

## ИЗМЕНЕНИЕ НА ДЕФОРМАЦИОННИТЕ ПАРАМЕТРИ НА СКАЛИТЕ В ГИПСОВИЯ РУДНИК "КОШАВА" В ЗАВИСИМОСТ ОТ НАПРЕГНАТОТО ИМ СЪСТОЯНИЕ

Кольо КолевСергей Боянов

Минно-геоложки университет

"Св. Иван Рилски"

София 1700, България

Минно-геоложки университет

"Св. Иван Рилски"

София 1700, България

### РЕЗЮМЕ

Привеждат се резултатите от експерименталните изследвания в лабораторни условия за определяне на някои деформационни параметри (модул на еластичност и коефициент на Поасон) на гипсовата суровина от находище "Кошава" при различни стойности на напреженията, възникващи в пробните тела, подложени на едноосов натиск. Получени са аналогични зависимости за изменението на тези параметри в зависимост от големината на напреженията както при използване на статичния, така и на динамичния метод. Установените зависимости могат да се използват за оперативно определяне на напрегнатото състояние на скалния масив около минните изработки и в целиците с помощта на сеизмоакустични методи

Усъвършенстването на системите за разработване и технологията на подземния добив е свързано с прогнозирането на състоянието на скалния масив при изменение на отделните параметри на прилаганите системи или на усъвършенствани техни варианти. Освен това за осигуряване на необходимата безопасност по време на работа е нужно редовно да се получава информация за напрегнатото и деформираното състояние на скалния масив около подготвителните и добивните изработки. За получаването на сравнително бърза и непрекъсната информация за състоянието на значителни обеми от скалния масив успешно се прилагат различни физични методи, преди всичко – акустични. Те се основават на изменението на параметрите на разпространение на еластичните вълни в скалната среда при изменението на напрегнатото ѝ състояние. Важни характеристики, определящи преминаването на еластичните вълни през даден материал, са скоростите на разпространението им. Те до голяма степен зависят от деформационните параметри на средата. По такъв начин, за да се съди за напрегнатото състояние на скалния масив трябва най-напред да се установи изменението на тези параметри на скалите в зависимост от напреженията. С тази цел се проведеха експериментални изследвания в лабораторни условия, основните резултати от които се привеждат в настоящата работа.

Предмет на изследване беше гипсовата суровина от находище "Кошава", при разработването на което възниква необходимост от решаването на редица геомеханични задачи.

Находището се разработва с използване на камерно-стълбовата система. Най-широко разпространение са

получили лентовите целици с дължина 100 m, широчина 17,5 m, височина до 15 m и квадратните целици със сечение 20 x 20 m. Иззетите пространства се запълват с пясък, което повишава себестойността на суровината.

Физико-механичните свойства на гипса са изучавани от редица автори, но целенасочени изследвания за установяване влиянието на напрегнатото състояние върху отделните механични параметри с оглед използването на физични методи за изследване на състоянието на масива не са правени, независимо от необходимостта обусловена от нуждите на практиката.

В лабораторни условия опитно се определят, при статично натоварване модулът на еластичност  $E$  и коефициентът на напречна деформация (коефициентът на Поасон)  $\mu$ . За целта цилиндрични образци от гипса се натоварват с натиск с разтоварване на всяка стъпка) с нарастващ товар до разрушаването им. Показанията на индикаторите се осредняват и по средната стойност  $\Delta l_{cp}$  на изменение на базата на измерване  $l$  се изчислява относителната надлъжна деформация  $\varepsilon^{\uparrow} = \Delta l_{av} / l$ , а по средната стойност  $\Delta d_{cp}$  на изменение на диаметъра  $d$  се определя относителната напречна деформация  $\varepsilon^{\rightarrow} = \Delta d_{cp} / d$ . Като се изчисли натисковото напрежение  $\sigma$ , статичният модул на еластичност  $E_{cm}$  е равен на  $\sigma / \varepsilon^{\uparrow}$ , а коефициентът  $\mu$  е равен на  $\varepsilon^{\rightarrow} / \varepsilon^{\uparrow}$ . По разрушаващата сила  $P$  се определя якостта на едноосов натиск  $R\sigma_{н}$  и към нея се отнасят напреженията, при които се определят деформационните параметри.

