

## МЕТОДИКА ЗА КОМПЮТЪРНО ПРОЕКТИРАНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ПВР ПРИ КАРИЕРЕН ДОБИВ

**Валери Митков**

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, E-mail: valery.mitkov@gmail.com

**РЕЗЮМЕ.** В методиката са използвани принципите на системния подход, позволяващи да се осъществят последователни дейности, технологически разчети на сондажните заряди от експлозив в кариери по следните групи показатели: гранулометричен състав на взривяваната скална маса; параметри на експлозивите определящи ефикасно отбиване на скалната маса; геометрически параметри на разполагането и взривяването на сондажите, отчитайки раздробяването на породата; параметри на промишлената и екологическа безопасност на взривните работи и производствено-техническите показатели на ефективността от взривните работи.

### METHODOLOGY FOR COMPUTER DESIGNING OF BLASTING PARAMETERS IN QUARRY MINING

Valery Mitkov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, E-mail: valery.mitkov@gmail.com

**ABSTRACT.** The methodology applies the principles of system approach that assure implementing consecutive activities and making technological calculations of drilling charges on the base of the following groups of characteristics: granular-metrical composition of the blasting rock mass; characteristics of explosives determining efficient disposal of the rock mass; geometrical parameters of the placement and blasting of the drills taking into consideration fragmentation of the rock; parameters of industrial and ecological safety of blasting works and production and technical indicators of the effectiveness of blasting.

### Въведение

Ефективността от работата на рудниците и кариерите в значителна степен зависи от техниката, технологията и организацията на ПВР. През последните десетилетия ПВР на кариерите имат съществено развитие. На големите кариери започна производство на място на евтини и безопасни експлозиви. Почти напълно са механизирани трудоемките и опасни дейности при производството и зареждането на експлозивите в сондажите. Осигурява се качествено раздробяване на взривяваната скална маса.

Тези постижения станаха възможни благодарение на дълбоките и систематични научни изследвания на физическата природа на разрушаване на скалната маса по взривен способ, физическите превръщания при взрив на експлозивите за граждански цели и тяхното взаимодействие със скалния масив, научните изследвания за определяне на рационалните параметри на ПВР при различни минно-геоложки условия, изследванията за усъвършенстване на методите за проектиране на взривяванията и методите за организация на работата.

През последните години ПВР на откритите рудници и кариери навлизат в принципно нов етап на използване на компютърните технологии при проектиране на ВР и организацията на ПВР, при събирането, обобщаването и анализа на физическата, технологическата и икономическата информация при ВР.

Разчета на рационалните параметри на ПВР на кариерите е само част от оперативното проектиране на целия добив. Оперативното проектиране на ПВР на кариерите е дълъг многостадийен процес и се извършва на практика ежедневно.

### I. Изходни технологични данни за проектиране

За съставянето на програма за проектиране на ПВР са необходими следните изходни данни:

1. Група на скалите -  $F$  и коефициент на якост по М.М.Протодяконов -  $f$ .
2. Височина на стъпалото -  $H$ , м.
3. Ъгъл на откоса на стъпалото към хоризонта,  $\alpha$ , °.
4. Вместимост на кофата на багера -  $E$ ,  $m^3$ .
5. Размер на къса, приет за негабарит -  $X_n$ , м.
6. Минимален размер на стандартния къс -  $X_c$ , м.
7. Количество на негабаритите -  $V_n$ , %.
8. Годишен обем на взривяваната скална маса -  $V_r$ ,  $m^3$ .

### II. Гранулометричен състав на скалния масив и взривената скална маса

Гранулометрическият състав на взривената скална маса и естествените късове на масива скална маса, уравнението за разпределение по едрина на линейните размери на естествените отделности по пукнатините на масива и късовете на взривената скална маса,

максималния размер на отделностите в масива и късовете взривена скална маса, средния диаметър на късовете взривена скална маса и отделностите в масива, както и броя на негабаритните късове (отделности) в единица обем взривена скална маса се определят по методиката и формулите дадени в (Mitkov V., 2010). Параметрите на едрина на късовете в технологичните фракции се определят съгласно следните зависимости, дадени в табл. 1.

Таблица 1.

