



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
G01B 5/30 (2024.08)

(21)(22) Заявка: 2024126903, 12.09.2024

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
12.09.2024

Дата регистрации:  
04.02.2025

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.09.2024

(45) Опубликовано: 04.02.2025 Бюл. № 4

Адрес для переписки:

308015, г. Белгород, ул. Победы, 85, НИУ  
"БелГУ", Цурикова Наталья Дмитриевна

(72) Автор(ы):

Храмцов Борис Александрович (RU),  
Лепетюха Дмитрий Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Белгородский государственный  
национальный исследовательский  
университет" (НИУ "БелГУ") (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2812358 C1, 30.01.2024. RU  
2789252 C1, 31.01.2023. RU 2597660 C2,  
20.09.2016. US 20210102799 A1, 08.04.2021. RU  
2398964 C1, 10.09.2010. RU 2613229 C1,  
15.03.2017. CN 101526009 A, 09.09.2009.

(54) Способ определения напряжений массива пород в подземной горной выработке кольцевой щелью

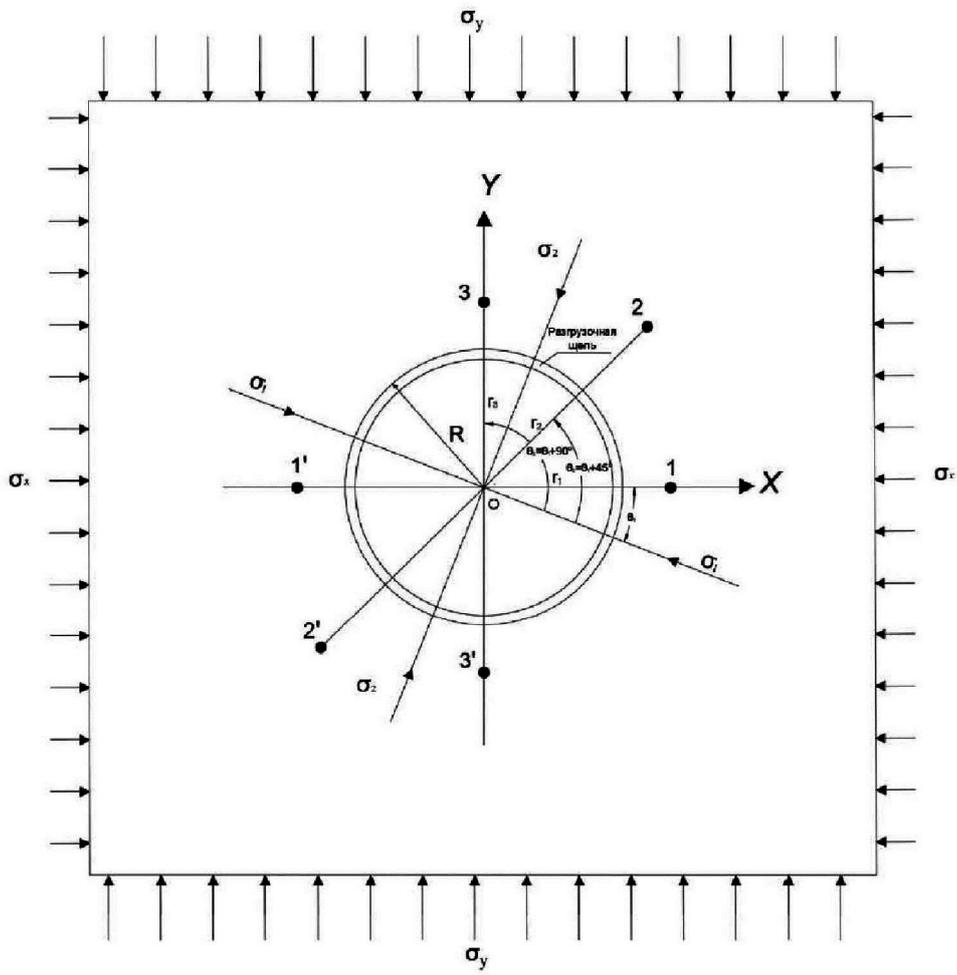
(57) Реферат:

Изобретение относится к обследованию объектов геотехнологии в области геомеханики. Данное изобретение может быть использовано для оперативного определения напряжений на стенках горных выработок. Способ определения напряжений основан на разгрузке массива горных пород с последующим измерением деформаций до и после бурения разгрузочной кольцевой щели. Способ включает бурение кольцевой разгрузочной щели, причем вначале осуществляют размещение реперов на стенке горной выработки на расстоянии 3 радиусов от центра разгрузочной щели в трех направлениях:

