

Някои аспекти на моделирането на източване на рудата при наличие на контакт с обрушени скали

Радослава Боснева

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

РЕЗЮМЕ. Трудното управление на загубите и обедняването при източване на рудата оказва решаващо влияние върху ефективността на системите с подетажно обрушаване. Затова съществено етап в анализа и оценките заемат моделните изследвания. В доклада се разглеждат два от основните аспекти на моделирането: физическо и математическо моделиране. Представена е концепцията на автора и елементите на изследователските задачи, които трябва да се реализират.

Критериите се основават на два аспекта - минимизиране на щетите от обедняването и определяне на оптималните стойности на извличане в зависимост от конструкцията на дъното на блока и режима на източване.

SOME ASPECTS OF ORE GRAVITY FLOW MODELING

ABSTRACT. The difficult management of ore losses and dilution in gravity flow affects the efficiency of sublevel caving methods. Therefore model studies are considered an essential stage in the process of analysis and evaluation. This paper discusses two types of modeling: physical modeling and mathematical modeling. The author's conception is presented and research tasks are performed to exemplify the approach.

The criteria are based on two aspects, (a) minimizing the dilution and (b) defining the extraction values, which depend on the bottom stope construction and ore gravity flow regime.

Една от най-широко използваните технологии за подземен добив на руди на цветни и черни метали е системата с подетажно обрушаване. Бурното развитие на минната машиностроителна промишленост създаде предпоставки за рязко увеличаване на интензивността на добивните процеси, благодарение на което системата е конкурентно-способна въпреки нейните съществени недостатъци. Системата с подетажно обрушаване има множество варианти, основаващи се на различните начини на извършване на производствените процеси, но безспорно един от най-разпространените е т.н. "шведски вариант" – фиг. 1.

Същност на системата с подетажно обрушаване

Системата е приложима при средно устойчиви и неустойчиви странични скали и руда със средна якост при различна форма и големина на рудните тела. В рамките на един етаж добивният блок се разделя на подетажи. Използва се низходящ ред на развитие на добивните работи, като издетите пространства се запълват със само-обрушили се вместващи скали. Рудата се отбива със сондажи. Под действието на собственото си тегло и под натиска на обрушените скали тя постъпва в изработките за източване, където се натоварва и се доставя до рудоспусците.

Основните предимства на системата са: адаптивност към конкретните минно-геоложки и минно-технически условия; голяма гъвкавост и висока интензивност на изземване; висока производителност и безопасност на труда. Като недостатъци могат да се отбележат значителните загуби и обедняване, нарушаването на земната повърхност, трудното проветряване на добивните забои.

Системата с подетажно обрушаване, спада към високо производителните системи на разработване в подземния рудодобив. Технико-икономическите ѝ показатели се изменят в широки граници и са в зависимост от физико-механичните свойства на рудата и вместващите скали, начина на източване и доставка.

Нивото на качеството на добиваната суровина при системата с подетажно обрушаване се определя не само от съдържанието на полезен компонент в масива, но и от степента на обедняване и от начина на управление на качеството на добитата маса при източването ѝ. Важно значение за това имат технологичните особености на системата: височина на подетажа; начин на разполагане на изработките за източване, форма и големина на напречното им сечение; сечение на ветрилото, зърнометричния състав на отбитата руда, количество на едновременно отбиваната руда (линия на най-малкото съпротивление, W и брой едновременно взривявани ветрила), форма на забойната линия на даден подетаж, степен на концентрация на добивните работи - т.е. едновременно извършване на добивните работи на един или повече подетажи., вид на машините за натоварване, начин на източване: дънно или челно.

Един от основните аспекти при изследване на ефективността на системите на разработване с подетажно обрушаване е управление на качеството на добитата руда.

За повишаване на количеството чисто източена руда важно значение има начина на протичане на процеса източване.