На фигура 1 е показана обобщена графика, изразяваща характерни зависимости напрежение (отнесено към

якостта на едноосов натиск) – деформация (надлъжна и напречна) за най-разпространената разновидност–дребно-кристален гипс със среднослоиста текстура.

Напречна деформация                      Надлъжна деформация

*Фигура 1. Зависимости "напрежение (отнесено към якостта на едноосов натиск  $R_c$ )- надлъжна  $\epsilon^{\uparrow} = \Delta l / l$  и напречна  $\epsilon^{\rightarrow} = \Delta d / d$  деформация".*

Независимо от това, че изследваните пробни тела са от различни сондажи и се различават в определена степен по състав и строеж, могат да се установят редица общи закономерности. В зависимостите напрежение-надлъжна деформация се наблюдава в началото малък криволинеен участък, след което зависимостта става практически линейна до напрежения, съставляващи 80-90% от якостта на натиск.

Експерименталната зависимост напрежение-напречна деформация също има праволинеен участък, но с по-малка дължина. При достигане на стойности на напрежението, равни на 60%-80% от разрушаващото, се наблюдава рязко нарастване на тази деформация и зависимостта става криволинейна. Коефициентът на напречна деформация  $\mu = \epsilon^{\rightarrow} / \epsilon^{\uparrow}$  в праволинейните участъци на двете зависимости е постоянна величина, съответстваща на коефициента на Поасон. Рязкото нарастване на  $\epsilon^{\rightarrow}$  при напрежения (0.6/0.8)  $R_c$  предизвиква бързо нарастване на коефициента на напречна деформация и той достига стойности по-големи от 0.5. Това се потвърждава и от други изследователи, например Баклашов, И, В. 1988.

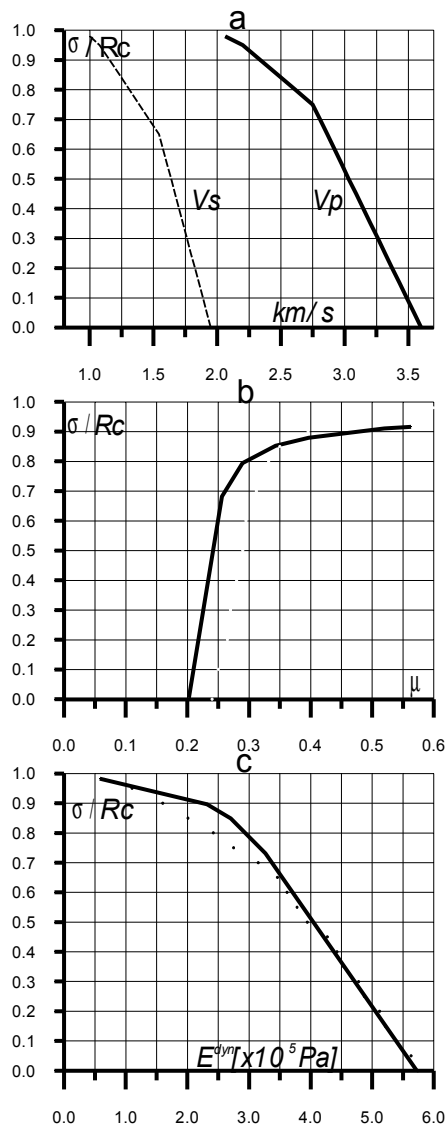
По характера на получените зависимости напрежение-деформация може да се съди за протичащите в образеца процеси. Първоначалният криволинеен участък на зависимостта  $\sigma(\epsilon^{\uparrow})$  се дължи на известно уплътняване на пробното тяло в резултат на затварянето на микропукнатини и пори. Линейните участъци на двете зависимости характеризират еластичното свиване на минералния скелет на скалната среда. Интересно е да се отбележи, че почти правите линии в зависимостите  $\sigma(\epsilon^{\uparrow})$  са приблизително успоредни при натоварване и разтоварване при отделните стъпки на нарастване на напреженията. Това означава, че модулът на еластичност, който се определя от големината на обратимите деформации, е близък до деформационния модул, зависещ от сумарната деформация, и това съотношение се запазва до твърде високи стойности на напреженията. Бързото нарастване на напречната деформация при напрежения, съставляващи 60-80% от разрушаващото, може да се обясни с образуването и разтварянето на микропукнатини и то на вертикални микропукнатини, успоредни на действащия товар, тъй като зависимостта  $\sigma(\epsilon^{\uparrow})$  остава линейна. Процесът на пукнатинообразуване до определени стойности на напреженията в известна степен е обратим, т.е. пукнатините се затварят, след като външната сила прекратява своето действие. Това се установява след разтоварване на образеца. Наличието на

