

## ЕДНОСТАДИЙНИ И МНОГОСТАДИЙНИ ДОБИВНИ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПОДЗЕМНО РАЗРАБОТВАНЕ НА РУДНИ НАХОДИЩА

*Георги Михайлов*

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

**РЕЗЮМЕ.** Представен е преглед на системите на разработване, изхождайки от състоянието на добивното пространство: открито (поддържано с целици); запълнено с изкуствен материал; запълнено с обрушени скали. Формулирани са понятията едностадийно и многостадийно изземване в зависимост от количеството на запасите, блокирани в целици. Използвайки принципа на системния подход е съставена матрица на приложимите системи на разработване. Формира се множество, което дава основание да се предложи нов подход за класификация на системите на разработване в зависимост от стадийте на изземване: едностадийни, двустадийни, многостадийни.

### SINGLE-STAGE AND MULTI-STAGE MINING TECHNOLOGIES IN UNDERGROUND ORE MINING

*Georgi Mihaylov*

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

**ABSTRACT.** A review of mining methods is presented depending on the state of stope area: open stope (pillar-supported); stope filled with artificial material; stope filled with caved rock. The concepts 'single-stage' and 'multi-stage' mining are defined with respect to the quantities of reserves blocked in the pillars. A matrix of the applicable mining methods has been designed by using the systems approach principle. A set is formed which provides a basis for proposing a new approach to classifying the mining methods according to the mining stages: single-stage, two-stage and multi-stage methods.

### Едностадийни и многостадийни добивни технологии като алтернатива на съществуващите класификации при разработване на рудни тела с голяма дебелина

В практиката на подземно разработване на рудни находища се забелязва тенденция към намаляване на броя на приложимите добивни технологии. Това се отразява върху подходите за тяхното систематизиране (класифициране) в отделни класове, групи, варианти. От тази гледна точка актуален е въпросът с разработване на рудни тела с голяма дебелина. По съществуващите класификации те попадат в класа на т.нар. комбинирани системи. Характерна особеност за този клас е изменението на състоянието на добивното пространство през отделните етапи на разработване. В съвременните условия на висока степен на механизация и интелектуализация на работата в подземните пространства възникват предпоставки за търсене на признак с по-комплексни и обединяващи функции при формиране на множеството варианти за разработване на рудни тела с голяма дебелина. Такъв признак може да бъде етапността (стадийността) при изземване на даден добивен блок. Той се разглежда като основна производствена единица в рамките на подземния рудник. Неговите размери съответстват на размерите на отделните рудни тела или стълбове (за находище от

жилен тип). Възникват алтернативи по отношение на последователността на изземване и състоянието на добивното пространство през отделните стадии на разработване; интервалите между тях; редът на изземване на запасите в блока (възходящ, низходящ). При тази постановка широк дял заемат добивните технологии, основаващи се на един етап (един стадий) на изземване. Логично е те да се наричат **едностадийни добивни технологии**. Тяхна алтернатива са двустадийните или най-общо многостадийни добивни технологии.

Голямото многообразие на прилаганите варианти за разработване на един или друг морфологичен тип находища (жили, щокове, пластове, пластообразни рудни тела) се дължи както на природните, така и на минно-техническите условия. Ето защо една от целите на предлагания подход е систематизиране на това многообразие в по-строга рамка и най-важното – създаване на предпоставки за генериране на обосновано множество от варианти.

Наличието на множество варианти поставя въпроса за тяхната оценка. Освен традиционното решение в п-мерното евклидово пространство, възможна е и друга, принципно различна постановка, основаваща се на пространствената конфигурация на ограничаващите условия. Така се достига до необходимостта от създаване на общ модел на добивна технология, който включва не само добивните, а и подготвително-нарезните работи.

Разработването на рудни тела с голяма дебелина и особено с голяма степен на изменчивост в елементите на залягане, изискват значителен обем на тази група изработки. Тяхната устойчивост, с развитието на отделните стадии, прогресивно се влошава и това е предпоставка за увеличаване на разходите, свързани с безопасната им експлоатация. Комплексният характер на критериите за оценка на дадена добивна технология зависи от пространствената структура на ограничаващите условия, които най-често са систематизирани в три групи: технологични, икономически и организационни.