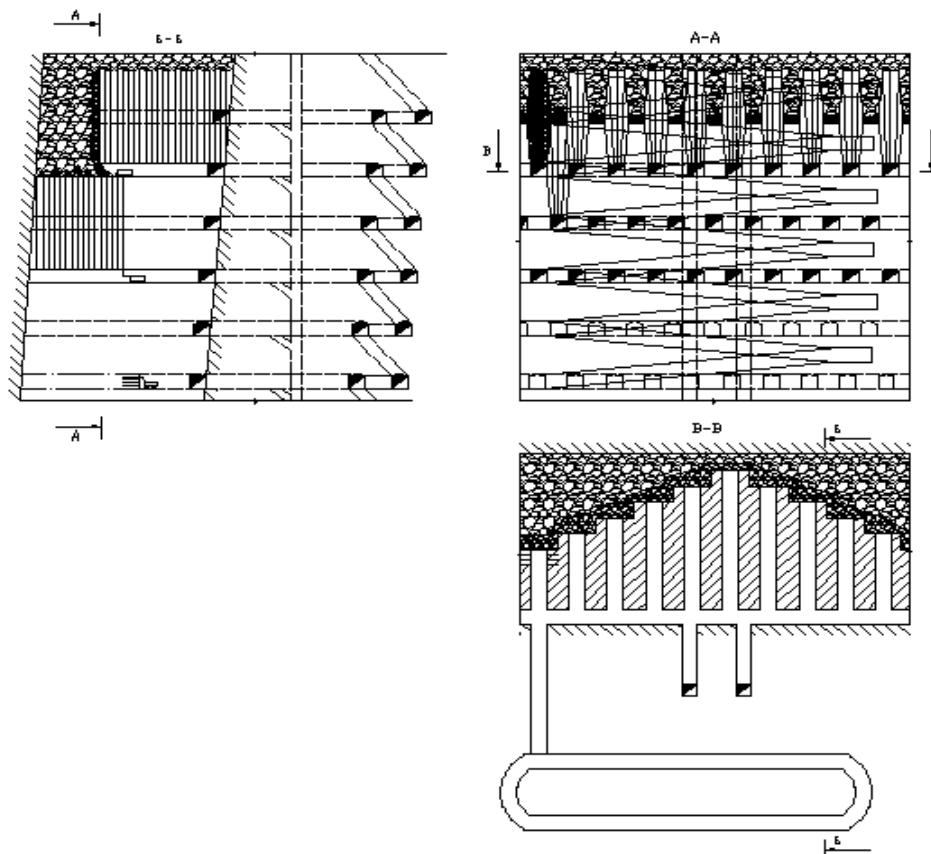
Основната задача при прилагането на системата с подетажно обрушаване е свързана с прогнозиране на показателите на извличане на рудата в конкретни условия и оценката на техническите решения. От правилното из-

пълнение на източването зависи пълнотата на извличане и степента на обедняване на добитата суровина.

Основната концепция при изучаване на процесите, свързани с източването се основава на движението на материална среда в гравитационно силово поле.

В световната практика широко се прилага подходът на моделиране на източването. Този процес най-съществено

влия на технико-икономическите показатели на добивната технология. Моделирането позволява не само да се изучи източването като физически процес, но осигурява възможност за неговото управление с цел постигане на оптимални технико-икономически показатели.



Фиг. 1. Система с подетажно обрушаване – “шведски вариант”

Същност на моделиране на източването на рудата при наличие на контакт с обрушени скали

Теоретична постановка на източването

Отбитата руда представлява съвкупност от твърди частици с много по-малък размер в сравнение с обема, подлежащ на взривяване. Източването се представя като процес на изтичане на насипно тяло през отвор. При движението в гравитационно силово поле се образуват: активна зона – зона на движение на материала и пасивна зона – зона на покой. Активната зона, наричана още и зона на потока се определя от елипсоидите на източване и разбухване. Обемът на елипсоида на източване е равен на обема на извлечената руда – той непрекъснато нараства с увеличаването на източната руда. Елипсоидът на разбухване определя зоната на вторично разбухване. Това в същност представляват две ротационни тела, които достатъчно ясно се разграничават при дъното източване (фиг.2.а.).