значителна остатъчна деформация обаче свидетелства за това, че затварянето не е пълно. При по-нататъшно нарастване на напреженията до стойности, равни на 80-90% от якостта, когато зависимостта  $\sigma(\epsilon^{\uparrow})$  също се отклонява от линейната, започва процес на лавинообразно развитие на пукнатините. Тези стойности на напреженията могат да се приемат за дълговременна якост на натиск. При напрежения, по-големи от тези, настъпва разрушаване и то толкова по-бързо, колкото по-големи са тези напрежения. Измененията на коефициента на Поасон и модула на еластичност в зависимост от увеличаването на напреженията (отнесени към разрушаващите) са показани на фигура 2.

*Фигура 2. Зависимости между: а) коефициента на Поасон и напреженията, отнесени към якостта на едноосов натиск б) статичния модул на еластичност и напреженията, отнесени към якостта на едноосов натиск.*

Проведено бе и експериментално определяне на деформационните параметри на гипсовите образци с използване на динамичния метод. За целта при натоварване на същите се измерваха и скоростите на разпространение на еластичните вълни. Обобщените резултати, получени при ултразвуково прозвучаване на пробни тела, са показани на фигура 3.

От приведените графики се вижда, че характерът на измененията на динамичните еластични характеристики, определени чрез измерване на скоростите на преминаващите перпендикулярно на натоварването еластични вълни в зависимост от големината на напреженията, е аналогичен на този за статичните еластични модули и коефициенти, определени чрез механични изпитвания на пробните тела, а именно: значително нарастване на дина-



Фигура 3. Зависимости между напрежението, отнесено към якостта на едноосов натиск  $\sigma$ : а- скоростите на разпространение на надлъжната ( $V_p$ ) и напречната ( $V_s$ ) вълни; б- коефициента на Поасон ( $\mu$ ); в- динамичния модул на еластичност ( $E^{dyn}$ ).

мичния коефициент на Поасон при напрежения ( $0.6 - 0.8$ )  $R_c$  и намаляване на динамичния модул на еластичност  $E^{dyn}$  при напрежения ( $0.8-0.9$ )  $R_c$ . По такъв начин се стига до извода, че за изменението на напрегнатото състояние на скалния масив (например в целиците) може да се съди по

изменението на скоростите на еластичните вълни и изменението на изчислените по тях динамични модули на еластичност и коефициент на Поасон. Това открива широки възможности за непрекъснат периодичен контрол на напрегнатото състояние на масива с помощта на сеизмоакустични методи. Благоприятно в случая е това, че натрупваната потенциална енергия в натоварения обем, както показаха проведените лабораторни опити, се освобождава постепенно, поради което стана възможно измерването на деформациите при напрежения, близки до разрушаващите. Това дава възможност при констатиране на нежелани процеси в масива от гледна точка на устойчивостта (пукатинообразуване, начални стадии на разрушаване и т.н.), което може да се установи при напрежения, значително по-малки от разрушаващите, да се предприемат необходимите мерки за осигуряване на безопасна работа в рудника. При разрушаването на пробите се наблюдават и изменения в честотния спектър на регистрираните вълни, аналогични на описаните от R. Goodman (1980).

