

ГЕОЛОГОСТРУКТУРНИ И ИНЖЕНЕРНОГЕОЛОЖКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ В КАРИЕРА "ЮРТДЕРЕ" (ДИМИТРОВГРАД). II. СВОЙСТВА НА СКАЛНИЯ МАСИВ

Антонио Лаков, Венелин Желев, Георги Айданлийски, Теменуга Георгиева

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София; tony_lakov@abv.bg, vjelev@yahoo.com, ajdansky@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Оценката на свойствата на скалния масив в кариерата "Юртдере" е направена на базата на установения структурногеоложки модел на масива. Извършено е полево документиране на профилите на грапавост на пукнатините, измерване на якостта на техните стени с чук на Schmidt, както и класификация на участъците от кариерата по показателя GSI (Geological Strength Index). На базата на полевите данни бяха определени обобщените якостни показатели, коефициентът на грапавост на пукнатините JCS (Joint Compression Strength) и на якост на стените на пукнатините JRC (Joint Roughness Coefficient). След статистическа обработка на данните беше определена якостта на срязване по пукнатини съгласно Barton и Bandis. Данните от полевите измервания на пукнатините са обработени по метода на Markland, като бяха определени възможните структурно контролирани модели на обрушване в кариерата. На базата на получените резултати са направени препоръки относно параметрите на стъпалата и на бъдещите минни работи в кариерата.

GEOSTRUCTURAL AND ENGINEERING-GEOLOGICAL INVESTIGATIONS IN "URTDERE" QUARRY (DIMITROVGRAD). II. ROCK-MASS PROPERTIES

Antonio Lakov, Venelin Jeleu, George Ajdanlijsky, Temenuga Georgieva

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; tony_lakov@abv.bg, vjelev@yahoo.com, ajdansky@mgu.bg

ABSTRACT. The rock-mass properties of Urtdere quarry were estimated on the basis of the established structural-geological model of the massif. Field registration of the joints roughness profiles and joints walls compression strength testing with Schmidt hammer were carried out as well as classification of the slopes according the GSI scale. Based on the field results the general strength parameters of the joints – JCS (Joint Compression Strength) and JRC (Joint Roughness Coefficient) were determined. After statistical processing, the joints shear strength according to Barton was calculated. Markland's tests based on the joints orientation data were carried out to identify the structurally controlled failure types in the quarry. Based on the obtained results recommendations for the benches parameters and the future mining works were concluded.

Общи сведения за кариерата, цел и задачи на изследването

Кариера "Юртдере" се намира непосредствено до гр. Димитровград. Към настоящия момент тя е развита на площ около 24000 дка, като е разработена при дъно кота 100 и две стъпала на коти 120 и 130 m. По южния контур максималната височина на борда към естествения терен е до коти 150 m. Средните наклони на стъпалата са в границите 70°-80°. Добивът се извършва на отделни забои с обем до 20000 m³ чрез взривяване с непрекъснати заряди.

Основна цел на настоящото изследване е оценката на свойствата на скалния масив и определяне на състоянието на бордовете на кариерата от гледна точка на тяхната локална и обща устойчивост. От тази гледна точка, то е продължение на геологоструктурните изследвания, представени в първата част на статията, при което бяха решени следните задачи:

- изследване на състоянието на пукнатините в масива и определяне на якостните показатели на триене по тях;

- анализ на блоковия модел на масива по метода на Markland и изследване на възможните механизми на структурно контролирано обрушване на бордовете на кариерата в характерни разкрития;
- определяне на опасните блокови комбинации в зависимост от ориентацията на стъпалата на кариерата;
- даване на препоръки за безопасно развитие на минните работи.

Фактори за определяне на свойствата на скалния масив

Скалните масиви са сложни структурни системи, чиито свойства, освен от свойствата на самата (ненарушена) скала, се определят и от взаимодействието на редица фактори:

- Структурногеоложкият модел на масива, включващ вида, произхода и ориентацията на структурните нарушения;
- състоянието на пукнатините, отчитащо грапавостта и якостта на техните стени, отвореността им, наличието и вида на запълнител, представено интегрално чрез якостта на срязване по тях;

- блоковият модел, определящ формата и размерите на блоковете в масива, които могат са оформират от съществуващите системи пукнатини, както и кинематичната им възможност за обрушване;
- наличието на подземни води, протичащи през пукнатините в масива;
- други технологични фактори, като ориентация и височина на стъпалата в кариерата, начин на взривяване, време на престояване на бордовете.