### Същност на подхода за класификация на добивните технологии като едностадийни и многостадийни

Подходът за изграждане на добивните технологии въз основа на стадията на изземване се основава на три признака:

- брой на стадията на изземване;
- начин на управление на скалния натиск;
- начин на закрепване на призабойното пространство.

Едно от условията, върху което се гради многовариантният подход, е връзката между фактори с различен характер на градация: бинарно-алтернативна от една страна и дискретно-непрекъсната от друга. При тази постановка е удачно използване на матричен запис. За едностадийни и двустадийни добивни технологии (DT) той ще изглежда така:  $\|DT\|_{ij}$ , където  $i = 1, 3$ ;  $j = 1, 3$ .

Цифрите от 1 до 3 съответстват на начина на управление на скалния натиск

1 – поддържане с целици (открито добивно пространство);  
2 – запълване; 3 – обрушаване. Членовете на матрицата, които се намират на главния диагонал, т.е.  $i=j$  идентифицират едностадийна добивна технология. Останалите случаи (при  $i \neq j$ ) съответстват на двустадийни добивни технологии. Комбинацията (ij) определя вида на използваната технология през първия и втория стадий.

Очевидно матрицата  $\|DT\|_{ij}$  не е симетрична, тя е своеобразен генератор на възможни добивни технологии при едностадийно и многостадийно изземване - общо 9 на брой, от които 3 едностадийни и 6 двустадийни. При това генериране на варианти се оформят комбинации, които изглеждат трудно приложими. Например DT<sub>31</sub> – обрушаване през първия стадий и открито добивно пространство през втория; DT<sub>32</sub> – обрушаване и запълване на добивното пространство.

При наличие на три и повече стадии матричният запис не е подходящ и тогава се използват символите на логическата алгебра и по-конкретно логическата функция конюнкция “ $\wedge$ ”. Чрез нея се идентифицира всяка добивна технология, включваща три и повече стадии на разработване. В този случай автоматичното генериране на множеството варианти не е целесъобразно. То се формира ръчно, изхождайки от спецификата на природните условия и минно-техническата характеристика на обекта.

На фиг.1 е показана класификация на добивните технологии по фактор „стадий на изземване“. Посочено е съответствието със съществуващите класификации. Прави впечатление, че някои от известните системи на разработване, като система с магазиниране, слоево обрушаване, етажно-камерна система на разработване не намират място в предлагания подход. За първите две обяснението е, че в съвременни условия техният относителен дял бързо намалява. Ниското равнище на постигнатите технико-икономически показатели ги прави неконкурентно способни спрямо алтернативни добивни технологии (открито добивно пространство или запълване). Същността на етажно-камерната система е типична двустадийна добивна технология от типа DT<sub>12</sub> или DT<sub>13</sub>. В по-нататъшния анализ наличието на алтернативи е удобно да се представя с логическата функция дизюнкция “ $\vee$ ”, т.е.  $DT_{12} \vee DT_{13}$ .

При разработване на пластови находища широко приложение намира камерно-стълбовата система. Ако поддържащите целици не се изземват, тя е типична едностадийна технология от вида DT<sub>11</sub>. Ако целиците се изземват – тя се превръща в многостадийна добивна технология. Възможни са следните алтернативи:

- запълване на камерите и изземване на целиците като открито добивно пространство;
- запълване на камерите и изземване на целиците чрез технология на запълване на добивното пространство;
- запълване на камерите и изземване на целиците чрез обрушаване.

Логическият израз на така описаните алтернативи на добивна технология има вида:

$$\{[DT_{12}] \wedge [DT_{11}]\} \vee \{[DT_{12}]^A \wedge [DT_{12}]^B\} \vee \{[DT_{12}] \wedge [DT_{13}]\} \quad (1)$$

Символите А и В при технологиите със запълване определят различните градации, чийто смисъл в конкретния случай са механичните свойства на изкуствения материал. В горния израз и трите алтернативи са изградени от четиристадийни добивни технологии.

