

## Влияние на минераложкия състав на пясъчниците от Добруджанския въглищен басейн върху механичните им свойства

Г. Манев<sup>1</sup>, Н. Гноевая<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научноизследователски институт по полезни изкопаеми, 1505 София

<sup>2</sup> Геолошко предприятие за лабораторни изследвания, 1113 София

*G. Manev, N. Gnoevaya — Influence of the mineralogical composition of sandstones from Dobrudža coal basin on their mechanical properties.* Two- and polydimensional correlation analysis of shock danger coefficients and mineralogical composition of sandstones from Mogilište Formation revealed that the potential possibility for brittle failure depends mostly on the quartz content and the type of contacts between the grains. Rocks with higher quartz content and closer packing of grains are more dangerous. The coefficient of scale factor in the sandstones depends most strongly on the contacts between the grains and their size. More coarse-grained rocks show a better expressed scale effect.

Пясъчниците изграждат около 80% от разреза на въглищния комплекс в Добруджанското находище. От извършените изследвания за изясняване потенциалната опасност от динамични прояви на скалния натиск в района на бъдещите шахти се установи, че скалите от горния карбон на Могилищенската свита в сондажи Р-179 и Р-180 са с подчертано крехко разрушаване. При създаване на определено напрегнато състояние в масива може да се очаква при прокарването на подземни изработки да възникнат скални удари. Близкото разположение на двата сондажа (95 m) ни даде възможност да изследваме проби „близнаци“, разположени в едни и същи пясъчникови пластове на свитата, и да потърсим влиянието на минераложкия състав върху механичните параметри и по-конкретно върху коефициентите за удароопасност.

Минералопетрографските изследвания са извършени под микроскоп върху ориентирани дюншлифи с помощта на пушинтегратор. Изброявани са най-малко до 3000 зърна, след което е изчислено процентното съотношение на скалообразуващите компоненти и спойката. При статистическата обработка минераложкият състав е приет като природна даденост, т. е. променливи независими величини — X. В конкретния случай хиксовете приемат следните значения:

- X<sub>1</sub> — процентно съдържание на свободен кварц във вид на зърна;
- X<sub>2</sub> — кварц в метаморфни и седиментни скални късове;
- X<sub>3</sub> — процентно съдържание на фелдшпати;
- X<sub>4</sub> — процентно съдържание на слюда;
- X<sub>5</sub> — процентно съдържание на отломки от ефузивни скали;
- X<sub>6</sub> — коефициент на обща карбонатност;
- X<sub>7</sub> — процентно съдържание на спойката;

$X_8$  — изменение в спойката в балове (тук са приети следните балове: глинясване 1—2 бала, хлоритизация 2—3 бала, карбонатизация 4—6 бала, кварцова спойка 6—10 бала);

$X_9$  — контакти между зърната в балове (приети са следните балове: свободни зърна — 1 бал, точкови контакти — 3 и тангенциални — 5 бала);

$X_{10}$  — размер на зърната в тпш.

Якостните и деформационни свойства са определени съгласно изискванията на Инструкцията по безопасно водене на минните работи (Инструкция. . . , 1980 г.). Определени са якостта на опън  $R_o$ , якостта на натиск  $R_H$ , динамичният и статистичният еластичен модул  $E_o$  и  $E_c$ , деформационният модул  $E_{деф}$  и коефициентът на Поасон  $\mu_o$ .

Извършени са и специални изследвания за изясняване удароопасността на скалите чрез регистриране изменението на надлъжните и напречните еластични вълни при циклично едноосово натоварване. Нарастването на надлъжната еластична вълна при натоварване на образците до 80% от разрушаващото напрежение дава коефициента на удароопасност  $K_y$ . Ако  $K_y > 0,3$ , скалата се приема за неудароопасна.

Освен това на всички проби е изследвана пълната диаграма  $\sigma - \epsilon$  с остатъчната якост на скалите  $R^*$  (Рекомендации. . . 1981; Карташов и др., 1979), след което са изчислени необходимите коефициенти, по които се съди за крехкостта на скалата:

$$K_1 = \epsilon_e / \epsilon_n;$$

$$K_2 = M/E;$$

$$K_3 = \frac{M}{E+M};$$

$$K_4 = R_H/R_o;$$

$$\lambda^* = \frac{R^*}{R_H},$$

и коефициентът на мащабния фактор  $\lambda_{мф}$ ;  $\epsilon_e$  и  $\epsilon_n$  са еластичната и пълната деформация при натоварване на едноосен натиск на скални образци;

$E$  — еластичният модул;

$M$  — модулът на падащата част на диаграмата;

$R_o$  — остатъчната якост на едноосен натиск;

$R_H$  — върхова якост на едноосен натиск;

$R_{оп}$  — якост на едноосен опън.

