

## МОДЕЛ НА ДОБИВНА ТЕХНОЛОГИЯ ПРИ ПОДЗЕМНО РАЗРАБОТВАНЕ НА РУДНИ НАХОДИЩА

*Георги Михайлов*

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

**РЕЗЮМЕ.** Върху избора на добивна технология оказват влияние природни, минно-технически, екологични, социални фактори. Съвременната добивна механизация създава предпоставки за голяма адаптивност към изменчивостта на природните условия. Представени са концепциите за изграждане на модел на добивна технология при подземно разработване на рудни находища. Разглежда се необходимостта от детайлна оценка на разходите за добивни работи, които са структурирани в две групи: разходи по производствени процеси и разходи по елементи. Така се достига до определяне на "сегашната нетна стойност – *Net Present Value*" (*NPV*), която се явява основен критерий за оценка при избора на добивна технология.

### A MINING METHOD MODEL FOR UNDERGROUND MINING OF ORE DEPOSITS

*Georgi Mihaylov*

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

**ABSTRACT.** The selection of a mining method is influenced by natural, technical, environmental and social factors. The present-day mining machinery and equipment is instrumental in achieving greater adaptability to changing natural conditions. The concepts applicable to a mining method model for underground mining of ore deposits are set out herein. The need for a detailed appraisal of operating costs is considered, with the costs being structured into two groups: costs by production processes and costs by elements. Thus the net present value (*NPV*) which appears to be a key appraisal criterion for selection of a mining method has been derived.

### Въведение

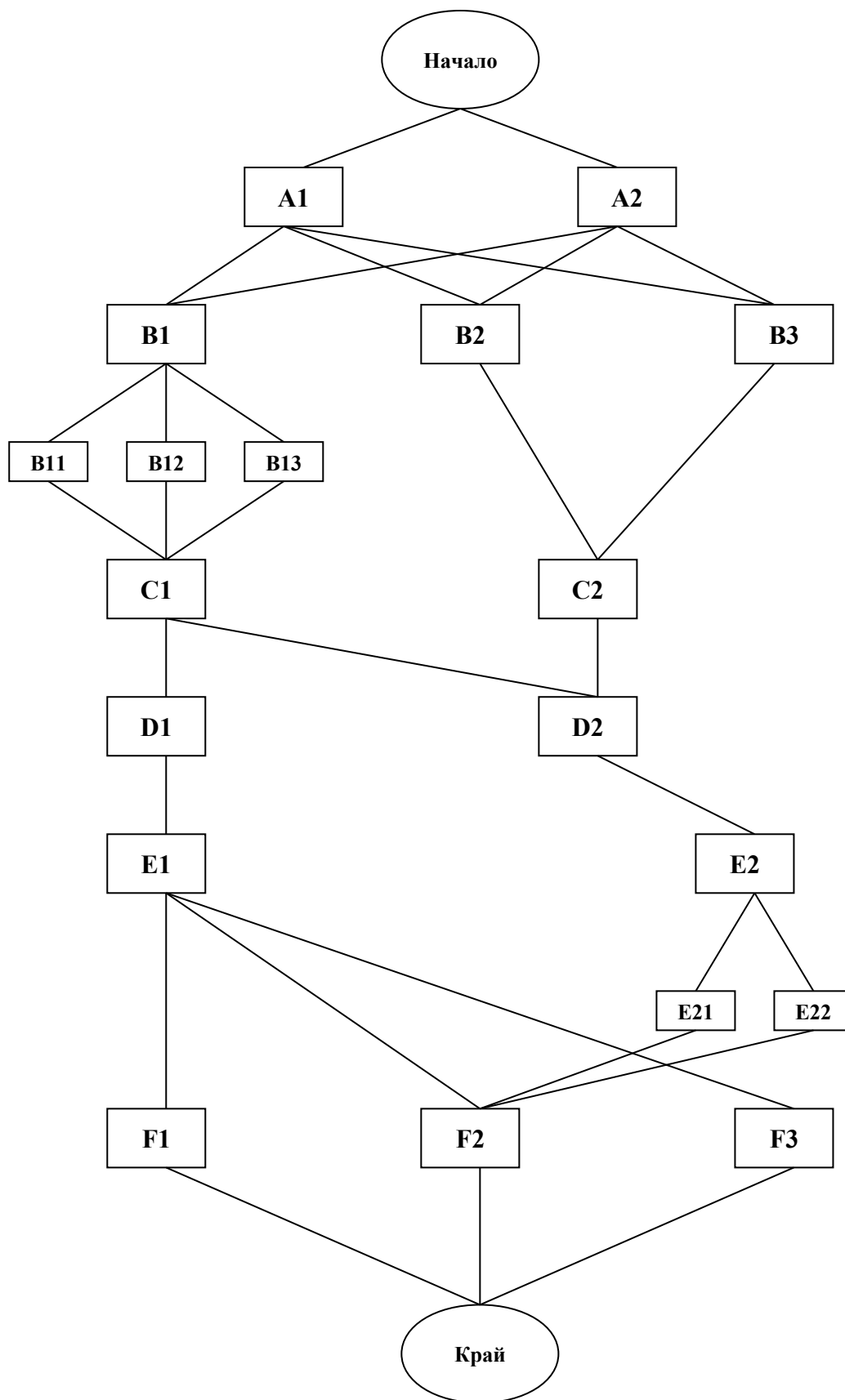
Върху избора на добивна технология оказват влияние множество фактори, които най-често се систематизират като: природни, минно-технически, технико-икономически, екологични, социални и др. В условия на остра конкуренция съвременният етап на развитие на подземния рудодобив е немислим без използване на високопроизводителна механизация на производствените процеси в добивния забой. Това изисква сериозни инвестиции, които по принцип се оценяват в дългогодишен аспект на развитие на минните работи. Благодарение на високата адаптивност на добивната механизация към изменението на природните условия (в определени граници, разбира се) тяхната относителна тежест върху избора на добивна технология все повече намалява. При наличие на мощни рудни тела много често един геоложки блок (рудно тяло) се разработва само от един добивен блок, като срокът на експлоатация на рудното тяло продължава 8-10 години. Забелязва се тенденция към обединяване на използваните системи на разработване, като практически се разглеждат три класа добивни технологии: с открито добивно пространство, със запълване, с обрушаване. По този начин съществуващите класификации се идентифицират с множеството варианти и подварианти, за генерирането на които практически няма ограничение.

