

ГЕОМЕТРИЯ НА ОТКРИТИТЕ ПРОСТРАНСТВА КАТО ФАКТОР ЗА ОЦЕНКА НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА ДОБИВНИТЕ ТЕХНОЛОГИИ

Георги Михайлов

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

РЕЗЮМЕ. Представен е количествен показател за оценка на откритите добивни пространства – хидравличният радиус (HR). Предложен е методичен подход за определяне на големината на откритите добивни пространства чрез хидравличния радиус HR и модула, характеризиращ устойчивостта на масива Mo. Изведени са аналитични зависимости за конкретни условия при системите със запълване и открито добивно пространство.

GEOMETRY TO THE OPEN STOPES AS A FACTOR FOR THE EFFICIENCY'S ASSESSMENT OF THE MINING TECHNOLOGIES

Georgi Mihaylov

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

ABSTRACT. The hydraulic radius (HR) is presented as a quantitative index for the assessment of open stopes. A methodology is proposed for determining the size of open stopes by the hydraulic radius and the module characterizing the rock mass stability Mo. Analytical dependences have been derived for the particular conditions in open stoping-and-filling methods.

Въведение

Технологиите със запълване на добивното пространство намират широко приложение в съвременната практика. Изземването на рудата в добивния блок се извършва на ленти или се използват подетажни изработки. При разработване на щокове, представени от средно устойчиви и устойчиви руди, се прилага камерно-целикова система (КЦС). Високопроизводителната механизация влиза в конфликт с устойчивостта на рудата и страничните скали, тъй като не винаги могат да се оформят открити пространства с размери, съответстващи на безопасните условия на труд. Изборът на оптималните размери на добивните пространства в съвременния етап на развитие, когато на пазара се предлага широка гама пробивна и товаро-транспортна техника, се превръща в особено актуален проблем.

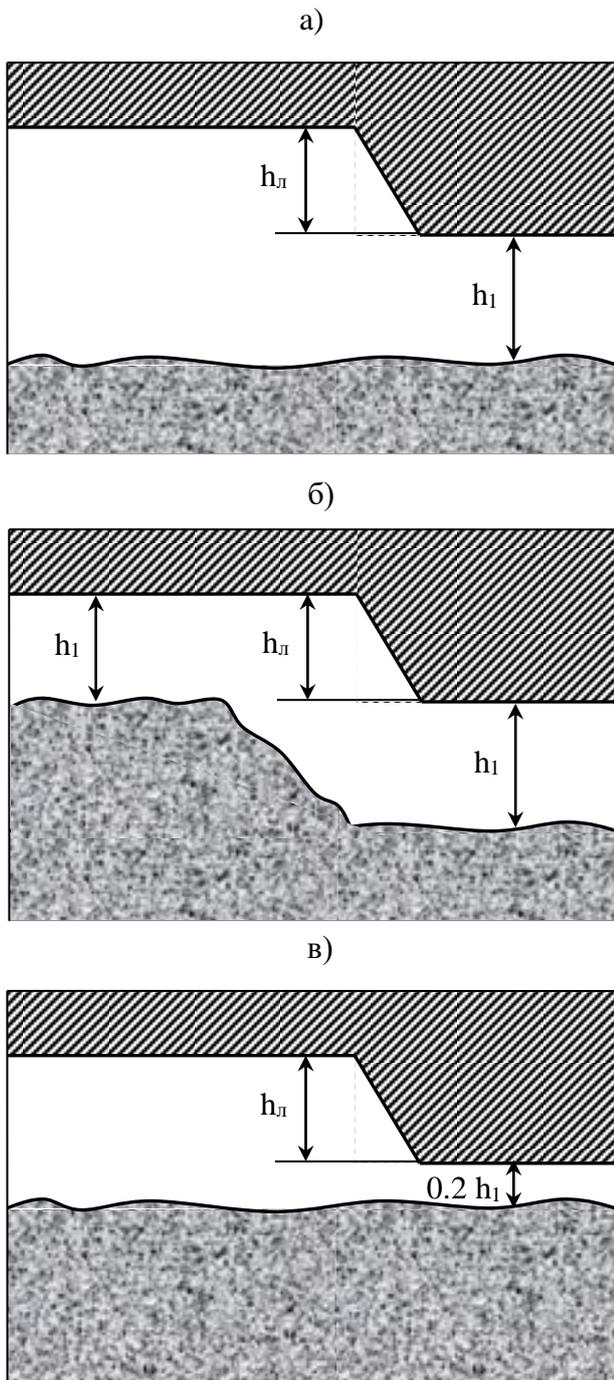
Схеми на работа в добивния забой при технология със запълване на добивното пространство