При статистическия анализ коефициентите за удароопасност са приемани като зависима величина  $Y$  от минералогичния състав.

След съставяне на банката от данни е направен двумерен и многомерен корелационен анализ\*. От многомерния анализ е получено за всяко значение на  $Y$  следното уравнение:

$$(1) \quad Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 + a_7x_7 + a_8x_8 + a_9x_9 + a_{10}x_{10},$$

където  $a_0$  е свободният член;  $a_1, \dots, a_{10}$  са регресионните коефициенти пред променливите  $x_1, \dots, x_{10}$ .

Банката с първоначални данни за пясъчниците от двата изследвани сондажа са дадени в табл. 1.

На двумерен анализ са проведени всички променливи  $Y$  в зависимост от всичките значения на независимите  $X$ -ове. За практическо ползуване могат да се препоръчат само три регресионни уравнения, които са получени с високи корелационни отношения.

\* Анализите са направени по две програми, които взаимно се допълват. Едната е съставена от доц. к. т. н. М. Мирчев от ВМГИ, а другата е адаптирана от Ев. Иванчев програма на Д е й в и с (1977).

Таблица 1

Механични свойства и минералого-петрографски състав на пясъчните от Могилещенската

№ на пробата	Литолошко определение	Дълбочина в метри	Механични параметри (коэффициенти за удароопасност)						
			$K_2 = \frac{M}{E}$	$K_y$	$K_1 = \frac{\epsilon_{ел}}{\epsilon_{пг}}$	$K_3 = \frac{M}{E+M}$	$\lambda_R^*$	$\lambda_{мф}$	$\frac{R_{II}}{R_{оп}}$
Сондаж									
У-1	пясъчник	1285	3,125	0,200	0,94	1,76	0,03	0,68	11,0
У-3	"	1362	1,613	0,180	0,81	0,48	0,42	0,72	12,8
У-5	пясъчник	1448	0,490	0,190	0,93	0,68	0,56	0,74	15,8
У-6	полимиктов	1484	0,680	0,160	0,84	0,38	0,56	0,72	18,6
У-7	пясъчник	1525	2,000	0,170	0,91	0,64	0,04	0,40	9,7
У-8	вулканомиктов	1622	1,200	0,260	0,68	0,54	0,18	0,74	28,0
У-9	пясъчник	1657	1,880	0,300	0,91	0,65	0,35	0,51	10,2
У-10	олигомиктов	1688	3,260	0,090	0,90	0,34	0,08	0,76	15,3
У-11	"	1733	1,100	0,640	0,92	0,32	0,40	0,56	10,3
У-12	"	1741	2,400	0,310	0,96	0,62	0,11	0,40	28,6
У-13	"	1750	4,000	0,250	0,93	0,73	0,06	0,73	22,0
Сондаж									
У-4	пясъчник	1375	4,710	0,130	0,88	0,82	0,08	0,71	12,3
У-6	вулканомиктов	1455	5,880	0,270	0,97	0,85	0,10	0,64	17,8
У-8	"	1523	0,510	0,270	0,78	0,34	0,14	0,63	16,0
У-9	пясъчник	1546	2,800	0,130	0,72	0,63	0,13	0,56	16,0
У-10	полимиктов	1575	3,800	0,420	0,90	0,72	0,10	0,65	21,6
У-13	вулканомиктов	1668	1,390	0,200	0,90	0,48	0,08	0,73	18,2
У-14	"	1705	5,830	0,280	0,96	0,81	0,09	0,70	16,3
У-15	пясъчник	1724	0,360	0,260	0,75	0,15	0,64	0,62	14,3
У-18	полимиктов	1772	6,260	0,134	0,38	0,62	0,11	0,82	17,0
У-16	пясъчник	1782	1,850	0,140	0,79	0,51	0,07	0,82	14,0

На фиг. 1 е показано как се изменя коэффициентът на удароопасност  $K_y$  в зависимост от съдържанието на кварц във вид на зърна в пясъчните. Вижда се, че с увеличаване на кварца  $K_y$  намалява, т. е. скалата става по-удароопасна, тъй като за удароопасни се считат тези скали, при които  $K_y \leq 0,3$ . Колкото  $K_y$  е по-малък, толкова скалата е по-крехка и удароопасна. Кривата на фиг. 1 има уравнение на регресия с корелационно отношение  $\eta_{yx} = 0,818$ .

$$(2) \quad K_y = \frac{1}{X_1} + 0,07.$$

Аналогична зависимост между  $K_y$  и контактите в балове е дадена на фиг. 2. Праволинейната зависимост е  $r_{xy} = 0,666$  и има уравнение на регресия

$$(3) \quad K_y = 0,352 - 0,045X_2,$$

а хиперболата е с корелационно отношение  $\eta_{xy} = 0,816$  и регресивно уравнение.

