



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
E21C 39/00 (2021.08)

(21)(22) Заявка: 2021115801, 02.06.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.06.2021

Дата регистрации:
24.03.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.06.2021

(45) Опубликовано: 24.03.2022 Бюл. № 9

Адрес для переписки:

308015, Белгородская обл., г. Белгород, ул.
Победы, 85, НИУ "БелГУ", ОИС, Токтаревой
Т.М.

(72) Автор(ы):

Тюпин Владимир Николаевич (RU),
Пономаренко Константин Борисович (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: SU 1629534 A1, 23.02.1991. SU
1146448 A1, 23.03.1985. RU 2398964 C1,
10.09.2010. RU 2604532 C2, 10.12.2016. UA 14967
C2, 29.12.1999. DE 2544390 A1, 07.04.1977.
ТЮПИН В.Н., Взрывные и геомеханические
процессы в трещиноватых напряженных
горных массивах, Белгород: БелГУ, 2017. - 191
с.

(54) Способ определения напряженного состояния массива горных пород

(57) Реферат:

Изобретение относится к горной промышленности, в частности к способам определения напряженного состояния массива горных пород. При проходке горных выработок бурят, заряжают и взрывают проходческие шпур. Способ включает бурение шпура, определение начального и конечного диаметра шпура. Причем конечный диаметр шпура и максимальный размер куска породы в шпуре определяют после взрыва взрывчатого вещества. Величину напряженного состояния горного массива определяют из выражения:

$$P = \frac{\sigma_{сж}}{1 - \mu} - \frac{\sqrt{\pi}}{4} \frac{D \rho_B d_3 c}{(D_c - d_3) \Phi (1 - \mu)} \left(1 - \frac{\mu \vartheta}{1 - \vartheta}\right) \sqrt{\frac{d_k}{d_e}},$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности породы на сжатие,

Pa; D – скорость детонации взрывчатого вещества, м/с; ρ_B – плотность заряжения, кг/м³; d_3 – первоначальный диаметр шпура, равный заряду ВВ, м; c – скорость продольной волны в породе, м/с; d_k – максимальный размер куска породы в шпуре после взрыва; μ – коэффициент трения между отдельностями в массиве; ϑ – коэффициент Пуассона горной породы; D_c – конечный диаметр шпура, м; Φ – показатель трещиноватости; d_e – размер отдельности в массиве, м; $\pi = 3,14$. Техническим результатом способа является оперативное определение напряженного состояния горного массива в процессе проходки горных выработок в различных по прочности горных породах и при различной величине горного давления.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
E21C 39/00 (2021.08)

(21)(22) Application: **2021115801, 02.06.2021**

(24) Effective date for property rights:
02.06.2021

Registration date:
24.03.2022

Priority:

(22) Date of filing: **02.06.2021**

(45) Date of publication: **24.03.2022** Bull. № 9

Mail address:

**308015, Belgorodskaya obl., g. Belgorod, ul.
Pobedy, 85, NIU "BelGU", OIS, Toktarevoj T.M.**

(72) Inventor(s):

**Tyupin Vladimir Nikolaevich (RU),
Ponomarenko Konstantin Borisovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Belgorodskij gosudarstvennyj
natsionalnyj issledovatel'skij universitet" (NIU
"BelGU") (RU)**

(54) **METHOD FOR DETERMINING THE STRESS STATE OF ROCK FORMATIONS**

(57) Abstract:

FIELD: mining industry.

SUBSTANCE: invention relates to the mining industry, in particular to methods for determining the stress state of rock formations. During sink working, tunneling holes are drilled, charged and blown up. The method includes drilling a hole, determining the initial and final diameter of the hole. Moreover, the final diameter of the hole and the maximum size of a piece of rock in the hole are determined after blowing up the explosive. The magnitude of the stress state of the mountain range is determined from the expression:

$$P = \frac{\sigma_{\text{compr}}}{1 - \mu} - \frac{\sqrt{\pi}}{4} \frac{D \rho_B d_c c}{(D_c - d_c) F (1 - \mu)} \left(1 - \frac{\mu \vartheta}{1 - \vartheta}\right) \sqrt{\frac{d_k}{d_e}}$$

where σ_{compr} is the compressive strength of the rock,

Pa; D is the detonation velocity of the explosive, m/s; ρ_B is the loading density, kg/m^3 ; d_c is the initial diameter of the hole equal to the explosive charge, m; c is the velocity of the longitudinal wave in the rock, m/s; d_k is the maximum size of a piece of rock in the hole after the explosion; μ is the coefficient of friction between separate parts in the array; ϑ is Poisson's ratio of the rock; D_c is the final diameter of the hole, m; F is the fracturing index; d_e is the size of a separate part in the array, m; $\pi = 3.14$.

