обедняването както в процеса на подготовка и нарязване, така и при добивните работи.

- Съвременните тенденции за ограничаване на броя на добивните технологии налага използване на друг класификационен признак, например броя на стадийте на разработване и от тук следва да се разглеждат едностадийни и многостадийни добивни технологии.

Направените изводи недвусмислено показват, че заедно с промяната на концепцията за приложимост на добивните технологии се променят и подходите за изграждане на конструкцията на блока и разположението на мрежата от подготвителни и нарезни изработки. В условия на многовариантност те могат успешно да се оценят с натуралните и стойностни показатели, характеризиращи ПНР.

Литература

- Замесов, Н.Ф., Л.И.Бурцев, В.А.Звеков, И.И.Айнбиндер, Н.П.Крамсков. К проблеме отработки подкарьерных запасов трубки "Мир" подземным способом. Горный журнал 2000,9, с.18-22.
- Именитов, В.Р. Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений. Москва, Недра, 1984, с.504.
- Зыков, А.А. Основы теории графов. Москва, Наука, 1987, с.382.
- Макаров, И.М., Т.М.Виноградская и др. Теория выбора и принятия решений. Москва, Наука, 1982, с.328.