При разработване на масивни щокове широко приложение намира камерно-целиковата система и по-конкретно варианта „камера-целик-камера“. Логическият израз на тази технология е аналогичен с този при камерно-стълбовата система при изземване на целиците със запълнение.

$$\{[DT_{12}]^A \wedge [DT_{12}]^B\} \quad (2)$$

Възможните алтернативи ще се формират от реда на изземване в границите на блока (възходящ или низходящ). Камерно-целиковата система на разработване е една от добивните технологии, който формира значително множество от алтернативи. Освен варианта „камера-целик-камера“ приложение намира и варианта „едновременно запълване на 1/5 част от запасите“. Логическият израз на тази технология ще бъде:

Едностадийни добивни технологии			
Наименование	Символно означение	Съответствие със съществуващи класификации	
1. Изземване с открито добивно пространство	DT <sub>11</sub>	I.A. Камерно-стълбова система I.B. Камерна система с отбиване от подетажни изработки	
2. Технология със запълване на добивното пространство	DT <sub>22</sub>	II.A. Системи на разработване със запълване II.A.1. Изземване на ленти II.A.1.1. Хоризонтални ленти II.A.1.2. Наклонени ленти II.A.2. Изземване от подетажи	
3. Технология със обрушаване на страничните скали	DT <sub>33</sub>	III.A. Подетажно обрушаване III.B. Етажно самообрушаване	
Двустадийни добивни технологии			
Първи стадий	Втори стадий	Символно означение	Съответствие със съществуващи класификации
1. Открито добивно пространство	Запълване	DT <sub>12</sub>	IV.A. Комбинирани системи с изземване на целиците при запълнени камери
2. Открито добивно пространство	Обрушаване	DT <sub>13</sub>	IV.B. Комбинирани системи с изземване на целиците при открити камери I. В. Етажно принудително обрушаване
3. Запълване	Открито добивно пространство	DT <sub>21</sub>	IV.A. Комбинирани системи на изземване чрез обрушаване
4. Запълване	Обрушаване	DT <sub>23</sub>	IV.B. Комбинирана система на разработване
5. Обрушаване	Открито добивно пространство	DT <sub>31</sub>	IV.Г. Комбинирана система на разработване Няма съответствие
6. Обрушаване	Запълване	DT <sub>32</sub>	Няма съответствие

Фиг. 1. Класификация на добивните технологии по фактор "стадии на изземване"

$$[DT_{12}]^A \wedge [DT_{12}]^A \wedge [DT_{12}]^B \wedge [DT_{12}]^B \wedge [DT_{12}]^C \quad (3)$$

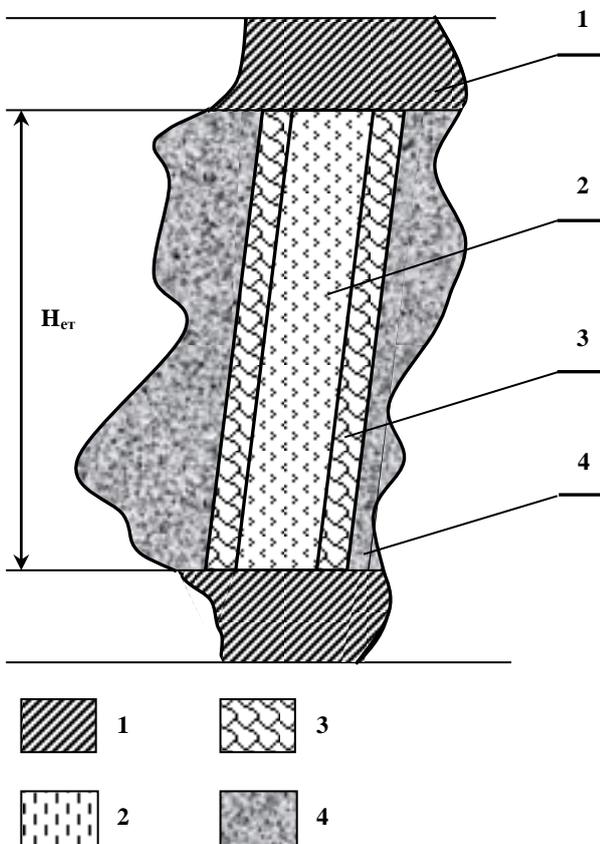
Градацията, характеризираща свойствата на изкуствения материал има три степени: А, В, С. Ако се приеме, че камерно-целиковата система се прилага в рамките на един етаж, двете алтернативи „камера-целик-камера” и „едновременно изземване на 1/5 част от запасите” изискват следния логически запис:

$$\{ [DT_{12}]^A \wedge [DT_{12}]^B \} \vee \{ [DT_{12}]^A \wedge [DT_{12}]^A \wedge [DT_{12}]^B \wedge [DT_{12}]^B \wedge [DT_{12}]^C \} \quad (4)$$