Това налага принципно нов подход при анализа и оценката на приложимите системи на разработване.

Методологично той трябва да съчетае съществуващите досега норми като себестойност на 1 t добитата руда, щети от загубите и обедняването с възможността да се оценяват голям брой варианти. Задължително условие е отчитането на фактора време на инвестиционния процес, необходим за поддържане на конкурентна способност и ефективност на всяка добивна технология.

### Формиране на множество варианти

На фиг. 1 е показан алтернативен граф, илюстриращ възможното многообразие от технически решения при разработване на мощни находища, представени от средно устойчиви руди и странични скали. Алтернативният граф се състои от шест нива, означени съответно А, В, С, D, Е, F. **Ниво А** характеризира начина на развитие на минните работи в границите на рудничното поле. **Ниво В** – начина на развитие на минните работи в границите на етажа. **Ниво С** – начина на отбиване на рудата. **Ниво D** – прилаганата система на разработване. **Ниво Е** – начина на поддържане на добивното пространство. **Ниво F** – начина на управление на скалния натиск. Конструкцията на алтернативния граф се усложнява от необходимостта за въвеждане на две допълнителни поднива съответно на ниво В и ниво Е. Възможният брой алтернативи се идентифицират с първата цифра. Втората цифра характеризира алтернативите на даденото подниво. В



Фиг. 1. Альтернативен граф

такъв случай означенията в алтернативния граф имат следния смисъл:

A1 – възходящо изземване на запасите в границите на рудничното поле;

A2 – низходящо изземване;

B1 – изземване на запасите в етажа чрез разделяне на ленти;

B2 – изземване на подетажи;

B3 – изземване наведнъж по цялата височина на етажа;

B11 – изземване на хоризонтални ленти;

B12 – изземване с наклонени ленти;

B13 – изземване с напречно-наклонени ленти;

C1 – отбиване с взривни дупки;

C2 – отбиване със сондажи;

D1 – непрекъснати системи на разработване;

D2 – камерно-целикови системи на разработване;

E1 – поддържане на добивното пространство със стълбообразни целици

E2 – поддържане на добивното пространство с лентови целици;

E21 – едновременно изземване на 1/5 част от запасите на блока;

E22- прилагане на схема “камера-целик-камера”

F1 – управление на скалния натиск чрез прилагане на хидравлично запълнение;

F2 – чрез втвърдяващо запълнение;

F3 – чрез уплътнено сухо запълнение.

Символите “Начало” и “Край” характеризират съответно началото и края на процедурата.

Както се вижда от конструкцията на алтернативния граф съществуват несъвместими връзки между отделните нива и поднива. При теоретичен брой на вариантите  $N_{\text{вср}}=360$ , броят на приложимите варианти надхвърля 200, т.е.  $N_{\text{прил}}>200$ . Обработването на необходимата информация за намиране на множество от допустими варианти (по предварително избран критерий) и от там на оптимален вариант е немислимо без изграждане на подходяща процедура за анализ и оценка. По аналогия с графиката като геометрично представяне на функция, алтернативният граф е геометрично представяне на отношение между обекти (Зыков, 1987). Неговата морфология гарантира задължително попадане на оптималния вариант в така формираното (генерираното) множество от технически решения.