Значението на тези фактори за състоянието на кариерата и устойчивостта на бордовете се изразява при определяне на механизма и обхвата на структурно-зависимите (структурно контролирани) обрушвания на единични или групи блокове по пукнатини в стъпалата – плоско хлъзгане, клиново хлъзгане и преобръщане.

Геологоструктурен модел на масива

Настоящото изследване се основава на установения геологоструктурен модел на масива (виж първата част от статията), представен от ортогонална пукнатинна система, включваща една субхоризонтална (j_1), и две субвертикални пукнатинни групи (j_2 и j_3), както и установените разломни нарушения (f), включително и несистемните пукнатини (j_i).

Якост на срязване по пукнатините

Якостта на срязване по пукнатините е изчислена по формулата на Barton (1974) за определяне на триенето по тях:

$$\tau = \sigma_n \tan \left[\phi_b + JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right]$$

- σ_n е нормалното напрежение върху пукнатината.
- ϕ_b е базовия ъгъл на триене за скалата. Типичните стойности за варовик, съгласно Barton и Choubey (1977) са $\phi_b = 30^\circ \pm 37^\circ$. При настоящото изследване този показател не е изследван самостоятелно, като е приета стойността $\phi_b = 30^\circ$.
- **JRC** е коефициентът на грапавост на пукнатините (Joint Roughness Coefficient).
- **JCS** е якостта на стените на пукнатините (Joint Compression Strength).

Коефициент на грапавост на пукнатините (JRC)

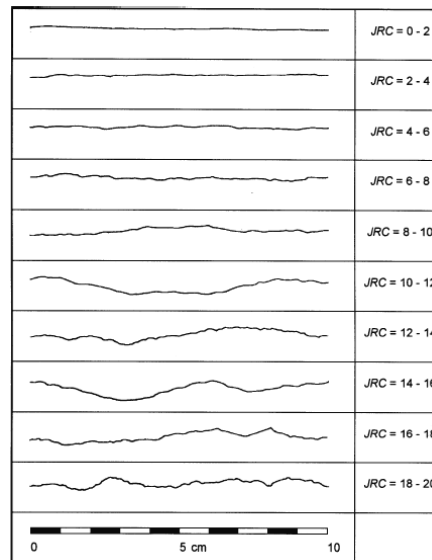
Коефициентът на грапавост на пукнатините се определя на базата на визуално сравняване със стандартна скала на Barton и Choubey (1977) (фиг. 1) с профилите на грапавост на стените на пукнатините, документиран на полето с профиломер.

Поради ограничените възможности за достъп до откосите беше възможно да се документиран сравнително ограничен брой пукнатини (13 на брой), главно от системите j_2 и j_3 . Това определи и известното разхвърляне на стойностите, което обаче може да се дължи както на природни фактори (пространствени изменения в свойствата на пукнатините, мащабен ефект и др.), така и на технически фактори (начин на взривяване, време на престояване на борда и др.). По тази причина, при настоящите изследвания за условията на кариерата е

приета средната стойност на показателя $JRS_{ave}=13$. За оценка на якостта на срязване по пукнатини в изветряло състояние е приета минималната стойност $JRC_{min}=8$.

Якост на стените на пукнатините (JCS)

Якостта на стените на пукнатините е определена полево с използване на чук на Schmidt тип L, като резултатите са представени в таблица 1.