вертикальном, горизонтальном и под углом в 45 градусов. После чего производят начальные измерения абсолютных деформаций, затем производят бурение кольцевой щели, с последующим измерением абсолютных деформации разгрузки, с помощью полученных данных производят вычисление главных нормальных напряжений и направления их действия. Технический результат заключается в получении значений главных напряжений массива горных пород и угла направления их действия, позволяющих достоверно оценивать безопасности эксплуатации горных выработок. 1 ил.

RU 2 834 170 C1

RU 2 834 170 C1



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*G01B 5/30 (2024.08)*

(21)(22) Application: **2024126903, 12.09.2024**

(24) Effective date for property rights:  
**12.09.2024**

Registration date:  
**04.02.2025**

Priority:

(22) Date of filing: **12.09.2024**

(45) Date of publication: **04.02.2025** Bull. № 4

Mail address:

**308015, g. Belgorod, ul. Pobedy, 85, NIU "BelGU",  
Tsurikova Natalya Dmitrievna**

(72) Inventor(s):

**Khramtsov Boris Aleksandrovich (RU),  
Lepetiukha Dmitrii Sergeevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniia "Belgorodskii gosudarstvennyi  
natsionalnyi issledovatel'skii universitet" (NIU  
"BelGU") (RU)**

(54) **METHOD FOR DETERMINATION OF STRESSES OF ROCK MASSIF IN UNDERGROUND MINE WORKING WITH ANNULAR SLOT**

(57) Abstract:

FIELD: measuring.

SUBSTANCE: invention relates to surveys of geotechnological objects in the field of geomechanics. This invention can be used for rapid determination of stresses on walls of mine workings. Method of determining stresses is based on unloading of rock mass with subsequent measurement of deformations before and after drilling of unloading annular slot. Method involves drilling of an annular discharge slot; at first, reference points are placed on the wall of a mine working at distance of 3 radii from the centre of the discharge slot in three directions: vertical, horizontal

and at angle of 45 degrees. After that, initial measurements of absolute deformations are performed, then annular slot is drilled, followed by measurement of absolute deformation of unloading, using the obtained data, calculation of main normal stresses and direction of their action.

EFFECT: obtaining the values of the main stresses of the rock mass and the angle of their action direction, which enable to reliably evaluate the safety of mine workings operation.

1 cl, 1 dwg

RU 2 834 170 C1

RU 2 834 170 C1



Изобретение относится к обследованиям объектов геотехнологии в области геомеханики (наука и отрасли горнодобывающей промышленности). Данное изобретение может быть использовано для оперативного определения напряжений на стенках горных выработок.

5 Назначение данного изобретения связано с решением геомеханических задач - определением фактических значений и направления главных действующих напряжений в массиве горных пород. Данный способ может быть реализован в научно-исследовательской деятельности, служащей для обеспечения безопасного ведения горных работ в подземных условиях.

10 Известен метод определения напряжений при бурении кольцевой щели методом частичной разгрузки с наклейкой тензодатчиков (Влох Н.П. Управление горным давлением на подземных рудниках. Способ частичной разгрузки с наклейкой тензодатчиков. - М., 1994, - 208 с.). В данном способе измерения деформаций осуществляют с помощью наклеенных тензодатчиков с последующим бурением  
15 разгрузочного шпура, напряжения в массиве определяют по известным формулам.

Недостатком вышеуказанного метода является сложность применения его во влажном и трещиноватом массиве, а процессы подготовки оборудования и наклейки тензодатчиков занимают большую часть времени на проведения исследований.

20 Широко известен и часто применяем при определении действующих напряжений в массиве «Метод щелевой разгрузки», который используется совместно с закладкой реперов вдоль разбуриваемой щели (Влох Н.П. Управление горным давлением на подземных рудниках. Метод частичной разгрузки с наклейкой тензодатчиков. - М., 1994, - 208 с. и Влох Н.П. Совершенствование метода щелевой разгрузки / Н.П. Влох, А.В. Зубков, Ю.Г. Феклистов // Диагностика состояния породных массивов: Сб. тр. -  
25 Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1980. - С. 30 - 35. К недостаткам данного метода можно отнести значительную трудоемкость при формировании разгрузочной щели, измерение деформаций производится только в горизонтальном или вертикальном направлениях, что увеличивает объем работ на участках исследования.