### Системен подход за анализ и оценка

Процесът, свързан с избора на решения в конкретна минно-добивна ситуация, се отличава с особена сложност най-вече заради трудното описание на реалните природни условия. Заедно с необходимостта от генериране на множество варианти налице е обстоятелството, че всяка добивна технология се отличава с голямата си инертност. Резултатите от избраните технически решения се проявяват значително по-късно, след старта на практическата реализация. Не са редки случаите, когато неподходящо избрано техническо решение трудно може да се коригира в процеса на развитие на минните работи и се отразява негативно върху крайните технико-икономически показатели. За да се избегнат посочените по-горе недостатъци за анализ и оценка на добивните технологии се използва

системният подход. В основата е залегнал принципът за формиране на комплекс от елементи. Изменението на един от тях води до изменението на всички останали в технологичната верига. Голямото многообразие на елементите налага задължително тяхното систематизиране като физически, информационни, аналитико-изчислителни. Решаващо условие е безопасното развитие на минните работи. При разработване на находища, представени от мощни рудни тела, залягащи в средно устойчиви и/или устойчиви масиви (руда и странични скали) геомеханичните фактори определят равнището на безопасност на добивната технология. Затова анализът, изграден върху системния подход, изисква процедурата да бъде изцяло ориентирана към геомеханичните фактори. На фиг.2 е показана структурната система на процедура за избор на добивна технология. По-конкретно тя е ориентирана към камерно-целикова система (КЦС) на разработване, която има най-съществени предимства в разглежданите конкретни условия (мощни рудни тела, средно устойчиви до устойчиви руда и странични скали). Физическите елементи включват съпоставката между прилаганата добивна технология и добивен блок с реални геоложки и геометрични параметри (Блок 1 и Блок 2). Извършеният анализ с помощта на алтернативния граф дава възможност да се формира множеството на предпочитаните варианти, което следва да бъде обект на разглеждане по-нататък. Наличието на добивен блок с реални геоложки и геометрични параметри идентифицира процедурата с обекта, за който се търси оптималното техническо решение. Информационните елементи включват набор от информация, за която съществуват множество канали: Блокове 4, 5, 6, 7, 8. Без да се навлиза в същността на формиране на информационните потоци, следва да се подчертае необходимостта на висока достоверност. Особено що се касае до обстоятелството, че по същество тази информация се характеризира с голяма степен на изменчивост. Аналитико-изчислителните елементи включват блокове 9, 10, 11, 12, 13. Тук особено внимание се отделя на блок 10 – определяне на опасните зони на разрушаване и анализ на получените резултати. Позициите от 1 до 7 характеризират най-често срещаните форми на загуба на устойчивост. Тяхното систематизиране представлява отворена структура, която дава възможност за непрекъснато обогатяване на наличния информационен ресурс и усъвършенстване на методите за неговото обработване. В тази част съществуват две особено важни съставки на системния подход: наличие на обратна връзка за анализ и оценка с оглед подобряване на избраното техническо решение – Блокове 9 и 13; логически оператор, определящ приложимостта на дадено решение в зависимост от обективно избрани критерии – Блокове 11 и 12. Наличието на набор от приложими методи за изследване на напрегнатото и деформирано състояние на масива (НДС) около добивните изработки, както и изборът на подходящ критерий за оценка на устойчивото състояние на конструктивните елементи на системата на разработване – Блок 8, поставят специални изисквания към организацията на изчислителния процес. Той задължително се извършва в интерактивен режим и по този начин допълва смисъла на системния подход. На фиг.3 е показана структурната схема, по която се извършва изчислителният процес. Операция 1 предвижда въвеждане на базовите показатели. По принцип те са формираны в

Блок 9 (вж.фиг.2), така че структурната система на процедурата и структурната схема на изчислителния процес представляват органично единство. Операция 2 формулира същността на опасните зони на разрушаване (в конкретния случай при използване на КЦС на разработване). Операция 3 подлага на анализ НДС на масива около добивните изработки. Тук от особена важност е определяне големината на ефективните напрежения, характера на тяхното разпределение, величината на преместванията като основен фактор за нарушаване на устойчивото състояние на напукани скали с крехко разрушаване. Операция 4 осигурява необходимата степен на достоверност на полученото решение, следвайки логиката на изградените връзки в аналитико-изчислителните елементи. Най-сериозният проблем е корекцията на механичните показатели, която е неизбежна в преходните състояния на средата, определени като еластичност, вискозност, пластичност, включително и латентни състояния. Операция 5 оценява устойчивото състояние на конструктивните елементи на системата на разработване при определено равнище на коефициента на устойчивост. Изискването за висока степен на безопасност не противоречи на възможността отделните конструктивни елементи да имат различни коефициенти на устойчивост. Техните стойности се намират във функционална зависимост от категорията на даденото съоръжение и разходите за неговото изграждане и експлоатиране. Активна роля в този процес играе инвеститора на проекта, по чиято поръчка той се разработва. Ако коефициентът на устойчивост съответства на предварително избрано равнище, може да се пристъпи към реализация на проектните решения  $\{P\}$ . В противен случай се въвежда т.н. първа корекция на показателите, след което се повтарят операции 2, 3, 4, 5. При необходимост се въвежда втора корекция. Налице е итеративен процес, като практиката по неговото използване категорично доказва наличието на сходимост.

