

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2684536

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОЙ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Кориунов Владимир Алексеевич (RU), Павлович Антон Анатольевич (RU), Бажуков Александр Алексеевич (RU), Мельников Никита Ярославович (RU)*

Заявка № 2018115435

Приоритет изобретения 24 апреля 2018 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 09 апреля 2019 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 24 апреля 2038 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
E21C 39/00 (2013.01); G01N 3/08 (2013.01)

(21) (22) Заявка: 2018115435, 24.04.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
24.04.2018

Дата регистрации:
09.04.2019

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 24.04.2018

(45) Опубликовано: 09.04.2019 Бюл. № 10

Адрес для переписки:
199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет", отдел ИС и ТТ

(72) Автор(ы):

Коршунов Владимир Алексеевич (RU),
Павлович Антон Анатольевич (RU),
Бажуков Александр Алексеевич (RU),
Мельников Никита Ярославович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: ТАРАСОВ Б.Г. Закономерности
деформирования и разрушения горных
пород при высоких давлениях. Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук. Санкт-
Петербург. ЛГИ им. Г.В. Плеханова, 1991,
с. 46. RU 2521116 C1, 27.06.2014. RU 2435955
C1, 10.12.2011. RU 2431129 C1, 10.10.2011. RU
2135689 C1, 27.08.1999. CN 102183410 A, (см.
прод.)

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОЙ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

(57) Реферат:

Изобретение относится к физико-механическим испытаниям скальных и полускальных горных пород, имеющих хрупкий характер разрушения, и может быть использовано при инженерно-геологических изысканиях. Согласно способу проводят испытания монолитных образцов на растяжение и сжатие при различных видах напряженного состояния, определение показателей прочности на отрыв и на сдвиг и максимального напряжения, соответствующего равенству максимальной и остаточной прочности при высоких давлениях. Определяют в качестве механических свойств показатели остаточной прочности при различных видах напряженного состояния в зависимости от остаточной прочности при одноосном сжатии с учетом соотношения

прочности монолитной породы на сдвиг и отрыв и напряжения, соответствующего равенству максимальной и остаточной прочности при высоких давлениях. Производят сжатие монолитного образца двумя встречно направленными сферическими инденторами до его раскалывания, определяют среднее растягивающее напряжение σ_t разрыва образца, и среднее сжимающее напряжение, соответствующее предельному сопротивлению сдвигу вдоль поверхности большей из зон разрушенной породы вблизи инденторов. В качестве механических свойств определяют параметры билинейной аппроксимации зависимости остаточной прочности от величины минимального главного напряжения, предел

остаточной прочности при одноосном сжатии, остаточное сцепление при объемном нагружении и углы внутреннего трения, соответствующие различным видам напряженного состояния, по

формуле

$\sigma_R = \sigma_t$, где предел остаточной прочности σ_R , среднее растягивающее напряжение σ_t . 2 ил., 2 табл.

(56) (продолжение):
14.09.2011.

R U 2 6 8 4 5 3 6 C 1

R U 2 6 8 4 5 3 6 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(19) **RU** (11) **2 684 536**⁽¹³⁾ **C1**

(51) Int. Cl.
E21C 39/00 (2006.01)

(52) CPC

E21C 39/00 (2013.01); *G01N 3/08* (2013.01)

(21) (22) Application: **2018115435, 24.04.2018**

(24) Effective date for property rights:
24.04.2018

Registration date:
09.04.2019

Priority:

(22) Date of filing: **24.04.2018**

(45) Date of publication: **09.04.2019** Bull. № 10

Mail address:

**199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2,
federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij gornyj
universitet", otdel IS i TT**

(72) Inventor(s):

**Korshunov Vladimir Alekseevich (RU),
Pavlovich Anton Anatolevich (RU),
Bazhukov Aleksandr Alekseevich (RU),
Melnikov Nikita Yaroslavovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij gornyj
universitet" (RU)**

(54) **METHOD FOR DETERMINING RESIDUAL STRENGTH OF ROCKS**

(57) Abstract:

FIELD: testing equipment.