## Минерален състав на пясъчниците

свободен кварц зърна, % $X_1$	кварц в скални късове, % $X_2$	фелдшпати, % $X_3$	сляуда, % $X_4$	отломки от вулк. скали, % $X_5$	коэф. на обща карбон., % $X_6$	спойка, % $X_7$	спойка в балове $X_8$	контакти м/у зърн. в балове $X_9$	размер на зърната, mm $X_{10}$
6,33	12,00	15,02	1,42	51,39	1,7	13,85	2,0	3,0	0,250
3,06	10,70	28,08	2,18	41,83	2,2	14,29	2,2	2,0	0,650
4,58	33,60	6,75	0,73	39,28	1,8	15,09	1,2	1,5	0,710
4,93	48,90	1,50	2,94	25,70	1,8	16,07	1,2	5,0	0,830
2,48	4,90	4,51	0,91	69,69	1,9	17,54	3,0	3,0	0,150
0,36	3,97	20,88	2,38	45,67	3,3	26,74	5,0	1,2	0,175
22,36	46,12	1,86	5,51	3,68	4,9	20,24	4,0	0,9	0,650
22,20	40,10	2,08	7,01	5,95	3,2	22,66	4,5	5,0	0,370
26,14	42,53	1,48	5,72	3,12	3,3	21,01	7,1	1,0	0,180
45,94	26,39	1,75	1,00	4,26	3,0	20,67	8,5	1,5	0,220
31,51	27,00	6,23	1,94	5,40	1,8	27,94	7,5	4,0	0,200

## P-180

1,88	5,91	29,10	1,42	44,74	3,6	15,8	1,5	3,0	0,300
2,35	7,10	32,83	3,34	32,20	3,7	22,2	2,5	2,0	0,325
4,86	21,00	14,08	1,16	37,94	2,6	21,93	3,0	2,0	0,320
10,75	63,50	0,82	0,82	6,97	1,9	17,15	1,5	4,0	1,500
1,23	6,80	10,41	0,45	57,04	4,0	24,09	3,0	3,0	0,150
2,71	5,52	13,11	1,43	59,33	3,4	20,89	4,5	4,0	0,100
2,98	10,10	7,64	4,54	28,91	36,6	39,36	7,0	2,4	0,150
17,73	16,43	12,54	6,79	21,00	11,5	25,51	5,0	2,5	0,200
42,06	26,65	0,94	1,29	4,35	1,7	24,71	8,0	3,0	0,200
33,85	22,60	6,48	3,05	5,89	2,2	26,56	7,5	3,8	0,150

$$(4) \quad K_y = \frac{1}{1,94 + 1,13X_9}$$

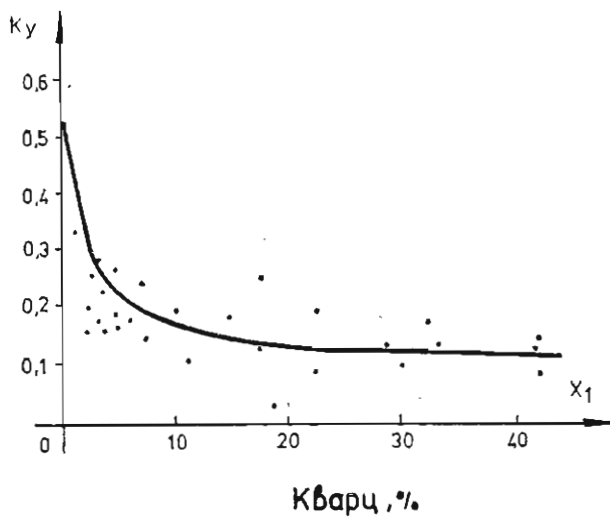
Вижда се, че колкото по-близки са контактите между минералите в скалата, толкова тя е по-удароопасна.

На фиг. 3 е показана зависимостта между съдържанието на кварцови зърна в % и отношението на крехкост  $R_H/R_{on}$  и относителната глинестост на скалите  $\eta_{gl}$ . Последната е изследвана с помощта на сондажно-геофизични методи от Й. Николова. Вижда се, че с увеличаване на кварца расте крехкостта на скалите и намалява тяхната относителна глинестост.

