

МОДЕЛИРАНЕ НА ПРОЦЕСА НА УСРЕДНЯВАНЕ КАЧЕСТВОТО НА ПОЛЕЗНОТО ИЗКОПАЕМО ПРИ ИЗПОЛЗВАНЕ НА КОМПЛЕКСИ С НЕПРЕКЪСНАТО ДЕЙСТВИЕ

Илиян Джобов¹, Мариана Трифонова², Георги Трапов³, Паулин Златанов⁴

¹Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, idjobov@hotmail.com

²Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, trifonova.m@gmail.com

³Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, trapov@abv.bg

⁴Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. В предложената публикация е направен обстоен обзор на опита от прилагането на различни методи за моделиране процеса на усредняване на качеството на полезното изкопаемо. Тези методи са валидни при добива на всякакви типове полезни изкопаеми. Системите за управление на качеството се състоят от голям брой комплексни програми, изпълняващи многообразни функции за различни условия. Представен е пример за приложението на един от методите в конкретен минен обект.

SIMULATION OF THE PROCESS OF ORES QUALITY AVERAGING BY USING CONTINUOUS COMPLEXES

Ilian Djobov¹, Mariana Trifonova², Georgi Trapov³, Paulin Zlatanov⁴

¹University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, idjobov@hotmail.com

²University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, trifonova.m@gmail.com

³University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, trapov@abv.bg

⁴University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

ABSTRACT. A comprehensive survey of the experience in applying of different simulation methods of the process of ores quality averaging has been made in the present paper. These methods are valid in mining all types of ores. The quality control systems consist of many complex programs executing multiple functions under different conditions. It has been given as an example one of the methods applied in a concrete mine.

Компютърните системи за моделиране усредняването на качеството на добиваното полезно изкопаемо се използват за управление на добива, транспортирането и смесването на полезното изкопаемо в реално време. С помощта на тези системи се осъществява периодически, като правило, ежечасен автоматичен контрол за изпълнението на плана и управление на добива на полезно изкопаемо, а също и обработката на резултатите от ежесменната работа.

Управлението на технологичните процеси може да се осъществи в автоматичен, полуавтоматичен и ръчен режим. Това дава възможност да се приспособи компютърната система към изменящите се условия. При тази система отсъства модел на месторождението и модел за развитието на минните работи. Използват се само модели за състоянието на оборудването, които формират данни за техническата готовност и максимално възможната производителност на багерите, конвейерите (автосамосвалите) и т.н.

Основната изходна информация за моделиране включва данните за количеството и качеството на ПИ в забоя на всеки багер. При това качеството на полезното изкопаемо трябва да бъде известно преди багера да дойде до отработвания слой. След попадане на полезното

изкопаемо в кофата на багера и върху конвейера вече става невъзможна промяната на качеството. Затова управлението в реално време не е управление само на смесване на ПИ с различни качествени показатели, а по скоро управление на процеса на добива, транспортирането и смесването на ПИ.

Прогноза на качеството на полезното изкопаемо в забоя се извършва от геоложката служба за всеки слой изземван от всеки роторен багер. При това получената стойност на качеството се счита за еднаква във всички точки на отработвания слой. Входните данни, освен изброените досега, включват още денонощния план на добива разбит по смени и информация за състоянието на всяка минна машина. Въз основа на тази входна информация по пътя на моделирането с компютър се изчисляват необходимите стойности на производителността на всеки багер и обема на ПИ върху ГТЛ (автосамосвал), който по някакви причини се е задържал.

Входните данни на системата включват: оперативна информация за работата в течение на смяната, информация за най-важните събития, подредени в хронологичен ред, информация по управлението на технологичния процес.

В автоматичен режим на работа на системата, се извършват корекции на изчисленията за производителността на багера и се предлага схема за включване на конвейерите (автосамосвалите). Освен това компютъра определя по всички предложени варианти: различните производителности на багерите, коефициентите на използването на конвейерите, необходимия брой на превключвания в технологичните възли на системата, необходимост от включване на междинни конвейери, необходимост от подаване на ПИ към складове и т.н.

На диспечера се налага да взема решение в сложна ситуация по ред критерии. След това компютъра фиксира това решение и изчислява производителността на багерите. Резултатите се предават на терминал, разположен при машиниста на багера. За изчисляването на предлагания вариант при изменение на състоянието на някой от обектите е необходимо около 1 минута.

В полуавтоматичен режим на работа на системата на екрана на дисплея при диспечера се подават показателите за качеството на ПИ от всички заботи и възможните варианти на свързване на багерите с конвейерите. Диспечера задава вариант на технологична схема, след което компютъра изчислява необходимата производителност на багерите.