SUBSTANCE: invention relates to physical and mechanical testing of rock and half-rock rocks that have a brittle nature of destruction, and can be used in engineering and geological surveys. According to the method, monolithic specimens are tested for tension and compression under various types of stress state, determination of indicators of tensile and shear strength and maximum stress, corresponding to the equality of maximum and residual strength in the cases of high pressure. They are determined as the mechanical properties of the indicators of residual strength for various types of stress state depending on the residual strength under uniaxial compression taking into account the ratio of the strength of the monolithic rock shear and tear and stress, corresponding to the equality of the maximum and residual strength in the cases of high pressure. Monolithic sample is compressed with two

oppositely directed spherical indentors prior to its splitting, the average tensile stress is determined σ_t sample rupture, and the average compressive stress corresponding to the limiting shear resistance along the surface of the greater of the zones of destroyed rock near the indentors. As the mechanical properties there are determined the parameters of the bilinear approximation of the dependence of residual strength on the magnitude of the minimum principal stress, limit of residual strength under uniaxial compression, residual adhesion under bulk loading and angles of internal friction, which correspond to the various types of stress, according to the formula $\sigma_R = \sigma_t$, where σ_R is the limit of residual strength, σ_t is the average tensile stress.

EFFECT: invention can be used in case of the engineering geological surveys.

1 cl, 2 dwg, 2 tbl

RU 2 684 536 C 1

RU 2 684 536 C 1

Изобретение относится к физико-механическим испытаниям скальных и полускальных горных пород, имеющих хрупкий характер разрушения, и может быть использовано при инженерно-геологических изысканиях.

Известен способ определения полной кривой деформирования ненарушенной горной породы при одноосном сжатии (статья «С.Е. Fairhurst, J.A. Hudson. Draft ISRM suggested method for the complete stress-strain curve for intact rock in uniaxial compression. International J. of Rock Mechanics and Mining Sciences. No 36, 1999, pp 279-289»), включающий нагружение образца в режиме регулируемой осевой деформации с постоянной скоростью осевой деформации (около 0,0001 мм/мм/с) при достижении сжимающей силой приблизительно 70% от величины ожидаемого предела прочности до снижения несущей способности образца в запредельной области приблизительно до 50% от предела прочности, а затем разрушение образца до уровня остаточной прочности при увеличении скорости осевой деформации (примерно до 0,001 мм/мм/с).

Недостатком способа является техническая сложность реализации режима регулируемой осевой деформации с использованием нагрузочных устройств повышенной жесткости или серво управляемых машин. Другим недостатком способа является его низкая информативность, так как он позволяет определять запредельные характеристики (в том числе остаточную прочность) только для условий одноосного сжатия.

Известен способ определения запредельных характеристик при трехосном сжатии горной породы при последовательном испытании серии образцов в режиме задаваемых нарастающих осевых (по направлению максимального главного напряжения) деформаций образца при заданных постоянных по величине нагрузках по остальным направлениям (монография «Рекомендации по определению полного паспорта прочности и деформируемости горных пород. Л.: М-во угольной пром-сти СССР, ВНИМИ, 1988. - 52 с.»), включающий нагружение цилиндрических образцов осесимметричным равномерным давлением на плоские торцы и постоянным по величине гидростатическим давлением на боковую поверхность.

Недостатками способа являются техническая сложность испытаний в режиме задаваемых нарастающих осевых деформаций образца и длительность определения остаточной прочности породы, связанная с проведением многочисленных опытов над образцами при различных значениях бокового давления. Недостатком способа также является необходимость значительного объема пробы для изготовления образцов правильной формы.

Известен способ определения паспорта деформируемости горных пород (патент РФ №1201506, опубл. 30.12.1985), включающий нагружение образца горной породы в режиме регулируемой осевой деформации ступенчато изменяющимися осевым и боковым гидростатическим давлениями до значений, соответствующих предельной кратковременной, длительной и остаточной прочности, при этом при уровнях напряженного состояния, соответствующих остаточной прочности, значения бокового давления уменьшаются. Способ позволяет по результатам объемных испытаний одного образца определять несколько значений остаточной прочности (обычно не более трех-четырёх), соответствующих заданным уровням бокового давления, что уменьшает необходимый объем испытаний. Кроме того способ исключает погрешность корреляции значений прочностных и деформационных показателей при разных величинах бокового давления, поскольку они определяются на одном и том же образце.

Недостатком способа является высокая техническая сложность проведения испытаний в режиме ступенчатого изменения бокового давления на образец в сочетании с его регулируемой осевой деформацией.