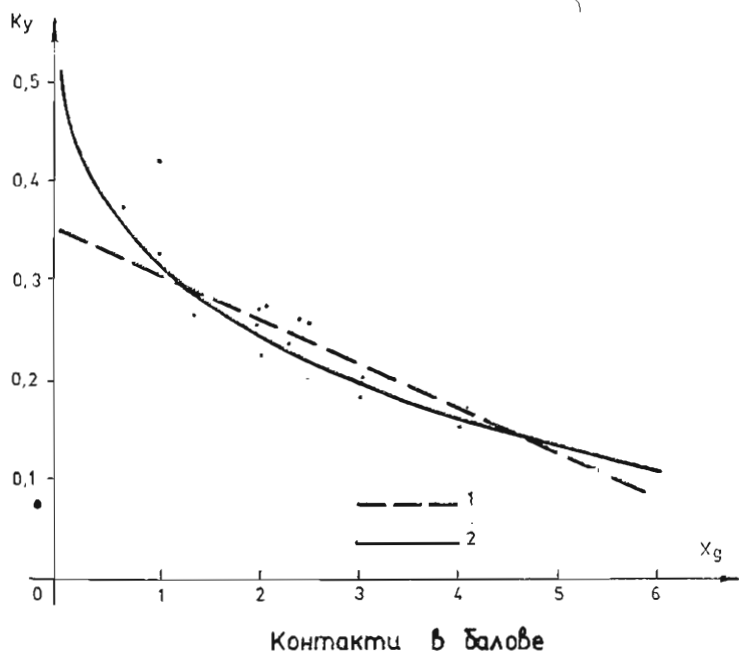
Уравнението на регресията на кривата от фиг. 3 има следния вид:

$$(5) \quad (R_H/R_{on})_s = 16,77 - \frac{4,452}{X_1},$$

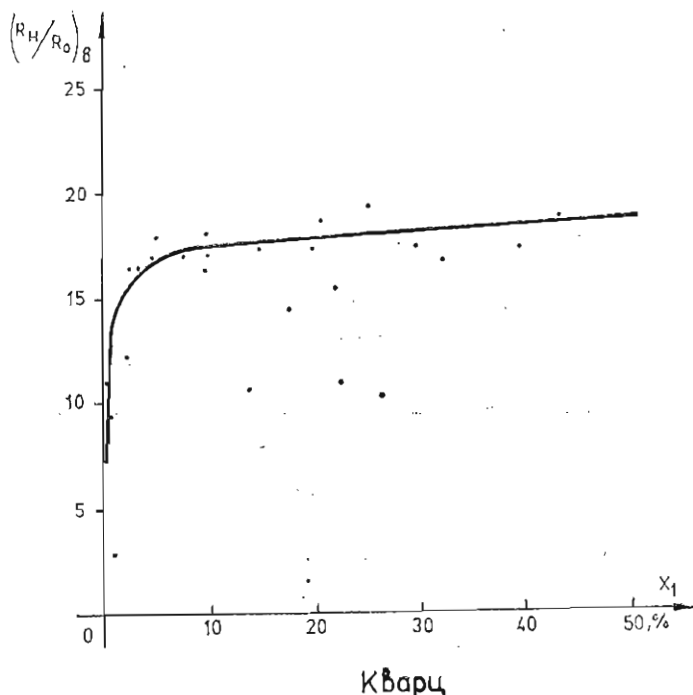
с корелационно отношение  $\eta_{yx} = 0,741$ . От друга страна е изведена зависимостта



Фиг. 1. Зависимост между коефициента на удароопасност  $K_u$  и процентното съдържание на кварцови зърна в пясъчниците



Фиг. 2. Зависимост между коефициента на удароопасност  $K_u$  и контактите на зърната в баловете —  $X_g$   
 1 — праволнейна зависимост;  
 2 — хиперболична зависимост



Фиг. 3. График на зависимостта  $R_H/R_{оп}$  от съдържанието на кварц

$$(6) \quad \eta_{zл} = 0,37 + 0,0792(R_H/R_{оп})_B - 0,00343(R_H/R_{оп})_B^2$$

с корелационно отношение  $r_{yx} = 0,921$  от лабораторните и сондажно-геофизичните изследвания на пясъчниците от Могилищенската свита във водонепитното състояние. Получените тесни корелационни зависимости могат да се използват за прогнозиране на  $K_y$ ,  $(R_H/R_{оп})_B$  и  $\eta_{zл}$ , като се знаят процентното съдържание на кварца и характерът на контактите между минералите.

