

ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ МОЩНОСТИ КАШЕНСКОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА ОТ ЦЕНЫ МЕДИ

А.З. Цатрян

Национальный политехнический университет Армении

Рассмотрена задача определения годовой производительности Кашенского горно-обогатительного комбината (ГОК), который функционирует на базе балансовых запасов полезного ископаемого одноименного медно-молибденового месторождения. Оно находится в Республике Арцах и представлено окисленными, измененными и вторично окисленными зонами. По морфологии Кашенское медно-молибденовое месторождение – это крупный штокверк, у которого угол залегания висячего бока составляет $35...55^{\circ}$. В настоящее время разработка месторождения осуществляется открытым способом с годовой производительностью в 1,75 млн т.

Для Кашенского медно-молибденового месторождения установлены зависимость количества запасов полезного ископаемого в недрах от бортового содержания меди, а также зависимость последнего от мировой цены 1 т рафинированной меди. Расчетными числовыми значениями бортового содержания меди поуступно оконтурены и рассчитаны средняя площадь и запасы руды в недрах супергенной зоны штокверка Кашенского месторождения. Анализ полученных данных свидетельствует о том, что при росте мировой цены 1 т рафинированной меди на 40,0% бортовое содержание меди снижается на 47,1%, а запасы руды в недрах увеличиваются на 57,7%. Дальнейший рост мировой цены 1 т рафинированной меди на 28,6% приводит к снижению значения бортового содержания меди на 25,9% и увеличению запасов руды в недрах на 11,9%.

Выявлены закономерности изменения производительности по горным возможностям и экономической целесообразности от бортового содержания меди. Доказано, что при мировой цене на рафинированную медь в 5650 долл. США/т годовую производительность Кашенского ГОК следует установить на уровне 3,4 млн т/год.

Ключевые слова: медь, бортовое содержание, руда, производительность, цена, запасы, карьер.

Введение. Кашенское медно-молибденовое месторождение находится в Республике Арцах на расстоянии 40 км от г. Степанакерта и занимает площадь в 7,5 км². Кашенское медно-молибденовое месторождение – это крупный штокверк, у которого угол залегания висячего бока составляет $35...55^{\circ}$. Месторождение представлено окисленными, измененными и вторично окисленными – супергенными зонами.

Окисленная зона колеблется от нескольких метров до 100 м и более, в среднем составляя 45 м. Контакт с супергенной зоной – четкий.

В измененной зоне находятся те участки супергенной зоны, которые подвержены частичному сверхокислению. Запасы руды в измененной зоне оценены как часть супергенной зоны.

Супергенная зона имеет переменную мощность: она колеблется от нескольких метров до 100 м и более, в среднем составляя 40 м. Запасы руд месторождения в оптимальных контурах карьера оцениваются в 55,7 млн т со средним содержанием меди – 0,49% и молибдена – 0,006% [1]. В настоящее время на базе запасов полезного ископаемого месторождения функционирует одноименный горно-обогатительный комбинат, где добыча руды осуществляется открытым способом с годовой проектной мощностью в 1,75 млн т.

Постановка задачи и методы исследования. Известны два понятия годовой производительности горного предприятия: по горным возможностям и оптимальной производительности. Первое представляет собой верхний предел годовой производительности по горно-геологическим и техническим факторам, т.е. максимально возможную годовую производительность горного предприятия на данном уровне научно-технического прогресса, а второе обеспечивает решение целевой функции на основе научно обоснованного критерия оптимальности.

В свою очередь, годовая производительность горного предприятия зависит от количества балансовых запасов полезного ископаемого, которые оконтуриваются и подсчитываются с помощью параметров кондиций – лимитов содержаний полезных компонентов. Величина последних, в частности бортового содержания полезного компонента, прямо пропорциональна удельным приростным затратам добычи и переработки и обратно пропорциональна цене металла. Следовательно, установление закономерности изменения годовой мощности горного предприятия от мировых цен на металл имеет важное значение.

Согласно нормам технологического проектирования [2], годовая производительность карьера по горно-техническим возможностям (A_G , т/год) определяется формулой

$$A_G = h_G S \gamma \eta_0 (1 + r_0), \quad (1)$$

где h_G – среднегодовое понижение добычных работ, м; S – средняя площадь рудного тела, m^2 ; γ – объемная масса руды, t/m^3 ; η_0 – коэффициент извлечения руды, в долях единицы; r_0 – коэффициент разубоживания руды, в долях единицы.

Годовая оптимальная производительность карьера (A_O , т/год) определяется по формуле [3]

$$A_O = \frac{Q \eta_0}{(1 - r_0) T_0}, \quad (2)$$

где Q – запасы руды в недрах, млн т; T_0 – оптимальный срок службы карьера, лет.