Известен способ определения предела прочности породных материалов при трехосном сжатии на жестких испытательных машинах (статья «ISRM: Suggested methods for determining the strength of rock materials in triaxial compression: revised version. 1983 vol. 20, No. 6, 283-290»), включающий обжатие образца до первоначальной величины бокового давления, затем нагружение образца монотонно увеличивающимся осевым давлением и пошагово увеличивающимся боковым давлением в моменты достижения состояния предельной прочности; далее деформирование образца сначала при наибольшем заданном значении бокового давления до степени разрушения, соответствующей остаточной прочности, а затем деформирование образца при монотонном уменьшении бокового давления вплоть до полной разгрузки для достижения состояний остаточной прочности при меньших значениях бокового давления; в качестве механических свойств горной породы определяют обобщающие параметры огибающих предельной и остаточной прочности - условное сцепление при объемном нагружении и углы внутреннего трения при помощи билинейной математической аппроксимации экспериментальной кривой зависимости предельной и остаточной прочности от бокового давления по формулам.

Недостатком способа является высокая техническая сложность проведения испытаний при трехосном сжатии на жестких испытательных машинах в режиме регулируемого изменения боковым давлением.

Известен способ испытания образцов горных пород (а.с. СССР №1352056, опубл. 15.11.1987), включающий создание в образце кубической формы заданного напряженного состояния, измерение напряжений и деформаций образца и оценку прочности на основании измеренных величин, при этом в образце производят предварительное нагружение, имитирующее переход образца к состоянию нетронутого массива, а затем обеспечивают на все время испытания отсутствие деформации по одной из горизонтальных осей образца, поддерживают постоянное напряжение по другой горизонтальной оси образца и постепенно увеличивают напряжение по вертикальной оси до запредельной области деформирования.

Недостатком способа является техническая сложность проведения испытаний при трехосном сжатии в режиме независимого регулирования деформациями образца по трем взаимно перпендикулярным направлениям.

Известен способ определения паспорта остаточной прочности горной породы (монография «Тарасов Б.Г. Закономерности деформирования и разрушения горных пород при высоких давлениях. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Санкт-Петербург. ЛГИ им. Г.В. Плеханова, 1991 - 46 с.»), принятый за прототип, заключающийся в том, что проводят испытания монолитных образцов на сжатие и растяжение при различных видах напряженного состояния (характеризуемых отношением бокового и осевого давления), определяют показатели прочности на сдвиг и отрыв и напряжение (максимальное касательное напряжение), соответствующее равенству максимальной и остаточной прочности при высоких давлениях; определяют в качестве механических свойств показатели остаточной прочности (максимальное касательное напряжение) при различных видах напряженного состояния в зависимости (экспоненциальной) от остаточной прочности при одноосном сжатии с учетом соотношения прочности монолитной породы на сдвиг и отрыв и напряжения (максимального касательного напряжения), соответствующего равенству максимальной и остаточной прочности при высоких давлениях.

Недостатками способа являются техническая сложность, связанная с проведением испытаний в запредельной области деформирования образцов и невысокая точность

определения параметров остаточной прочности из-за использования эмпирических коэффициентов.

5 Техническим результатом изобретения является упрощение испытаний за счет определения комплекса показателей прочности на растяжение и сжатие при различных видах напряженного состояния для каждого испытанного образца, а также вследствие технической простоты используемой схемы нагружения инденторами, и повышение точности определения прочностных свойств благодаря учету особенностей механизма разрушения образцов горных пород (отрывом или сдвигом) при запредельном деформировании.

10 Технический результат достигается тем, что производят сжатие монолитного образца двумя встречно направленными сферическими инденторами до его раскалывания, определяют среднее растягивающее напряжение σ_t разрыва образца, и среднее сжимающее напряжение, соответствующее предельному сопротивлению сдвигу вдоль поверхности большей из зон разрушенной породы вблизи инденторов, а в качестве механических свойств определяют параметры билинейной аппроксимации зависимости остаточной прочности от величины минимального главного напряжения, предел остаточной прочности при одноосном сжатии, остаточное сцепление при объемном нагружении и углы внутреннего трения, соответствующие различным видам напряженного состояния, по формуле

$$20 \quad \sigma_R = \sigma_t, \text{ где}$$

предел остаточной прочности σ_R ,

среднее растягивающее напряжение σ_t .