На фиг.2 е показан вертикален напречен разрез на рудна жила с голяма дебелина. Приема се, че тя се характеризира с голяма степен на изменчивост. Максимална ефективност на разработване може да се постигне при използване на многостадийна добивна

технология. Предвижда се централната част на рудното тяло да се изнемва чрез камерна система и отбиване на рудата от подетажни изработки. Така оформеното добивно пространство се запълва с втвърдяващо запълнение. Във втория сектор на рудното тяло се прилага система със запълване на добивното пространство и изнемване на летни. Тези две технологии предвиждат оформяне на добивно пространство с правилни размери. Следователно, променливата дебелина практически не оказва влияние върху ефективността на разработването. Периферните части на рудното тяло се предвижда да се изнемват чрез технология с подетажно обрушаване. Нейното съществено предимство е сравнително лесното преодоляване на участъците с променливи елементи на залягане (променлива дебелина и ъгъл на наклона). Логическият израз на така описаната технология има вида:

$$\{[DT]_{12} \wedge [DT]_{22} \wedge [DT]_{33}\} \quad (5)$$



Фиг. 2. Многостадийна добивна технология при разработване на рудно тяло с променлива дебелина.  
 – руден масив; 2 – камерна система с отбиване от подетажни изработки; 3 – технология със запълване на добивното пространство; 4 – технология с подетажно обрушаване

В случая възможните алтернативи ще се формират от избрания ред (последователността) на изнемване на запасите, както и от елементите на прилаганата добивна технология: геометрия на блока, свойства на запълнението, вид на използваната механизация. Прави впечатление, че многостадийната добивна технология включва два елемента, характеризиращи едностайдни добивни технологии  $DT_{22}$  и  $DT_{33}$ .

Направеният преглед показва, че многостайните добивни технологии са практически приложими при всякакъв морфологичен тип и елементи на залягане на рудните тела. Конструкцията на класификацията по фактор стадий на разработване (вж. фиг.1) е базова при формиране на възможните алтернативи. Матричният запис  $\|DT\|_{ij}$  със своите 9 члена е напълно достатъчен за тази формализация. Очевидно всеки член  $[DT]_{ij}$  представлява комбинация от фактори, признаци и технологични елементи, чиято същност може да се изрази с подходящ алтернативен граф.

## Модел на добивна технология

Класификацията на добивните технологии по фактор „стадий на разработване“ е първата стъпка в общата процедура за избор на оптимално техническо решение. Формиращото се множество от варианти изисква разработване на подходящ модел за анализ и оценка на техните показатели. Основните изисквания към модела са:

- да отчита комплексно показателите, както на добивните, така и на подготвително-нарезните работи в блока;
- коректно да опише многообразието на природните и минно-технически фактори;
- да формира множество от допустими варианти, способни да реагират на ограничаващите условия.

Моделът не предвижда решаване на екстремална задача. Той трябва да определи динамиката на функционалните показатели, характеризиращи добивната технология. Освен на различни по характер ограничения, логиката на моделиращото въздействие се основава на факторите, идентифициращи състоянието на обекта в стремежа за минимизация (максимизация) на глобалните показатели (най-често с икономическа същност)

На фиг.3 е показана принципна схема за синтез на добивна технология, изхождайки от изискването за съвместимост с природните (минно-геоложките) фактори. Булевата променлива  $y_i$ , определя технологичните елементи на добивната технология. Векторите  $X_{kj}$  и  $X_{\mu}$  определят състоянието на  $k$ -я фактор при  $j$ -та градация и съвместимост на  $\mu$ -я признак. Формира се множеството  $I^{\rho}$  ( $\rho = \overline{1, \beta}$ ), характеризиращо съвместимостта на елементите на добивната технология с конкретните природни (минно-геоложки) фактори. От друга страна, налице е множеството  $I^T$ , което характеризира технологичните елементи на добивната технология. За неговото формиране се използва изразът

