

## Якостни и деформационни характеристики на скалите по проектното трасе на наклонена шахта за рудник "Челопеч"

Венцислав Иванов

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

**РЕЗЮМЕ.** За геомеханично осигуряване разработването на проект, за строителство на наклонена шахта, на рудник "Челопеч" са извършени лабораторни изследвания на механичните свойства на скалите, по трасето на бъдещата шахта. Изпитани са 106 образци, получени от седем проучвателни сондажа – пет от повърхността и два подземни, които пресичат шест литоложки разновидности скали, изграждащи масива, в района на проектираната шахта.

### STRENGTH AND STRAIN PROPERTIES OF THE ROCKS SURROUNDING THE DESIGN ROUTE OF AN INCLINED SHAFT AT CHELOPECH DEPOSIT

**ABSTRACT.** Laboratory tests of mechanical properties of rocks, surrounding the route of a future shaft were performed to provide a geomechanical background for the design of an inclined shaft at the "Chelopech" mine. Hundred and six (106) samples were subjected to testing. Samples were delivered from the core of seven boreholes – five drilled from the surface and two holes - from the underground, which crossed six lithological types of rocks of the area of the designed shaft.

### Увод

Проектът на "ЧЕЛОПЕЧ-МАЙНИНГ" АД, за развитие на рудника, предвижда оптимизиране на транспортната схема, чрез строителство на наклонена шахта.

За нуждите на проекта, по сключен договор, в лабораторията по "Механика на скалите" на МГУ "Св. Иван Рилски" са доставени за изследване проби на тела от ядрови сондажи – пет наземни и два подземни, прокарани в района на трасето на бъдещата шахта. Проучвателните сондажи от повърхността се характеризират с нисък коефициент на изважданата ядка<sup>1</sup>, пресичат основно слаби скали – разновидности глини, изветрели вулканити и силно променени андезити, които съдържат съществени глинести прослойки и тектонски раздробени зони. От доставените общо 107 пробни тела са изработени 106 годни за изпитване образци: 75 броя от прокараните от повърхността и 31 от подземните сондажи. Тези обстоятелства по същество определят възможните обеми и видове лабораторни изпитвания.

Изследванията на якостните свойства на скалите на едноосов натиск и опън, са извършени по схема NN – недренирани и неконсолидирани на стационарна преса EDZ-100, с автоматично подаване на товара, с градиент 0,5 MPa/min за едноосов натиск и 0,2 kN/sec при определяне якостта на опън. Всички изследвания са в съответствие с препоръките на ISRM [2].

При изследванията са определени следните физико-механични свойства и характеристики:

- обемна плътност,  $\gamma$  [MN/m<sup>3</sup>];
- съдържание на вода, W [%];
- якост на едноосов натиск,  $\sigma_c$  [MPa];
- якост на опън,  $\sigma_t$  [MPa];

- якост на срязване,  $\tau$  [MPa];
- модул на еластичност, E [GPa];
- коефициент на Поасон,  $\nu$
- кохезия C [MPa] и ъгъл на вътрешно триене  $\varphi$  [..°] при върхова якост и обемно напрегнато състояние (онс);
- извършена е статистическа оценка по надеждност и представителност на получените резултати, където е възможно, като са оценявани надеждността на определяне P и изменчивостта на параметрите чрез коефициента на вариация
- построени са обобщени паспорти за якост в условията на обемно напрегнато състояние, по литоложки разновидности;
- построени са пълните деформационни криви  $\sigma$ - $\epsilon$  и  $\epsilon$  изследвана деформируемостта на разновидностите брекча от подземните сондажи.

### I. Резултати от изследването

Пълният обем изследвания, обработка и анализ на получените резултати са представени в [1]. В настоящата публикация ще използваме усреднени данни за отделните показатели, с цел обобщаване на характерни особености в свойствата на скалите от изследваната зона.

#### I. 1. Якостни свойства

В таблици 1 и 2 са показани обобщените резултати от якостните изпитвания на пробните образци. В таблица 1 са дадени резултатите по литоложки разновидности на горележащите слоеве, получени при сондирането от повърхността. В таблица 2 са показани резултатите от подземните сондажи, прокарани в района на бл 150-360.

В обсега на проучвателните сондажи от повърхността са представени четири скални разновидности: червено-кафя-

<sup>1</sup> Подробна информация в [1]

ви пясъкливи глини, сиви пластични глини, изветрели вулканити и силно променен андезит.

