

УДК 622.83

О.К. НОСАЧ (канд. техн. наук, доц.)**М.В. БЕССАРАБ** (студент)**І.М. ЧОРНОКНИЖНА** (студент)

Індустріальний інститут ДВНЗ «Донецького національного технічного університету» МОН України, м. Покровськ

О.В. АГАФОНОВ (д-р. техн. наук.)

Проектний і наукового-дослідний центр ПрАТ «Донецьксталь металургійний завод», Україна, м. Покровськ

НАПРУЖЕНИЙ СТАН НЕЗАЙМАНОВОГО МАСИВУ ГІРСЬКИХ ПОРІД В УМОВАХ ВП «Шахта ім. А.Г. СТАХАНОВА»

Наведені результати дослідження орієнтації компонент поля напружень в недоторканому масиві гірських порід в умовах ВП «Шахта ім. А.Г. Стаханова» і їх значення з використанням найпростіших методик: спосіб розділення керну на диски; абсолютних деформацій; аналітичного методу. В незайманому масиві поле напружень є неоднорідним як по горизонталі, так і по вертикалі. Максимальна компонента напружень в пісковиках діє в горизонтальній площині в субширотному напрямку (азимут $275-290^{\circ}$) і досягає величини 80-100 МПа, що в середньому в 1,5 рази більше вертикальної компоненти.

Ключові слова: масив гірських порід, поле напружень, компонента, орієнтація, методи досліджень, пісковик, аргіліт.

На сьогодні існує багато методик оцінки величини і напрямку компонент поля напружень у гірському масиві [1-7], але більшість з них потребує спеціального обладнання великої вартості, в той час як достовірність отриманих даних не завжди очевидна.

Для дослідження орієнтації компонент поля напружень в умовах ВП «Шахта ім. А.Г. Стаханова» використані одні з найпростіших методик визначення орієнтації компонент поля напружень.

1. Спосіб розділення керну на диски.

Враховуючи, що площина руйнування в гірських породах завжди паралельна проміжному стискаючому напруженню і складає гострий кут з максимальним стискаючим напруженням, а тупий – з мінімальним, методика передбачає буріння віяла свердловин у виробках, що проведені у пісковіку.

Одне з віял свердловин було пробурено на гор. 825 м у вибої збійки між північними повітряподавальним і вентиляційним штреками пласта k_5 блоку №4 (пісковик $K_4Sk_5^H$), друге – на гор.1136м у вибої вентиляційного квершлягу №1 блоку №4 (пісковик L_1Sl_1).

У вибої збійки на гор.825 м було пробурено 5 свердловин. Азимут осі виробки 225° . Одна свердловина була пробурена вертикально (№1064), чотири інших – під різними кутами до осі виробки і горизонту (рис.1). Максимальна кількість дисків спостерігалась у свердловинах з азимутом $200-220^{\circ}$. Свердловини, пробурені в напрямку азимут $270-290^{\circ}$ не мали дисків зовсім. У вертикальній і похилих свердловинах розділення на диски спостерігається.

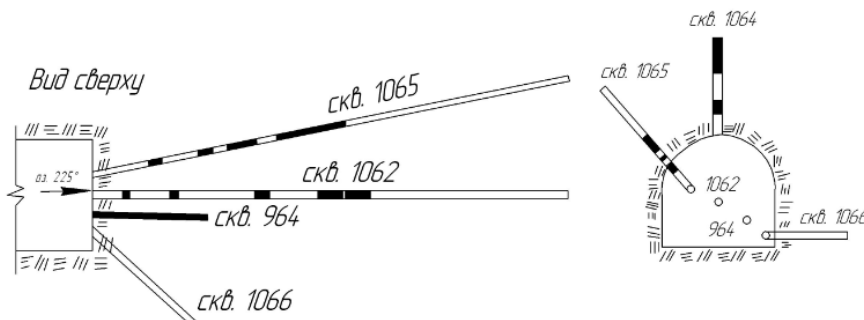


Рис.1. Схема розташування свердловин для визначення напрямку компонент поля напружень у збійці між північними польовими повітряподавальним і вентиляційним штреками пласта k_5 гор.825м блоку №4

Наведені дані свідчать про те, що в пісковнику $K_4Sk_5^H$ на даній ділянці максимальне напруження діє в горизонтальній площині з азимутом близько 290^0 .