Параметри определящи едрината на късовете

Технологична фракция	Среднопретеглен диаметър на къса, m
Негабаритна	$X_{Hi} = X_{cpi} \frac{1 - (X_H/X_{maxi})^{1+K_i}}{1 - (X_H/X_{maxi})^{K_i}}$
Габаритна	$X_{ri} = \frac{X_H}{1 + 1/K_i}$
Стандартна	$X_{ci} = X_{ri} \frac{1 - (X_c/X_H)^{1+K_i}}{1 - (X_c/X_H)^{K_i}}$
Нестандартна - ситна	$X_{ni} = \frac{X_c}{1 + 1/K_i}$
	Съдържание, обемно на късове във фракцията, %
Негабаритна	$V_{Hi} = 100 \left[ 1 - (X_H/X_{maxi})^{K_i} \right]$
Габаритна	$V_{ri} = 100(X_H/X_{max})^{K_i}$
Стандартна	$V_{ci} = 100[(X_H - X_c)/X_{maxi}]^{K_i}$
Нестандартна - ситна	$V_{ni} = 100 \left( \frac{X_c}{X_{maxi}} \right)^{K_i}$

### III. Степен на раздробяване на скалната маса

Степента на раздробяване на скалната маса е равна на:

$$i = \frac{X_{срм}}{X_{срд}} = j \frac{(1+1/K_D)}{(1+1/K_M)} \quad (1)$$

където j е степен на раздробяване на късове с максимален размер:

$$j = \frac{X_{max м}}{X_{max д}} = \frac{(1-V_{Hд}/100)^{1/K_D}}{(1-V_{Hд}/100)^{1/K_D}} \quad (2)$$

Коефициента на разбухване на скалната маса е равен на:

$$Kp = 1 + (\sqrt[4]{i} - 1) \frac{N+1}{2N} \quad (3)$$

където N - количество взривявани редове за ефективно отбиване на скалата.

Параметрите определящи избора на експлозив и начина на тяхното изчисляване са дадени в (Mitkov V., 2010).

### IV. Параметриопределящи разположението и взривяването на сондажите

1. Определя се ъгъла на наклон на сондажите.

2. Рационалният диаметър на сондажния заряд при височина на стъпалото  $H > 5m$  се определя от условията:

- да се осигури необходимото разрохване на масива без наличието на "пети":

$$d = 10^{-3} (9H + 35,5Kp + 33,5F - 195), m; \quad (4)$$

- съответствие между производителността на багера и сондата:

$$d = 0,1E_6^{1/2}, m; \quad (5)$$

- при  $H < 5m$  диаметъра на сондажите не трябва да е по-голям от:

$$d = H/14 + H, m. \quad (6)$$

3. Дължина на забивката:

$$l_{заб} = (10 + 3H)d, m, \text{ при } H \leq 5m. \quad (7)$$

$$l_{заб} = (24d - 2,3Kp + 3)/\sin \alpha \text{ при } H > 5m. \quad (8)$$

4. Дължината на заряда:

$$l_e = (H/\sin \alpha) - l_{заб} - l_{np}, m. \quad (9)$$

5. Степен на раздробяване на масива при безнегабаритно взривяване ( $V_{нд}=0$ )

$$i_0 = X_{ср.м}/X_H(1+1/K_D). \quad (10)$$

6. Степен на раздробяване на масива в зоната на действие на взрива при безнегабаритно взривяване ( $V_{нд}=0$ )

$$i_{од} = \frac{i_0 - \frac{l_{заб}}{H \sin \alpha}}{1 - \frac{l_{заб}}{H \sin \alpha}} \quad (11)$$

7. Разчетен относителен разход на експлозив при съсредоточен заряд в зоната на действие на взрива при безнегабаритно взривяване;

$$Q_{од} = Q_k i_{од}, kg/m^3, \quad (12)$$

където  $Q_k$  - разчетен относителен разход на експлозив при съсредоточен заряд и най-голям камуфлет,  $kg/m^3$ .