30 Также, известен «Комплексный метод определения напряженно-деформированного состояния объектов геотехнологии» (RU № 2597660, опубл. 24.08.2016). В данном методе применена схема с обуриванием кольцевой щели, и заложением реперов/марок. Также, предложено описание разработанной схемы (Феклистов Ю.Г. Деформационный способ комплексного определения напряженного состояния и упругих характеристик горных и строительных объектов // Проблемы недропользования. 2017. №4 (15). - С. 28-32.).

35 Данный источник служит прототипом для изобретения. Достоинством предложенной схемы является большая информативность полученных данных на разных этапах измерений. Однако, к недостаткам метода можно отнести длительность процесса проведения исследований и значительную трудоемкость выполнения эксперимента.

40 Задачей предлагаемого способа является определение напряженного состояния массива горных пород, с целью получения данных более достоверных измерений деформаций в стенках горных выработок для обеспечения безопасности эксплуатации горных выработок.

Технический результат заключается в получении значений главных напряжений массива горных пород и угла направления их действия, позволяющие достоверно  
45 оценивать безопасности эксплуатации горных выработок.

Поставленная задача решается с помощью предлагаемого способа определения напряжений массива пород в подземной горной выработке, основанного на определении напряжений разгрузки массива горных пород с последующим измерением деформаций

до и после бурения разгрузочной кольцевой щели и включающем бурением кольцевой разгрузочной щели, причем, вначале осуществляют размещение реперов на стенке горной выработки на расстоянии 3 радиусов от центра разгрузочной щели в трех направлениях: вертикальном, горизонтальном и под углом в 45 градусов, после чего производят начальные измерения абсолютных деформаций, затем производят бурение кольцевой щели, с последующим измерением абсолютных деформации разгрузки, с помощью полученных данных производят вычисление главных нормальных напряжений и направления их действия.

Изобретение поясняется чертежом, где:

Фиг. 1 - Схема определения напряжений массива пород в подземной горной выработке кольцевой щелью.

Пример осуществления изобретения:

(Фиг. 1) маяк-репер 1 закладывается по оси X (по оси горной выработки) вдоль радиуса-вектора  $r_1$ , маяк-репер 2 закладывается под углом 45 градусов от оси X, вдоль радиуса-вектора  $r_2$ , аналогичным образом закладывается репер 3 на оси Y вдоль радиуса-вектора  $r_3$ . С противоположной стороны скважины напротив репера 1, 2 и 3 закладываются репера 1', 2' и 3' на расстоянии, равном 3 радиуса щели. После бурения скважины на глубину H равную не менее двух диаметров щели. Далее производятся измерения абсолютных горизонтальных деформаций ( $l_1$ ) между реперами 1-1', абсолютных деформаций под углом 45 градусов от оси X ( $l_2$ ) между реперами 2-2' и абсолютных вертикальных деформаций ( $l_3$ ) между реперами 3-3'.

По приведенной схеме определяют значения главных напряжений ( $\sigma_1, \sigma_2$ ) и угол действия главных напряжений ( $\theta$ ) относительно оси X по формулам (1) и (2) соответственно, используя которые вычисляют величины действующих главных напряжений в горной выработке:

$$\sigma_{1,2} = \frac{1}{2} \left( x_3 \pm \sqrt{x_1^2 + x_2^2} \right); (1)$$

$$2\theta = \arctg \frac{x_2}{x_1}. (2)$$

Таким образом предлагаемый способ отличается от остальных тем, что достаточно всего три базы измерений (1-1', 2-2', 3-3') абсолютных деформаций ( $l_1, l_2, l_3$ ) и основные физико-механические характеристики горных пород (модуль упругости E и коэффициент Пуассона  $\mu$ ), использование которых позволяет по формуле (1) и (2) оперативно определить главные напряжения и их направление действий в массиве горных пород.

Пример 1.