У вибої квершлягу №1 гор.1136м блоку №4 на ПК25 пробурено також п'ять свердловин у боках виробки під кутом $30, 45, 60$ і 90^0 до осі квершлягу (рис.2). Азимут осі квершлягу 230^0 .

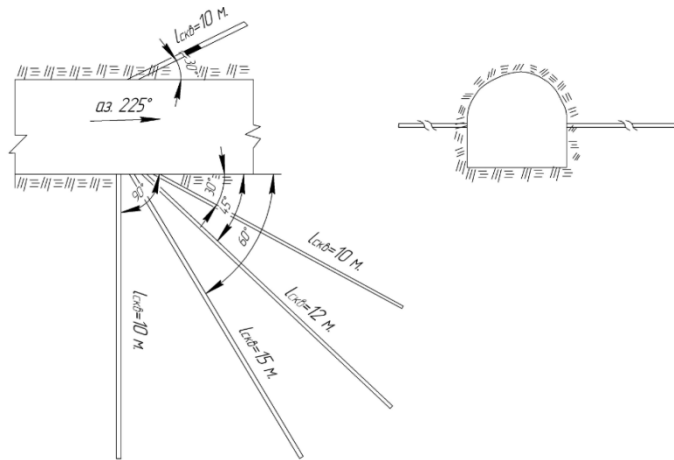


Рис.2. Схема буріння свердловин для визначення компонент поля напружень у вентиляційному квершлязі №1 гор.1136 м блоку №4

У свердловинах, пробурених під кутом 45 і 60^0 до осі виробки дискоутворення мінімальне. Отримані дані свідчать про те, що у пісковнику L_1Sl_1 на гор.1136 м максимальне напруження діє в такому ж напрямку як і в пісковнику $K_4Sk_5^H$ на гор.825м ($275-290^0$).

Слід відзначити, що в цілому для Красноармійського району і для поля шахти ім. А.Г. Стаханова, зокрема, характерна система скидів також з азимутом $270-290^0$. Система насувів має субмеридіональне простягання. Це може свідчити про те, що при утворенні насувів найменшою була вертикальна складова поля напружень, а при утворенні скидів – субмеридіональна.

При проведенні ствола №8 в жовтні 1985 року і в січні 1986 року в пісковнику $k_7^5Sk_7^3$ відбулися викиди, порожнини яких орієнтовані в субмеридіональному напрямку, що також побічно свідчить про те, що максимальні напруження орієнтовані в субширотному напрямку. Порожнини викидів пісковнику в покрівлі при проведенні польових штреків в субмеридіональному напрямку також свідчать про ортогональність дії максимальних напружень.

Побічною ознакою, що в блоці №2 максимальне напруження діє в тому ж напрямку є синусоїдальна деформація балок рудстанка повітряподавального ствола №2, що орієнтовані азимут 320^0 .

Таким чином, максимальні стискаючі напруження діють в умовах шахти ім. А.Г. Стаханова у горизонтальному напрямку з азимутом близько $275-290^0$, що добре збігається з глобальним напрямком дії тектонічних напружень в Донбасі, реконструйованих Корчемагіним В.О.[8], що складають 296^0 .