Фиг. 1. Стандартна скала за определяне на Joint Roughness Coefficient

Таблица 1. Резултати от измерванията с чук на Schmidt mun L

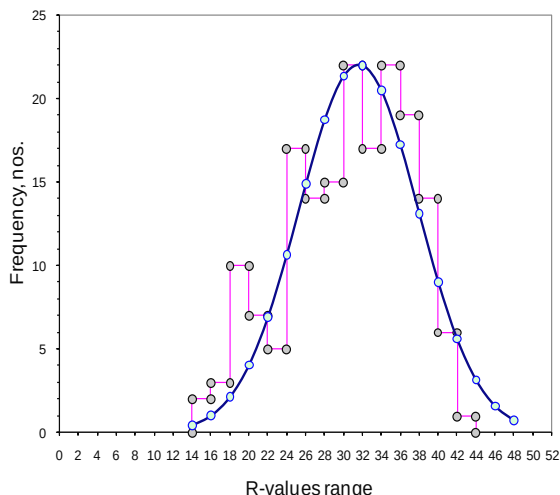
Точка	Пукн. система	Стойности на отчета R от чука на Schmidt												Средно
350	f	20	36	24	18	16	32	28	20	20	21	19		23
	f	38	36	26	38	26	36	38	36	38	38	-		35
	j2	29	28	28	26	31	32	26	28	38	26	-		29
	j2	29	33	35	32	38	30	25	25	34	25	-		31
	j3	28	30	39	38	35	25	24	32	36	33	40		33
352	j2	32	36	40	35	35	37	39	38	40	38	-		37
354	j2	22	24	30	32	31	39	28	28	26	-	-		29
	j3	30	29	26	20	24	20	25	20	27	35	22		25
357	j2	26	19	20	30	33	32	33	25	28	30	-		28
366	j2	32	28	28	31	41	37	33	37	26	28	-		32
368	j2	28	32	30	31	31	41	35	30	35	35	-		33
374	j2	28	22	26	36	34	38	35	34	30	-	-		31
378-9	j2	35	30	36	41	39	32	26	32	24	33	37		33
384	j2 (f)	35	33	43	32	34	31	31	33	31	40	-		34
	j2 (f)	34	33	39	32	35	33	41	40	42	40	41		37
390	j3	18	34	40	35	38	40	38	37	33	38	39		35
393	j2	20	18	22	15	-	-	-	-	-	-	-		19
	j3	30	22	22	31	30	35	-	-	-	-	-		28
Средно														31

Данните следват едно доста добро нормално разпределение (фиг. 2) със следните основни параметри:

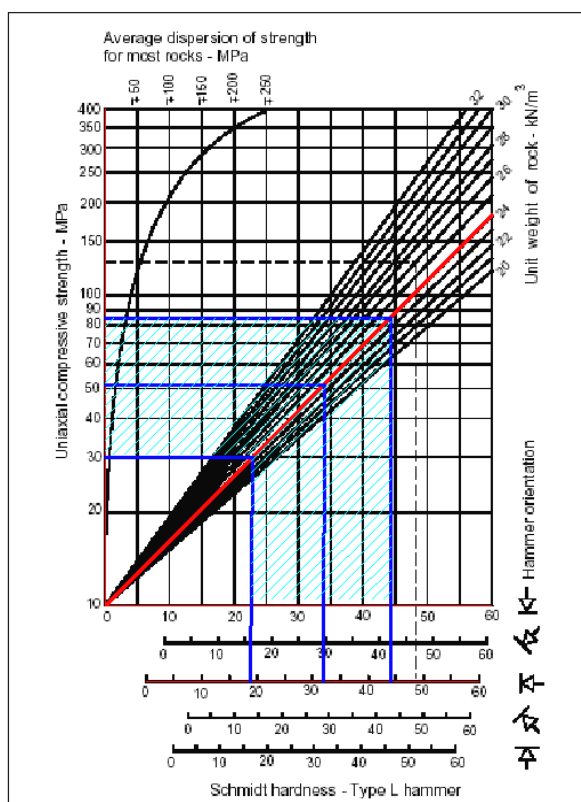
- $R_{ave} = 31$ и $R_{std} = 6.3$

Използвайки правилото на „2-σ“, съответстващо на доверителен интервал от 95%, са получени следните максимални и минимални стойности:

- $R_{max} = 19$ и $R_{min} = 44$



Фиг. 2. Крива на нормално разпределение на резултатите от измерване с чука на Schmidt тип L



Фиг. 3. Зависимост на ISRM за определяне на JCS по данни от чука на Schmidt с обхват на резултатите от измерванията за кариерата

За определяне на якостта на стените на пукнатините се използва стандартна скала на ISRM (1978). Тя е показана на фиг. 3, заедно с обхвата да данните от полевите опити, за които са определени следните общи за кариерата стойности на якостта на натиск на стените на пукнатините: $JRC_{ave} = 51 \text{ MPa}$; $JRC_{max} = 83 \text{ MPa}$; $JRC_{min} = 29 \text{ MPa}$.