Относителният разход на експлозив при съсредоточени заряди и най-голям камуфлет се определя от физико-техническите характеристики на минната порода и условията на взривяване на зарядите:

$$Q_k = Q_n K_e K_c \epsilon_n \sigma_p / \sigma_n, kg/m^3, \quad (13)$$

където  $q_p$  - относителен разход на експлозив за формиране на камуфлетна празнина,  $kg/m^3$ ;

$K_e$  - коефициент на взривната ефективност на експлозива;

$K_c$  - коефициент, отчитащ последователността на закъснителното взривяване;

$\epsilon_n$  - относителна обемна пукнатинна празнина на масива;

$\sigma_p, \sigma_n$  - предел на здравина на късовете в масива на разтягане и свиване, МРа.

Физико-техническите характеристики за проектиране на параметрите на взривяване на минните породи са дадени в табл.2.

Таблица 2

Физико-технически характеристики на минните породи

Характеристика на масива	F							
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Обемна напуканост на взривявания масив $\epsilon_n, \%$	6	4	3	2	1.5	1.2	1	0.85
Коефициент на крехкост на скалите $B_H/B_P$	15	17	18.5	20	21	22.5	24	25
Относителен разход на експлозив за образуване на камуфлетна кухина $q_p, kg/m^3$	27	65	125	215	390	510	730	1000

Коефициента  $K_c$  се приема в зависимост от схемата на закъснителното взривяване и неговите значения са дадени в табл.3.

Таблица 3.

Значения на коефициента  $K_c$  в зависимост от схемата на взривяване и коефициента F

N на схемата	Последователност на взривяване на четири съседни сондажа, образувачи мрежата на полето	F			
		4-5	6-7	8-9	10-11
1	Всички заряди се взривяват едновременно.	1	1.05	1.1	1.15
2	По два заряда едновременно при всякаква комбинация	1	1	1	1
3	Два заряда едновременно и два заряда разновременно при всякаква комбинация	1	0.95	0.9	0.85
4	Всеки заряд разновременно и при всякаква комбинация	1	0.9	0.85	0.8

8. Линейната плътност на сондажния заряд P при плътност на зареждане на експлозива  $\rho_e$ ,  $kg/m^3$

$$P=0,785 \rho_e d^2, kg/m. \quad (14)$$

9. Радиус на зоната на раздробяване на минната порода от един сондаж при безнегабаритно взривяване

$$W_o = \sqrt{\frac{P}{q_{од}}}, m \quad (15)$$

10. Разчетна линия на съпротивление за заряди с най-голям камуфлет:

$$W_k = \sqrt{\frac{P}{q_k}}, m \quad (16)$$

11. Получена негабаритна фракция при взривяване на сондажите от първия ред:

$$V_{H1} = \frac{V_H \cdot N}{1 + \frac{2}{\sqrt{F}}(N-1)}, \% \quad (17)$$

12. Линия на най-малкото съпротивление за сондажите от първия ред:

$$W = \frac{W_k}{1 + \left(1 - \frac{V_{H1}}{V_H}\right) \left(\frac{W_k}{W_o} - 1\right)}, m \quad (18)$$

13. Минимално допустима от условията на безопасност при пробиване на първия ред сондажи лнс:

$$W_6 = b_6 + H(ctg\alpha_y - ctg\alpha), m, \quad (19)$$

където  $b_6$  - допустимо безопасно разстояние от борда до сондата, m.

$$b_6 = 3m \text{ при } H > 3m; \quad (20)$$

$$b_6 = H \text{ при } H \leq 3m. \quad (21)$$

14. Проверка на условията за безопасност при пробиване на първия ред сондажи:

$$W \geq W_6. \quad (22)$$

При  $W < W_6$  е необходимо да се увеличат броя на редовете сондажи N, да се премине към увеличаване диаметъра на сондажите d, да се намали ъгъла на наклон  $\alpha$  или да се премине към взривяване на двойки близки сондажи.