Най-големи възможности за прилагане на високопроизводителна механизация имат камерно-целиковите системи (КЦС). Ако трите размера на камерата са ширина – $A_{кам}$, дължина $D_{кам}$, височина $H_{кам}$, то в зависимост от устойчивостта на рудата ще се определя геометрията на добивните пространства. Подходящ критерий за сравняване, анализ и оценка е хидравличният

радиус HR , който при така представените означения се изразява с отношението

$$HR = \frac{H_{кам} D_{кам}}{2(H_{кам} + D_{кам})}$$

При технологиите със запълване на добивното пространство и изземване на ленти основен конструктивен параметър е височината на лентата h_l , която е еквивалентна на височината на стъпалото. На фиг.1 са показани три възможни конфигурации на експлоатационната лента при разработване на стръмно-западаща рудна жила. Случаят "а" съответства на последователното извършване на отбиване на рудата и запълване на експлоатационната лента. Условно този случай нека да се нарече (h_1/h_1+h_l) , където h_1 е необходимата височина за нормално функциониране на добивната механизация (самоходни пробивни карети, товаро-транспортни машини и пр.). Случаят "б" съответства на едновременно извършване на отбиване на рудата и запълване на добивното пространство. Условно този случай нека да се нарече (h_1/h_1) . За да се осигури необходимият отстъп между отбиването и доставката на рудата от една страна и запълването на добивното пространство от друга, е необходимо блоковете да бъдат със значителни размери. За това много често в практиката се използват варианти, при които едно рудно тяло представлява един добивен блок. За случаите "а" и "б" е характерно, че доставката на рудата се извършва на преден рудоспуск, с което се осигурява максимална



Фиг. 1. Варианти за изземване на експлоатационната лента при технология със запълване на добивното пространство

съвместимост на производствените процеси в добивния забой. Принципната схема на добивен блок, съответстващ на случаите "а" и "б" (вж. фиг.1) при възходящ ред на изземване е показана на фиг. 2а. Добивният блок се разделя на няколко сектора чрез прокаране на блокови комини. Аналогично на тях в запълненото пространство се изграждат рудоспусъците. Обемът на подготвително-нарезните работи нараства, но заедно с това се увеличава производителността на блока, с което в крайна сметка се постига по-голяма ефективност на разработването. Случаят показан на фиг.1в съответства на изземване на експлоатационната лента при условие, че между рудата и запълнението се оставя минимално разстояние. То се

използва за проветряване на блока и за аварийни нужди. Условно този случай нека да се нарече $(0,2h_л/1,2h_л)$. Схемата се прилага при средно-устойчиви до неустойчиви масиви. Тя се съпровожда със закрепване на призабойното пространство. Съвместяване на двата процеса – отбиване на рудата и запълване на добивното пространство е невъзможно. Доставка на рудата се извършва на заден рудоспусък, който обикновено се комбинира с пътеходно отделение. В зависимост от размерите на рудната жила: дебелина, дължина по линията на западане и разпространение се оформят два типа добивни блока: с един рудоспусък и два блокови комини – фиг.2б или два рудоспусъка и един блоков комин – фиг.2в.

При разработване на средно устойчиви до устойчиви рудни тела се използва вариант на системата със запълване и отбиване на рудата от подетажни изработки – фиг.3. Във зависимост от степента на изменчивост на елементите на залягане и най-вече на дебелината на рудното тяло, се избира височината на подетажа $h_{пе}$. Вариантът е особено ефективен при използване на сух скален материал за запълване, който се осигурява от прокарането на скалните подготвителни изработки в рудника.