Заложение реперов осуществляют на расстоянии 3 радиусов от центра кольцевой щели. Бурение шпуров для фиксации реперов осуществляется аккумуляторным перфоратором с диаметром бура 6 мм. В качестве реперов 1, 1', 2, 2', 3, 3' применяются металлические подшипники, которые запрессовываются в пробуренные шпуровые. Измерение абсолютных деформаций между реперами производят механическим тензометром (типа ЦНИИС или аналоги) с базой измерения 300 мм, оборудованным индикатором часового типа с погрешностью измерений 0,001 мм. Бурение кольцевой

щели производят коронкой алмазного бурения диаметром ( $\emptyset$ ), равным 102 мм (и выше) на глубину Н не менее 2-х диаметров (D) щели.

Значения измеренных деформаций служат для вычисления величины и направления действующих главных напряжений в горной выработке по формулам:

$$\sigma_{1,2} = \frac{1}{2} \left( x_3 \pm \sqrt{x_1^2 + x_2^2} \right);$$

$$2\theta = \operatorname{arctg} \frac{x_2}{x_1}.$$

Вышеуказанные формулы были получены при решении плоской задачи теории упругости:

$$\varepsilon = V_r \cos \alpha + V_\theta \sin \alpha. \quad (1)$$

$$\begin{cases} V_r = -\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{4G} \left[ \frac{R^4}{r^3} - \frac{R^2}{r} (x + 1) \right] \cos 2\theta + \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{4G} \frac{R^2}{r}; \\ V_\theta = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{4G} \left[ \frac{R^4}{r^3} + \frac{R^2}{r} (x - 1) \right] \sin 2\theta, \end{cases} \quad (2)$$

где  $V_r, V_\theta$  - радиальные и тангенциальные смещения;  $\alpha$  - угол между радиус-вектором репера и направлением полного вектора смещений;  $\sigma_1, \sigma_2$  - главные нормальные напряжения; R - радиус бурения щели; r - радиус-вектор репера;  $G = \frac{E}{2(1-\mu)}$  - модуль сдвига; E - модуль деформации;  $\mu$  - коэффициент Пуассона;  $x = \frac{3-\mu}{1+\mu}$  - коэффициент

Колосова Г. В.;  $\theta$  - угловая координата репера, отсчитываемая от  $\sigma_1$  до радиус-вектора репера против часовой стрелки.

Далее, составим систему уравнений (3) для определения абсолютных горизонтальных деформаций при бурении кольцевой щели для интервалов реперов 1-1', 2-2', 3-3':

$$\begin{cases} l_{1-1'} = 2 \left\{ \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{4G} \left[ \frac{R^4}{r^3} - \frac{R^2}{r} (x + 1) \right] \cos 2\theta - \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{4G} \frac{R^2}{r} \right\}; \\ l_{2-2'} = 2 \left\{ \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{4G} \left[ \frac{R^4}{r^3} - \frac{R^2}{r} (x + 1) \right] \cos 2(\theta + \beta_{1-2}) - \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{4G} \frac{R^2}{r} \right\}; \\ l_{3-3'} = 2 \left\{ \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{4G} \left[ \frac{R^4}{r^3} - \frac{R^2}{r} (x + 1) \right] \cos 2(\theta + \beta_{1-3}) - \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{4G} \frac{R^2}{r} \right\}. \end{cases} \quad (3)$$

где,  $\theta$  - угол между  $\sigma_1$  и осью X;

$\beta_{1-2}, \beta_{1-3}$  соответственно углы между осью x и радиус векторами 2-го и 3-го реперов.

Для определения главных нормальных напряжений ( $\sigma_1, \sigma_2$ ) и направления их

действия  $\theta$  приведём систему уравнений (3) к следующему виду:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 = b_1; \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 = b_2; \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 = b_3, \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} a_{11} = 2 \left[ \frac{R^4}{r^3} - \frac{R^2}{r} (x+1) \right]; \\ a_{12} = 0; \\ a_{13} = -2 \frac{R^2}{r}. \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} a_{21} = 0; \\ a_{22} = -2 \left[ \frac{R^4}{r^3} - \frac{R^2}{r} (x+1) \right]; \\ a_{23} = -2 \frac{R^2}{r}. \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} a_{31} = -2 \left[ \frac{R^4}{r^3} - \frac{R^2}{r} (x+1) \right]; \\ a_{32} = 0; \\ a_{33} = -2 \frac{R^2}{r}. \end{cases} \quad (7)$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}; \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} b_1 & a_{12} & a_{13} \\ b_2 & a_{22} & a_{23} \\ b_3 & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix};$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_{11} & b_1 & a_{13} \\ a_{21} & b_2 & a_{23} \\ a_{31} & b_3 & a_{33} \end{vmatrix}; \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & b_2 \\ a_{31} & a_{32} & b_3 \end{vmatrix}. \quad (8)$$