Поради липса на резултати от лабораторни изследвания за скалата е прието стойността за JRC_{max} да съответства на натиск на ненарушената скала, а стойността за JRC_{min} - на минималната якост на изветрялата скала, разкрита при добива в кариерата.

Ъгъл на триене по пукнатини

Предвид горните резултати са определени две стойности за ъгъла на триене по пукнатини – едната, отнасяща се за настоящите условия в кариерата и втората, отнасяща се за времето след завършване на нейната експлоатация. Изчисленията са извършени съгласно посочената по-горе формула на Barton. В изчисленията е приета минимална стойност за $\sigma_n = 50 \text{ kPa}$, която съответства на дебелина на блока от 2 m спрямо пукнатината в основата. Това съответства на горната граница на разстоянията между пукнатините в кариерата и на единичните размери на скалните блокове в масива. Определените два вида ъгли на триене са следните:

- за настоящо състояние на кариерата:

$$\phi_{\text{joint(akt)}} = 30 + 13 \log_{10} \left(\frac{51000}{48} \right) = 69^\circ$$

- при бъдещо изветряне по пукнатините:

$$\phi_{\text{joint(weathered)}} = 30 + 8 \log_{10} \left(\frac{29000}{48} \right) = 52^\circ$$

Оценка на устойчивостта на структурно-контролираните обрушвания

Общите схеми на структурно-контролираните обрушвания на стъпалата са представени на фиг. 4. Тъй като те зависят от кинематичните възможности за хлъзгане, гравитационно свличане или преобръщане на блокове, оценката на възможността за проявлението им се основава на сравняване на посоките и наклоните на стъпалата и пукнатините в тях. Те обикновено се представят чрез стереографски проекции на Schmidt. Тук ще отбележим, че те се отнасят само за обрушвания, предизвикани от теглото на блоковете в масива.

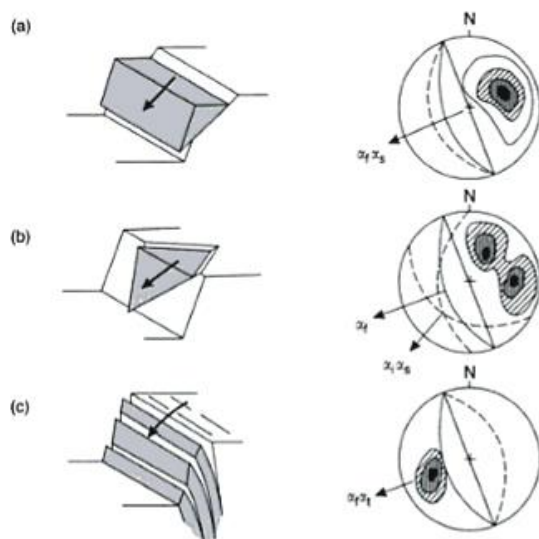
По-детайлни анализи могат да се извършат с отчитане влиянието на якостта на срязване по контактните пукнатини, изразена чрез ъгъла на триене. Този метод е известен като метод на Markland (1972), като за различните видове обрушвания той се прилага по начините, показани на фиг. 5.