Същност на хидравличния радиус (HR) като показател за оценка на откритите добивни пространства

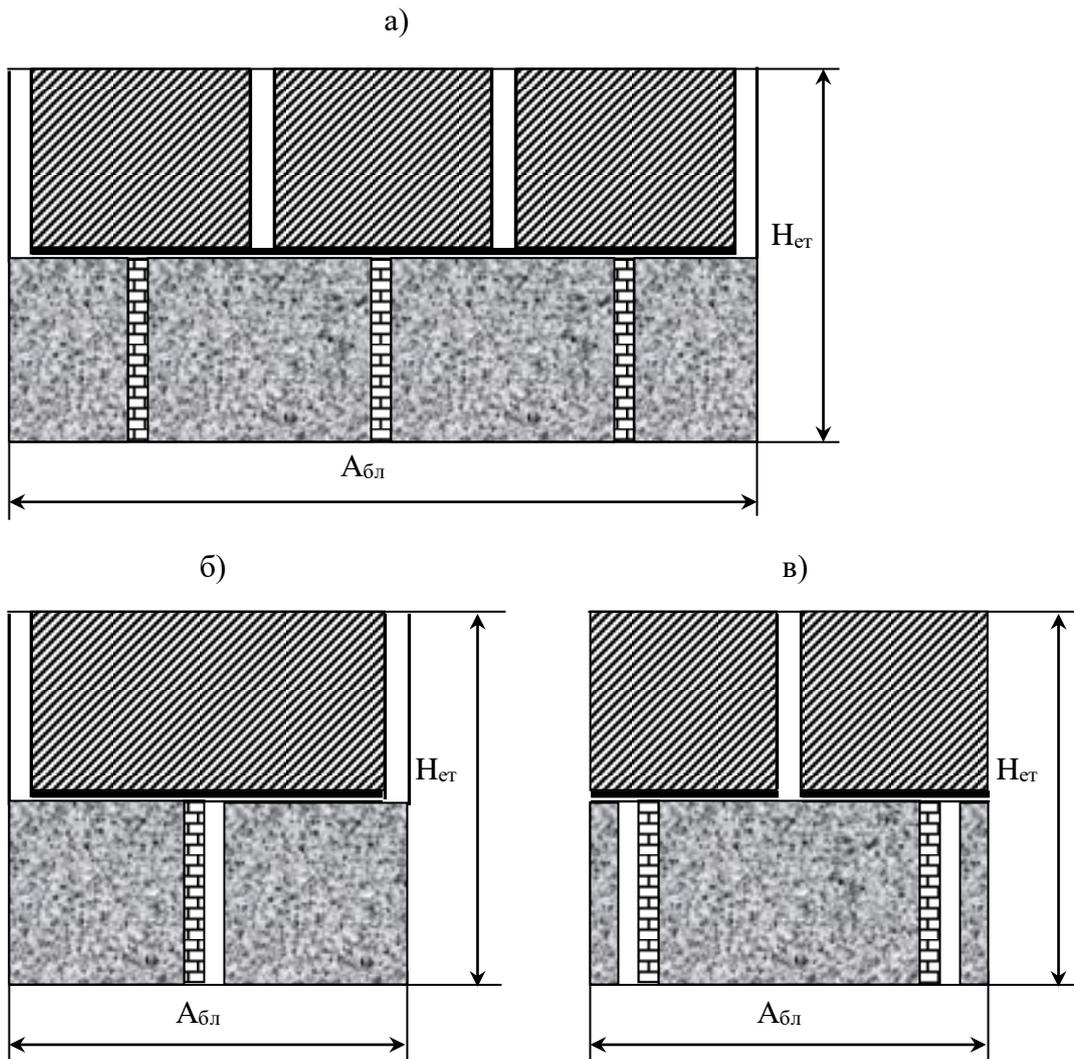
Посочените общо 5 случая на разработване на рудни тела показват, че в зависимост от устойчивостта на рудата и страничните скали се избират конкретните геометрични размери на камерите или експлоатационните ленти. За нуждите на анализа и оценката на възможните варианти като своеобразен критерий е целесъобразно да се използва хидравличният радиус (HR). В конкретния случай се предлага да се разшири областта на неговото приложение и при използване на схеми с изземване на ленти или подетажи.