От проведените експериментални изследвания в лабораторни условия за установяване на особеностите на деформиране и разрушаване на скалите следва, че сеизмоакустичните методи могат с успех да се прилагат за разделянето на целиците на два класа по степен на натовареност, съответно по-малка и по-голяма от условно приетото ниво  $0.7 R_c$ , по измерените стойности на коефициента на Поасон непосредствено в масива.

За извършване на изследвания на състоянието на целиците е осигурена специализирана 3-канална сеизмична станция, комплект геофони за регистрация на надлъжни и напречни вълни и методика на измерванията. За внедряването в производствени условия е необходимо да се разработи технологичен софтуер, позволяващ получаване на пространственото разпределение на напреженията в масива в автоматизиран режим и не изискващ специални знания и умения от оператора.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Баклашов, И. В.. 1988, Деформиране и разрушение горных пород, Москва, "Недра", 271 стр.  
 Goodman R. E., 1980, Introduction to Rock Mechanics. John Wiley&Sons, New York, 242 pages

# CHANGE OF PARAMETERS OF ROCK DEFORMATION IN GIPSUM MINE "KOSHAVA" DEPENDING ON THEIR STRAINED STATE

**Kolyo KolevSergey Boyanov**

Mining and Geological University

"St. Ivan Rilski"

Sofia 1700, Bulgaria

Mining and Geological University

"St. Ivan Rilski"

Sofia 1700, Bulgaria

ABSTRACT

The results of experimental laboratory researches for definition of some parameters of deformation (modulus of elasticity and Poisson's Ratio) of gypsum raw materials from "Koshava" deposit are adduced. Parameters have been measured when appearing different values of stress in trial samples put on monoaxial impact. The same results have been received about changes of these parameters depending on values of stress when using static and dynamic methods. These dependences can be used for efficient definition of rock massif strained state around mine workings and pillars with help of seismic and acoustic methods.

Improvement of system for exploitation and technology of underground mining is connected with prognostication of rock massif state when changing of some parameters of applying systems or their perfected variants.

Except this for guaranteeing of safety during working it is necessary to receive information about strained and deformed state of rock massif around mine workings.

For receiving fast and constant information about state of rock massif large volumes different physical method are used. Especially successful is application of acoustic methods. They are based on the fact that parameters of elastic wave spreading in rock medium change when changing medium strained state. Important characteristics defining passing waves trough given rock are the velocities of their spreading. They depend to great degree on parameters of medium deformation. Thus, in order to judge about strained state of massif it is necessary to determine changes of these rock parameters depending of stress. For the purpose experimental laboratorial researches has been made. The main results of researches are adduced in this work.

Subject of researches is gypsum raw material from "Koshava" mine. The necessity of solving a number geomechanical tasks have appeared when working this mine.

It is exploited by the chamber and pillar system. The most using are band pillars, which length is 100 m, width is 17.5 m, height is 15 m and square pillars with section 20 x 20 m. Removed spaces are filled up by sand. This raise the coast price of raw material. Physical and mechanical properties of gypsum are studied by a number of authors but in spite of practical needs purposeful researches for determination of strained state influence upon the mechanical parameters using physical methods haven't been made.