Последний определяется по выражению

$$T_O = 6,54 \sqrt{\frac{Q\eta_0}{(1-r_0)}}, \quad (3)$$

где балансовые запасы руды приводятся в миллионах.

В свою очередь, величины S и Q определяются с помощью параметров кондиций, в частности, бортового содержания полезного компонента (α_b , %), расчет которого следует производить методом проф. Ю.А. Агабаляна [4]:

$$\alpha_b = \frac{D_b(\beta - b) + bC_k}{C_k(1 - a) + aD_b}, \quad (4)$$

где D_b – денежное выражение бортового содержания полезного компонента, долл. США/т; β – содержание полезного компонента в концентрате, %; C_k – цена 1 т концентрата, долл. США/т; a и b – постоянные числовые коэффициенты, показывающие зависимость содержания полезного компонента в хвостах от их содержания в руде.

При открытом способе разработки величина D_b определяется выражением [4]

$$D_b = Z_{об} + Z_{от} - Z_e, \quad (5)$$

где $Z_{об}$ – затраты на обогащение 1 т руды, долл. США/т; $Z_{от}$ – затраты на добычу и транспортирование 1 т руды, долл. США/т; Z_e – удельные затраты на удаление вскрыши, долл. США/т.

Следует отметить, что величины $Z_{об}$, $Z_{от}$ и Z_e являются приростными затратами, и поэтому в них отсутствуют амортизация капитальных затрат по зданиям и сооружениям и погашение затрат по горно-капитальным работам [4].

Из двух значений годовой производительности карьера выбирается наименьшее.

Результаты исследования. В настоящее время Кашенский медно-молибденовый ГОК производит медный концентрат, где цена 1 т последнего (C_k , долл. США/т) определяется выражением

$$C_k = 0,01\beta(C_m - 2204,62C_p) - \frac{(Z_{ч.м} + Z_{т.м})}{0,92}, \quad (6)$$

где β – содержание меди в медном концентрате, $\beta=28\%$; C_m – цена 1 т рафинированной меди, долл. США/т; 2204,62 – количество фунтов в 1 т, ф/т; C_p – стоимость переработки 1 фунта черновой меди, $C_p=0,1135$ долл. США/ф; $Z_{ч.м}$ – стоимость переработки 1 т концентрата в черновую медь, $Z_{ч.м}=175$ долл. США/т; $Z_{т.м}$ – стоимость перевозки 1 т концентрата до металлургического завода (на сухое вещество), $Z_{т.м}=47$ долл. США/т; 0,92 – доля сухого вещества, в долях единицы.

Что касается затратных показателей, которые формируют величину D_6 , то на Кашенском ГОК они составляют: $Z_{об}=6,80$ долл. США/т; $Z_{от}=2,00$ долл. США/т; $Z_8=0,95$ долл. США/т.

Подставляя вышеотмеченные показатели в формулу (4), получим для Кашенского медно-молибденового месторождения зависимость бортового содержания меди от цены 1 т рафинированной меди. Величина последнего принимается $C_m=3000$ долл. США/т (пессимистический сценарий), $C_m=5000$ долл. США/т (текущий сценарий) и $C_m=7000$ долл. США/т (оптимистический сценарий).

Таким образом, получим:

- $C_m=3000$ долл. США/т; $C_k=527,55$ долл. США/т; $\alpha_6=0,51\%$;
- $C_m=5000$ долл. США/т; $C_k=1087,55$ долл. США/т; $\alpha_6=0,27\%$;
- $C_m=7000$ долл. США/т; $C_k=1647,55$ долл. США/т; $\alpha_6=0,20\%$.

Вышерассчитанными числовыми значениями бортового содержания меди поуступно оконтурены и подсчитаны средняя площадь и запасы руды в недрах супергенной зоны штокверка Кашенского месторождения, результаты которых представлены в таблице.