Способ поясняется следующими фигурами:

25 фиг. 1 - схема нагружения образца сферическими инденторами;

фиг. 2 - график построение паспорта остаточной прочности горной породы в системе координат главных нормальных напряжений σ_1 - σ_3 , где:

1 - образец;

2 - сферические инденторы;

30 3 - зоны разрушенной породы;

4 - паспорт максимальной прочности горной породы;

5 - паспорт остаточной прочности горной породы.

Способ осуществляют следующим образом. Монолитный образец 1 устанавливают между двумя встречно направленными сферическими инденторами (стальными шариками) 2 и сжимают его, прикладывая равномерную нагрузку с постоянной скоростью нагружения (фиг. 1). При этом в образце создается сложное неоднородное напряженное состояние и реализуются три различных вида разрушения: отрыв в плоскости нагружения, пластичное поведение при высоких давлениях разрушенной уплотненной породы на контакте с инденторами и разрушение сдвигом вдоль 40 поверхностей зон разрушенной породы 3 вблизи инденторов. Фиксируют максимальную (разрушающую) силу P и измеряют в расколотом образце площадь поверхности отрыва S и площадь поверхностей зон разрушенной породы на контакте с инденторами F_1 и F_2 , выбирая для большую из них - F .

45 Определяют среднее растягивающее напряжение σ_t разрыва образца и среднее сжимающее напряжение p , соответствующее предельному сопротивлению сдвигу вдоль поверхности большей из зон разрушенной породы и оценивают показатель, характеризующий их соотношение K по формулам:

$$\sigma_1 = \frac{P}{S},$$

$$p = \frac{P}{F},$$

$$K = \frac{P}{\sigma_1}.$$

10 Определяют предел прочности при одноосном растяжении σ_T , максимальное σ_1^M и минимальное σ_3^M сжимающее напряжение в разрушенной породе на контакте с инденторами, соответствующее равенству максимальной и остаточной прочности при
15 высоких давлениях по формулам:

$$\sigma_T = \sigma_1 \frac{2K}{1+K},$$

$$20 \sigma_1^M = \frac{\sigma_1 \cdot \sqrt{K}}{2} (K\sqrt{K} + K - 2\sqrt{K} + 2),$$

$$25 \sigma_3^M = \frac{\sigma_1 \cdot \sqrt{K}}{2} (K + \sqrt{K} - 4).$$

Осуществляют построение паспорта максимальной прочности породы в виде кусочно-линейной аппроксимации огибающей кривой предельных состояний монолитной породы (линия 4 на фиг. 2, проходящая через точки F, D и E, соответствующие характерным
30 напряженным состояниям - пределу прочности при растяжении σ_T , предельному сопротивлению сдвигу $\{-\sigma_1; p\}$ и состоянию равенства максимальной и остаточной прочности при высоких давлениях $\{\sigma_3^M; \sigma_1^M\}$).

35 Далее определяют механические свойства разрушенной горной породы (остаточную прочность) при различных видах напряженного состояния в зависимости от величины остаточной прочности при одноосном сжатии σ_R с учетом соотношения прочности на сдвиг и на отрыв K и максимального напряжения $\{\sigma_3^M; \sigma_1^M\}$, соответствующего
40 равенству максимальной и остаточной прочности при высоких давлениях.

Для этого производят построение паспорта остаточной прочности породы путем билинейной аппроксимации зависимости остаточной прочности от величины минимального главного напряжения σ_3 прямолинейными отрезками, соответствующими
разрушению отрывом и сдвигом (отрезки σ_1B и BE линии 5 на фиг. 2).

45 Участок огибающей остаточной прочности, для которого характерно разрушение сдвигом, аппроксимирует отрезок прямой, проходящий через точки A и E на паспорте, соответствующие чистому сдвигу при уровне напряжений $\{-\sigma_1; \sigma_1\}$ и максимальному

напряжению $\{\sigma_3^M; \sigma_1^M\}$, соответствующему равенству максимальной и остаточной прочности при высоких давлениях.

Участок огибающей остаточной прочности, для которого характерно разрушение отрывом, аппроксимирует отрезок прямой, параллельный отрезку огибающей максимальной прочности FD, который проходит через точки, соответствующие предельному сопротивлению сдвигу $\{\sigma_i; p\}$ и чистому сдвигу $\{-\sigma_T; \sigma_T\}$.