На табл. 2 са показани множествените корелационни коефициенти, свободният член  $a_0$  и коефициентът пред променливите  $a_1, \dots, a_{10}$ . От таблицата се вижда, че вещественият състав най-силно влияе на  $K_y$ ,  $\lambda_R^*$  и  $(R_H/R_{оп})_B$ , т.е. потвърждават се изводите от двумерния корелационен анализ.

За коефициента  $K_2 = M/E$ , представляващ вложената енергия за разрушаване до върховата якост и нейното изразходване за натрошаване на скалата, вещественият състав не влияе силно или ако влияе, то зависимостите са обратни. Очевидно тук на  $K_2$  оказва влияние само коравината на натоваращото оборудване (Петухов, Липков, 1983). Аналогично е положението с  $K_1$  и  $K_3$ . Това особено силно важи за коефициента  $K_3$ , чийто физически смисъл е вложената работа до и след върховата якост на скалата.

Коефициентът на остатъчна якост  $\lambda_R^*$  най-много зависи от процентното съдържание на скалните отломки в пясъците. Най-силно влияние на мащабния фактор оказват контактите между зърната (в балове), наличието на кварц и вулкански скали, а така също и размерът на зърната.

Направеният многомерен корелационен анализ хвърля светлина върху въпроса, как влияе вещественият състав на пясъчниците върху тяхното механично пове-

Таблица 2

Резултати от множествена линейна корелация между състава  $\chi_i$  пясъчните и коефициентите за удароопаляемост

Функция $Y$	Множест. корел. коефициент $R$	Свободен член $a^0$	Регресионни коефициенти $a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6 a_7 a_8 a_9 a_{10}$ пред променливите $\chi_i$									
			$a_1$ свободен кварц $X_1$	$a_2$ кварц в седим. и метам. скали $X_2$	$a_3$ фелд-шпата $X_3$	$a_4$ сляда $X_4$	$a_5$ вулкан. скали $X_5$	$a_6$ коэф. карбон. $X_6$	$a_7$ спойка % $X_7$	$a_8$ спойка балове $X_8$	$a_9$ контактни балове $X_9$	$a_{10}$ размер на зърната $X_{10}$
$\frac{M}{K_2} = \frac{E}{E}$	0,726	32,700	-0,22	-0,31	-0,22	-0,723	-0,338	0,073	-0,200	-0,59	0,382	-2,11
$K_y$	0,820	-0,840	0,04	0,022	0,015	-0,0002	0,0116	0,0026	0,0083	0,032	-0,053	-0,393
$K_1 = \frac{E_{\text{св.}}}{E_{\text{п.з.л.}}}$	0,534	1,890	-0,011	-0,0006	-0,0042	-0,014	-0,0077	0,0095	-0,022	-0,0008	0,0021	-0,392
$\frac{M}{K_3} = \frac{M}{E+M}$	0,641	10,157	-0,078	-0,084	-0,0814	-0,164	-0,088	0,01	-0,105	-0,082	0,0074	-0,56
$\lambda_R^*$	0,687	-3,17	0,037	0,036	0,032	0,079	0,036	0,079	0,029	-0,0202	-0,0533	0,1446
$\lambda_{\text{вдф}}$	0,639	1,704	-0,016	-0,010	-0,006	-0,022	-0,015	-0,0047	-0,006	0,003	0,046	-0,147
$R_H/R_{\text{он}}$	0,685	127,14	1,27	1,30	1,39	0,095	1,27	-0,06	1,96	0,561	-0,134	3,68

дение при натоварване. Главният фактор за потенциалната удароопасност на пясъчници от Могилищенската свита на Добруджанското възглищно находище се явява наличието на кварц. Твърде важна роля играе видът на контактите между зърната.

## Л и т е р а т у р а

- Дейвис, Д. 1977. *Статистика и анализ геологических данных*. М., Мир, 571 с.  
*Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях склонных к горным ударам*. 1980. Издание ВНИМИ. Л., 146 с.  
Карташов, Ю. М., Б. В. Матвеев, Г. В. Михеев, А. Б. Фадеев. 1979. *Прочность и деформируемость горных пород*. М., Недра, 266 с.  
Петухов, Н. М., А. Линков. 1983. *Механика горных ударов и выбросов*. М., Недра, 279.  
*Рекомендации по методам определения запредельных характеристик горных пород при одноосном и трехосном сжатии*. 1981. Л., ВНИМИ, 42 с.

(Постъпила на 26. XII. 1985 г.)