15. Получена негабаритна фракция от масива, отбита от втория и по следващите редове сондажи:

$$V_{H2} = \frac{2}{\sqrt{F}} V_{H1}, \quad (23)$$

16. Разстояние между редовете:

$$b = \frac{W_k}{1 + \left(1 - \frac{V_{H2}}{V_{HM}}\right) \left(\frac{W_k}{W_o} - 1\right)}, m \quad (24)$$

17. Степен на раздробяване на масива при взривяване на първия ред сондажи:

$$i_1 = (i_o - 1) \left(1 - \frac{V_{H1}}{V_{HM}}\right)^{1/K_d} \quad (25)$$

18. Степен на раздробяване на масива в зоната на действие на зарядите от първия ред:

$$i_{d1} = \frac{i_1 - \frac{l_{заб}}{H \sin \alpha}}{1 - \frac{l_{заб}}{H \sin \alpha}} \quad (26)$$

19. Степен на раздробяване на масива при взривяване на зарядите от втория и следващите редове сондажи:

$$i_2 = 1 + (i_o - 1) \left(1 - \frac{v_{H1}}{v_{HM}}\right)^{1/K_d} \quad (27)$$

20. Степен на раздробяване на масива в зоната на действие на взрива на зарядите от втория и следващите редове сондажи:

$$i_{d2} = \frac{i_2 - \frac{l_{заб}}{H \sin \alpha}}{1 - \frac{l_{заб}}{H \sin \alpha}} \quad (28)$$

21. Средна степен на раздробяване в зоната на действие на взрива:

$$i_d = \frac{i_{d1} + i_{d2}(N-1)}{N} \quad (29)$$

22. Разстояние между сондажните заряди в реда:

$$a = 0,75 K_p W, \quad m \quad (30)$$

23. Коефициент на формата на сондажната мрежа:

$$K_\phi = a/W \quad (31)$$

При  $K_\phi < 1,05$  се приема правоъгълна форма на сондажната мрежа.

При  $K_\phi \geq 1,05$  се приема шахматно разположение на сондажите.

24. Дължина на заряда за еквивалентен вертикален сондаж:

$$l_{be} = l_b \left[ \sin \alpha - \frac{\cos \alpha}{W/(H-l_{заб} \sin^2 \alpha) - 1/l_b} \right] \quad (32)$$

1. Дължина на преудълбаване на сондажа:  
- в първия ред сондажи:

$$l_{п1} = l_{be} \left( \sqrt[3]{1 + (W/l_{be})^2} - 1 \right), \quad m \quad (33)$$

- във втория и следващите редове:

$$l_{п2} = l_{be} \left( \sqrt[3]{1 + (b/l_{be})^2} - 1 \right), \quad m \quad (34)$$

25. Дължина на сондажния заряд:

- в първия ред:

$$l_{31} = l_b + l_{п1}, \quad m \quad (35)$$

- във втория и следващите редове:

$$l_{32} = l_b + l_{п2}, \quad m \quad (36)$$

26. Маса на сондажния заряд:

- в първия ред:

$$Q_1 = P \cdot l_{31}, \quad kg \quad (37)$$

- във втория и следващите редове:

$$Q_2 = P \cdot l_{32}, \quad kg \quad (38)$$

27. Относителен разход на експлозив:

- за зарядите от първия ред сондажи:

$$q_1 = \frac{Q_1}{H_a W}, \quad kg/m^3 \quad (39)$$

- за зарядите във втория и последващите редове:

$$q_i = \frac{Q_i}{H_a b}, \quad kg/m^3 \quad (40)$$

- среден относителен разход при многоредово взривяване:

$$q = \frac{q_1 + q_2(N-1)}{N}, \quad kg/m^3 \quad (41)$$

28. Усреднен коефициент на запълване на сондажите:

$$\eta_3 = \frac{l_{31}}{(H+l_{п1})N} + \frac{l_{32}(N-1)}{(H+l_{п2})} \quad (42)$$

29. Получена взривена минна маса от единица дължина на сондажния заряд:

$$\varepsilon = \frac{P}{q} \eta_3, \quad m^3/m \quad (43)$$

30. Получена минна маса от един сондаж:

$$\rho_c = \rho \left[ \frac{(H+l_{п1}) + (H+l_{п2})(N-1)}{N} \right], \quad m^3 \quad (44)$$

Количество сондажни заряди взривявани в една степен:

$$n_c = \frac{V_{rc}}{P_c}, \quad \text{брой} \quad (45)$$

31. Обем минна маса добивана от сондажи иницирани в една степен:

$$V_c = \frac{V_{rc}}{n_r}, \text{ m}^3 \quad (46)$$

32. Общ брой сондажни заряди, взривявани в една степен:

$$Q = qV_{rc}, \text{ kg} \quad (47)$$

33. Рационален интервал на закъснение между сондажите за ефективно раздробяване:

$$t_3 = 40 + 2H - 2.5F - 10K_p, \text{ ms} \quad (48)$$

Параметрите характеризиращи взривената минна маса и формулите за тяхното изчисление са представени в (Кутузов Б.Н.,2008). Там, както и в (ПБТВР, 1997) са дадени и начините за определяне на показателите за промишленна и екологическа безопасност, което не е предмет на настоящата работа. На фиг.1 е дадена укрупнена блок-схема на програмата за пресмятане параметрите на сондажните заряди.

