

Един подход за съставяне на класификация на масива по устойчивост

Георги Михайлов

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

РЕЗЮМЕ. В световната практика са известни множество класификации, характеризиращи качеството на масива. Тези класификации намират приложение при строителство на тунели, хидротехническо строителство, оценка на качеството на масива по принцип. В статията се предлага подход за изграждане на класификация на масива по устойчивост с цел определяне на приложимостта на дадена система на разработване. В основата на класификацията са залегнали два параметъра: якостта на едноосов натиск и обемната структурна нарушеност на масива. Изградена е скала на устойчивостта, въз основа на която се установява приложимостта на системите на разработване от най-тежки природни условия до най-здрави и устойчиви руди и странични скали.

AN APPROACH TO DESIGNING A ROCK MASS STABILITY CLASSIFICATION

ABSTRACT. Numerous classifications are known in international practice characterizing the rock mass quality. These are used in tunnel construction, hydraulic engineering and rock mass quality assessment in general. This paper proposes an approach to designing a rock mass stability classification aiming to determine the applicability of a mining method. Two parameters underlie that classification: uniaxial compressive strength and rock mass structural discontinuity. A stability scale has been developed that can be used to establish the applicability of the mining methods both in the most adverse natural conditions and the most competent orebody and wallrock.

Въведение

В своята дългогодишна история подходът за изграждане на методология за избор на добивна технология е преминал през множество етапи и процедури. Но в тях основен елемент е бил анализът и оценката на природните условия. Това е напълно оправдано. Природните условия представляват комплекс от неуправляеми параметри, с които задължително трябва да се съобразява всяка добивна технология: ъгъл на наклона, дебелина на залежа, съдържание на полезните и вредни компоненти, дълбочината на разработване и др. В последно време все по-сериозно се заговори за формиране на една своеобразна група от фактори, които, въпреки природната даденост, позволяват изменение на тяхната количествена и качествена същност, т.е. те подлежат на известно управление. Това е свързано с допълнителни разходи, но с развитието на техниката и технологията, тяхната тежест в общите производствени разходи може да се оптимизира. Така се формира групата на управляемите природни фактори, която в определен момент може да има решаващо значение при окончателния избор на добивна технология. Типичен пример е устойчивостта на масива. С изменение на големината на откритите добивни пространства степента на устойчивост също се променя, като очевидно зависимостта е обратно пропорционална. Използвайки различни процедури като укрепване, заздравяване и др., при едни и същи размери на добивните пространства, устойчивостта на масива може съществено да се променя. Не е случаен фактът, че в основата на множество класификации на системи на разработване на рудни находища е заложена устойчивостта на масива, респ. на рудата и страничните скали. Възниква въпросът как се оценява качеството на масива досега и налага ли се друга гледна точка за преосмисляне и оценка на този безусловно важен феномен?

Кратък преглед на класификациите, характеризиращи качеството на масива

Една от най-старите и същевременно най-широко използвани в страните на Източна Европа е класификацията на *М.М.Протодьяконов*. Тя е създадена в началото на ХХ век. В основата на тази класификация е заложен коефициентът на якост (f). Скалите са разделени общо в десет категории, като коефициентът на якост се изменя от 20 до 0.3. Следва да се подчертае, че за нуждите на предварителните проучвания, както и при изчисленията от общ характер, използването на класификационния показател (f) показва много добри резултати. Освен това, при скали със свръхвисока якост на натиск – над 200MPa задаването на пределната стойност $f = 20$ в изчислителния апарат не води до съществени отклонения.

По-различен подход за оценка на качеството на масива предлага *Barton* през 1975 година в Годишника на Norwegian Geotechnical Institute. Той въвежда понятието Tunneling Quality Index (Q), като за неговото определяне се използва произведението на три отношения, т.е. отчита се влиянието на шест природни фактора. Числените стойности на Q се променят от 0.001 до 1000, а масивът се класифицира в девет групи: *exceptionally poor*; *extremely poor*; *very poor*; *poor fair*; *good*; *very good*; *extremely good*; *exceptionally good*. Следва да се подчертае, че за нуждите на тунелното и хидротехническо строителство Tunneling Quality Index (Q) успешно се прилага както в етапа на предварително проучване, така и при изготвяне на работни проекти. Негово съществено предимство е, че може да отчита различни начини за закрепване на минни изработки: тунели, камери, каверни, подземни хранилища и др.