Хлъзгане по плоска повърхнина

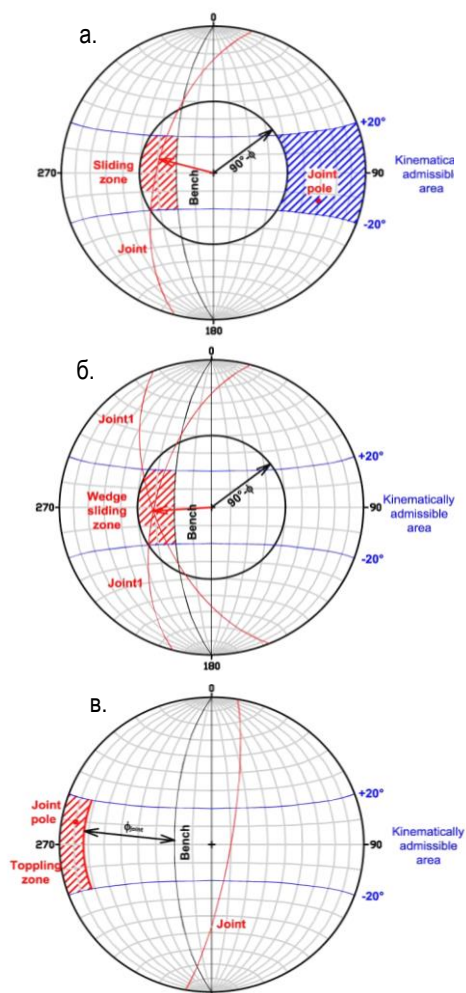
Хлъзгане по плоска повърхнина се очаква, когато векторът на затъване на пукнатината попадне в зоната, ограничена от окръжността на откоса и централна окръжност с диаметър $90^\circ - \phi_{\text{joint}}$. Странично тази зона е ограничена от двата малки кръга, ориентирани на ъгъл $\pm(10^\circ \div 20^\circ)$ спрямо страната на равнината на откоса, където трябва да попадне и полюсът на съответната пукнатина. При по-големи отклонения обрушвания по тази схема се считат за малко вероятни.

Клиново хлъзгане

В този случай стереографските построения са на практика същите, като оценката се прави за пресечницата между двете пукнатини от основата на блока.



Фиг. 4. Общи схеми на структурно контролирани обрушвания и съответните стереографски проекции на Schmidt: (а) плоско хлъзгане, (б) клиново хлъзгане, (с) преобръщане



Фиг. 5. Стереографски проекции съгласно метода на Markland за различни видове структурно-контролирани обрушвания: (а) плоско хлъзгане, (б) клиново хлъзгане, (в) преобръщане

Преобръщане

Преобръщане на блокове се очаква, когато полюсът на пукнатините попада в зона, ограничена от централните окръжности с радиуси 0° и $90^\circ - (\beta_{\text{slope}} + \phi_{\text{joint}})$, при запазване на същите ограничения от $\pm(10^\circ \div 20^\circ)$ между посоките на склона и пукнатината.

Оценките са направени за всички точки на инженерногеоложки наблюдения, при използване на получената средна стойност за ъгъла на триене по пукнатини към момента на проучване $\phi_{\text{joint(act)}} = 69^\circ$ и при условия на максимално изветряне на пукнатините, характеризиращо се с минималния ъгъл на вътрешно триене $\phi_{\text{joint(min)}} = 52^\circ$. Резултатите за възможността за възникване на структурно-контролирани обрушвания в бордовете са представени в таблица 2.

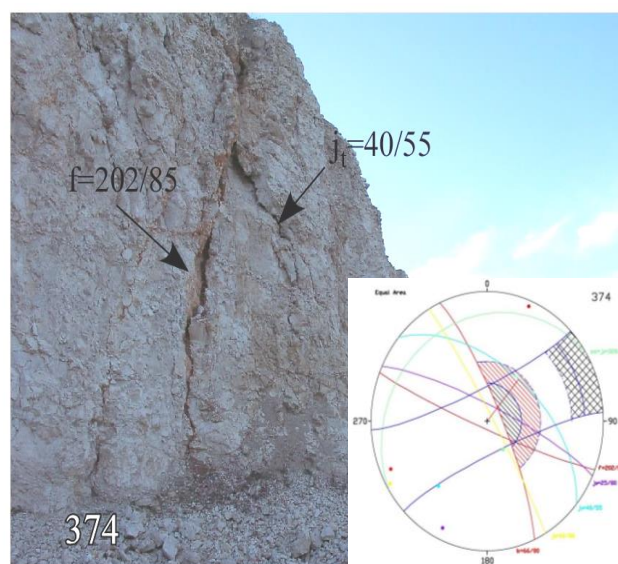
Таблица 2. Резултати от оценките за възможни структурно-контролирани обрушвания по метода на Markland