Абсолютну величину напружень за наявності дисків визначають за діаграмою [8]

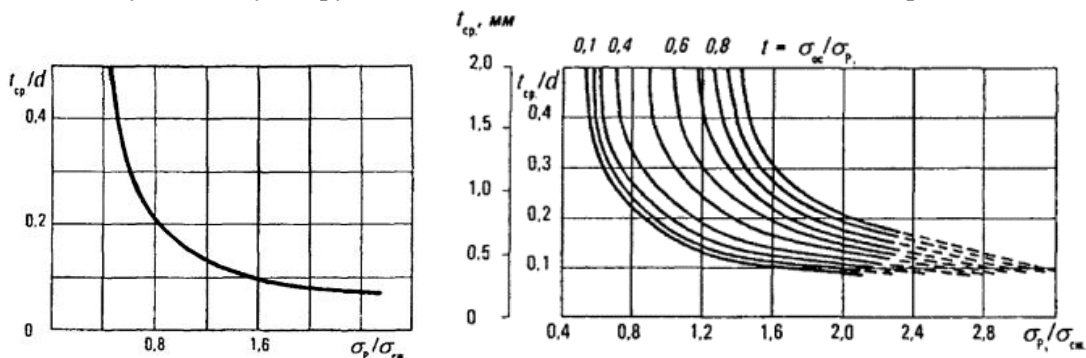


Рис.3. Номограма і гістограма визначення напружень за дискуванням керну [8]

При діаметрі керну $d=54-56$ мм (діаметр коронки 57мм) і товщині дисків $t=7-8$ мм, $t/d = 0,13-0,14$. $\sigma_p/\sigma_{сж} = 1$.

Враховуючи, що міцність пісковика на одноосне стискання коливається в межах 80-100 МПа, радіальні напруження в гірському масиві при руйнуванні керну теж склали 80-100 МПа.

При відсутності діаграм, можна розрахувати напруження за формулою:

$$\sigma_p = \frac{\sigma_{сж} \left[\sqrt{\frac{d}{t}} - 0,54 - 0,1\sqrt{d} \right]}{0,78 + 0,165\sqrt{d}}; \quad (1)$$

2. Спосіб абсолютних деформацій.

Абсолютні деформації у пісковиках за межами контуру виробки визначались за допомогою глибинних реперів в свердловинах, пробурених у вентиляційному квершлязі №1 гор. 1136м.

Глибинний репер представляє собою (рис.4) кусок трубки (1) діаметром 20-30 мм для установки в шпурах і 42-50 мм для установки в свердловинах. Довжина реперу 0,05-0,1 м. Репери мають чотири діаметрально протилежні отвори (2) діаметром 5 мм, в які встановлюються пружні елементи (3) з проволочки сталюого канату. На торець трубки нагвинчується заглушка (4) з отвором для кріплення до реперу трубки (5) діаметром 10-12 мм (в нашому випадку набір лижних палок, що з'єднуються між собою). Трубки необхідні для досилання реперу в свердловину і для передачі інформації. На кінець трубки прикріплено індикатор часового типу (6), який дозволяє заміряти зміщення з точністю 0,01 мм (рис.4).

При виникненні радіальних або осьових деформацій трубка-репер переміщуються по осі свердловини і індикатор часового типу фіксує переміщення. Показання індикатору фіксуються через кожні 20 с протягом 10-30

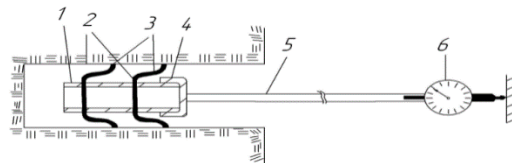


Рис.4. Репер для заміру деформацій у свердловині

хвилин, через годину протягом зміни і щозмінно протягом доби. Дані про величину і період деформації наведені на рис.5 і 6.

Наведені дані свідчать про те, що в масиві виникають знакоперемінні деформації. Деформації, що виникли на відстані менше 1 м від контуру виробки переважно розтягаючі і мають прогресуючий характер. Деформації в глибині масиву переважно стискаючі і мають затухаючий характер.