От принципната схема на формиращите открити пространства при прилагане на технология със запълване и отбиване на рудата от подетажни изработки (вж. фиг.3) се установява, че обект на изследване ще бъде зашрихованата площ, представена като полигон AKLGFEDCB. Следвайки формулировката, че

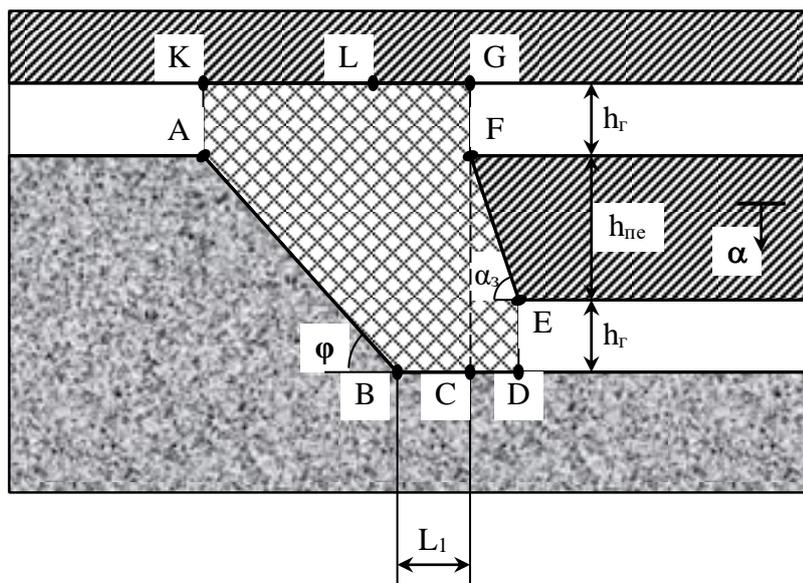
$HR = \frac{\text{площта}(S)}{\text{периметър}(P)}$, след несложни тригонометрични преобразования се извеждат изразите за S и P

$$S = 0.5 \{ h_{не} \cot g \varphi (2h_c + h_{не}) + (h_{не} + h_c) [2L_1 + (h_{не} - h_c) \cot g \alpha_3] \} \quad (1)$$

$$P = 3h_c + 2L_1 + h_{не} \cot g \frac{\varphi}{2} + (h_{не} - h_c) \cot g \frac{\alpha_3}{2} \quad (2)$$



Фиг.2. Принцилна схема на добивен блок при изнемване на рудата със запълване на добивното пространство



Фиг.3. Изчислителна схема за определяне на откритото пространство при изнемване на подетажи

$$HR_{(ne)} = 0.5 \frac{\{h_{ne} \operatorname{ctg} \varphi (2h_h + h_{ne}) + (h_{ne} + h_z) [2L_1 + (h_{ne} - h_z) \operatorname{ctg} \alpha_3]\}}{3h_z + 2L_1 + h_{ne} \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} + (h_{ne} - h_z) \operatorname{ctg} \frac{\alpha_3}{2}} \quad (3)$$

където h_r е височината на подетажната галерия;
 h_{ne} - височината на подетажа;
 L_1 - технологичното разстояние между горния ръб на стъпалото и долния ръб на откоса на запълване;
 α_3 - ъгълът на наклона на стъпалото;
 φ - ъгълът на естествения откос при запълване на добивното пространство;
 α - ъгълът на наклона на рудната жила.

На фиг.4 е показана принципна схема на формиращото се открито пространство при варианта изземване на ленти по формулата h_1/h_1 (вж. фиг.16). Използва се аналогичен подход на HR. Площта S и периметърът P на полигона AKELGDCB се определят след несложни тригонометрични преобразования:

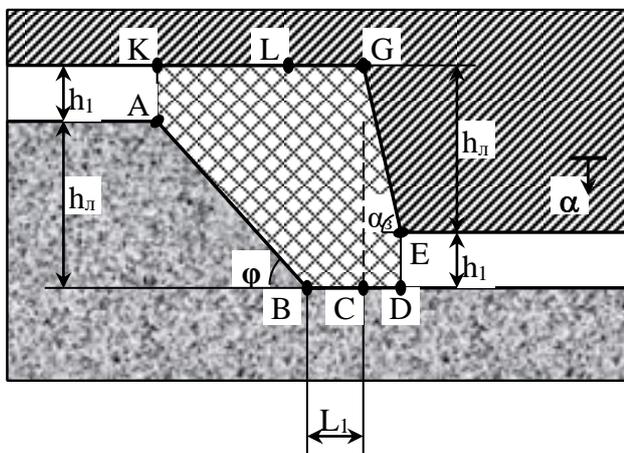
$$S = (\operatorname{cot} g \varphi + \operatorname{cot} g \alpha_3) (h_1 h_n + 0.5 h_n^2) + L_1 (h_1 + h_n) \quad (4)$$

$$P = 2(h_1 + L_1) + h_n \left(\operatorname{cot} g \frac{\varphi}{2} + \operatorname{cot} g \frac{\alpha_3}{2} \right) \quad (5)$$

$$HR_{(h_1/h_1)} = \frac{(\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \alpha_3) (h_1 h_n + 0.5 h_n^2) + (h_1 + h_n) L_1}{2(h_1 + L_1) + h_n \left(\operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\alpha_3}{2} \right)} \quad (6)$$

където h_1 е височината на добивното пространство, осигуряваща нормална експлоатация на механизацията;
 h_n - височината на изземваната лента.