Точка	Модел на обрушване					
	Плоско		Клиново		Преобръщане	
	A	W	A	W	A	W
350	не	не	да	да	не	не
351	не	не	да	да	не	не
352	да	да	не	не	не	не
354	не	не	да	да	не	не
357	не	не	не	не	не	не
359	не	не	не	не	не	не
366	не	не	не	не	не	не
368	не	не	не	не	не	не
374	не	да	не	не	не	не
378	да	да	да	да	не	не
384	не	не	да	да	не	не
390	да	да	не	да	не	не
393	не	не	не	не	не	не

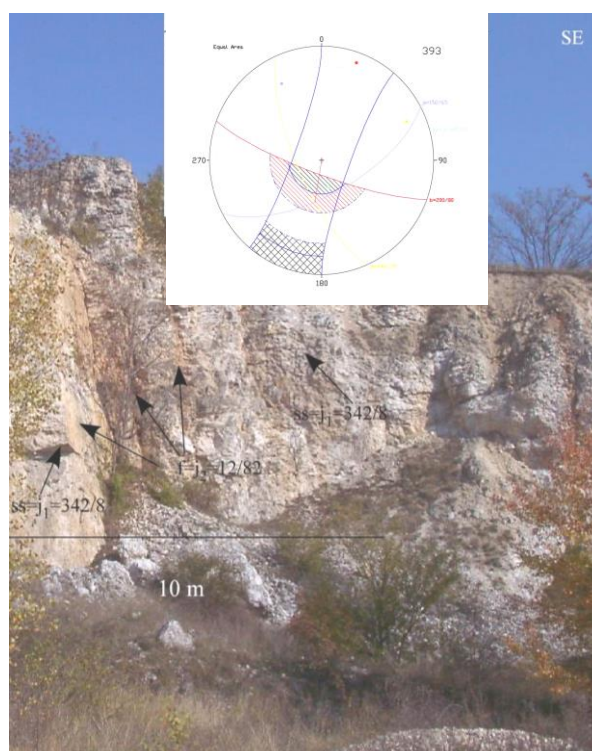
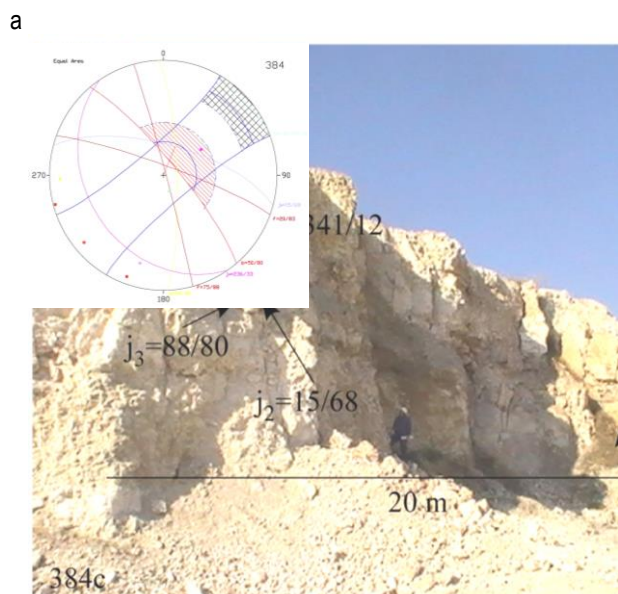
Забележка: **A** – за съвременното състояние на кариерата, **W** – при изветряли пукнатините

Резултатите показват, че съществува опасност от възникването на структурно-контролирани обрушвания в кариерата, които до голяма степен са привързани към зоните с концентрация на разломни нарушения – основно в централните части на северния и южен борд, и частично по западния борд на кариерата. На фиг. 6 са показани случай на точки на наблюдение с възможни (вече възникнали или очаквани) обрушвания, които съответстват на резултатите, получени при анализа по метода на Markland.

Трябва да се отбележи, че в следствие на взривяване, често в стъпалото над откоса се развиват пукнатини, които също оформят блокове във видимо критично равновесие (напр. в зоната на т. 402 – фиг. 1 и 2 на първата част от статията).