При ръчен режим на управление на системата, диспечера избира не само схемата на включване на конвейерите (автосамосвалите), но и задава необходимата производителност на багерите. В този случай, функциите на компютъра са само за контрол на възможни грешки от страна на диспечера и изпълнения на изчисления по запитване. По такъв начин диспечера в диалог с компютъра изработва вариант за управление на технологичния процес. Данните за варианта, както в автоматичен, така и в полуавтоматичен режим се предават на терминала на багера.

Следователно, основните функции на човека при управлението на технологичните процеси с помощта на компютърна система се свеждат до избора на режим на работа на компютърната система и избор на вариант на включване на конвейерите (автосамосвалите) при работа на системата в полуавтоматичен и ръчен режим, определяне на необходимата производителност на багерите, при работа на системата в автоматичен режим, наблюдение на дисплея за състоянието на обектите, осъществяване на комуникация с машинистите на багерите и ГТЛ, въвеждане в компютъра на необходимата информация.

Аналогична компютърна система за моделиране на усредняването на качеството на ПИ е реализирана в въглищните рудници МЕРКУР и БРЖЗНО - ЧЕХИЯ.

Ще разгледаме пример за усредняване на рудата в конкретни условия:

В рудник има два добивни участъка, максималната производителност на които в смяна е съответно 1,5 и 1,8 хил. т. Съдържанието на полезния компонент в рудата на участък № 1 е 28 %, а на № 2 – 32 %. Производителността на автосамосвалите по участъците е 0,3 и 0,25 хил. т/см.

(Таблица 1). За обогатяване трябва да постъпи руда със съдържание на полезния компонент не по-малко от 30 %. Всичките работещи автосамосвали са 10. Как да се разпредели транспорта между участъците, че да се максимизира: а). добитата руда; б). теглото на метала в добитата руда.

Таблица 1

Участък	№1	№2
Производителност в смяна	до 1,5 хил. т	до 1,8 хил. т
Съдържание на п. к.	28%	32%
Производителност на автосамосвал	0,3 хил. т	0,25 хил. т
Брой на автосамосвалите	x_1	x_2

Произведението $x_1 \cdot 0,3$ е действителната производителност на самосвалите за първи участък, а $x_2 \cdot 0,25$ – за втори. Тогава осредненото съдържание на полезния компонент ще се даде с израза:

$$\frac{(x_1 \cdot 0,3) \cdot 0,28 + (x_2 \cdot 0,25) \cdot 0,32}{(x_1 \cdot 0,3) + (x_2 \cdot 0,25)}$$

В условието на задачата са наложени ограничения на променливите, които се изразяват с неравенствата:

$$\begin{cases} x_1 + x_2 \leq 10 \\ x_1 \cdot 0,3 \leq 1,5 \\ x_2 \cdot 0,25 \leq 1,8 \\ \frac{(x_1 \cdot 0,3) \cdot 0,28 + (x_2 \cdot 0,25) \cdot 0,32}{x_1 \cdot 0,3 + x_2 \cdot 0,25} \geq 0,30 \end{cases}$$

Тъй като стойността на израза $x_1 \cdot 0,3 + x_2 \cdot 0,25$ е положителна, то в четвъртото неравенство можем да се освободим от знаменателя и това ограничение става също линейно. Така ограниченията за променливите след очевидни преобразувания добиват окончателно вида:

$$\begin{cases} x_1 + x_2 \leq 10 \\ x_1 \leq 5 \\ x_2 \leq 7,2 \\ 6x_1 - 5x_2 \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

Имаме и допълнително условията за неотрицателност на променливите

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \quad (2)$$

Всъщност трябва да се решат отделно две задачи. При първата – 1а, се иска максимизиране на добитата руда ($L_{\text{добита}}$), т. е.

$$L_{\text{добита}} = 0,3 \cdot x_1 + 0,25 \cdot x_2 \rightarrow \max \quad (3)$$

При втората – 1б, се иска максимизиране на теглото на метала в добитата руда ($L_{\text{тегло на метала}}$), т. е.

$$L_{\text{тегло на метала}} = (0,3 \cdot x_1) \cdot 0,28 + (0,25 \cdot x_2) \cdot 0,32 \rightarrow \max,$$

или след разкриване на скобите целевата функция има вида:

$$L_{\text{тегло на метала}} = 0,084 \cdot x_1 + 0,08 \cdot x_2 \rightarrow \max \quad (4)$$

Сега можем да формулираме строго двете задачи.