Таблица

Результаты поуступного подсчета средней площади и запасов руды в недрах супергенной зоны штокверка Кашенского месторождения

№	Высотная отметка уступа, м	Средняя горизонтальная площадь рудного тела по уступам (S), м ²			Запасы руды в недрах по уступам (Q), т		
		$C_m=3000$ долл. США/т	$C_m=5000$ долл. США/т	$C_m=7000$ долл. США/т	$C_m=3000$ долл. США/т	$C_m=5000$ долл. США/т	$C_m=7000$ долл. США/т
		$\alpha_6=0,51\%$	$\alpha_6=0,27\%$	$\alpha_6=0,20\%$	$\alpha_6=0,51\%$	$\alpha_6=0,27\%$	$\alpha_6=0,20\%$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	740	100	100	100	2300	2300	2300
2	730	936	2510	3112	21528	57730	71576
3	720	1194	13748	21198	27462	316204	487554
4	710	1664	37952	52994	38272	872896	1218862
5	700	7756	73878	101924	178388	1699194	2344252
6	690	21952	111496	146212	504896	2564408	3362876
7	680	47268	122316	151304	1087164	2813268	3479992
8	670	88870	195888	213358	2044010	4505424	4907234
9	660	146944	279618	300844	3379712	6431214	6919412
10	650	175092	336552	366752	4027116	7740696	8435296
11	640	145172	286600	318034	3338956	6591800	7314782
12	630	108554	230640	252872	2496742	5304720	5816056
13	620	75956	180978	200176	1746988	4162494	4604048
14	610	63492	144962	167602	1460316	3334126	3854846

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
15	600	54178	145166	163696	1246094	3338818	3765008
16	590	37946	107778	118076	872758	2478894	2715748
17	580	15904	61240	67200	365792	1408520	1545600
18	570	5224	26162	30448	120152	601726	700304
ИТОГО		998202	2357584	2675902	22958646	54224432	61545746

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что при росте мировой цены 1 т рафинированной меди на 40,0% (от 3000 до 5000 долл. США/т) бортовое содержание меди снижается на 47,1% (от 0,51 до 0,27%), а запасы руды в недрах увеличиваются на 57,7% (от 22,96 до 54,22 млн т).

Дальнейший рост мировой цены 1 т рафинированной меди на 28,6% (от 5000 до 7000 долл. США/т) приводит к снижению значения бортового содержания меди на 25,9% (от 0,27 до 0,20%) и увеличению запасов руды в недрах – на 11,9% (от 54,22 до 61,54 млн т).

На основе данных, приведенных в таблице, ниже на рис.1 представлена номограмма определения запасов руды в недрах в зависимости от мировой цены 1 т рафинированной меди.

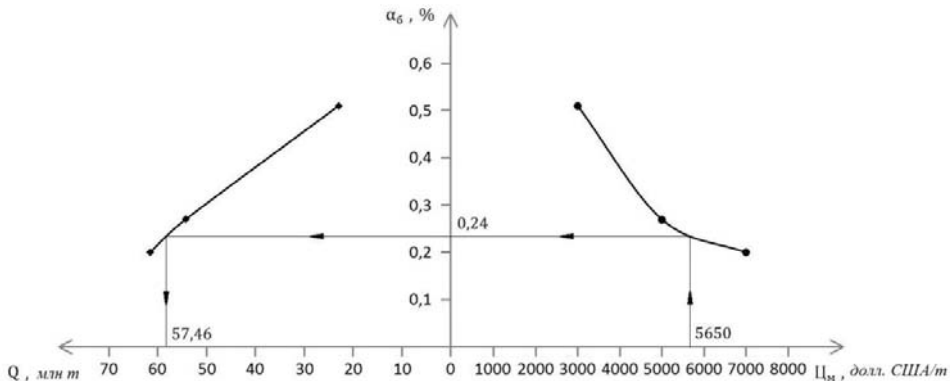


Рис. 1. Номограмма определения запасов руды в недрах в зависимости от мировой цены 1 т рафинированной меди

Графические отображения зависимостей, представленных на рис. 1, позволяют аппроксимировать следующие уравнения кривых:

$$\alpha_b = \frac{11,2 \cdot 10^{-3} Ц_m + 207}{249,2 \cdot 10^{-3} Ц_m - 277,2}, \quad (7)$$

$$Q = 78,045 - 82,373\alpha_b^2 - 65,999\alpha_b. \quad (8)$$

Подставляя выражение (8) в формулы (3) и (2), а также формулу (3) в (2), после ряда преобразований получим формулу для определения оптимальной

годовой производительности карьера Кашенского месторождения в зависимости от бортового содержания меди:

$$A_o = 0,162\sqrt{(78,045 - 82,373\alpha_6^2 - 65,999\alpha_6)^3} . \quad (9)$$

Следует отметить, что при выводе формулы (9) качественно-количественные показатели извлечения руды из недр приняты на уровне проектных показателей горного предприятия: $\eta_0=0,98$ и $r_0=0,085$.