От резултатите в таблица 1 е видно, че най-високаплътност притежават андезитите и вулканитите  $\gamma_{cp} = 0,025 - 0,026 \text{ MN/m}^3$ . От глинестите слоеве, по-плътни са сивите пластични глини  $\gamma = 0,024 \text{ MN/m}^3$ , докато при червените пясъкливи глини  $\gamma = 0,02 \text{ MN/m}^3$ . Обратно на показателя плътност се изменя съдържанието на водата в образците. Най-високо, то е при червените глини ( $W \approx 13,5\%$ ), най-ниско  $W = 5-6\%$  във вулканитите.

Всички представени скални разновидности са с много ниски якостни показатели. Якостта на едноосов натиск  $\sigma_c$  е

в диапазона от 0,6 до 1,2 МПа. Най-висока, тя е при червено-кафявите глини (1,2 МПа), най-ниска тя е при изветрелите вулканити - 0,57 МПа. При изследването са установени известни разлики в якостните показатели на еднородните разновидности скали от различните сондажи. Така например, червено-кафявите глини от сондажи DDH 382 и DDH 383 са малко, но устойчиво по-здрави от тези, в секция 12 (DDH 236 и DDH 238). Същата тенденция е установена и при якостните свойства на вулканитите. Тези, представени в сондаж DDH 382 са също с относително високи якостни показатели.

Таблица 1.

Обобщени показатели от якостните изпитвания за сондажите от повърхността, по литоложки разновидности

Литоложка разновидност	Сондаж №	Обемна плътност, $\gamma$ [ $\text{MN/m}^3$ ]	Якост на ЕН $\sigma_c$ [МПа]		Якост на опън $\sigma_t$ [МПа]		Кохезия, $C^*$ [МПа] (при върхова якост)		Кохезия, $C$ [МПа] (онс)	Ъгъл на вътрешно триене, $\phi^*$ , [...°] (при върхова якост)		Ъгъл на вътрешно триене, $\phi$ , [...°] (онс)
			мин.	макс. средно	мин.	макс. средно	мин.	макс. средно		мин.	макс. средно	
Червенокафяви пясъкливи глини	DDH 238DDH 236	0,02	0,46	1,23	0,14	0,20	0,13	0,25	0,3	35	52	26
			0,96	0,17	0,2	0,3	44					
Червенокафяви пясъкливи глини	DDH 383DDH 382	0,02	0,66	1,54	0,11	0,21	0,13	0,28	0,53	41	55	8
			1,2	0,15	0,2	0,53	48					
Сиви пясъкливи глини	DDH 383DDH 382	0,02	0,63	1,42	0,21	0,46	0,18	0,4	0,2	33	34	27
			0,97	0,32	0,28	0,2	34					
Изветрели вулканити	DDH 382	0,026	0,62	1,1	0,11	0,30	0,13	0,291	0,24	39	48	24
			0,83	0,21	0,21	0,24	41					
	DDH 392	0,025	0,35	0,77	0,06	0,43	0,06	0,29	0,14	28	58	24
			0,57	0,17	0,05	0,05	0,14	0,14	36	36	24	

Силно променен андезит	DDH 383		0,45	0,93	0,05	0,29	0,08	0,26		35	59	
		0,025	0,7	0,12	0,15	-	50	-				

Таблица 2.

Обобщени показатели от якостните изпитвания за подземните сондажите, по литоложки разновидности

Литол. разновидност Местоположение	Сондаж №	[ MN/m <sup>3</sup> ] Обемна плътност, $\gamma$	Якост на ЕН $\sigma_c$ [MPa] мин. макс. средно	Якост на опън $\sigma_t$ [MPa] мин. макс. средно	Кохезия, $C^*$ [MPa] (при върхова якост) мин. макс. средно	Кохезия, $C$ [MPa] (онс)	Ъгъл на вътрешно трие- не, $\varphi^*$ , [...°] (при върхова якост) мин. макс. средно	Ъгъл на вътрешно триене, $\varphi$ , [...°] (онс)
Бл 150 – Брекча неокварцена	С-03 – 209		38,8 50	3,4 6,3	5,7 8,9		51 67	
		0,027	44	4,4	6,9	6	61	35
Бл 150 – Брекча окварцена	С-03 – 211		54,2 50,7	5,4 11,7	8,7 15,3		45 68	
		0,028	69,5	8,5	11,8	9	56	37

Всички изследвани разновидности са с много ниска якост на опън, изменяща се в диапазона 0,1÷0,3 МПа. Скалите, изграждащи проучвания участък имат ниска граница на отношението  $\sigma_c/\sigma_t$ , което за различните изпитвания се изменя от 3 до 8. Най-високо – над 8 е при червено-кафявите пясъкливи глини и най-ниско, приблизително 3 е при вулканитите от раздробената зона, в обсега на сондаж DDH 392.