Задача а:

Търси се

$$L_{\text{добута}} = 0,3 \cdot x_1 + 0,25 \cdot x_2 \rightarrow \max,$$

при ограничения (1) и (2):

$$\begin{cases} x_1 + x_2 \leq 10 \\ x_1 \leq 5 \\ x_2 \leq 7,2 \\ 6x_1 - 5x_2 \leq 0 \end{cases}$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$$

Задача б:

Търси се

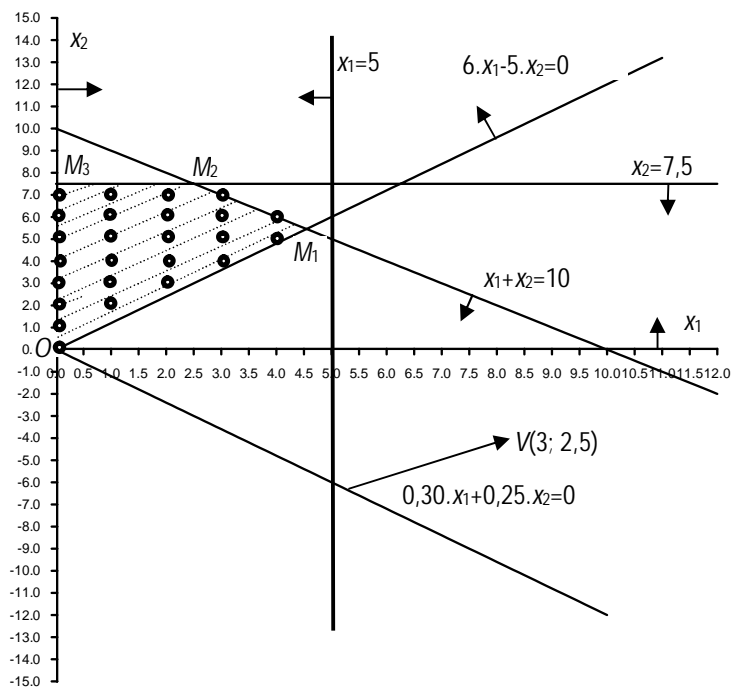
$$L_{\text{тегло на метала}} = 0,084 \cdot x_1 + 0,08 \cdot x_2 \rightarrow \max,$$

при ограничения (1) и (2).

И целевата функция и ограниченията имат линеен характер. Но строго погледната задачите не са задачи на линейното оптимиране. И двете задачи са задачи на целочисленото оптимиране, тъй като стойностите на x_1 и x_2 трябва да са цели числа.

Променливите са само 2 и това позволява геометрично онагледяване и решаване на задачите, което е дадено на фиг. 1.

Точките от равнината, които удовлетворяват всички ограничения, освен тези за целочисленост, изпълват многоъгълника $OM_1M_2M_3$, върховете на който имат координати $O(0; 0)$, $M_1(4,55; 5,45)$, $M_2(2,5; 7,5)$, $M_3(0; 7,5)$.



Фиг. 1.

Задача а:

В тези точки целевата функция има стойности

$$L_{\text{добута}}(O) = 0,3 \cdot x_1 + 0,25 \cdot x_2 = 0,3 \cdot 0 + 0,25 \cdot 0 = 0;$$

$$L_{\text{добута}}(M_1) = 0,3 \cdot 4,55 + 0,25 \cdot 5,45 = 2,7275;$$

$$L_{\text{добута}}(M_2) = 0,3 \cdot 2,5 + 0,25 \cdot 7,5 = 2,625;$$

$$L_{\text{добута}}(M_3) = 0,3 \cdot 0 + 0,25 \cdot 7,5 = 1,875.$$

Най-голямата стойност се достига в точката $M_1(4,55; 5,45)$ и тя е $L_{\text{добута}}(M_1) = 2,7275$ хил. t за смяна., при което $x_1 = 4,55$, $x_2 = 5,45$. Според теорията на линейното оптимиране това е и максималната стойност на целевата функция.

Очевидно това не е решението на поставената задача, тъй като броят на самосвалите не може да е дробно число. В тази задача не се случи онова, което би било най-благоприятно, а именно оптималният връх на задачата на линейното оптимиране (тук M_1) да се случи с целочислени

координати. Тогава това щеше да е и решение на целочислената задача.

Сега сме принудени да отидем към така наречената целочислена решетка, която е съвкупност от точки с целочислени координати, принадлежащи на областта от допустими стойности – многоъгълника $OM_1M_2M_3$. На фиг. 1 тази решетка е изобразена като множество от кръгчета. Именно измежду тези точки трябва да намерим тази, при която целевата функция има максимална стойност.

Не е необходимо да проверяваме във всички тези точки. Като съблюдаваме вектора $V(3; 2,5)$, който е вектор показващ посоката на нарастване на целевата функция, е достатъчно да проверим само в целочислените точки, близки до точка M_1 . Това са точките с координати $(3; 4)$; $(3; 5)$; $(3; 6)$; $(3; 7)$; $(4; 5)$; $(4; 6)$.