Останалите означения са същите както във формула (3).



Фиг. 4. Изчислителна схема за определяне на откритото пространство при изземване на ленти по формулата: h_1/h_1

Изразите (3) и (6) показват, че HR се намира във функционална зависимост от три аргумента: h_{ne} , h_r , L_1 (при изземване на подетажи) и h_n , h_1 , L_1 – при изземване по формулата (h_n/h_1). Ако се приеме, че ъглите α_3 и φ са постоянни величини, то горните изрази могат да се представят в по-общ вид, въвеждайки подходящи коефициенти.

$$HR_{(ne)} = \frac{a_1 h_{ne}^2 + a_2 h_{ne} h_z + a_3 h_z^2 + a_4 h_z L_1 + a_5 h_{ne} L_1}{b_1 h_z + b_2 h_{ne} + b_3 L_1} \quad (7)$$

$$HR_{(h_1/h_1)} = \frac{c_1 h_n^2 + c_2 h_n h_1 + c_3 L_1 h_1 + c_4 h_n L_1}{d_1 h_1 + d_2 h_n + d_3 L_1} \quad (8)$$

където $a_1, a_2, \dots, a_5; b_1, b_2, b_3; c_1, c_2, \dots, c_4; d_1, d_2, d_3$ са коефициенти при условие, че $\varphi = \text{const}$ и $\alpha_3 = \text{const}$.

За нуждите на изследователския процес не е подходящо използването на три аргумента в изразите (7) и (8). Целесъобразно е да се елиминира технологичното разстояние L_1 , тъй като то пряко зависи от изборния паспорт на ПВР и схемата за товарене и доставка на рудата. Освен това подходящо е да се намали степенният показател на функциите. За целта се използват субституциите:

$$K_1 = \frac{h_{ne}}{L_1}; K_2 = \frac{h_z}{L_1}; K_3 = \frac{h_n}{L_1}; K_4 = \frac{h_1}{L_1}.$$

Това довежда до значително опростяване на изразите (7) и (8):

$$HR_{(ne)} = \frac{a_1 h_{ne} K_1 + a_2 K_1 h_z + a_3 K_2 h_z + a_4 h_z + a_5 h_{ne}}{b_1 K_2 + b_2 K_1 + b_3} \quad (9)$$

$$HR_{(h_1/h_1)} = \frac{c_1 K_3 h_n + c_2 K_3 h_1 + c_3 h_1 + c_4 h_n}{d_1 K_4 + d_2 K_3 + d_3} \quad (10)$$

Безразмерните величини K_1, K_2, K_3, K_4 дават възможност да се запише

$$HR_{(ne)} = \frac{A_1 h_{ne} + A_2 h_z + A_3 h_z + a_4 h_z + a_5 h_{ne}}{C_1} \quad (11)$$

$$HR_{(h_1/h_1)} = \frac{B_1 h_n + B_2 h_1 + c_3 h_1 + c_4 h_n}{C_2} \quad (12)$$

където $A_1 = a_1 K_1; A_2 = a_2 K_1; A_3 = a_3 K_2;$
 $C_1 = b_1 K_2 + b_2 K_1 + b_3;$
 $B_1 = c_1 K_3; B_2 = c_2 K_3;$

$$C_2 = d_1 K_4 + d_2 K_3 + d_1 .$$

Ако в (11) и (12) се приеме

$$D_1 = A_1 + a_5 ; D_2 = A_2 + A_3 + a_4 ;$$

$$D_3 = B_1 + c_4 ; D_4 = B_2 + c_3 ;$$

окончателно се получава

$$HR_{(ne)} = \frac{D_1 h_{ne} + D_2 h_2}{C_1} \quad (13)$$

$$HR_{(h_1/h_1)} = \frac{D_3 h_x + D_4 h_1}{C_2} \quad (14)$$

Изразите (13) и (14) показват линейния характер на функционалната зависимост между HR и геометричните параметри h_{ne} и h_1 от една страна и h_n и h_1 от друга. Въз основа на наличната механизация, избраната схема за отбиване на рудата и нейната доставка се формират множеството варианти, които са обект на анализ в следващите стъпки на процедурата.