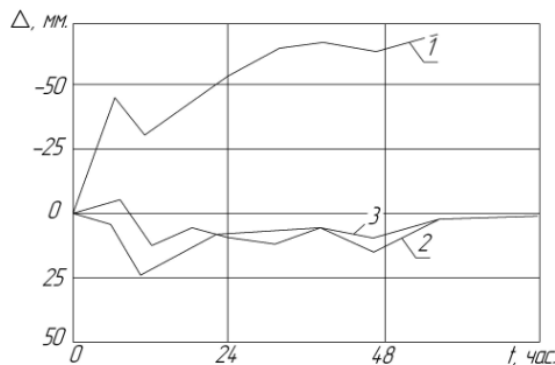


Рис.5. Характер зміни зміщень в масиві за даними щозмінних замірів на глибині 1, 2 і 3 м

Отримані дані свідчать про наявність в гірському масиві цілого спектру накладених коливань з різною природою, що не виключають наявності і тектонічних деформацій.

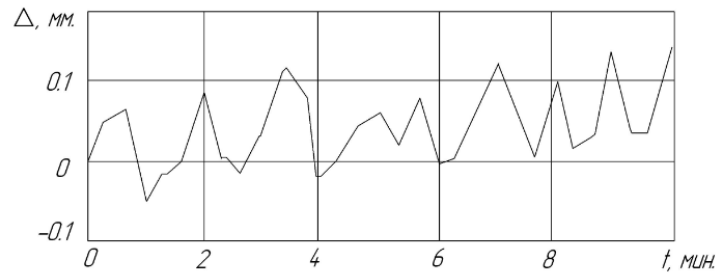


Рис.6. Характер зміни зміщень за даними замірів з інтервалом 20 с

Якщо рахувати, що величина деформацій пов'язана з діаметром свердловини $d=57\text{мм}$, відносна деформація складатиме $\varepsilon = 0,00175$. При модулі пружності пісковика $E=0,5 \cdot 10^5 \text{МПа}$, напруження складуть $\sigma = \varepsilon E = 87,5 \text{МПа}$.

3. Аналітичний метод.

Вивчення будови гірського масиву, заміри деформацій в масиві і реконструкція деформаційного стану у незайманому масиві свідчать про те, що гірський масив не є однорідним, суцільним і пружним. Компоненти напружень, розраховані з позицій теорії пружності, в вертикальному і горизонтальних напрямках по величині суттєво відрізняються від геостатичних. Вертикальна компонента виявляється більшою від розрахованих в 1,1-3,7 рази, горизонтальна субширотна – в 3,1-19 разів. Однією з причин неоднорідності і нерівнокомпонентності поля напружень є мінливість властивостей гірських порід. Коефіцієнт концентрації вертикальних напружень може бути визначений за формулою [9]:

$$k_b = 1 + 2m^2(1 - E_1/E_2)/b^2; \quad (2)$$

Коефіцієнт концентрації горизонтальних напружень в субширотному напрямку (рис.7).

$$k_r = 1 + (m^2 + b^2)(1 - E_1\nu_2/E_2\nu_1)/m^2; \quad (3)$$

де m – потужність шару гірських порід, м;
 b – розмір структурного блоку гірських порід за простяганням;
 E_1, E_2 – модулі пружності порід двох суміжних шарів, МПа;
 ν_1, ν_2 – коефіцієнт поперечних деформацій порід двох суміжних шарів.

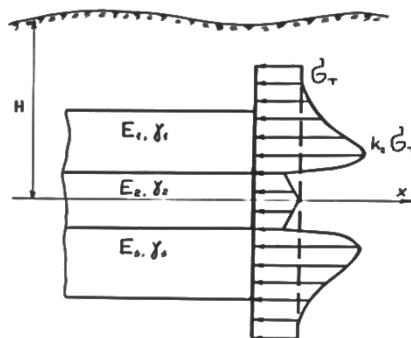


Рис.7. Концентрація тектонічних напружень а компетентних шарах

Враховуючі неоднорідність гірського масиву та наявність активних стискаючих сил у вертикальному і субширотному напрямках, компоненти поля напружень можуть бути розраховані за формулами:

$$\sigma_b = k_b \gamma H + \lambda k_r \sigma_r; \quad (4)$$

$$\sigma_{ш} = k_r \sigma_T + \lambda k_b \gamma H; \quad (5)$$

$$\sigma_M = \lambda(k_r \sigma_T + k_b \gamma H); \quad (6)$$

де $\lambda = \nu/(1-\nu)$ – коефіцієнт бокового розпору;
 γH – вертикальна активна компонента поля напружень від ваги гірських порід;
 σ_T – горизонтальна активна субширотна компонента поля напружень (тектонічні напруження).