Изследването установява, че опитните резултати се изменят съществено, тъй като пробните образци имат изразена слоестост. Това обстоятелство предполага анизотропия на якост в зависимост от ъгъла сключван между посоката на приложения товар и ориентацията на слоевете, относно осите на сондажите.

Подземните проучвателни сондажи пресичат две литоложки разновидности – неокварцени и окварцени брекчи, които по якостно-деформационни свойства съществено се отличават, както от описаните по-горе скали, така и между себе си.

Резултатите показват, че окварцената брекча е по-плътна от неокварцената. Тя е съществено по-здрава, като  $\sigma_c^{cp} \approx 70$ , съответно срещу  $\sigma_c^{cp} \approx 44$  МПа. Окварцената брекча е с приблизително два пъти по-висока якост на опън и също толкова по-високо сцепление:  $\sigma_t \approx 8,5$ , срещу 4,4 МПа и  $C^* \approx 12$ , срещу 7 МПа. Съответно съотношението  $\sigma_c/\sigma_t$  е по-високо при неокварцената брекча.

При якостните тестове и двете разновидности брекча, имат поведение на крехки скали, с хомогенен състав, несдържачи нарушения. Разрушаването, с пренебрежими изключения се реализира при малки пластични деформа-

ции, чрез надлъжни пукнатини, по направление на приложения товар.

## 1.2. Паспорт на якост. Параметри на обвивачата крива. Деформационни изследвания

Построяването на паспорта на якост, изразяващ графично зависимостта между тангенциалните и нормалните напрежения, при които настъпва разрушаването е завършващия етап за всяко якостно изследване. Елементарният паспорт се строи в координатна система  $\tau - \sigma$ , в която пределните Морови окръжности съответстват на  $\sigma_c$  и  $\sigma_t$ , допирателната към тях е обвивача и нейното местоположение в координатната система се определя от точката на пресичането ѝ с оста  $\tau$ , което дава сцеплението  $C$ . Ъгълът на наклона на обвивачата се определя от ъгъла на вътрешно триене  $\varphi$ . Описаните построения са извършени в [1] и параметрите на обвивачата крива са дадени в таблици 1 и 2 с индекс  $C^*$  и  $\varphi^*$  и са наричани кохезия и ъгъл на вътрешно триене при върхова якост. Проблемът е, че този подход дава завишени стойности за  $C$  и  $\varphi$  [3, 4] и въпреки отделни развития на аналитичния апарат, възможностите за приложение на резултатите по определянето на  $C$  и  $\varphi$  се движат в границите на  $(0,2 - 0,5)\sigma_c$  [3, 4]. В смисълът на изложено то, построяването на паспорт на якост в условията на обмен натиск [5, 6], даващ връзката между тангенциалните  $\tau$  и нормалните напрежения  $\sigma$  за различни напрегнати състояния ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) е най-информативен [2, 3, 4].

Най-добрите практики при якостните изследвания са извършените в клетки за обемни изпитвания [6], които се

правят със скъпо оборудване. Известен е метод за определяне паспорта на якост в условията на обемен натиск, състоящ се в изследвания на изменението на якостта на образци, с отношение  $h_{обр.}/d_{обр.}$ , изменящо се от  $0,2 \div 2,0$  [3].

Получените резултати от тези експерименти са в съгласие със зависимостта:

$$\sigma_1 = f(\sigma_c, \sigma_c'/\sigma_c^i, h/d), \quad (1)$$

където  $\sigma_c$  е якост на едноосов натиск при  $h/d=2$ ;  $\sigma_c'$ ,  $\sigma_c^i$  са якост на едноосов натиск при съответното отношение  $h/d$ .

Описаният метод, проверен и приложен от нас в [7] е използван и в настоящото изследване. На фиг. 1 е показан обобщен паспорт на якост за най-здравите горележащи скали (червенокафявите пясъкливи глини). На фиг. 2, паспорта на най-слабите (изветрели вулканити) скални разновидности представени по проектното трасе на наклонената шахта.