Точка В перелома огибающей остаточной прочности на фиг. 2 соответствует напряженному состоянию с вероятностным характером разрушения (отрывом или сдвигом) и характеризуется значением минимального главного напряжения σ_3^B :

$$\sigma_3^B = \frac{\sigma_i(\sigma_1^M - \sigma_i)}{K(\sigma_3^M + \sigma_i) - (\sigma_1^M - \sigma_i)}.$$

В качестве предела остаточной прочности σ_R при одноосном сжатии принимается величина среднего растягивающего напряжения σ_t при раскалывании образца инденторами:

$$\sigma_R = \sigma_t.$$

Далее определяют параметры билинейной аппроксимации зависимости остаточной прочности горной породы от величины минимального главного напряжения σ_3 в системе координат Мора - остаточное сцепление при объемном нагружении C_{R1} и C_{R2} и углы внутреннего трения φ_{R1} и φ_{R2} , соответствующие различным видам предельного напряженного состояния, при которых имеет место разрушение путем отрыва или сдвига, по формулам:

$$\text{для интервала напряжений } 0 \leq \sigma_3 \leq \frac{\sigma_i(\sigma_1^M - \sigma_i)}{K(\sigma_3^M + \sigma_i) - \sigma_i(\sigma_1^M - \sigma_i)}:$$

$$\varphi_{R1} = \arctg \frac{K-1}{2\sqrt{K}},$$

$$C_{R1} = \frac{\sigma_t}{2} \operatorname{tg}\left(\frac{90^\circ - \varphi_{R1}}{2}\right),$$

$$\text{для интервала напряжений } \frac{\sigma_i(\sigma_1^M - \sigma_i)}{K(\sigma_3^M + \sigma_i) - \sigma_i(\sigma_1^M - \sigma_i)} \leq \sigma_3 \leq \sigma_3^M:$$

$$C_{R2} = \sigma_t,$$

$$\varphi_{R2} = \arctg \frac{\left(\frac{\sigma_1^M - \sigma_3^M}{2}\right) - \sigma_t}{\sqrt{(\sigma_1^M - \sigma_i)(\sigma_3^M + \sigma_i)}}.$$

Экспериментальным обоснованием принятия в качестве предела остаточной прочности σ_R при одноосном сжатии величины среднего растягивающего напряжения

σ_t при раскалывании инденторами служат результаты сопоставления значений прочности шести проб горных пород, определенных предлагаемым способом и по результатам испытаний на одноосное сжатие в режиме регулируемой осевой деформации цилиндрических образцов в камере запредельного деформирования БВ21 по методике, изложенной в монографии «Рекомендации по определению полного паспорта прочности и деформируемости горных пород. Л.: М-во угольной пром-сти СССР, ВНИМИ, 1988. - 52 с.». Количество образцов в сериях составляло от 4 до 7.

Таблица 1 - Сравнение значений растягивающего напряжения σ_t при раскалывании образцов сферическими инденторами и предельной остаточной прочности σ_R при одноосном сжатии (v – коэффициент вариации)

| Горная порода | σ_t , МПа v , % | σ_R , МПа v , % | Отклонение $\Delta_{\sigma R}$, % |
|---------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| мрамор-I | $4,03 \pm 1,65$ 40,9% | $3,84 \pm 0,60$ 15,7% | +4,9 |
| мрамор-II | $5,75 \pm 0,79$ 13,8% | $7,00 \pm 4,02$ 57,2% | -17,9 |
| известняк | $8,60 \pm 0,44$ 5,1% | $7,25 \pm 2,99$ 41,0% | +18,7 |
| песчаник-I | $8,23 \pm 2,00$ 24,1% | $9,40 \pm 1,90$ 20,2% | -12,4 |
| песчаник-II | $10,98 \pm 1,35$ 12,3% | $10,10 \pm 0,57$ 5,6% | +8,7 |
| алевролит | $7,76 \pm 2,72$ 35,0% | $8,23 \pm 3,74$ 46,8% | -2,9 |
| | | среднее значение | 9,3 |

Отклонение средних результатов определений сравниваемыми способами составило, в среднем, менее 10%, что свидетельствует об их вполне приемлемой сходимости.