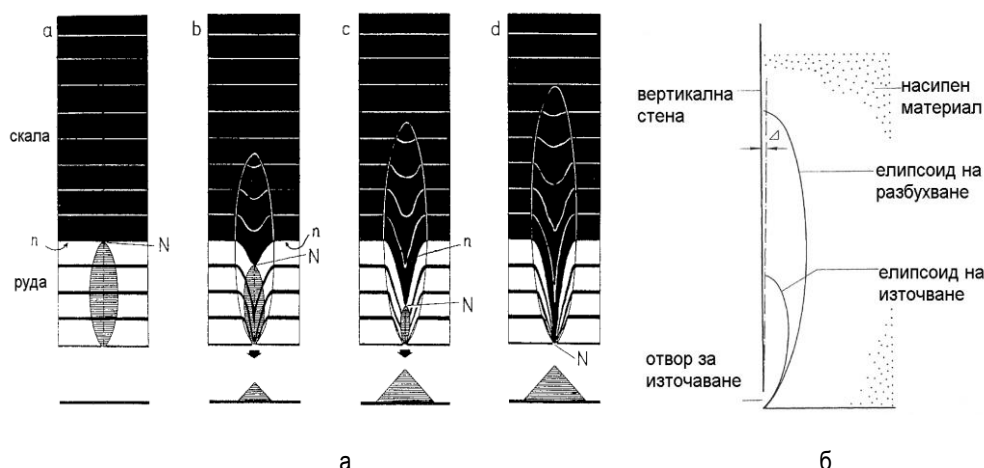
При челното източване има съществена разлика при образуването на зоната на изтичане (фиг.2.б.). В този

случай не може да се образуват пълни елипсоиди на източване и разбухване. Вертикалната стена, на която е разположен отвора за източване представлява ограничаваща плоскост, която не допуска образуването на пълните ротационни тела. Като причина за това може да се приеме различният коефициент на триене, когато раздробената руда и вместващи скали контактуват с масива. Голямата ос на елипсоида не е вертикална както следва да се очаква, а се отклонява в посока към насипния материал. Това отклонение Δ се дължи на споменатото вече триене на материала в стената. Зависимостта е право пропорционална: на по-големия коефициент на триене съответства по-голямо отклонение.

Извличането на максимално количество чиста руда се определя от условието за вписване на елипсоида на източване в контурите на отбитата руда. Изградената концепция на източването има значение за практическата работа и конструиране на системата на разработване.

Постигането на по-ефективни крайни показатели изисква контрол и управление на максимално възможния брой фактори, влияещи върху качеството на добиваната рудна маса (Фиг.3).

Формират се две алтернативи за извършване на моделиране на процеса източване – физическо и математическо.



Фиг. 2.а) Образуване на елипсоидите на източване и разбухване при дънно източване при наличие на контакт с обрушени скали; б.) Образуване на елипсоидите на източване и разбухване при челно източване

Основни аспекти на физическото моделиране

Чрез физическото моделиране на източването на рудата е възможно както изучаването на общите закономерности на гравитационното изтичане на насипен материал, така и решаването на конкретни задачи по отношение избора на разположение на отворите за източване, редът на източване, разстоянието между подготвителните изработки в хоризонталната и вертикална равнина, формата и сечението на изработките за доставка при челно източване на рудата.

Теорията за подобие се явява теоретическа база за планиране на експерименталната работа. Тя дава възможност да се установят условия, при които резултатите от изследванията в лабораторни условия могат да се пренесат върху реалния процес.

Моделирането на източването представлява моделиране на една механична система, за която трябва да се определят мащабите на подобие. Определящи параметри се явяват: линейните размери; средния размер на частиците, образуващи насипния материал, d ; ускорението под действие на силата на тежестта; плътността ρ на частиците, изграждащи материала; ъгъл на вътрешно триене, φ ; обема на източвания материал.

Определяне мащаба на геометрично подобие. Той се определя по конструктивни съображения. Всеки линейен размер трябва да отговаря на мащаба на геометрично подобие:

$$\frac{L_1}{L_2} = \lambda, \quad (1)$$

където: λ - мащаб на геометрично подобие; L_1 , L_2 - линейни размери в реалността и в модела.

