

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2848529

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛА ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ ГОРНЫХ ПОРОД

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II" (RU)*

Авторы: *Петраков Дмитрий Геннадьевич (RU), Карманский Даниил Александрович (RU), Коршунов Владимир Алексеевич (RU), Шоков Анатолий Николаевич (RU)*

Заявка № 2025108896

Приоритет изобретения 10 апреля 2025 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 21 октября 2025 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 10 апреля 2045 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

E21C 39/00 (2025.08); G01N 3/08 (2025.08); G01N 33/24 (2025.08)

(21)(22) Заявка: 2025108896, 10.04.2025

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.04.2025Дата регистрации:
21.10.2025

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.04.2025

(45) Опубликовано: 21.10.2025 Бюл. № 30

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
ФГБОУ ВО "СПГУ", Патентно-лицензионный
отдел

(72) Автор(ы):

Петраков Дмитрий Геннадьевич (RU),
Карманский Даниил Александрович (RU),
Коршунов Владимир Алексеевич (RU),
Шоков Анатолий Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет императрицы Екатерины II"
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2521116 C1, 27.06.2014. SU 968165
A1, 23.10.1982. RU 2435955 C1, 10.12.2011. RU
2684536 C1, 09.04.2019. CN 101819111 A,
01.09.2010. CN 116046578 A, 02.05.2023.

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛА ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ ГОРНЫХ ПОРОД

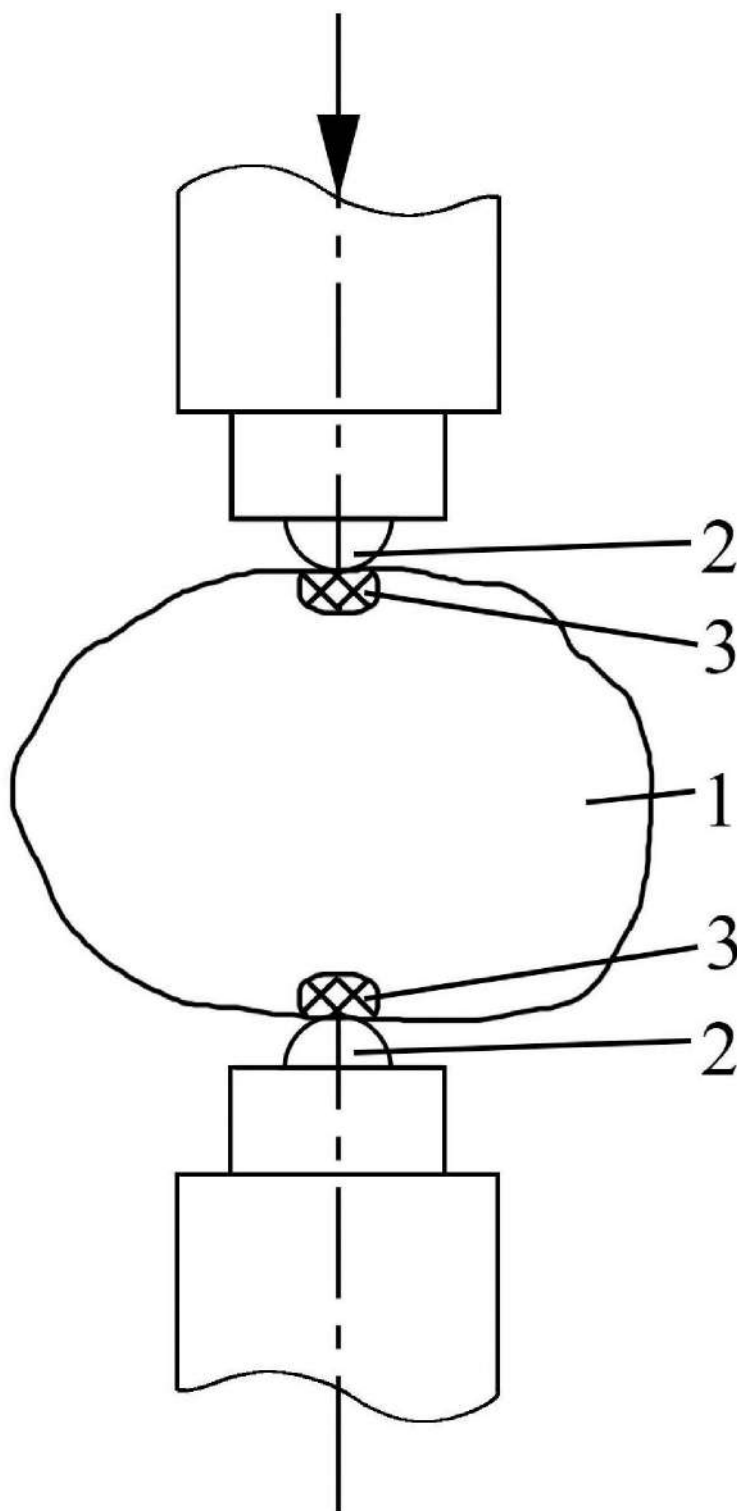
(57) Реферат:

Изобретение относится к механическим испытаниям скальных и полускальных горных пород, имеющих хрупкий характер разрушения, и может быть использовано при инженерно-геологических изысканиях. Изобретение представляет способ определения предела длительной прочности при одноосном сжатии горных пород, включающий приложение к образцу возрастающей сжимающей нагрузки, измерение нагрузки и деформации, по изменению которых судят о пределе длительной прочности: устанавливают монолитный образец в нагрузочном устройстве между двумя встречно направленными сферическими инденторами и равномерно с постоянной скоростью нагружения не более 20 Н/с до разрушения образца разрывом по поверхности трещины, которая проходит через ось нагружения и фиксируют разрушающую силу P ; затем из обломков собирают составной образец, при этом обеспечивают плотное

прилегание обломков вдоль поверхности трещины отрыва, на поверхности которой, измеряют во взаимно перпендикулярных направлениях параметры остаточной деформации, которая соответствует зонам интенсивной трещиноватости под каждым из сферических инденторов в момент разрушения образца; определяют фактическую площадь поверхностей зон интенсивной трещиноватости породы под обоими сферическими инденторами; выбирают большее из значений площади поверхностей зон интенсивной трещиноватости, далее по значениям разрушающей силы P и площади поверхности зоны F определяют среднее сжимающее напряжение вдоль поверхности большей из зон интенсивной трещиноватости породы под сферическими инденторами. В качестве предела длительной прочности при одноосном сжатии $\sigma_{\text{длит}}$ принимают среднее

сжимающее напряжение вдоль поверхности большей из зон интенсивной трещиноватости породы под сферическими инденторами, которое рассчитывают по формуле. Выбирают большее из значений площади поверхностей зон интенсивной трещиноватости, далее по значениям разрушающей силы P и площади поверхности зоны F определяют среднее сжимающее напряжение вдоль поверхности большей из зон интенсивной трещиноватости породы под

сферическими инденторами. В качестве предела длительной прочности при одноосном сжатии $\sigma_{\text{длит}}$ принимают среднее сжимающее напряжение вдоль поверхности большей из зон интенсивной трещиноватости породы под сферическими инденторами, которое рассчитывают по формуле. Техническим результатом является повышение точности определения предела длительной прочности при одноосном сжатии горных пород. 1 ил., 4 табл., 3 пр.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
E21C 39/00 (2006.01)
G01N 3/08 (2006.01)
G01N 33/24 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC

E21C 39/00 (2025.08); G01N 3/08 (2025.08); G01N 33/24 (2025.08)(21)(22) Application: **2025108896, 10.04.2025**(24) Effective date for property rights:
10.04.2025Registration date:
21.10.2025

Priority:

(22) Date of filing: **10.04.2025**(45) Date of publication: **21.10.2025** Bull. № 30

Mail address:

**199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, FGBOU
VO "SPGU", Patentno-litsenzionnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Petrakov Dmitrii Gennadevich (RU),
Karmanskii Daniil Aleksandrovich (RU),
Korshunov Vladimir Alekseevich (RU),
Shokov Anatolii Nikolaevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi
universitet imperatritsy Ekateriny II» (RU)****(54) METHOD FOR DETERMINING THE LONG-TERM STRENGTH LIMIT OF ROCK UNDER UNIAXIAL COMPRESSION**

(57) Abstract:

FIELD: geology.

SUBSTANCE: invention relates to mechanical testing of rock and semi-rock formations with brittle fracture behaviour and can be used in engineering geological surveys. The invention is a way to figure out the long-term strength limit under uniaxial compression of rocks, which includes applying increasing compressive stress to a sample, measuring the stress and deformation, and using the changes to figure out the long-term strength limit: a monolithic sample is placed in a loading device between two oppositely directed spherical indenters and uniformly loaded at a constant rate of no more than 20 N/s until the sample fails by rupture along the surface of a crack that passes through the loading axis, and the destructive force P is recorded; then assemble a composite sample from the fragments, ensuring that the fragments fit tightly along the surface of the tear crack, on the surface of which the parameters of residual deformation are measured in two mutually perpendicular directions, which corresponds to the zones of intense fracturing under each of the spherical indenters at the moment of sample failure; determine the actual area of the surfaces

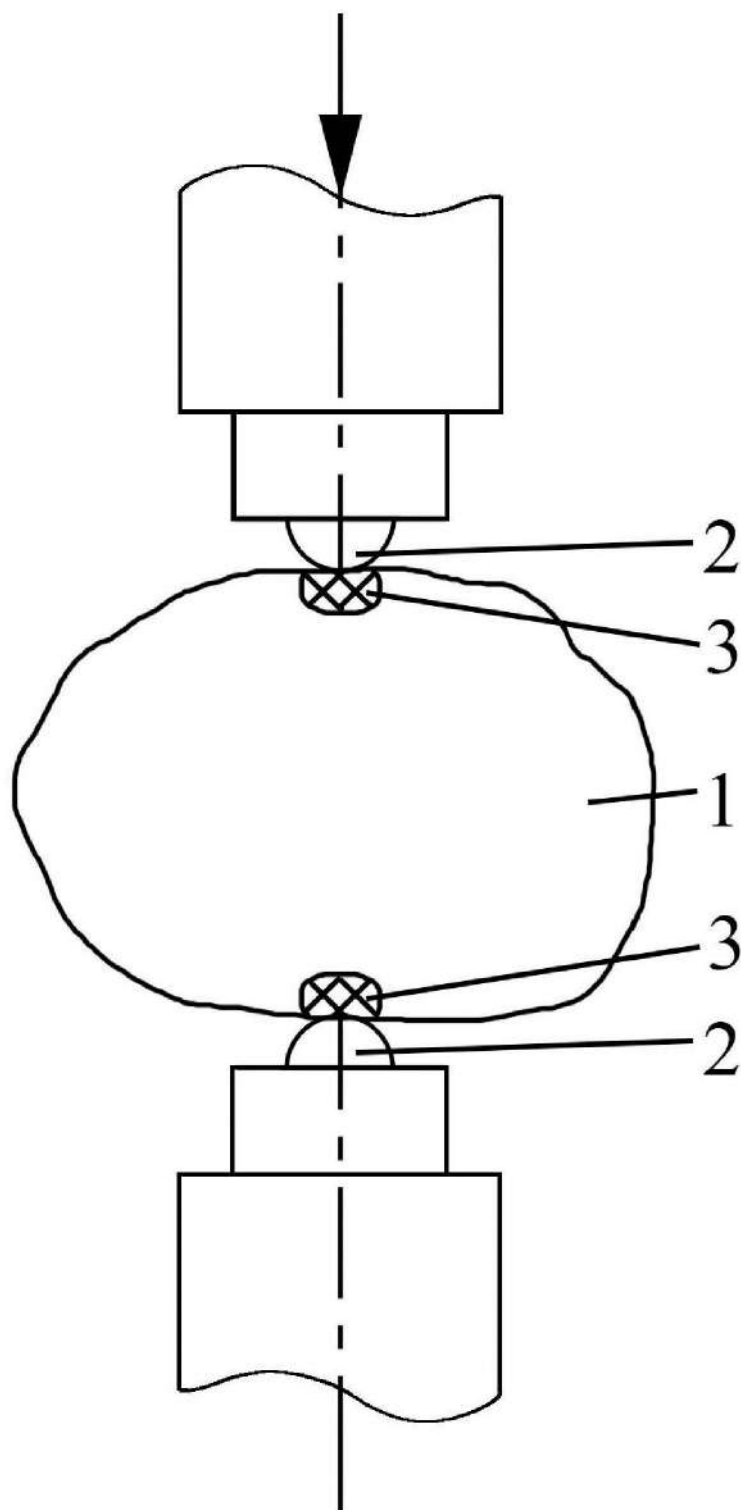
of the zones of intense rock fracturing under both spherical indenters; select the larger of the values of the surface areas of the zones of intense fracturing, then determine the average compressive stress along the surface of the larger of the zones of intense rock fracturing under the spherical indenters based on the values of the breaking force P and the surface area of the zone F . The average compressive stress along the surface of the larger of the zones of intense rock fracturing under the spherical indenters, calculated using the formula, is taken as the limit of long-term strength in uniaxial compression σ_{long} . The larger of the values of the surface areas of the zones of intense rock fracturing is selected, then the average compressive stress along the surface of the larger of the zones of intense rock fracturing under spherical indenters is determined based on the values of the destructive force P and the surface area of the zone F . The average compressive stress along the surface of the larger of the zones of intense rock fracturing under spherical indenters, calculated using the formula, is taken as the limit of long-term strength in uniaxial compression