Экспериментальным обоснованием определения показателей остаточной прочности при объемном сжатии предлагаемым способом служит сопоставление его результатов с аналогичными данными, полученными при объемном сжатии образцов пяти проб горных пород в камере запредельного деформирования БВ21, укомплектованной насосной станцией, рассчитанной на давление рабочей жидкости до 60 МПа, в соответствии с международным договорным стандартным методом испытаний (статья «ISRM: Suggested methods for determining the strength of rock materials in triaxial compression: revised version. 1983 vol. 20, No. 6, 283-290»), который также предусматривает определение параметров огибающей остаточной прочности при помощи билинейной математической аппроксимации экспериментальной кривой зависимости остаточной прочности от бокового давления.

Отклонение значений аналогичных показателей паспорта остаточной прочности горных пород сравниваемыми способами составило от 4 до 14%, что, следует признать удовлетворительным результатом.

Реализация способа позволяет существенно упростить испытания и повысить точность определения механических свойств горных пород доступным и производительным методом нагружения образцов, в том числе неправильной формы, сферическими инденторами.

Таблица 2 - Сравнение средних значений параметров паспорта остаточной прочности горных пород по данным испытаний на раскалывание сферическими инденторами и при объёмном сжатии

| Горная порода | C _{R1} , МПа | | Отклонение ΔC _{R1} , % | φ _{R1} , град | | Отклонение Δφ _{R1} , % | C _{R2} , МПа | | Отклонение ΔC _{R2} , % | φ _{R2} , град | | Отклонение Δφ _{R2} , % |
|---------------|-----------------------|----------------|---------------------------------|------------------------|----------------|---------------------------------|-----------------------|----------------|---------------------------------|------------------------|----------------|---------------------------------|
| | предлагаемый способ | базовый способ | | предлагаемый способ | базовый способ | | предлагаемый способ | базовый способ | | предлагаемый способ | базовый способ | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| мрамор-I | 0,72 | 0,65 | +10,8 | 54,4 | 52,5 | +3,6 | 4,03 | 4,98 | -19,1 | 35,1 | 35,4 | -0,8 |
| мрамор-II | 0,67 | 0,59 | +13,6 | 63,9 | 62,9 | +1,6 | 5,75 | 6,79 | -15,3 | 40,6 | 40,3 | +0,7 |
| песчаник | 0,99 | 1,10 | -10,0 | 63,4 | 60,7 | +4,4 | 8,23 | 9,56 | -13,9 | 40,3 | 44,9 | -10,2 |
| алевролит | 1,31 | 1,50 | -12,7 | 54,3 | 50,8 | +6,9 | 7,76 | 7,50 | +2,1 | 35,4 | 36,2 | -2,2 |
| хромит | 0,57 | 0,72 | -20,8 | 60,8 | 58,2 | +4,5 | 4,34 | 5,25 | -17,3 | 38,6 | 36,9 | +4,6 |
| | среднее значение | | 13,6 | среднее значение | | 4,2 | среднее значение | | 13,5 | среднее значение | | 3,7 |

(57) Формула изобретения

Способ определения остаточной прочности горных пород, включающий проведение испытаний монолитных образцов на растяжение и сжатие при различных видах напряженного состояния, определение показателей прочности на отрыв и на сдвиг и максимального напряжения, соответствующего равенству максимальной и остаточной прочности при высоких давлениях; определение в качестве механических свойств показателей остаточной прочности при различных видах напряженного состояния в зависимости от остаточной прочности при одноосном сжатии с учетом соотношения прочности монолитной породы на сдвиг и отрыв и напряжения, соответствующего равенству максимальной и остаточной прочности при высоких давлениях, отличающийся тем, что производят сжатие монолитного образца двумя встречно направленными сферическими инденторами до его раскалывания, определяют среднее растягивающее напряжение σ_t разрыва образца и среднее сжимающее напряжение, соответствующее предельному сопротивлению сдвигу вдоль поверхности большей из зон разрушенной породы вблизи инденторов, а в качестве механических свойств определяют параметры билинейной аппроксимации зависимости остаточной прочности от величины минимального главного напряжения, предел остаточной прочности при одноосном сжатии, остаточное сцепление при объёмном нагружении и углы внутреннего трения, соответствующие различным видам напряженного состояния, по формуле