## Заклучение

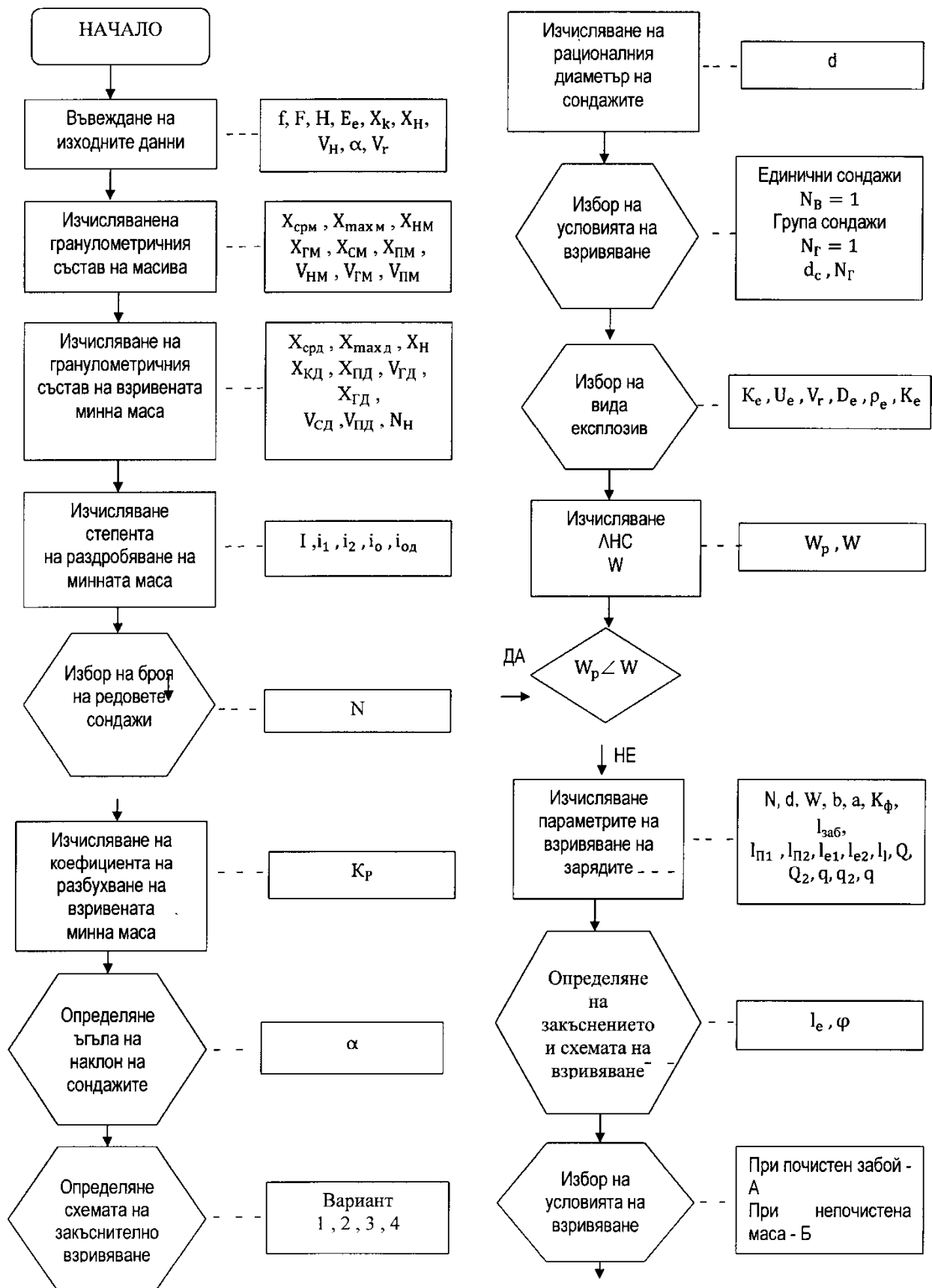
Програмата предвижда възможност за пресмятане на различни варианти с изменение на числените стойности на някои параметри. Изчислението на вариантите отнема няколко минути и техния брой е неограничен.