EFFECT: operational determination of the stress state of rock formations during excavation in rocks of different strength and at different values of rock pressure.

1 cl

Изобретение относится к горной промышленности, в частности к способам определения напряженного состояния массива горных пород, и может использоваться для составления рекомендаций по безопасному ведению горных работ.

Известен способ определения напряженного состояния горных пород по патенту РФ №2398964 (Опубликовано: 10.09.2010), который включает задание требуемой 5 детальности исследования массива, установку датчиков в скважинах, пробуренных от поверхности обнажения вглубь массива, регистрацию электромагнитных и сейсмоакустических сигналов, излучаемых естественными источниками в массиве горных пород и определение параметров этих сигналов. При этом выбирают шаг 10 измерения в соответствии с требуемой детальностью; задают ширину скользящего пространственного окна, охватывающего несколько последовательно расположенных точек измерения, для множества пар значений параметров регистрируемых сигналов, соответствующих одним и тем же точкам внутри пространственного окна; определяют коэффициент корреляции и ставят его значение в соответствии с 15 средней точкой пространственного окна и в случае положительного значения коэффициента корреляции напряженное состояние массива горных пород в этой точке относят к допредельной стадии, а в случае отрицательного - к запредельной стадии деформирования. Ширину пространственного окна выбирают из условия статистической значимости коэффициента корреляции.

Известен способ определения напряжений в горном массиве при динамическом разрушении открытых поверхностей горных выработок, включающий определение 20 прочности горной породы на сжатие определение величины напряжения в массиве по формуле:

$$P = 0,7\sigma_{сж}, (1)$$

25 где $\sigma_{сж}$ – предел прочности породы на сжатие, МПа.

(См. «Положение по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам: федеральные нормы и правила в области 30 промышленной безопасности». Сер. 06 – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2014 – Вып. 7. – 80 с.)

Однако предложенный способ можно применить только в удароопасных массивах горных пород, где происходят динамические проявления горного давления.

Наиболее близким техническим решением является способ определения напряженного состояния массива, который включает определение прочности горной породы на сжатие $\sigma_{сж}$, бурение шпура, определение начального и конечного диаметра скважины, и 35 определение величины напряжения в массиве горных пород по формуле

$$P = 0,85\sigma_{сж}\left(3,85\frac{d_2}{d_1} - 0,5\right), (2)$$

где d_2 – конечный диаметр скважины, мм,

d_1 – начальный диаметр скважины, мм.

40 (См. «Положение по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам: федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности». Сер. 06 – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2014 – Вып. 7. – 80 с.)

Однако деформации стенок скважины могут происходить как в удароопасных горных массивах, так и в породах с малой прочностью. В прочных горных породах, где $\sigma_{сж} =$ 45 100 МПа, на небольших глубинах менее 300 м в породах с малой прочностью деформация стенок скважин не происходит. В этом случае $d_1 = d_2$ и по формуле (2) определение величины напряжения в массиве горных пород дает абсолютно не верный

результат:

$$P = 2,85 \sigma_{сж}$$

Задачей изобретения является расширение арсенала способов определения напряженного состояния массива горных пород.

5 Техническим результатом предлагаемого способа является определение напряженного состояния массива горных пород при взрыве цилиндрического заряда взрывчатого вещества (далее ВВ) в любых горно-геологических и горнотехнических условиях.