### Структура на производствените разходи като база за оценка на ефективността

Генерирането на множество допустими технически решения, както и процедурата за формиране на група предпочитани варианти поставят на преден план въпроса за критерии на оценка на тяхната ефективност. Като алтернатива на широко разпространения подход за намиране на оптимално решение в *n*-мерното пространство се предлага търсене на определено съчетание на разходите за добивна технология с отчитане на инвестиционния процес. Това налага детайлно изследване на структурата на производствените разходи с оглед тяхното минимизиране. Структурата на разходите е от вида  $R_{ijk}$ . Идентификацията на индекса  $i = \overline{1, m}$  съответства на производствените процеси в добивния забой. Това са: отбиване на рудата в добивното пространство ( $i = 1$ ); натоварване ( $i = 2$ ); доставка до извозната галерия ( $i = 3$ ); закрепване на призабойното пространство ( $i = 4$ ); управление на скалния натиск ( $i = 5$ ); проветряване на добивния забой ( $i = 6$ ); ремонтно-възстановителни работи ( $i = 7$ ); При тази формулировка на производствените процеси очевидно  $m = 7$ . Индексът  $j = \overline{1, n}$  има следната

идентификация: разходи за ФРЗ, включително начисления ( $j = 1$ ); разходи за амортизационни отчисления ( $j = 2$ ); разходи за материали ( $j = 3$ ); разходи за енергия ( $j = 4$ ); разходи за осигуровки ( $j = 5$ ); разходи за услуги ( $j = 6$ ); общо-руднични разходи, включени в блоковата себестойност на рудата ( $j = 7$ ). Следователно  $n = 7$ .

Индексът  $k = \overline{1, p}$  има следната идентификация: условно постоянни разходи ( $k = 1$ ). Променливи разходи ( $k = 2$ ). Следователно  $p = 2$ . Следвайки топологията на алтернативния граф (вж.фиг.1) и структурната система на процедурата за избор на добивна технология (вж.фиг.2 и фиг.3) е ясно, че предмет на анализа ще бъдат техническите решения общо  $s$  на брой при пореден номер на всяко едно от тях в интервала  $q = \overline{1, s}$ . В такъв случай моделът, характеризиращ разходите за всяка добивна технология ще има вида

$$R(q) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p R_{ijk} \rightarrow \min$$

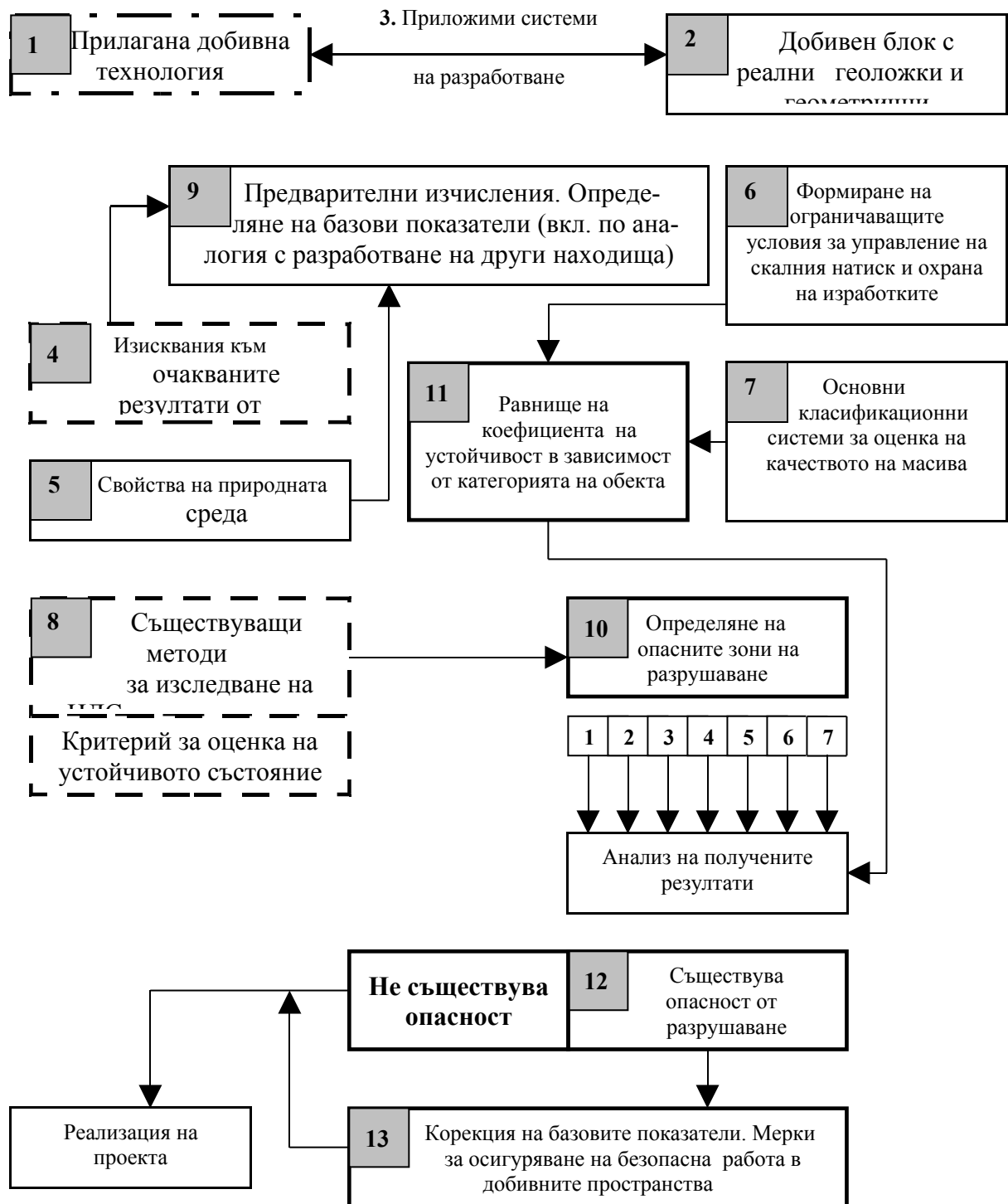
Горният израз представлява необходимо, но недостатъчно условие при съставяне на комплексния модел на експлоатационните разходи. Задължително следва да се отчетат разходите за подготвително-нарезни работи (ПНР), както и щетите от загубите и обедняването. Същността на тези две групи разходи е представена съответно в (Михайлов, 2003) и (Михайлов, 2005).