През 1976 год. *Bieniawski* публикува своя геомеханична класификация известна като Rock Mass Rating (RMR). Чрез сумиране на шест параметъра, т.е. отчитане на шест природни фактора, се формира бална оценка на масива.

Стойностите на RMR се изменят в интервала от 0 до 100, като според своето качество, масивът се класифицира в следните пет групи: *very good rock*; *good rock*; *fair rock*; *poor rock*; *very poor rock*.

Днес класификационните системи на Barton и Bieniawski имат христоматийна стойност в англоезичната литература. На тяхна основа са развити множество усъвършенствания и препоръки за отчитане на влиянието на допълнителни фактори. Самият Bieniawski прави няколко изменения на тълкуването и прилагането на RMR класификационна система, докато тя достигне в окончателния си вид през 1989 година. Заслужава да се отбележат модификациите на RMR предложени от Laubscher – *Modified Rock Mass Rating – MRMR – 1990* и на Kendorski – *modified basic RMR – MBR – 1983* година. Модификациите на Laubscher и Kendorski са насочени главно към подземно разработване на рудни находища и от тази гледна точка следва да се отбележи, че като цяло класификационната система RMR стои по – близо до технологията на подземния добив.

В. В. Ржевский въз основа на анализ и оценка на съпротивлението на скалите при разрушаване през 1985г., въвежда понятието *показател трудности разрушения породы*. Същественият момент е, че той отчита трите вида разрушаващи напрежения (натискови, тангенциални и опънови), напукаността на масива и плътността на скалите. По този показател скалите са разделени на пет класа: *мягкие, плотные и связанные полускальные породы; легкоразрушимые скальные породы; скальные породы средней трудности разрушения; трудноразрушаемые скальные породы, весьма трудноразрушаемые скальные породы*. Прави впечатление, че представената класификация се обвързва с тази на М. М. Протодьяконов, с което авторът – В. В. Ржевский вероятно е търсел възможност за нейното по-бързо адаптиране към реалните условия.

Н. С. Бульчев определя устойчивостта на масива S чрез отчитане на влиянието на седем природни фактора плюс коефициента на якост f на Протодьяконов. Скалният масив се класифицира в пет категории: *вполне устойчивые; устойчивые; средней устойчивости; неустойчивые; весьма неустойчивые*. Подходът на Н. С. Бульчев в известна степен съвпада с този на Barton – производението на отделните дробни има определен физически смисъл: степен на раздробеност на масива; съпротивление на хлъзгане по съществуващите пукнатини и т. н.

Краткият преглед на известните класификации показват, че в повечето случаи техните автори се стремят да отчитат едновременно влиянието на множество природни фактори. Това е напълно оправдано, но е съпроводено със сериозен проблем – отчитането на тежестта на влияние на отделните фактори. Допускането, че всички те имат коефициент на тежест единица не би следвало да се приеме като аксиома. Вероятно затова класификацията на М. М. Протодьяконов запазва своята жизненост и до днес – 100 години след нейното създаване.

Същност на предлаганата класификация по устойчивост на масива

Съществена особеност при подземното разработване е неизбежното оформяне на открити пространства, в които се извършват производствените процеси. Тяхната големи-

на, начинът на поддържане и срокът на съществуване очевидно са различни при различно качество на рудата и страничните скали. От тази гледна точка се предлага класификация по устойчивост. Безспорен факт е, че този природен фактор оказва решаващо значение при избор на надеждна добивна технология. Класификацията трябва да отговори на следните условия:

- да обхваща практически цялото многообразие на условия, в което се извършва разработването на рудни находища;
- да включва неголям брой фактори с оглед тяхното определяне с необходимата точност;
- да бъде достатъчно адаптивна към реалните условия и лесно приложима при избор на добивна технология;
- да отговаря на съвременните изисквания за анализ и оценка на състоянието на масива.

В основата на класификацията е залегнал показателят M_o , отчитащ устойчивото състояние на откритите пространства, които се създават при разработване на рудни находища: *подготвителни и нарезни изработки, изработки за източване на рудата, форма и големината на добивните забои и добивните камери*.

Показателят M_o се определя с помощта на израза:

$$M_o = 0.1UCS(J_r)^{-1} \quad (1)$$

където: UCS (Uniaxial compressive strength) е якостта на едноосов натиск, определена в лабораторни условия, МРа; J_r - е интензивността на напуканост в пространството [бр. пукнатини/м³].