In laboratorial conditions modulus of elasticity and Poisson's ratio have been determined. For this purpose cylindrical samples have been loaded with impact force P. Four indicators of clock type for measuring of longitudinal deformation and also four of such indicators for measuring

transversal deformation have been fastening with the help of special device. Samples have been loaded by stepped way. Load has been increased until utter destruction of samples. Indicator readings have been averaged and relative longitudinal deformation  $\varepsilon^{\uparrow} = \Delta l_{av} / l$  has been calculated by average  $\Delta l_{av}$  of base of measurement change. By average  $\Delta d_{av}$  of diameter d change relative transversal deformation  $\varepsilon^{\rightarrow} = \Delta d_{av} / d$  has been calculated. After calculation of impact strain a static modulus of elasticity has been calculated as  $\sigma / \varepsilon^{\uparrow}$  and  $\mu$  ratio as  $\varepsilon^{\rightarrow} / \varepsilon^{\uparrow}$ . The strength of monoaxial impact Rc ( $\sigma_n$ ) has been determined by value of destroying force P. Parameters of deformation are determined by ratio: strain/strength of monoaxial impact. Generalized diagram expressing typical dependence between this ratio and deformation (longitudinal and transversal) in the widest spread variety fine-crystalline gypsum with mediofoliated texture is shown on figure 1.

Independently of the fact that studied samples have been taken from different drills and are different to a certain extent in their structure, a number of common appropriateness's can be determined. Curvilinear part is observed at the beginning of diagram (picture 1). Further function becomes practically linear up to value of strain that is 80%-90% of strain impact. Experimental ratio strain / transversal deformation also has linear part but it is shorter. When value of strain reaches 60%-80% of destroying strain, the sharp growth of this deformation is observed – function becomes curvilinear. Ratio of transversal deformation  $\mu = \varepsilon^{\rightarrow} / \varepsilon^{\uparrow}$  in linear parts of both dependences is constant, which corresponds to Poisson's ratio. Sharp growth of  $\varepsilon^{\rightarrow}$  when strain is (0,6-0,8)Rc causes quick growth of transversal deformation ratio and it reaches values greater than 0,5. This is confirms by other investigators e.g. (Baklashov, I. V., 1988).

*Figure 1. Dependence between ratio strain  $\sigma$  to strength monoaxial impact Rc – longitudinal  $\varepsilon^{\uparrow} = \Delta l / l$  and transversal  $\varepsilon^{\rightarrow} = \Delta d / d$  deformation*

The character of received dependences strain/deformation gives possibility to judge about processes proceeding in

samples. Primary curvilinear part of diagram of  $\sigma(\varepsilon^{\uparrow})$  is conditioned by consolidation of sample as the result of micro fractures and pores closing. Linear parts of both diagrams characterize elastic pressing of mineral skeleton of rock medium. It is interesting to mention that almost right lines in dependences  $\sigma(\varepsilon^{\uparrow})$  are approximately parallel, when loading and unloading accomplishes by stepped way. This mean that modulus of elasticity, which depends on quantity of reversible deformations, is close to modulus of deformation which depends on total deformation, and this correlation keeps up to great values of strain. Fast growth of transversal deformation when strain is 60% - 80% of destroying one can be explained by formation and solution of vertical microfractures which are parallel to acting load, since the dependence  $\sigma(\varepsilon^{\uparrow})$  remains linear. Process of microfractural formation up to certain strain values to some extent is reversible, that is fractures close after external force stops acting. This is determined after unloading of sample. Presence of considerable remanent deformation is evidence of the fact that closing is not complete. Further growth of strain up to values that are 80% - 90% of strength when dependence  $\sigma(\varepsilon^{\uparrow})$  also deviate from linear, loads to process of swift formation of fractures. These values of strain can be taken for long-term strength of strain. If value of strain is bigger than this, then destruction begins. Quickness of destruction is proportional to increase of the strain.

Changes of Poisson's ratio and modulus of elasticity depending on increase of strain (which is to destroying strain) is shown on the figure 2.

Figure 2. Dependence between a) Poisson's ratio and ratio strain/strength of monoaxial impact; b) static modulus of elasticity and ratio – strain/ strength of monoaxial impact.

Experimental determination of parameter of deformation of gypsum samples has been made with the help of dynamic method. For this purpose the velocity of elastic waves spreading has been measured when loading samples. Generalized results received during ultra-sonic research of samples are shown on figure 3.