Результат достигается тем, что в способе определения напряженного состояния массива горных пород «Р», включающим бурение шпура и расчет величины напряжения в массиве из соотношения в зависимости от прочности горной породы на сжатие, первоначального диаметра шпура сразу после бурения и конечного диаметра шпура, внесены следующие новые признаки:

шпур заряжают, взрывают взрывчатое вещество, после взрыва определяют конечный диаметр шпура и максимальный размер куска породы в шпуре, далее с учетом детонационных характеристик взрывчатого вещества, физико-технических свойств и трещиноватости горного массива, определяют величину напряженного состояния горного массива из выражения:

$$20 \quad P = \frac{\sigma_{сж}}{1-\mu} - \frac{\sqrt{\pi}}{4} \frac{D \rho_{в} d_3 c}{(D_c - d_3) \Phi (1-\mu)} \left(1 - \frac{\mu \vartheta}{1-\vartheta}\right) \sqrt{\frac{d_k}{d_e}}, \quad (3)$$

где: $\sigma_{сж}$ – предел прочности породы на сжатие, Па;

D – скорость детонации ВВ, м/с;

$\rho_{в}$ – плотность заряжания, кг/м³;

25 d_3 – первоначальный диаметр шпура, равный заряду ВВ, м;

c – скорость продольной волны в породе, м/с;

d_k – максимальный размер куска породы в шпуре после взрыва, м;

μ – коэффициент трения между отдельностями в массиве;

ϑ – коэффициент Пуассона горной породы;

30 D_c – конечный диаметр шпура, м;

Φ – показатель трещиноватости;

d_e – размер отдельности в массиве, м;

$\pi = 3,14$.

35 Предложенный способ в отличие от известного позволяет определять напряженное состояние горного массива в различных по прочности горных породах и при различной величине горного давления.

Данный способ осуществляют следующим образом. Физико-механические свойства: предел прочности породы на сжатие ($\sigma_{сж}$), скорость продольной волны в породе (c), коэффициент Пуассона горной породы (ϑ), определяют по известным методам лабораторных испытаний на одноосное сжатие и прозвучивание образцов горной породы. Размер отдельности d_e , определяют линейным методом по обнаженному забою выработки.

45 Значения величин: показатель трещиноватости (Φ), коэффициент трения между отдельностями в массиве (μ) взаимосвязаны с размером естественной отдельности d_e , их определяют из таблицы 1. (Тюпин В.Н., “Взрывные и геомеханические процессы в трещиноватых напряженных горных массивах”, - Белгород: ИД “Белгород”, НИУ БелГУ, 2017 г.).

Таблица 1 для определения показателя трещиноватости и коэффициента трения между отдельностями по размеру отдельности в массиве

$d_e, \text{ м}$	<0,05	0,05-0,15	0,15-0,40	0,40-1,0	>1,0
Φ	>12	12-10	10-8	8-6	<6
μ	<0,2	0,2-0,3	0,3-0,45	0,45-0,6	>0,6

Детонационные характеристики ВВ: скорость детонации D , плотность заряжения ρ_v и диаметр заряда ВВ d_3 определяют, используя справочную литературу (Тюпин В.Н., «Взрывные и геомеханические процессы в трещиноватых напряженных горных массивах», - Белгород: ИД "Белгород", НИУ БелГУ, 2017 г.).

Далее бурят шпур или группу шпуров, например, при проходке горной выработки, заряжают зарядами ВВ и взрывают с учетом детонационных характеристик ВВ.

Конечный диаметр шпура D_c , максимальный размер куска d_k в конечном диаметре шпура определяют линейным методом по обнаженному забою выработки после взрыва.

Численные значения параметров подставляют в формулу (3) и получают величину напряженного состояния горного массива.

Примеры осуществления способа.

Пример 1.

Для определения напряженного состояния горного массива на руднике №8 ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение», при проходке горно-капитальных выработок на X горизонте в гранитном массиве проведены исследования. После проходческого буровзрывного цикла в забое выработки отбирают образцы горных пород и определяют физико-механические свойства: $\sigma_{сж} = 144 \cdot 10^6 \text{ Па}$,

$c = 4,54 \cdot 10^3 \text{ м/с}$, $\vartheta = 0,23$. По забою штрека, линейным методом определяют размер естественной отдельности $d_e = 0,4 \text{ м}$; по которому из таблицы 1 определяют $\mu = 0,45$, $\Phi = 8$. Первоначальный диаметр шпура $d_3 = 0,04 \text{ м}$. Конечный диаметр шпура после взрыва определен как среднее значение по пяти шпурам $D_c = 0,1 \text{ м}$, по ним же определен средний максимальный размер куска породы в конечном диаметре шпура, в данном случае гранита, $d_k = 0,035 \text{ м}$. Тип применяемого ВВ – патронированный аммонит 6ЖВ

диаметром 32 мм со скоростью детонации $D = 4,2 \cdot 10^3 \text{ м/с}$, плотностью заряжения $\rho_v = 0,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Расчет по формуле (3), определено значение величины напряженного состояния горного массива $P = 32,7 \text{ МПа}$.