### Ограничаващи условия

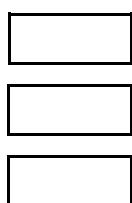
Създаване на модел на добивна технология върху основата на генерирано множество варианти поставя изискването за формиране на ограничаващи условия. От една страна е налице процедура, с която се гарантира, че търсеното решение се намира в определен затворен контур. Изчислителният процес е немислим обаче без налагане на обективно съществуващи ограничаващи условия. Те трябва да имат комплексен характер, за да гарантират формирането на т.н.множество на допустими варианти като обект на по-нататъшен детайлен анализ. Този подход дава отговор на въпроса за необходимостта от изграждане на модел на добивна технология, отчитайки голямото многообразие на елементите, които я съставят. Върху осите на пространствена координатна система се формират следните групи ограничаващи условия:

- ос на природните (минно-геоложките) ограничаващи условия;
- ос на икономическите ограничаващи условия;
- ос на организационните ограничаващи условия.

По този начин в пространството се формира паралелепипед, в който с пълна убеденост може да се твърди, че се намира търсеното (оптималното) решение. Постига се така необходимото съчетание между обективните и субективните фактори, представени съответно като природни и икономически от една страна и като организационни от друга. Предимството на този подход в сравнение с използването на комплексен критерий в *n*-мерното евклидово пространство е, че субективният