где,  $\Delta, \Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$  - определители системы уравнений (4);

$$b_1 = l_{1-1}' * 4G; \quad b_2 = l_{2-2}' * 4G; \quad b_3 = l_{3-3}' * 4G;$$

$$x_1 = (\sigma_1 - \sigma_2) \cos 2\theta = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \quad x_2 = (\sigma_1 - \sigma_2) \sin 2\theta = \frac{\Delta_2}{\Delta}; \quad x_3 = \sigma_1 + \sigma_2 = \frac{\Delta_3}{\Delta}.$$

Решение системы уравнений (4) позволяет вычислить значения главных нормальных напряжений  $\sigma_1, \sigma_2$  и направление их действия угла  $\theta$  относительно оси x по формулам:

$$\sigma_{1,2} = \frac{1}{2} \left( x_3 \pm \sqrt{x_1^2 + x_2^2} \right); \quad (9)$$

$$2\theta = \operatorname{arctg} \frac{x_2}{x_1}. \quad (10)$$

Для определения величины угла  $2\theta_1$  находим четверть, в которой он расположен по знакам соотношений  $\frac{\Delta_2}{\Delta}$  (числитель) и  $\frac{\Delta_1}{\Delta}$  (знаменатель) по формуле 10. Направление

действия главного нормального напряжения  $\sigma_1$  определяется углом  $\theta$ , который откладывается от оси x по часовой стрелке.

Таким образом, поставленная задача решена, предлагаемый способ обеспечивает достаточную надежность и оперативность обработки результатов измерений, полученных данных действующих главных напряжений, позволяющих достоверно оценивать безопасность эксплуатации горных выработок.

(57) Формула изобретения

Способ определения напряжений массива пород в подземной горной выработке

кольцевой щелью, включающий бурение кольцевой разгрузочной щели, отличающийся тем, что вначале осуществляют размещение реперов на стенке горной выработки на расстоянии 3 радиусов от центра разгрузочной щели в трех направлениях: вертикальном, горизонтальном и под углом в 45 градусов, после чего производят начальные измерения абсолютных деформаций, затем производят бурение кольцевой щели, с последующим измерением абсолютных деформаций разгрузки, с помощью полученных данных производят вычисление главных нормальных напряжений и направления их действия.

10

15

20

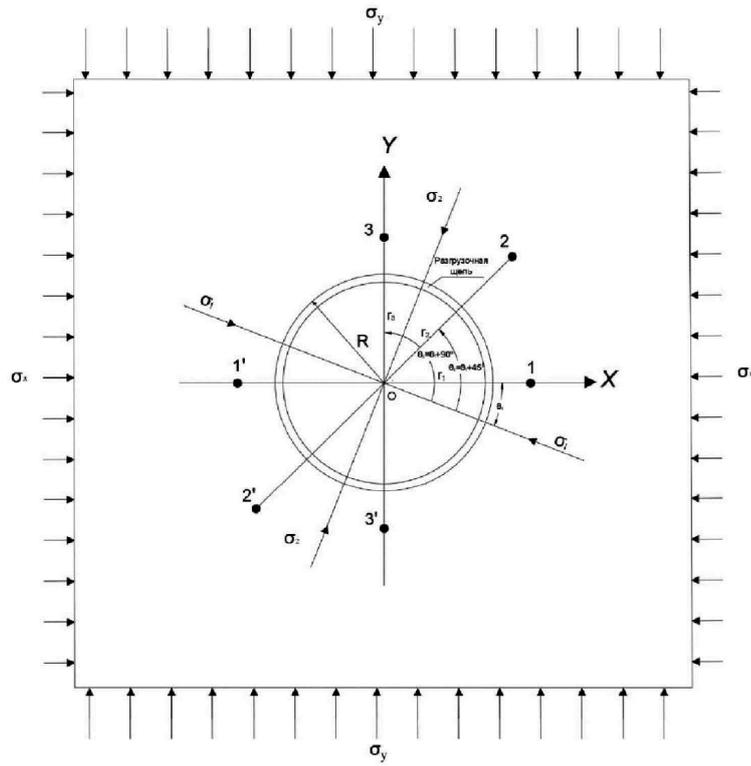
25

30

35

40

45



Фиг. 1