Свойствата на насипните тела се характеризират с ъгъл на вътрешно триене, коефициент на сцепление, плътност, ъгъл на триене в стените, а така също форма и големина на частиците.

Както е известно под насипна среда се разбира материал много малко сцепление ($c \rightarrow 0$). Съгласно теорията за моделиране, мащабът на ъгъла на вътрешно триене е

равен на мащаба на ъгъла на триене в стените, т.е. мащабният коефициент ще бъде равен на единица.

Тъй като тази механична система променя своето разположение в пространството, тя представлява един кинематичен модел.

➤ Определяне мащаба на кинематично подобие. Процесът на изтичане на насипния материал се определя от времето за изтичане на обема Q на източения материал. Това налага и определянето на мащаба на кинематично подобие η .

$$\frac{t_1}{t_2} = \eta, \quad (2)$$

където: t_1 , t_2 – са интервалите от време, за които подобни точки ще извършат подобни движения.

Постановката на задачата се определя от: обема на стенда, чрез който ще се извърши физическото моделиране, геометрията на изследвания обект, зърнометрията на средите.

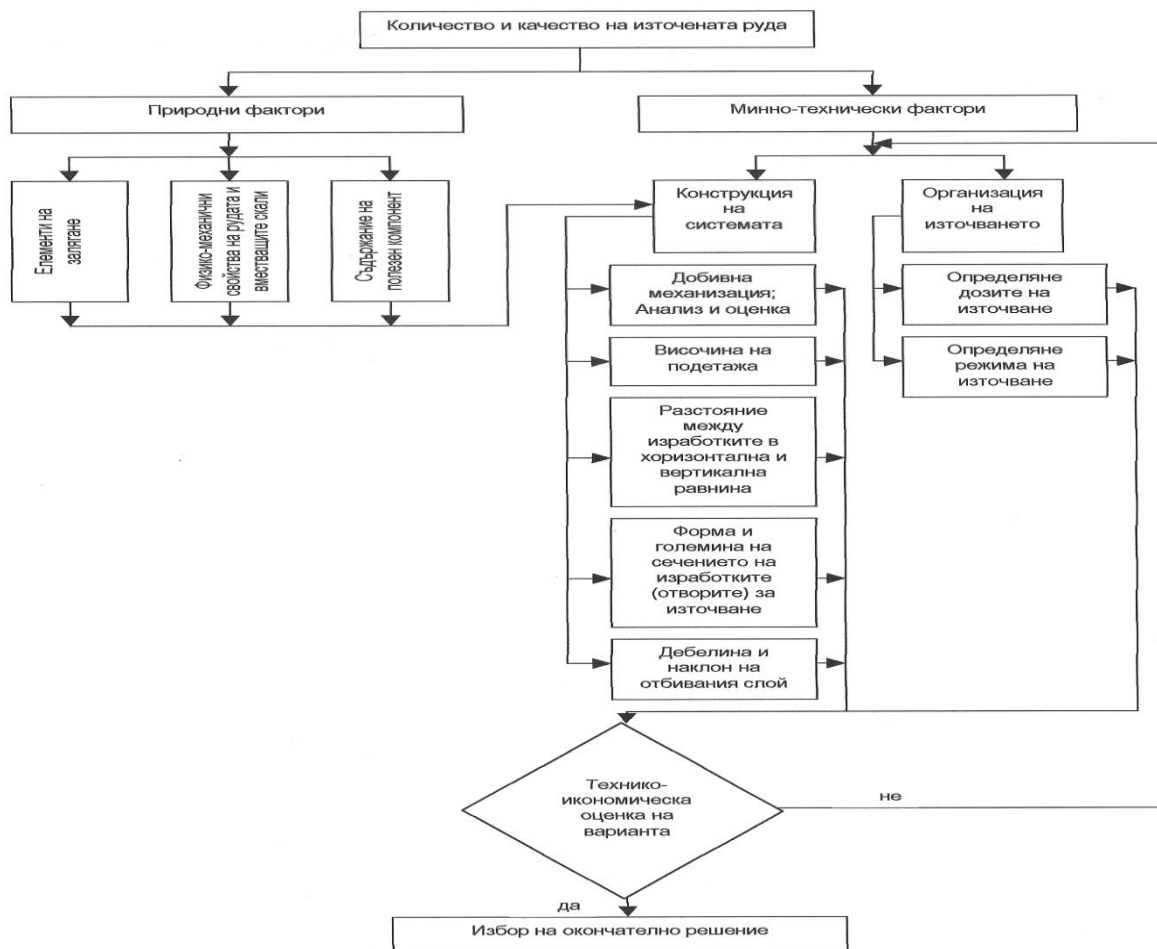
Основни аспекти на математическото моделиране