Что касается годовой производительности карьера по горным возможностям, то для рассматриваемого месторождения принимаются следующие значения соответствующих величин, входящих в формулу (3): $h_T=19,4$ м/год; $\gamma=2,3$ м/м³; $\eta_0=0,98$; $r_0=0,085$ и $S=55456$ м² при $\alpha_6=0,51\%$, $S=130977$ м² при $\alpha_6=0,27\%$, $S=148661$ м² при $\alpha_6=0,20\%$.

Следовательно, $A_T=2590392$ м/год при $\alpha_6=0,51\%$;

$A_T=6214131$ м/год при $\alpha_6=0,27\%$;

$A_T=7053139$ м/год при $\alpha_6=0,20\%$.

На рис.2 представлены графики зависимостей A_o и A_T от α_6 .

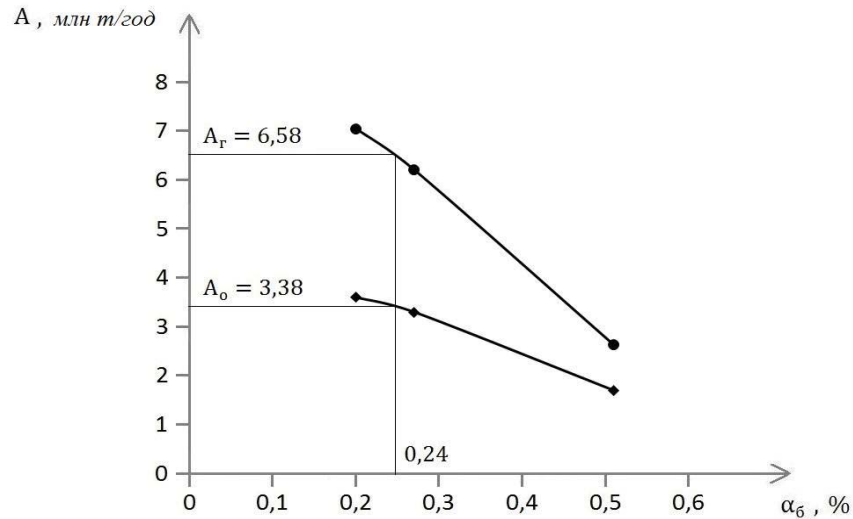


Рис. 2. Графики зависимостей A_o и A_T от α_6

График зависимости A_T от α_6 позволяет аппроксимировать следующее уравнение кривой:

$$A_T = 8,94 - 9,41\alpha_6^2 - 7,58\alpha_6 . \quad (10)$$

Графики зависимостей свидетельствуют о том, что для Кашенского карьера годовую производительность следует принять на уровне оптимального значения.

Заключение. Годовая производительность Кашенского ГОК – изменчивая величина. Она зависит от количества руды в недрах, которая оконтуривается с помощью бортового содержания меди. Последняя, при прочих равных условиях, зависит от мировой цены на рафинированную медь. При увеличении мировой цены на рафинированную медь от 3000 до 7000 долл. США/т годовая производительность Кашенского ГОК изменяется в диапазоне 1,7..3,6 млн т/год. По текущей мировой цене на рафинированную медь в 5650 долл. США/т годовую производительность следует установить на уровне 3,4 млн т/год.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Государственного комитета по науке МОН РА в рамках научного проекта № 16А–2к36.

Литература

1. **Հովհաննիսյան Ա.Շ., Ծատրյան Հ.Զ.** Կաշենի պղինձ-մոլիբդենային հանքավայրի բնական պայմանները և մշակման առանձնահատկությունները // ՀԱՊՀ Լրագրեր.– 2016.– Մաս 2.– էջ 662–666:
2. Нормы технологического проектирования горнорудных предприятий цветной металлургии с открытым способом разработки.– М.: Минцветмет СССР, 1986.–109 с.
3. **Taylor H.K.** Rates of working of mines – a simple rule of thumb // Trans. Institution Mining Metall.– 1986.- V. 95, sec. A.- P. A203–204.
4. **Агабалян Ю.А.** Общая теория оптимального освоения недр (твердые полезные ископаемые). – Saarbrucken, Германия: Palmarium Academic Publishing, 2015.– 288 с.