Имаме

$$L_{\text{добута}}(3;4) = 0,3 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 = 0,9 + 1,0 = 1,9 ;$$

$$L_{\text{добута}}(3;5) = 0,3 \cdot 3 + 0,25 \cdot 5 = 0,9 + 1,25 = 2,15 ;$$

$$L_{\text{добута}}(3;6) = 0,3 \cdot 3 + 0,25 \cdot 6 = 0,9 + 1,5 = 2,4 ;$$

$$L_{\text{добута}}(3;7) = 0,3 \cdot 3 + 0,25 \cdot 7 = 0,9 + 1,75 = 2,65 ;$$

$$L_{\text{добута}}(4;5) = 0,3 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 = 1,2 + 1,25 = 2,45 ;$$

$$L_{\text{добута}}(4;6) = 0,3 \cdot 4 + 0,25 \cdot 6 = 1,2 + 1,5 = 2,7 .$$

Най-голямата стойност се достига в точката $M(4; 6)$ и тя е $L_{\text{добута}}(M) = 2,7$ хил. t . за смяна., при което $x_1=4$, $x_2=6$. Според теорията на целочисленото оптимизиране това е и максималната стойност на целевата функция.

Задача б:

Аналогично на задача 1а и тук решаваме първо задачата на линейното оптимизиране като намираме

$$L_{\text{обем на метала}}(O) = 0,084 \cdot x_1 + 0,08 \cdot x_2 = 0,084 \cdot 0 + 0,08 \cdot 0 = 0 ;$$

$$L_{\text{обем на метала}}(M_1) = 0,084 \cdot 4,55 + 0,08 \cdot 5,45 = 0,8182 ;$$

$$L_{\text{обем на метала}}(M_2) = 0,084 \cdot 2,5 + 0,08 \cdot 7,5 = 0,81 ;$$

$$L_{\text{обем на метала}}(M_3) = 0,084 \cdot 0 + 0,08 \cdot 7,5 = 0,6 .$$

Максималната стойност отново се достига в точката M_1 .

За да намерим целочисленото решение получаваме стойността на целевата функция в точките с координати $(3; 4)$; $(3; 5)$; $(3; 6)$; $(3; 7)$; $(4; 5)$; $(4; 6)$.

Имаме

$$L_{\text{обем на метала}}(3;4) = 0,084 \cdot 3 + 0,08 \cdot 4 = 0,572 ;$$

$$L_{\text{обем на метала}}(3;5) = 0,084 \cdot 3 + 0,08 \cdot 5 = 0,652 ;$$

$$L_{\text{обем на метала}}(3;6) = 0,084 \cdot 3 + 0,08 \cdot 6 = 0,732 ;$$

$$L_{\text{обем на метала}}(3;7) = 0,084 \cdot 3 + 0,08 \cdot 7 = 0,812 ;$$

$$L_{\text{обем на метала}}(4;5) = 0,084 \cdot 4 + 0,08 \cdot 5 = 0,736 ;$$

$$L_{\text{обем на метала}}(4;6) = 0,084 \cdot 4 + 0,08 \cdot 6 = 0,816 .$$

Най-голямата стойност се достига в точката $M(4; 6)$ и тя е $L_{\text{обем на метала}}(M) = 0,816$ хил. t . за смяна., при което $x_1=4$, $x_2=6$. Според теорията на целочисленото оптимизиране това е и максималната стойност на целевата функция.

Окончателно можем да кажем, че в тази задача по-скоро като изключение, а не като правило, се получи, че двете целеви функции достигнаха максимални стойности в една и съща точка $M(4; 6)$ и те са съответно $L_{\text{добута}}(M) = 2,7$ хил. t за смяна и $L_{\text{обем на метала}}(M) = 0,816$ хил. t за смяна. При това $x_1=4$, $x_2=6$, т. е. за да се постигне този резултат трябва на първи участък да работят 4, а на втори 6 самосвала. Всички условия на задачата, включително и желания процент на полезен компонент в осреднената руда, са спазени.

С това задачата е решена пълно.

Заклучение

Усредняването на качеството на полезното изкопаемо е един от основните проблеми при работата на минните предприятия. Неговото успешно решаване води до значително подобряване на ефективността на добива. Прилагането на компютър улеснява процеса на работа и прави възможно отчитането на множеството променливи, участващи в задачата. Зад опростените операции, извършвани от използваната компютърна програма стоят сложни математически модели, описващи процеса на усредняването на качеството на полезното изкопаемо, независимо от неговия тип.

Литература

Астафьев, Ю.П. и др. *Компютъри и системи управления в горном деле за рубежом*. Москва, „НЕДРА“, 1989.
Резниченко С.С. и др. *Экономико-математические методы и моделирование в планировании и управлении горным производством*. Москва, „НЕДРА“, 1991.