При изземване на експлоатационната лента по формулата $0,2h_n/1,2h_n$ (вж. фиг.1в) определянето на хидравличния радиус HR може да се разгледа като частен случай на общоприетата процедура. Площта S и периметърът P ще зависят от дължината на блока $A_{\text{бл}}$, а тя от своя страна като основен конструктивен елемент не е постоянна величина. Тогава граничната стойност на хидравличния радиус ще се определи съгласно условието:

$$\langle HR \rangle = \lim_{A_{\text{бл}} \rightarrow \infty} \frac{A_{\text{бл}} h_x}{2(A_{\text{бл}} + h_x)} = 1$$

$$A_{\text{бл}} \rightarrow \infty$$

Графоаналитичен метод за формиране на варианти на технологични решения

Практиката показва, че добивните технологии със запълване намират приложение в много широк диапазон на изменение на устойчивостта на масива. От тази гледна точка възниква въпросът каква да бъде функционалната зависимост между HR и устойчивостта на рудата и страничните скали? Посочените примерни схеми за изземване на ленти и подетажи, както и данните за прилагане на КЦС показват, че параметърът $[Mo]$, характеризиращ устойчивостта на масива, много-добре корелира с HR . На фиг.5 е показана зависимостта $HR = F([Mo])$ въз основа на данни от практиката на рудник „Челопеч“, БММ – рудник „Върли бряг“, БММ – рудник „Меден рид“, рудник „Чала“. Тя дава възможност да се определи долната граница на приложимост на последователно разглежданите варианти на изземване (на ленти и подетажи) по фактор устойчивост на рудата $[Mo]$,

Посочена е и зоната на приложимост на камерните системи без да се прави анализ на техните геометрични параметри. От друга страна изведените зависимости между HR и геометричните параметри h_{ne} и h_n $HR = f_1(h_{ne})$; $HR = f_2(h_n)$ - по формулата h_1/h_1 ; $HR = f_3(h_x)$ - по формулата (h_1/h_1+h_n) , където $L_{\text{дост}}$ е актуалният параметър, дават възможност да се определи границата на оптималните решения по фактор (HR).

Налице е графоаналитичен метод за избор на начин за изземване при използване на технология със запълване. Ако в 60-те и 80-те години на миналия век, изземването на ленти в добивния блок е нямало алтернатива, в съвременни условия прилагането на високопроизводителна механизация в добивния забой предоставя широки възможности – включително изземване на подетажи.

Предлаганият подход е съчетание на неуправляеми природни показатели (в случая устойчивостта на масива $[Mo]$) и управляемите фактори – геометричните характеристики на добивните пространства, чието изменение (в определени граници) е източник на множество варианти. Графоаналитичният метод има своите направления за по-нататъшно усъвършенстване.

– Устойчивостта на масива $[Mo]$ може да се превърне в управляем параметър, чрез използване на подходящ начин за закрепване на призабойното пространство (анкерирание на тавана, страничните стени и пр.).

– Възможно е известно препокриване на зоните на оптималните решения (А, В, С) заради изменчивостта на природните условия.

И в двата случая изборът на окончателния вариант следва да се извършва въз основа на технико-икономически анализ.

Заклучение

В съвременните условия, благодарение на високопроизводителната механизация, значително се разширява областта на приложение на добивните технологии със запълване. Формира се множество варианти с различни геометрични параметри на откритите пространства, даващо основание да се направят следните изводи:

1. Технологиите със запълване на добивното пространство могат да формират множество варианти в зависимост от два взаимнодопълващи се признака: начин на изземване на експлоатационните ленти и конструкция на добивния блок в зависимост от начина на доставка на рудата.