Въз основа на тези построения са определени и параметрите на обвиващата крива в условията на обемен натиск, дадени в таблица 1 като  $C$  и  $\varphi$  в условията на онс, непосредствено до стойностите на  $C^*$  и  $\varphi^*$ , при върхова якост.

На фиг. 3 е показан обобщен паспорт на якост, построен за образци неокварцена брекча, получени от подземния сондаж С-03 – 209.

Изложеното по-горе относно предимствата на паспорта на якост, построен за различни видове напрегнати състояния е в сила и за скалите в района на подземните сондажи. Получените характеристики са сходни с тези от по-стари изследвания на здравите скали на находище "Челопеч", вместващи рудните тела в дълбочина. Разликите са в мащабите на натоварване, якостите и съответно в параметрите на обвиващите на паспортите на якост.

Върху здравите скали от подземните сондажи, съгласно условията на договора, са извършени деформационни изследвания за построяване на  $\sigma - \varepsilon$  диаграми и определяне на характеристиките им на деформиране. Изследванията са извършени в условията на едноосов натиск и скорост на натоварване в границите  $0,5 \div 1,0$  MPa/sec. Изпитванията са в обхват не превишаващ  $0,6 - 0,7 \sigma_c$  за дадения образец скална разновидност, определян от резултатите по определянето на якостта на едноосов натиск. Точността на отчитане на деформациите е  $0,001$  mm.

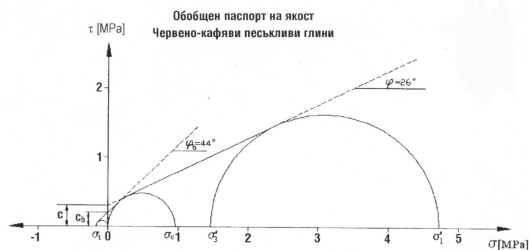
Във всеки деформационен експеримент, товарът е изменен циклично, като във всеки цикъл на натоварване

и/или разтоварване то е реализирано стъпалообразно и са определяни деформационните характеристики, след което образеца е разрушаван [2]. На фигура 4 са показани обобщени пълните  $\sigma - \varepsilon$  диаграми, характеризиращи деформируемостта на образците от двете разновидности брекча, пресечени от сондажа С-03 – 209. На фигурата графиките на деформиране са наложени за двата вида образци брекча от зоните на относително ниска (неокварцена) и висока (окварцена) якости, за сравнение.

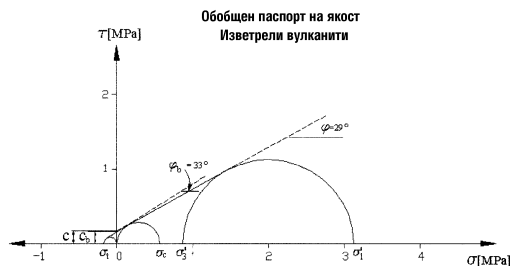
От  $\sigma - \varepsilon$  диаграмите е видно, че основната част от микродефектите, съдържащи се в образците се затварят при товари около  $4 \div 5$  MPa, отбелязани с ниско разположените пунктирни линии на графиките.

В процеса на повишаване на натоварванията окварцените разновидности брекча имат линейно-еластично деформационно поведение, което се запазва до товари  $17 \div 23$  MPa. При повторните натоварвания, на образците от неокварцената брекча, пропорционалността между прилаганите товари и деформациите се нарушава, нарастват напречните деформации и графиката губи линейния си характер, като това деформационно поведение е типично и за останалите изследвани образци [1]. За целите на сравнението получените  $\sigma - \varepsilon$  диаграми са представени в класически вид и са маркирани само зоните на липса на линейност в началния участък (долните пунктири) и допределната зона (горните пунктири), без да се строят участъците на натрупващите се остатъчни деформации при повторните натоварвания.

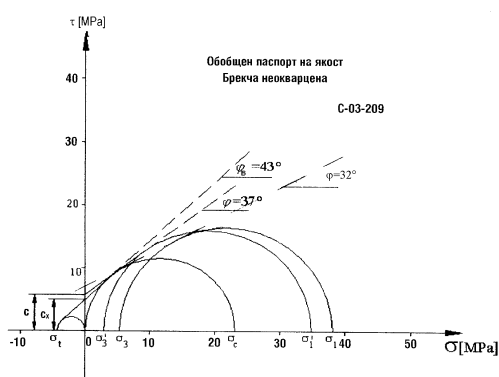
В таблица 3 са дадени стойностите на еластичните константи, получавани в цикъл на разтоварване, в зоната около  $0,5 \sigma_c$  за отделните изпитвания [2].