Сравнение полученного по предложенному способу значения P с данными ИГД СО РАН, проведенными на указанном месторождении методом параллельных скважин, подтверждает достоверность значения величины напряженного состояния горного массива, полученного по формуле (3). Метод параллельных скважин дает $P = 18,2 - 54,0 \text{ МПа}$, в среднем 35,8 МПа (Тюпин В.Н., «Взрывные и геомеханические процессы в трещиноватых напряженных горных массивах», - Белгород: ИД "Белгород", НИУ БелГУ, 2017 г.), что соответствует значению, полученному заявленным способом определения напряженного состояния горного массива при использовании энергии взрыва.

Пример 2.

Для определения напряженного состояния горного массива на шахте им. Губкина при проходке горизонтальных горных выработок на участке Панельного откаточного орта №1 гор. – 250 м в массиве гематит-магнетитовых кварцитов проведены

исследования. После проходческого буровзрывного цикла в забое выработки отбирают образцы горных пород и определяют физико-механические свойства: $\sigma_{сж} = 152 \cdot 10^6$, $c = 4,2 \cdot 10^3$ м/с, $\vartheta = 0,23$. По забою штрека, линейным методом определяют размер естественной отдельности $d_e = 0,5$ м, по которому из таблицы определяют $\mu = 0,45$, $\Phi = 8$. Первоначальный диаметр шпура $d_3 = 0,04$ м. Конечный диаметр шпура после взрыва определен по измеренным шпурам, получено среднее значение $D_c = 0,1$ м. По ним же определен средний максимальный размер куска кварцита $d_k = 0,02$ м. Тип применяемого ВВ – патронированный аммонит 6ЖВ диаметром 42 мм с скоростью детонации $D = 4,2 \cdot 10^3$ м/с, плотностью заряжения $\rho_v = 0,7 \cdot 10^3$ кг/м³. Расчет по формуле (3),

определено значение величины напряженного состояния горного массива $P = 78$ МПа. Сравнение полученного по предложенному способу значения P с данными ОАО «ВИОГЕМ», проведенными на ш. им. Губкина геомеханическим методом разгрузки на больших базах путем измерения величины конвергенции/сближения стенок выработки, говорят о достоверности приведенной формулы (3). Метод разгрузки на больших базах дает $P = 54,51 - 100,03$ МПа, в среднем $77,27$ МПа, что соответствует значению, полученному заявленным способом определения напряженного состояния горного массива при использовании энергии взрыва.

Приведенные примеры подтверждают достижение технического результата - определение напряженного состояния массива горных пород при взрыве цилиндрического заряда взрывчатого вещества по предлагаемому способу позволяет использовать его в различных по прочности горных породах и при различной величине горного давления.

(57) Формула изобретения

Способ определения напряженного состояния массива горных пород, включающий бурение шпура, определение начального и конечного диаметра шпура, определение прочности горной породы на сжатие, отличающийся тем, что шпур заряжают, взрывают взрывчатое вещество, измеряют после взрыва конечный диаметр шпура и максимальный размер куска породы в шпуре, определяют величину напряженного состояния горного массива из выражения:

$$P = \frac{\sigma_{сж}}{1 - \mu} - \frac{\sqrt{\pi}}{4} \frac{D \rho_v d_3 c}{(D_c - d_3) \Phi (1 - \mu)} \left(1 - \frac{\mu \vartheta}{1 - \vartheta}\right) \sqrt{\frac{d_k}{d_e}},$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности породы на сжатие, Па;
 D – скорость детонации взрывчатого вещества, м/с;
 ρ_v – плотность заряжения, кг/м³;
 d_3 – первоначальный диаметр шпура, равный заряду ВВ, м;
 c – скорость продольной волны в породе, м/с;
 d_k – максимальный размер куска породы в шпуре после взрыва;
 μ – коэффициент трения между отдельностями в массиве;
 ϑ – коэффициент Пуассона горной породы;
 D_c – конечный диаметр шпура, м;
 Φ – показатель трещиноватости;
 d_e – размер отдельности в массиве, м;

$\Pi = 3,14.$

5

10

15

20

25

30

35

40

45