**Легенда:**



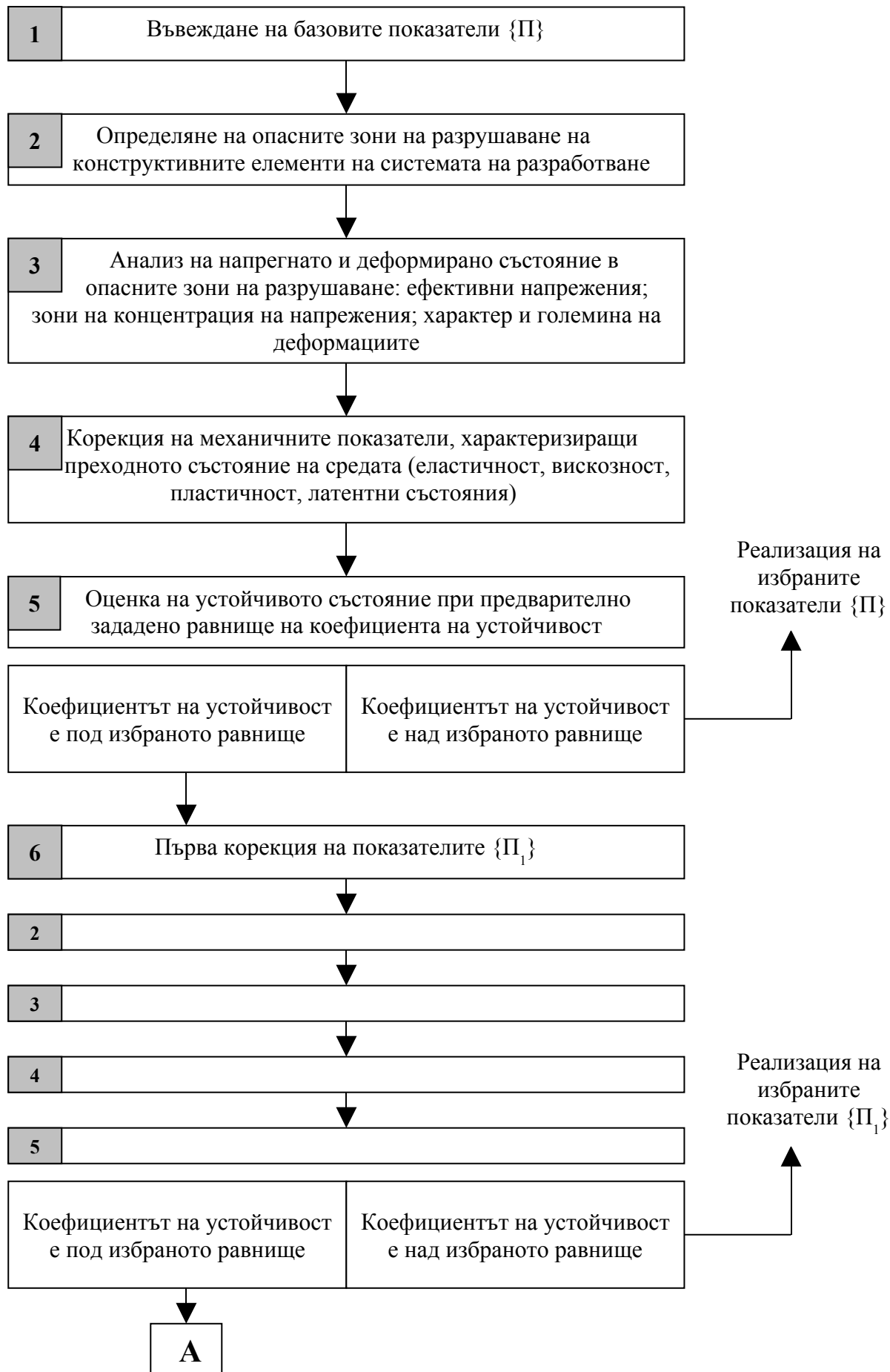
Аналитико – изчислителни елементи

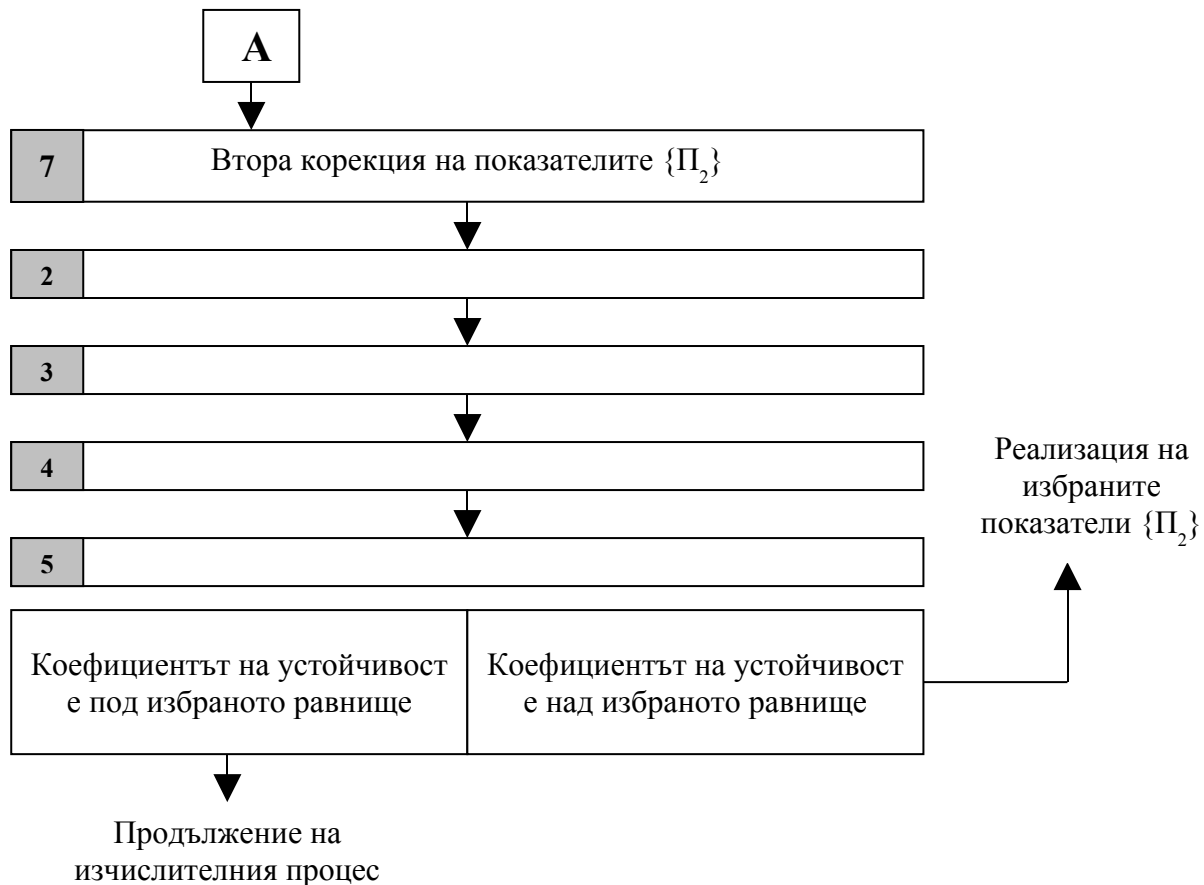
Информационни елементи

Физически елементи

1. Разрушаване на целици
2. Отлепване на плочи от тавана на камерата
3. Отлепване на блокове от страничните стени
4. Нарушаване на устойчивостта на подготвителните изработки