Треба відзначити, що гірські породи є типовими ауксетиками і до початку дилатансії мають від'ємний коефіцієнт поперечної деформації. Тому до порогу дилатансії про боковий розпір не йдеться, а після порогу дилатансії коефіцієнт поперечної деформації дуже швидко набуває значення близько 0,5, тому величина бокового розпору дуже близька до одиниці. За даними Кольської надглибокої свердловини, середня величина коефіцієнту бокового розпору 0,77.

Модуль пружності також не є константою матеріалу і стрибкоподібно зменшується в процесі навантаження. Якщо рахувати, що в незайманому масиві породи не руйнуються і поріг дилатансії не досягнутий, то модуль пружності є відносною константою, а коефіцієнт бокового розпору близьким до нуля. При розрахунках коефіцієнту концентрації напружень має значення не скільки величина модулів пружності, скільки їх співвідношення. Найбільше співвідношення модулів пружності спостерігається не на межі пісковик-вугілля, а пісковик-аргіліт. Тому розглянемо найгірший випадок, коли на межі пісковик-аргіліт модулі пружності відрізняються в 10 разів, а коефіцієнти поперечної деформації є однаковими. Розміри структурного блоку, з яких складаються шари порід приймемо 1x1,618x2,618 м (відповідно товщина, ширина і довжина блоку).

Глибину розробки приймаємо 1150 м, $\sigma_T = 10$ МПа.

Для пісковика

$$k_b = 1 + 2 \cdot 1^2 (1 - 0,1) / 2,618^2 = 1,26;$$

$$k_r = 1 + (1^2 + 2,618^2) (1 - 0,1) / 1^2 = 8;$$

$$\sigma_b = 1,26 \cdot 0,025 \cdot 1150 + 0,2 \cdot 8 \cdot 10 = 52 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{ш} = 8 \cdot 10 + 0,2 \cdot 1,26 \cdot 0,025 \cdot 1150 = 87 \text{ МПа};$$

$$\sigma_M = 0,2(8 \cdot 10 + 1,26 \cdot 0,025 \cdot 1150) = 23 \text{ МПа};$$

Для аргіліту

$$k_b = 1 + 2 \cdot 1^2 (1 - 10) / 2,618^2 = -1,6;$$

$$k_r = 1 + (1^2 + 2,618^2) (1 - 10) / 1^2 = -0,15;$$

$$\sigma_b = (-1,6) \cdot 0,025 \cdot 1150 + 0,2 \cdot (-0,15) \cdot 10 = -46 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{ш} = (-0,15) \cdot 10 + 0,2 \cdot (-1,6) \cdot 0,025 \cdot 1150 = -11 \text{ МПа};$$

$$\sigma_M = 0,2((-0,15) \cdot 10 + (-1,6) \cdot 0,025 \cdot 1150) = -8,5 \text{ МПа};$$

Таким чином, у пісковика максимальне напруження діє в субширотному напрямку і в 1,67 рази більше ніж вертикальна складова.

Пласт аргіліту, що залягає поруч знаходиться в розвантаженому стані.

Розрахунковий метод для пісковика добре збігається з експериментальними методами, але слід відзначити, що коефіцієнти концентрації і величини напружень розраховані для межі розподілу шарів. Як показують шахтні спостереження, межа відчувається в обидва боки до 3 м, тому розвантаження аргіліту насправді буде не таким глибоким.