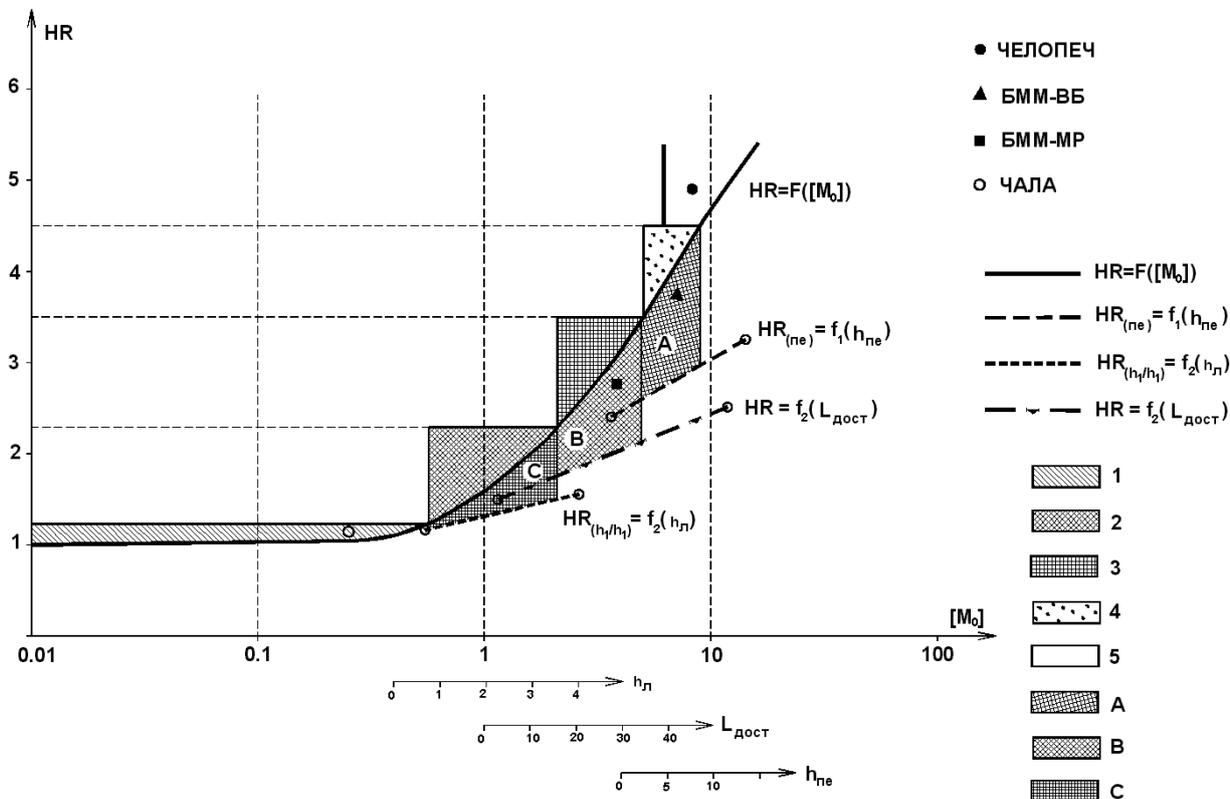
2. Хидравличният радиус (HR) като критерий за оценка на геометрията на откритото пространство може да се използва не само при камерните системи, но и при изземване на ленти и подетажи.

3. Изведени са аналитични зависимости между HR и геометричните характеристики на добивната технология, благодарение на което всеки вариант се идентифицира напълно еднозначно.

4. Доказано е, че граничната стойност на хидравличния радиус (HR) клони към 1, въз основа на което се дефинира областта на изследване на функциите, отнасящи се до вариантите «изземване на ленти».

5. Решаващ фактор за избора на оптимално решение е зависимостта $HR=F([Mo])$. В конкретния случай тя е изведена въз основа на данни за устойчивостта на масива $[Mo]$ в четири рудодобивни предприятия.

6. Разработен е графоаналитичен метод за определяне на зоните на оптималност. Той включва три стъпки: извеждане на зависимостта $HR=F([Mo])$; избор на базови варианти за изземване (на ленти, подетажи, камери); определяне на зоната на оптималност чрез функционалните зависимости между хидравличния радиус HR и геометричните параметри на добивните блокове.



Фиг.5. Функционални зависимости между HR , [Mo] и геометричните параметри $h_{\text{не}}$ и $h_{\text{л}}$

Предлаганият подход и по-конкретно графоаналитичният метод за оценка на влиянието на технологичните варианти има своите продължения за усъвършенстване. Те се основават на изграждане на базовата зависимост

$HR=F([Mo])$, валидна за всички подземни рудодобивни предприятия, както и на необходимостта от по-дълбок анализ в случаите, когато зоните на оптималност се припокриват.

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