Математическото моделиране на източването на насипен материал се основава на вероятностния характер на смесването на частиците от двете моделирани среди – руда и вместващи скали. Обемът, който подлежи на източване се представя като съвкупност от частици. Един от множеството създадени модели представя средата, съставена от частици с форма на сфери. Разглеждат се хоризонтални слоеве, в които са разположени частиците. Те са с номера от 0 до k , а частиците във всеки слой – от 0 до m .

По метода на статистическите изпитания се определя коя от частиците ще заеме празното място в първия слой, след това във втория и т.н. При достигане на контакта това празно място се запълва с частица, представяща вместващите скали. Вероятността сферата, която се намира точно над отвора да премине през него се приема за единица. Вероятността за преместване на всяка сфера се определя от израза:

$$P_{m,k} = \frac{C_k^m}{2^k} = C_k^m 0,5^k \quad (3)$$

където: C_k^m показва възможните пътища на движение на частицата към отвора, $C_m^k = \frac{k!}{m!(k-m)!}$, където k , m – номер на слоя и номер на частицата; 2^k – общ брой на възможните изходи на частицата.



Фиг. 3. Фактори, влияещи върху количеството и качеството на източената руда при система с подетажно обрушаване

При създаването на математическия модел трябва да се намери оптималният (в икономическо отношение) вариант, който в случая е обвързан с параметрите на системата. За целта се въвежда критерий на ефективност. Той може да се изразява с максимална или минимална стойност.

В първия случай за критерий на ефективност може да се приеме: $\alpha_{cp} \rightarrow \max$ (α_{cp} – съдържание на полезен компонент в дозата на източване), а във втория $b \rightarrow \min$ (b – обедняване).

Изследване на ефективността на източването при системи с подетажно обрушаване

Необходимостта от изследване на ефективността на източването е продиктувано от условието наличие на контакт руда – обрушени скали.

Начинът на преместване на контакта може да се прогнозира при моделирането на процеса чрез определяне на количеството чисто източена руда (Q_c) до започване на обедняването. То зависи от параметрите на системата;

възприетия начин на източване: дънно или челно; реда на източване.

По-високи технико-икономически показатели естествено се постигат при по-голямо количество чисто източена руда, Q_c , което се определя от:

- при дънно източване – слоя отбита руда, диаметър на отвора за източване, разстояние между отворите, от т.нар. критична височина;
- при челно източване – височината на подетажа, ширина и височина на изработката за източване, разстоянието между тях и критичната височина.

След навлизането на обрушени скали в източвания материал се определят дозите на източване (Напр. Количеството минна маса за една смяна). Поради сравнително малкия обем 50-60 m^3 е възможно контролирането на качеството. За всяка доза се определя средното съдържание на полезен компонент α_{cp} и обедняването b . Увеличаването на общия обем източена минна маса Q води до намаляване на α_{cp} . (Фиг.5.а). Следвайки резултатите от

моделните изследвания и тези от практиката се определя зависимостта $\alpha_{cp} = f(Q)$.

Източването се прекратява тогава, когато обедняването достигне най-голямата икономически допустима стойност.

Източването на рудата в този случай е тясно свързано със загубите и обедняването, които както бе вече споменато, са във функционална зависимост. Оформят се две алтернативи: оставяне на големи загуби и ниско обедняване или допускане на по-високо обедняване за сметка на понижаване на загубите. Какъв да бъде възприетият начин на работа е въпрос на технико икономическа оценка, съобразена с конкретните условия и изисквания. Именно това определя и адаптивността на подетажното обрушаване, т.е. да се определи при какво обедняване, респ. загуби трябва да спре източването.