Висновок: В незайманому масиві поле напружень є неоднорідним як по горизонталі, так і по вертикалі. Найбільш міцні і жорсткі шари порід (пісковики) є концентраторами напружень. Для шахти ім. А.Г. Стаханова, як і для Донбасу в цілому, максимальна компонента напружень в пісковиках і поблизу них на відстані до 3 м діє в горизонтальній площині, в субширотному напрямку (азимут 275-290°) і досягає величини 80-100 МПа, що більше вертикальної компоненти в середньому в 1,5 рази. Шари аргілітів і алевролітів потужністю більше 3 м поряд з пісковиками знаходяться у розвантаженому стані.

Библиографический список

- 1.Измерение напряжений в массиве горных пород.- Новосибирск: Наука,1970.-273с.
- 2.Техника контроля напряжений и деформаций в горных породах.- Л.: Наука, 1978.-232с.
- 3.Напряженное состояние земной коры.-М.: Наука, 1973.-186с.
- 4.Шерман С.И., Днепровский Ю.И. Поля напряжений земной коры и геолого-структурные методы их изучения.-Новосибирск: Наука, 1989.-148с.
- 5.Исследование напряжений в выбросоопасных породах глубоких шахт Донбасса /А.И.Кульбачный, Н.Е. Волошин, И.В. Недашковский и др. Шахтное строительство, 1967.-№8.- С.8-11.
- 6.Кропоткин П.Н. Тектонические напряжения в земной коре. //Тектоника, 1996.-№2.- С.3-5.
- 7.Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях (объектах строительства подземных сооружений), склонных к горным ударам. 06-329-99. М.: НГУ по БПГР, 2003.- 40с.
- 8.Корчемагин В.А. Геологическая структура и поля напряжений в связи с эволюцией эндогенных режимов Донбасса. Автореф. дис. Докт. г-м.н. – М.: 1984.-48с.
- 9.Шамонин В.А. Концентрации напряжений на границах рудных зерен и во вмещающей среде при взрывном нагружении. // Разработка и обогащение твердых полезных ископаемых.-М.: Недра, 1981.-С.108-113.

Надійшла до редакції 11.02.2017

А.К. Носач, М.В. Бессараб, И.Н. Черно книжная

Индустриальный институт ГВУЗ «Донецкого национального технического университета» МОН Украины, г. Покровск

А.В. Агафонов

Проектный и научно-исследовательский центр ПрАО «Донецксталь металлургический завод», Украина, г. Покровск

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НЕТРОНУТОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ОП «Шахта им. А.Г. СТАХАНОВА»

Приведены результаты исследований ориентации компонент поля напряжений в нетронутом массиве горных пород в условиях ОП «Шахты им. А.Г. Стаханова» и их значения с использованием простых методик: способ разделения зерна на диски; абсолютных деформаций; аналитического метода. В нетронутом массиве поле напряжений неоднородно как по горизонтали, так и по вертикали. Максимальная компонента напряжений в песчаниках действует в горизонтальной плоскости в субширотном направлении (азимут $275-290^{\circ}$) и достигает величины 80-100 МПа, что в среднем в 1,5 раза больше вертикальной компоненты.

Ключевые слова: массив горных пород, поле напряжений, компонента, ориентация, методы исследований, песчаник, аргиллит.

A.Nosach, M.Bessarab, I.Chornoknyzhna

Industrial institute of state higher educational establishment Donetsk national technical university, Ukraine, Pokrovsk

A. Agsfonov

PSC «Donestksteel» – metallurgical plant, Ukraine, Pokrovsk

STRESS STATE OF UNTAPPED MINERAL DEPOSIT UNDER CONDITIONS OF SEPARATE SUBDIVISION "MINE" STAKHANOV "

The article deals with the results of the research of component stress field in solid mass of mineral deposit conditions of separate subdivision "mine" A.G. Stakhanov "and the importance using the simplest methods: method for separating of core for discs; absolute deformation; analytical method. In untapped mineral deposit the stress field both horizontally and vertically. Maximum component of stresses in the sandstone acts in sublatitudinal horizontal direction (azimuth $275-290^{\circ}$) and reaches 80-100 MPa, which on the average is more 1,5 times the vertical component.

Key words: solid mass, stress field, component, orientation, research methods, sandstone, mudstone.