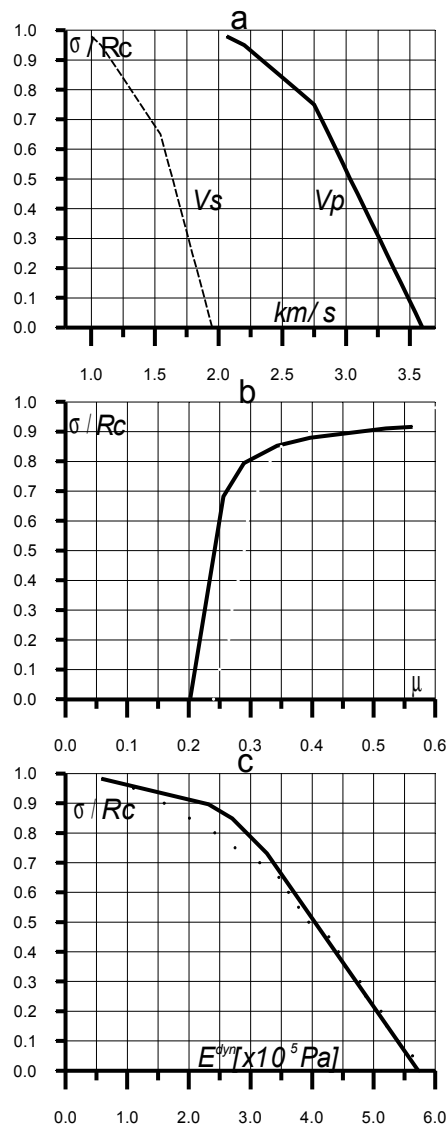


Figure 3. Dependences between ratio strain/strength of monoaxial impact and a) velocity of longitudinal ( $V_p$ ) and transversal ( $V_s$ ) waves; b- Poisson's ratio ( $\mu$ ); c- dynamic modulus of elasticity ( $E^{dyn}$ ).

On adduced diagrams it could be seen that character of change of dynamic elastic characteristics that are determined by measuring of velocities of elastic waves is the same as that for static elastic modules and ratios that are determined by mechanical test of samples, to wit: there are considerable increasing of Poisson's ratio when strain is (0,6-0,8)Rc and decreasing of dynamic modulus of elasticity  $E^{dyn}$  when strain is (0,8-0,9)Rc.

The conclusion can be made that you can judge about change of strain state of rock massif (e. g. in pillar) by change of velocities of elastic waves and also by change of modulus of elasticity and Poisson's ratio, which have been measured using these velocities.

These open wide possibilities for constant periodic control of strain state of massif by seismic and acoustic methods. It is very favorably in this case that accumulated potential power in the loading volume is released gradually. That is why it is possible to measure deformations when strain in rock massif approximate to destroying strain.

The undesirable processes in rock massif (formation of fractures, first stage of destruction) can be established when strain in rock massif is considerably less than destroying strain. This gives possibility to take measures for safe working in mine. When destroying samples frequent of waves is changed. These changes are the same that where described by R. Goodman, 1980.

Researches that have been carried out in laboratorial conditions give possibility to make conclusions that seismic and acoustic methods can be used successfully for division of pillars in two classes by degree of loading accordingly smaller and larger that conventional level 0.7Rc. Using measuring values of Poisson's ratio directly in massif can make this division.

For caring out researches of pillar's state mine "Koshava" is provided with specialized three- canal seismic station, set of geophones for registration of longitudinal and transversal waves and also with method of measuring. It is necessary to work out technological software, which gives possibility to receive space distribution of strain in massif automatically, and which doesn't demand special knowledge and skills from operator.

#### REFERENCES

- Баклашов, И. В.. 1988, Деформирование и разрушение горных пород, Москва, "Недра", 271 стр.  
Goodman R. E., 1980, Introduction to Rock Mechanics. John Wiley&Sons, New York, 242 pages.

*Recommended for publication by Department of  
Underground Mining and Leaching, Faculty of Mining Technology*