5. Подработване на отгоре лежащия масив.
6. Надроботване на масива
7. Други нарушения

Фиг. 2. Структурна система на процедура за избор на добивна технология по геомеханични фактори

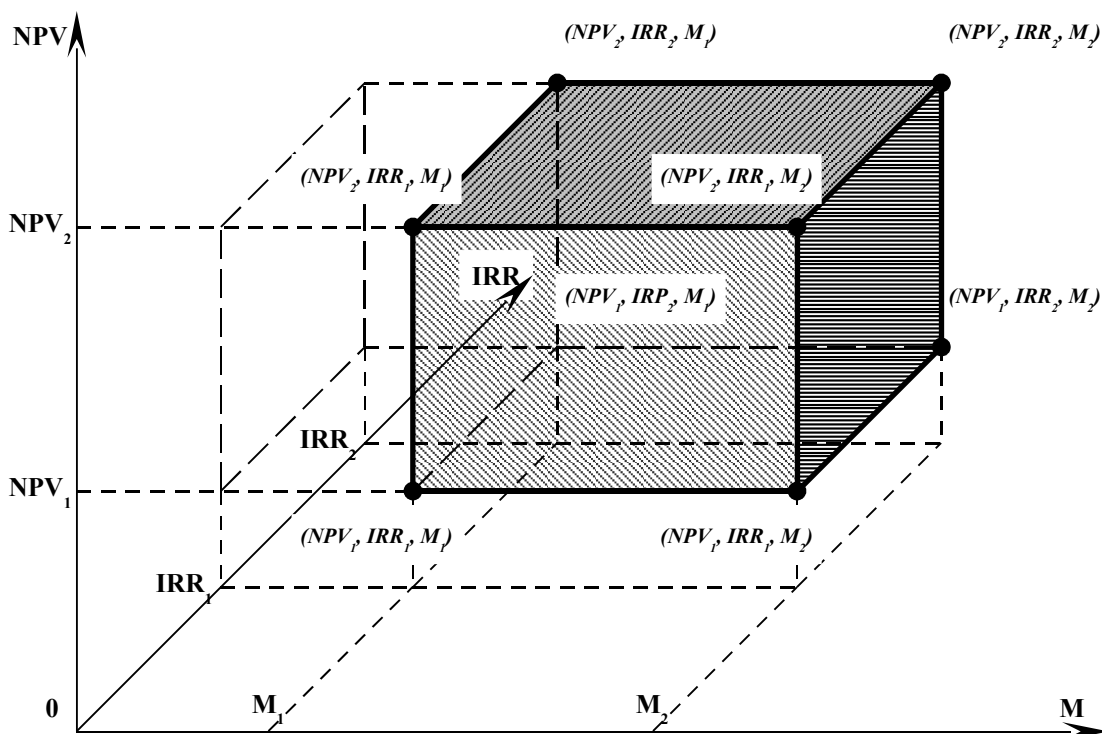




Фиг. 3. Структурна схема на изчислителния процес в системната процедура за избор на добивна технология по геомеханични фактори