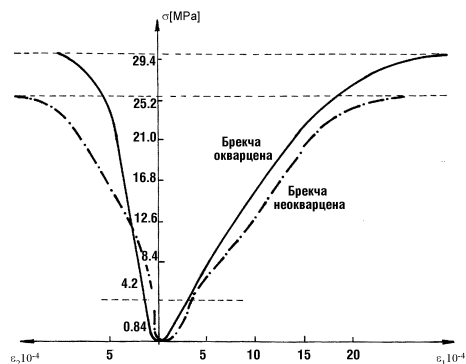
Фиг. 1.



Фиг. 2.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

Таблица 3.  
Деформационни характеристики на скалите от подземните сондажи

Литоложка разновидност	Якост на ЕН, $\sigma_c$ , [Мра]	Модул на еластичност, $E$ , [Гра]	Модул на плъзгане, $G$ , [GPa]	Коефициент на Поасон, $\nu_{cp}$
Брекча неокварцена	23	6±11	5±9,2	0,38
Брекча окварцена	30	7±16	5±13	0,35
	64	4±15	3±11	0,28

Въз основа на анализ тези резултати са определени и параметрите на обвиващата крива, които са  $C \approx 6 - 11$  Мра и  $\phi = 21 \div 27 - 37^\circ$ , за различните обемни напрегнати състояния.

### Заклучение

Извършени са комплексни якостни и деформационни изпитвания на скалите, изграждащи покриващия комплекс, над източния участък на находище "Челопеч". Придобита е нова информация за физикомеханичните свойства на четири литоложки разновидности на горележащите скали, в обсега на проучвателните сондажи, прокарани от повърхността. Извършени са якостни и деформационни изследвания на две разновидности брекча в района на бл.150 – 360. Всички образци характеризират скалите в зоната на трасето на проектирана наклонена шахта.

При изследването е преследвана целта да се реализират качествени лабораторни тестове за получаване на първи, обхватни по обем количествени данни, достатъчни за първоначален анализ и приложение в началния етап на проекта.

Получените резултати са подлагани на статистическа оценка по надеждност и представителност, подробно изложени в [1], където броят доставени образци позволява прилагането й.

В смисълът на изложеното са дадени и препоръки към авторите на проекта за допълнителни изследвания, нала-

гани от изискванията за гарантиране на устойчивостта на съоръжението с дълговременен срок на експлоатация, каквато е наклонената шахта и установяване на характерни особености за свойствата на скалите. Тези препоръки се отнасят за резултати, при които надеждността на определяне е в граници  $P=0,77 - 0,94$  за наземните 0,61-0,86 за образците от подземните сондажи. Реализираното изследване е в сила само за околността на проучвателните сондажи и не позволява екстраполация извън районите на секциите, в които се намират те.

Извършеното изследване увеличава качеството и обема количествена информация за свойствата на скалите от находището и е в унисон с програмата на "ЧЕЛОПЕЧ-МАЙНИНГ" АД за създаване на база данни по геомеханика за НДС и свойствата на скалите, изграждащи масива.

### Литература

Определяне на якостните и деформационни характеристики на скали от находище "Челопеч", чрез изследване на сондажни ядки. Изследователски отчет по Договор 1816/2003, НИС при МГУ "Св. Иван Рилски", София

Brown E. T. Editor "Rock Characterisation. Testing and Monitoring. ISRM Suggested Methods. Pergamon Press, 1981.

Турчанинов И.А. и др. "Основы механики горных пород" Недра, 1989.

Bienjowski Z.T. "Estimating the strength of rock materials. J.of S. A Inst of Min Sc.: N 4, 1964.

Smith M.Y. "Concise Soil Mechanics" M & E Handbooks, London, 1977.

Hoek E.P., K. Kaiser, W.F.Bawden. "Support of Undergronnd Excavations in Hard Rock, 1994, A.A. Balkema.

Определяне на якостните и деформационни характеристики на комплекса покриващи скали на находище "Челопеч", чрез изследване на ядки от сондажи от повърхността" Изследователски отчет по Договор 1729/2001, НИС при МГУ "Св. Иван Рилски", София.