6



В

Г

Фиг. 6. Точки на наблюдение с характерни обрушвания и резултати, получени при анализа по метода на Markland: а – точка 350, реализирано хлъзгане на блок по плоска повърхнина, съвпадаща с равнината на разлом f и пукнатинна система j_2 (опасността по Markland е оценена за якост по пукнатината в съвременно състояние); б – точка 374, опасност от хлъзгане на блок по плоска повърхнина, съвпадаща с пукнатина j_1 (опасността по Markland е установена за условията на изветряла пукнатина. Ориентацията на пукнатината спрямо борда е на границата на допустимото отклонение от $\pm 20^\circ$); в – точка 384, реализирани системни обрушвания на клинови блокове по пукнатини j_2 и j_3 (опасността по Markland е оценена за якост по пукнатината в съвременно състояние); г – точка 393, реализирано обрушване на клин по пукнатини j_2 и j_3 (опасността по Markland е установена за условията на изветряла пукнатина)

Заклучения и препоръки

Направеното проучване и анализът на получените резултати ни дават основание да се направят следните заключения относно състоянието на откосите в кариерата:

- Основният структурно-контролиран модел на обрушване, който се установява в кариерата е този на клиново хлъзгане, формиращо на много места гребеновидния релеф на откосните повърхнини. Благодарение на суб-вертикалното залягане на основните пукнатинни системи и сравнително голямата гъстота на пукнатините, размерите на тези блокове са с ограничени сечения (до 4-5 m²). Това от една страна намалява обемите на единичните обрушвания, но увеличава броя на техните прояви.
- Потенциално опасните участъци, установени при анализа по метода на Markland са разположени основно по южния борд на кариерата, като те попадат в зони с интензивно развитие и/или пресичане на разломни нарушения (т. 368, 374, 378 и 384), където и нарушеността на масива е по-висока.
- Взривните работи в кариерата предизвикват отваряне на пукнатини зад ръба на стъпалото, които следват съществуващите пукнатинни системи (най-често j₂ и j₃). Те достигат до 2-3 m зад горния ръб на стъпалото, като обхващат цялата ширина на взривното поле, а отварянето им достига до 10-20 cm. Отделените по тях разхлабени блокове не се обрушват допълнително.
- Анализите по метода на Markland показаха, че при настоящото състояние на кариерата кинематично възможни нарушения от типа на плоско и клиново хлъзгане са възможни при наклони на пукнатините от 60-70°. Тези наклони са по-ниски от наклоните на откосите на стъпалата, които са около 80° и позволяват пукнатините да излизат върху тях. Съгласно анализите, преобръщането на скални блокове в кариерата е невъзможно.
- По данните от проучването е установено, че процесите на изветряне могат да влияят върху якостта на срязване по пукнатините, като ъглите на триене намаляват от средно 69° за неизветряло състояние до 53° след определено изветряне. Този процес може да повлияе устойчивостта на стъпалата след приключване на добивните работи.

Предвид на горните заключения, могат да се направят следните препоръки:

- Препоръчва се да се избягва оформянето в стъпала на изпъкнали клинове. Съществуващите такива участъци в кариерата трябва да се изглаждат с предимство.
- Препоръчва се извършването на визуални наблюдения и структурни измервания на полетата преди и след взривяване, с цел определяне на зоната на разрушаване над горния ръб на стъпалата и връзката ѝ със структурата на масива и параметрите на взривяване.
- С цел подобряване на безопасността е необходимо след всяко взривяване да се извършва оглед на полето в стъпалото и при необходимост всички опасни блокове да се обрушват. Да не се допуска престояването на такива блокове продължително време.
- Когато се очаква откосите на стъпалата да престоят повече от една година, се препоръчва техните откоси да се оформят под наклони 60°-65°, което ще елиминира опасностите от структурно-контролирани обрушвания.
- Препоръчва се откосите на стъпалата при краен контур на кариерата да се оформят под ъгли 53°÷ 55°, които съответстват на ъгъла на триене по изветрели пукнатини.

Литература

- Barton, N. 1976. The shear strength of rock and rock joints. – *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 13, 1-24.
- Barton, N. R., V. Choubey. 1977. The shear strength of rock joints in theory and practice. – *Rock Mech.*, 10, 1-2, 1-54.
- International Society for Rock Mechanics Commission on Standardisation of Laboratory and Field Tests*. 1978. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. – *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 15, 319-368.
- Markland, J. T. 1972. A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge sliding type of failure is expected. – *Imp. Coll. Rock Mech. Res. Rep.*, 19, 10.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Геология и палеонтология", ГПФ