$$\sigma_R = \sigma_t,$$

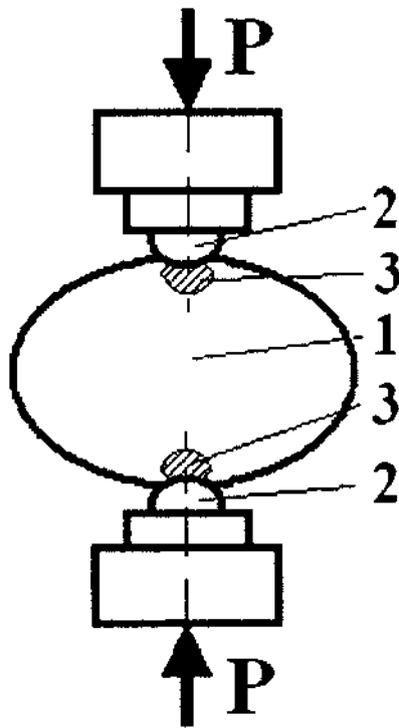
где

предел остаточной прочности σ_R,

среднее растягивающее напряжение σ_t.

1

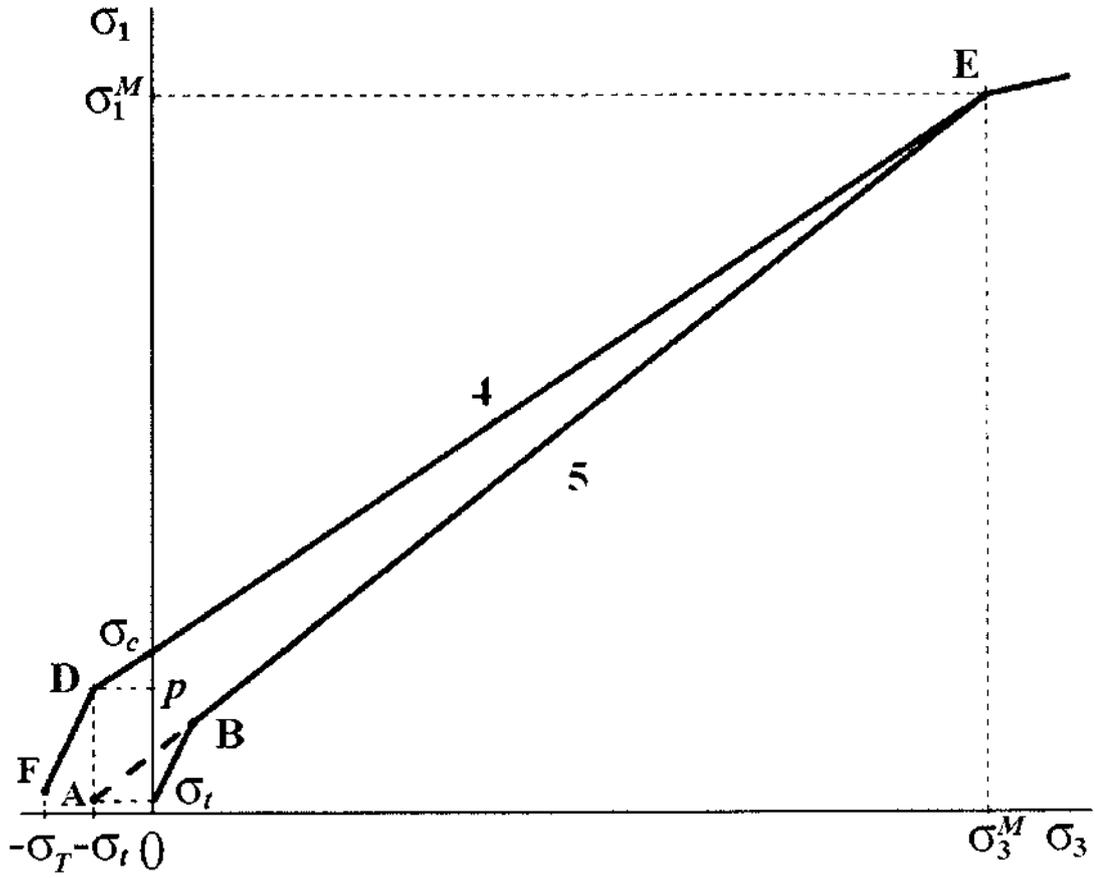
СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОЙ
ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД



Фиг. 1

2

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОЙ
ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД



Фиг. 2