При системите с подетажно обрушаване извличането на чиста руда обикновено е 65-75 %, а загубите и обедняването 20-40 %.

Следователно трябва да се намери оптимално решение за определяне на коефициент на количеството ($K_{кол}$). Както е известно :

$$K_{кол} = \frac{\eta}{\rho} = \frac{1 - a_e}{1 - b}, \quad (4)$$

$K_{кол} > 1$; $K_{кол} < 1$

където: η - коефициент на извличане, $\eta = 1 - \frac{a_e}{100}$; ρ -

коефициент на изменение на качеството, $\rho = 1 - \frac{b}{100}$

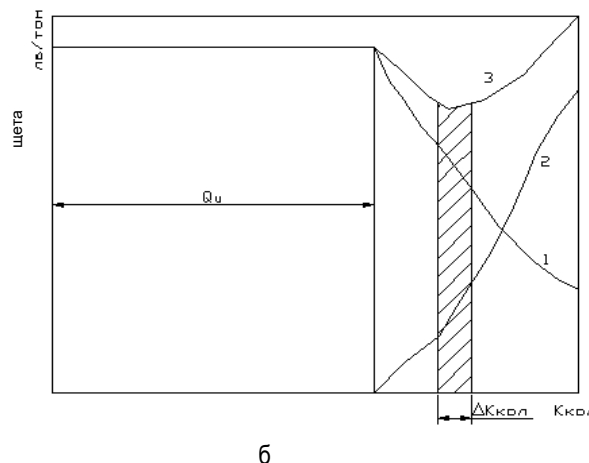
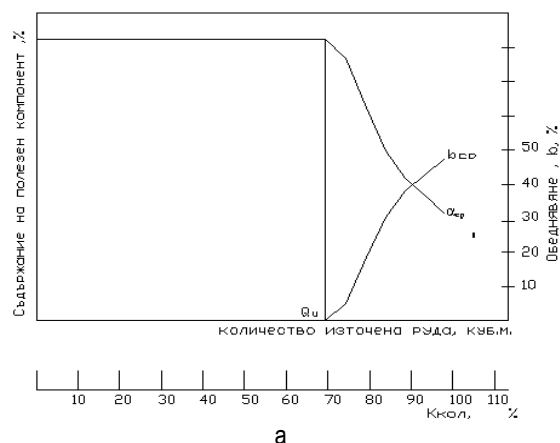
$K_{кол}$ се счита за оптимален, ако сумата от щетите от загубите и обедняването е минимална. Областта на минимума на кривата, която представлява сумарните щети от загубите и обедняването (Фиг. 5.б) се явява търсената стойност. Кривата 1 представя щетата от загубите, 2 – щетата от обедняването, 3 – крива, представяща сумарната щета.

Управлението на качеството се явява важен етап при подземния добив на руди. На повърхността цялата добита минна маса се слива в единен поток. При това се получава смесване на различен по състав, наличие на полезен компонент, влажност и други качествени показатели тип руди.

Формирането на рудопотоците, които обезпечават изискванията за обемни и качествени показатели се явяват краен резултат от взаимодействието на технологичните процеси при добива на руди.

При системите с подетажно обрушаване колебанието на качеството се обуславя не само от нееднородността на съдържанието на полезен компонент в масива, но и от по-високите стойности на обедняването, което е резултат от източването на рудата при наличие на контакт с обрушени скали. При планирането на добива в режим на усредняване на качеството се поставят ограничения, т.е. да няма големи амплитудни колебания на съдържанието на полезен компонент и да се удовлетворяват зададените изисквания на режима на обогатителния процес.

На Фиг. 5 е представена обща схема на движението на рудата от забоите до повърхността. Открояват се няколко етапа, в които се извършва управлението на качеството.