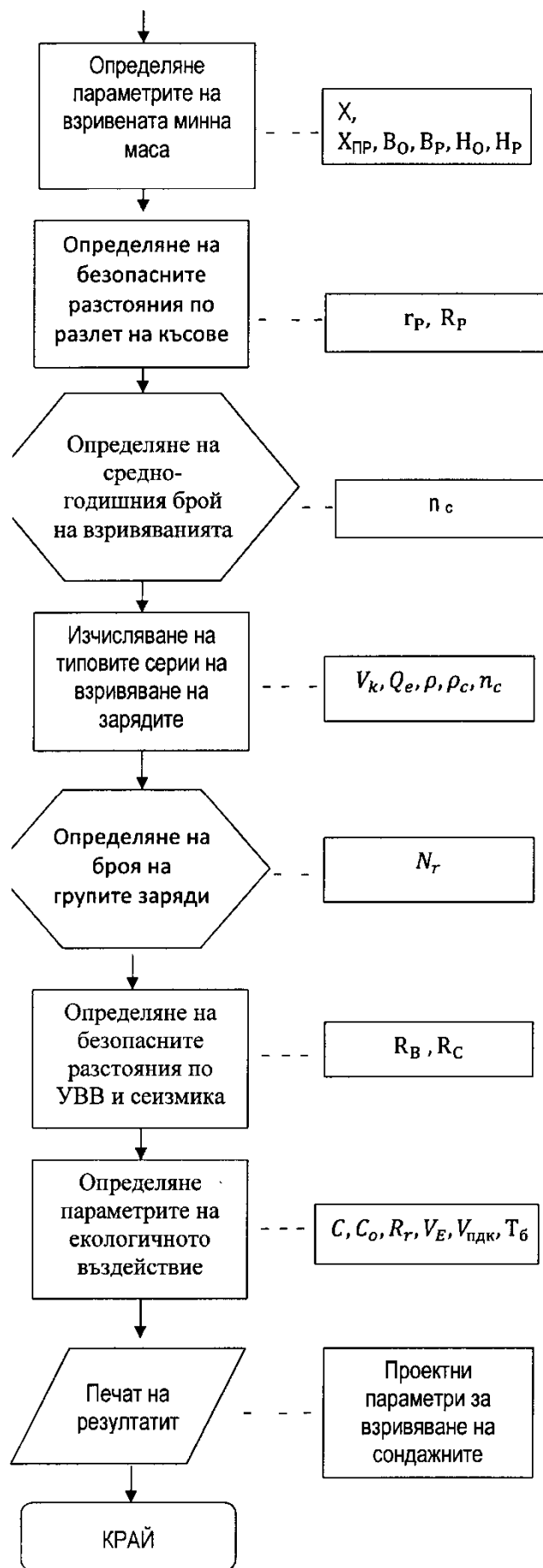
Програмата е максимално приближена към традиционните стандарти за оперативно проектиране на масовите взривявания на големи кариери. Възможна е адаптацията и за всяка кариера, като в основата и е заложена нова идеология за автоматизирано проектиране, предвиждаща не само определяне на рационалните параметри на ПВР, но и формиране на всички необходими проектни документи, в съответствие с нормативните изисквания за извършване на ВР.

## Литература

- Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Кочанов А.Н., 2003: Автоматизированное проектирование массовых взрывов на кариерах. - Новосибирск: Наука.
- Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ, 2008. - М.: Изд-во МГГУ.
- Правилник по безопасността на труда при взривните работи, 1997. С., Техника.
- Mitkov V., 2010: Improvement of the Technology for Performing Blasting Works in Studena Quarry.- Orlando, FL USA, ISEE.

*Препоръчана за публикуване от  
катедра „Подземно строителство“, МТФ*





Фиг.1. Укрупнена блок-схема на програмата за пресмятане параметрите на сондажните заряди