*Поступила в редакцию 06.03.2017.
Принята к опубликованию 10.11.2017.*

ՊՂՆՁԻ ԳՆԻՑ ԿԱՇԵՆԻ ՀԱՆՔԱՀԱՐՍԱՑՈՒՑԻՉ ԿՈՄԲԻՆԱՏԻ ԱՐՏԱԴՐԱԿԱՆ ՀՉՈՐՈՒԹՅԱՆ ԿԱԽՎԱԾՈՒԹՅԱՆ �ԱՅԱՀԱՅՏՈՒՄԸ

Հ.Զ. Ծատրյան

Դիտարկվել է Կաշենի լեռնահարստացուցիչ կոմբինատի (ԼՀԿ) տարեկան արտադրողականության որոշման խնդիրը: Կոմբինատը գործում է նույնանուն պղինձ-մոլիբդենային հանքավայրի օգտակար հանածոների հաշվեկշռային պաշարների հենքի վրա: Հանքավայրը գտնվում է Արցախի Հանրապետությունում և ներկայացված է օքսիդացած, փոփոխված և երկրորդային օքսիդացած գոտիներով: Ըստ մոլիբդենային պղինձ-մոլիբդենային հանքավայրը խոշոր շտոկվերկ է, որի կախված կողի տեղադրման անկյունը կազմում է 35...55⁰: Ներկայումս հանքավայրի մշակումն իրականացվում է բաց եղանակով՝ 1,75 մ/ն տարեկան արտադրողականությամբ:

Կաշենի պղինձ-մոլիբդենային հանքավայրի համար սահմանվել է ընդերքում օգտակար հանածոների պաշարների քանակի կախվածությունը պղնձի եզրագծային պարունակությունից, ինչպես նաև վերջինիս կախվածությունը 1 տոննայինացված պղնձի համաշխարհային

գնից: Պղնձի եզրագծային պարունակության հաշվարկային թվային արժեքների հիման վրա, ըստ հանքաստիճանների, եզրագծվել ու հաշվարկվել են Կաշենի հանքավայրի շտոկվերկի սուպերգենային գոտու միջին մակերեսը և հանքաքարի պաշարներն ընդերքում: Ստացված տվյալների վերլուծությունը վկայում է այն մասին, որ 1 տոննա ֆինացված պղնձի համաշխարհային գնի 40,0% աճի դեպքում պղնձի եզրագծային պարունակությունը նվազում է 47,1%, իսկ ընդերքում հանքաքարի պաշարներն աճում են 57,7%: 1 տոննա ֆինացված պղնձի համաշխարհային գնի 28,6% հետագա աճը հանգեցնում է պղնձի եզրագծային պարունակության նվազման՝ 25,9% և ընդերքում հանքաքարի պաշարների 11,9% աճին:

Բացահայտվել են պղնձի եզրագծային պարունակությունից կախված, ըստ լեռնային հնարավորությունների և տնտեսապես նպատակահարմար արտադրողականությունների, փոփոխման օրինաչափությունները: Ապացուցվել է, որ ռաֆինացված պղնձի 5650 \$/տոն համաշխարհային գնի դեպքում Կաշենի ԼՀԿ-ի տարեկան արտադրողականությունը պետք է սահմանվի 3,4 մլն տ/տարի մակարդակով:

Առանցքային բաներ. պղինձ, եզրագծային պարունակություն, հանքաքար, արտադրողականություն, գին, պաշար, բացահանք:

DETECTING THE PRODUCTION CAPACITY DEPENDENCE ON THE COPPER PRICE IN THE KASHEN MINING AND BENEFICIATING COMBINE

H.Z. Tsatryan

The problem of determining the annual productivity in the Kashen mining and beneficiating combine, functioning on the basis of the amount of balanced mineral reserves of the eponymous copper-molybdenum mine is considered. It is located in Republic of Artsakh and represented with oxidized, altered and secondary oxidized zones. According to the morphology, the Kashen copper-molybdenum mine is a large stockwork, in which the angle of the hanging side is 35...55°. Currently, the development of the mine is carried out in an open-pit method with an annual productivity of 1,75 million tons.

The dependence on the amount of mineral reserves in the bowels and the cut-off grade of copper for the Kashen copper-molybdenum mine are determined, as well as the dependence of the latter on the world price for 1 ton of refined copper. The average area and ore reserves in the bowels of the supergenic stockwork zone at the Kashen deposit are step-by step outlined and calculated by numerical values of the copper cut-off grade. The analysis of the obtained data shows that at the growth of the world price of 1 ton of refined copper by 40,0%, the copper cut-off grade decreases by 47,1%, and the ore reserves in the bowels increase by 57,7%. The further growth of the world price of 1 ton of refined copper by 28,6% leads to a decrease in the copper cut-off grade by 25,9% and an increase in the ore reserves in the bowels by 11,9%.

The patterns of productivity change in terms of mining capacity and economic feasibility are revealed based on the copper cut-off grade. It is proved that the annual productivity in the Kashen mining and processing combine should be set at the level of 3,4 million tons/year if the world price for refined copper is 5650 \$/ton.

Keywords: copper, cut-off grade, ore, productivity, price, reserves, open pit.