Фиг. 5. Диаграма на източването

а) зависимост между количеството източена руда и фактическото обедняване;

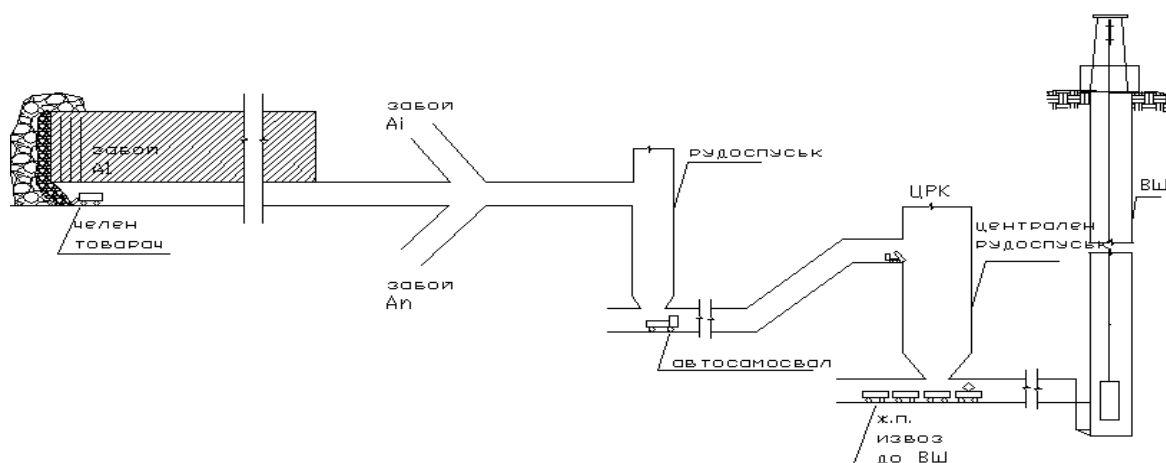
б) определяне оптималната стойност на коефициента на количеството $K_{кол}$ в зависимост от щетата на обедняване и щетата на загуби

Аспекти на управление на качеството на добитата руда при система с подетажно обрушаване

В добивните блокове, забоите A_i (A_i – пореден номер на добивния забой; $i=1, n$) се намират в различен етап на източване. Затова е необходимо да се състави и спазва определен режим на източване и усредняването да започва още от тук. По-големият брой на забоите оказва положително влияние върху колебанието на качеството.

Доставката на рудата (с член товарач) до рудоспусъците и транспортирането (с автосамосвали) до ЦРК (централен разтоварен комплекс) са следващите два основни етапа.

Допълнително усредняване се извършва в рудоспусъците и ЦРК. От ЦРК с помощта на ж.п. извоз добитата руда достига до ВШ (вертикална шахта) и от там се осъществява подем до повърхността.



Фиг.5. Схема на движението на рудата от добивния забой до повърхността

Заклучение

Ефективното прилагане на системата с подетажно обрушаване зависи от множество природни и минно-технически фактори. Това налага тяхното систематично изучаване и изграждане на подходяща методологична основа за оценка на влиянието им. Източването при наличие на контакт на рудата с обрушените скали е процесът с най-голяма тежест при оптимизиране на показателите на извличане (загуби, обедняване, коефициент на количество и др.). Изучаването на неговата същност изисква изграждане на подходяща материална база за физическо и математическо моделиране.

Крайните технико-икономически показатели на системата с подетажно обрушаване зависят от степента на усредняване на рудата по пътя от добивния блок до приемните бункери на обогатителната фабрика. Затова управлението на качеството на рудата в аспектите: изграждане на подхо-

дящ модел, технически средства за опробване и контрол, информационни потоци между обекта и субекта са базата, която може да осигури по-нататъшното увеличение на относителния дял на системата с подетажно обрушаване.

Литература

- Именитов В.Р. *Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений*. Москва, "Недра", 1984, 504 с.
- Куликов В.В. *Выпуск руды*. Москва, "Недра", 1980, 303 с.
- Мартынов В.К. *Проектирование и расчет систем разработки рудных месторождений*. Киев-Донецк, "Вища школа", 1987, 216 с.
- Насонов И.Д. *Моделирование горных процессов*, Москва, "Недра", 1978, 256 с.
- SME Mining Engineering Handbook* – Littleton, Colorado, 1992.