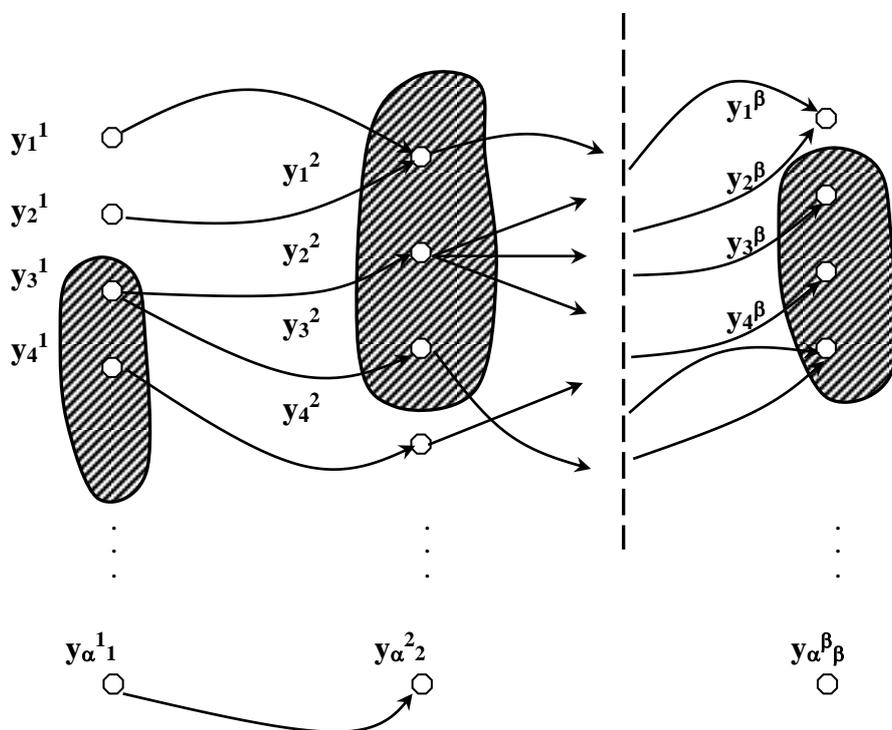
$$I^T = \bigvee_{i=1}^{\alpha_i} I_i$$

$$I_i = (y_{i1}^1 \wedge y_{i1}^2 \wedge \dots \wedge y_{i1}^{\beta}) \vee (y_{i2}^1 \wedge y_{i2}^2 \wedge \dots \wedge y_{i2}^{\beta}) \vee \dots \vee (y_{iz}^1 \wedge y_{iz}^2 \wedge \dots \wedge y_{iz}^{\beta}) \quad (6)$$

където  $z$  определя поредния маршрут при формиране на елементите  $y_i$  на дадена добивна технология.

Общият брой на вариантите, подлежащи на анализ и оценка се формира от множеството, получено при

пресичане на  $I^{\rho} (\rho = \overline{1, \beta})$  и  $I^T$ . Това е т.н. множество на допустими варианти. Неговото определяне се основава на обективно действаща процедура. Субективният фактор е сведен до минимум и това е най-голямото предимство на предлагания подход.



Фиг. 3. Принципна схема за синтез на добивна технология

## Заклучение

С помощта на матричния запис е съставена класификация на добивните технологии, основаваща се на броя на етапите на изземване. Тази класификация е ориентирана към разработване на рудни тела с голяма дебелина, но тя е напълно приложима при средно-дебели рудни жили:  $2 \leq M \leq 5$  ( $M$  е дебелината на рудната жила). Относителният дял на подготвително-нарезните работи съществено се увеличава при изземване на рудни тела с голяма степен на изменчивост на техните елементи на залягане. Това налага изграждане на комплексен модел на добивната технология, включващ както добивните така и подготвително-нарезните работи.

Матричният запис показва, че цялото многообразие на добивните технологии при разработване на рудни тела с голяма дебелина се основава на трите начина на управление на скалния натиск: поддържане с целици (открито добивно пространство); запълване; обрушаване. Ето защо, управлението на скалния натиск е един от трите

признака въз основа на който се изгражда класификацията на добивните технологии.

От пресичането на множеството  $I^T$ , характеризиращо технологичните елементи на дадена добивна технология, с множеството  $I^{\rho} (\rho = \overline{1, \beta})$ , характеризиращо съвместимостта на технологичните елементи с конкретните природни (минно-геоложки) условия, се формира множеството на допустимите варианти. То е съставено, въз основа на обективно действаща процедура, като субективният фактор е сведен до минимум.

Класификацията на системите по фактор „стадий на разработване“, както и изграденият подход за формиране на множеството допустими варианти откриват пътя към следваща стъпка за анализ и оценка на ефективността на добивните технологии. Тя се основава на подходящ графо-аналитичен апарат и формализация на групи ограничаващи условия.

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