фактор е сведен до минимум: практически не се налага нито съставяне на множество критерии, нито експертна оценка за определяне на тяхната тежест в общата процедура. На фиг.4 е показана схема на паралелепипеда на ограничаващите условия. Оста на природните ограничаващи условия включва изменението на дебелината  $M$  на рудното тяло като фактор за приложимостта на дадена технология. Тук е възможно да се използват и други фактори: устойчивост на рудата и страничните скали, хидравличен радиус, определящ устойчивите размери на откритите пространства, ъгъл на наклона, дълбочина на разработване (характер на напрегнатото състояние на ненарушения масив). Оста на икономическите ограничаващи условия включва сегашната нетна стойност (*Net Present Value*) като най-често прилаган метод за оценка при превеждане на доходите и инвестиционните разходи към определен момент от време-обикновено към началото на влагане на инвестициите (Шушулова, Шушулов, 2003). В зависимост от конкретните особености на процедурата за избор на добивна технология е възможно използването на други икономически категории. Но в основата на всяка една от тях ще залегне структурата на производствените разходи  $R(q)$ , разгледани по-горе. Оста на организационните ограничаващи условия отразява избрания ред за развитие на минните работи в рамките на добивния участък. Въз

основа на прилаганата добивна технология и изготвения календарен план, времето за изземване на запасите ще се изменя в твърде широки граници (например при технология със запълване или обрушаване на добивното пространство). С отчитане на изменението на качеството на добиваната руда, цените на металите на световните борси, рентабилността на инвестиционните проекти, подходящо е в качеството на ограничаващо условие да се използва показателят вътрешна норма на възвръщаемост (*Internal Rate of Return*). Този показател изравнява алгебричната сума на дисконтираните положителни и отрицателни парични потоци (Митев 2003). Определянето на *IRR* има особено важно място в общия анализ на приложимите добивни технологии. На базата на определения срок за разработване на даден участък, както и на очакваните темпове в изменението на цените на металите на световните борси, може да се оценява и друг организационен фактор – адаптивността на добивната технология към евентуално изменение на нейните конструктивни елементи. На този етап задачата се свежда до определяне на размерите на паралелепипеда на ограничаващите условия. Уравненията на неговите стени се извеждат чрез линейни интерполации на функционалните зависимости, които неизбежно съществуват между величините, нанесени върху трите оси на пространствената координатна система. По-нататъшният



Фиг. 4. Формиране на ограничаващи условия за определяне на оптималното решение

път на развитието на тази процедура се свежда до анализ на съотношението между отделните страни на паралелепипеда (анализ и оценка на формата, големината на обема, ориентацията в пространството и др.) с оглед определяне на тежестта на отделните групи ограничаващи условия. Не по-маловажно продължение е използването на полиноми от по-висока степен за извеждане на подходящи аналитични изрази на формираните се пространствени тела като алтернатива на паралелепипеда.

## Заклучение

Върху основата на КЦС като най-добро техническо решение за разработване на мощни рудни тела е изграден подходящ модел на добивна технология. Природата на всяка добивна технология е такава, че тя се развива в режим на постоянна конфликтна ситуация. От една страна е динамиката на променящите се природни условия и цените на металите (влияещи върху крайните финансови резултати). От друга е голямата инертност на системата на разработване като обект на управление. За да се сведе до минимум субективният фактор при избора на оптимална добивна технология се приема пространствена координатна система, чиито оси характеризират ограничаващите условия: природни, икономически, организационни. По този начин се формира паралелепипед на ограничаващите условия. Неговата форма и големина определят тежестта на всяко едно от тези условия.

Сложните процеси, свързани с анализа и оценката на получените решения показват, че най-добрият път за избор на оптимална добивна технология е: генерирани на множество допустими варианти – избор на група от предпочитани варианти – технико-икономически анализ на

групата предпочитани варианти. По този маршрут на изследователския процес съществено място заема структурата на производствените разходи. Тяхната големина е непосредственият критерий за равнището на добивните работи. Заедно с разходите за ПНР и щетите от загубите и обедняването, те формират комплексния модел на добивна технология като база за сравнение и оценка.

## Литература

- Зыков, А.А. 1987. Основы теории графов. "Наука", Москва.
- Михайлов, Г.А. 2003. Процедура за избор на оптимална добивна технология с отчитане на влиянието на коефициентите на извличане и изменение на качеството на добитата руда. Годишник на Минно-геоложкия университет "Св.Ив.Рилски", том 46, св.ІІ, "Добив и преработка на минерални суровини".
- Михайлов, Г.А. 2005. Модел на подготвително-нарезни работи при подземно разработване на рудни находища. Годишник на Минно-геоложкия университет "Св.Ив.Рилски", том 48, св.ІІ, "Добив и преработка на минерални суровини".
- Шушулова, Ив., Г.Шушулов. 2003. Възможности за гъвкаво отразяване на динамиката в технологичната и икономическа среда при оценката на техническите решения в минно-добивната промишленост. Годишник на Минно-геоложкия университет "Св.Ив.Рилски", том 46, св.ІV "Хуманитарни и стопански науки".
- Митев, В. 2003. Класификация на методите за оценка на инвестиционни проекти в минния отрасъл. Годишник на Минно-геоложкия университет "Св.Ив.Рилски", том 46, св.ІV "Хуманитарни и стопански науки".

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