В зависимост от числените стойности на показателя M_o , характеризиращ устойчивостта на масива се предлага класификацията, показана в таблица 1.

Таблица 1.

Категория на масива	Степен на устойчивост	Стойност на показателя M_o
I	много неустойчив	$M_o < 0.01$
II	неустойчив	$0.01 < M_o < 0.1$
III	средно устойчив	$0.1 < M_o < 1$
IV	Устойчив	$1 < M_o < 10$
V	много устойчив	$M_o > 10$

По своята същност показателят M_o се явява функция на два параметъра, от които единият се определя в лабораторни условия, а другият отчита реалната структурна нарушеност на масива. За определянето на двата параметъра са разработени точни и ясни правила и стандарти, които са залегнали в съответни нормативни документи.

На фигурата е показана графичната интерпретация на класификацията по устойчивост въз основа на показателя M_o . Стойността на M_o се изменя теоретически в интервала [0,001, 100].

Рудата и страничните скали в зависимост от M_o /вж. Фигурата/ се класифицират в пет групи: много неустойчиви, неустойчиви, средно устойчиви, устойчиви, много устойчиви.

Приложимите системи на разработване са групирани в шест класа: системи с открито добивно пространство, системи с магазиниране, системи със запълване на добивното

пространство, системи с крепене и запълване на добивното пространство и системи с обрушаване с трите основни групи: етажно принудително обрушаване, подетажно обрушаване, слоево обрушаване.

Предлаганата класификация по устойчивост на масива дава възможност да се извърши предварителна оценка на

приложимите системи на разработване. Тя е особено подходяща при изследване на различни варианти на добивната технология, предвиждащи различни начини на закрепване на добивните пространства.

Клас системи на разработване	Качество на масива					Мод	100
	Много неустойчив	Неустойчив	Средно устойчив	Устойчив	Много устойчив		
Сложно деформируемо пространство							
Масиниране							
Запълване							
Крепене и запълване							
Обрушаване с етажно принудително обрушаване							
Обрушаване с подетажно обрушаване							
Обрушаване с слоево обрушаване							
Мод	0.001	0.01	0.1	1	10	100	

	Класификация по устойчивост на разработване
	Не се допуска закрепване на разработното пространство

Използването само на два признака не означава, че се игнорират останалите природни фактори. Съвременните програмни продукти за изучаване на НДС на масива позволяват в детайли да се установи влиянието на тектонските разломи, ориентацията на основните системи пукнатини, характера на контактите на отслабващите повърхнини. Двата параметъра UCS и J_r имат вероятностен характер. Тяхното изследване при наличие на голям брой представителни данни дава възможност да се изгради подходящ имитационен модел и по този начин да се елиминира коефициентът на тежест на отделните фактори – една от най – сериозните критики към съществуващите класификации на масива.

Заклучение

Предлаганата класификация по устойчивост на масива (рудата и вместващите скали) е предназначена за избора на добивна технология при подземно разработване. Тя се основава на два фактора – якостта на едноосов натиск и структурната нарушеност на масива, т.е. на съчетанието на свойства, определени в лабораторни и натурни условия. При разработването на класификацията са използвани елементи на други класификационни системи, доказали своята жизненост и адаптивност. Класификацията по устойчивост е подходяща за предварителна оценка на приложимостта на дадена добивна технология. В съчетание

със съвременния подход за генериране на множество варианти на системи на разработване, както и с мощните програмни продукти за изучаване на НДС на масива около добивните изработки, предложената класификация по устойчивост се явява неразделна част от общата методология за намиране на оптимално техническо решение при подземното разработване на рудни находища.

Литература

- Hoek, E., P. K. Kaiser, W.F. Bawden. *Support of Underground Excavations in Hard Rock..* A. A. Balkema /Rotterdam/Brookfield. 1995.
- Hoek, E., E. T. Brown. *Underground excavations in rock.* London. Instn. Min. Metall. 1980.
- Brady, B. H. G., E. T. Brown. *Rock mechanics for underground mining.* Champan & Hall. London, Glasgow, New York, Tokyo, Melbourne, Madras. Second edition. 1993.
- Ржевский, В. В. *Открытие горные работы. Часть 1.* Москва, Недра. 1985
- Булычев, Н. С. *Механика подземных сооружений.* Москва, Недра. 1982.
- Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Mass.* International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts. Vol. 15, №6, pp. 319-368. 1978.