σ_{long}

EFFECT: increased accuracy in determining the

uniaxial compressive strength limit of rocks.

1 cl, 1 dwg, 4 tbl, 3 ex



Фиг. 1

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

Известен способ определения предела длительной прочности глинистых пород по данным испытаний на ползучесть при одноосном сжатии образцов цилиндрической формы (ГОСТ 26447-85 «Породы горные. Метод определения механических свойств глинистых пород при одноосном сжатии, Приложение 1 Рекомендуемое «Дополнительные виды испытаний глинистых пород при одноосном сжатии»: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26 февраля 1985 г. № 379; дата введения 1986-07-01 / Разработан Министерством геологии СССР. - М.: Издательство стандартов, 1985. - 20 с), заключающийся в том, что проводят испытания ряда образцов-близнецов фиксированными сжимающими напряжениями, составляющими определенную долю 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5 от величины условно мгновенной прочности, измеряют во времени продольные деформации и принимают за величину предела длительной прочности такое фиксированное напряжение, при котором в течение суток относительная продольная деформация практически не изменяется и увеличивается менее чем на 0,1 %.

Недостатком способа является невысокая точность определения длительной прочности, обусловленная отклонением задаваемых значений фиксированных сжимающих напряжений от фактических значений предела длительной прочности. Другим недостатком способа является длительность процесса испытаний.

Известен способ определения показателей длительной прочности горных пород (авторское свидетельство СССР SU 1479846 A1, 15.05.1989), заключающийся в том, что образец правильной формы нагружают постоянным боковым давлением и ступенчато увеличивающимся осевым давлением при постоянной скорости его осевой деформации до момента начала развития в образце деформации ползучести, и принимают парные значения осевого и бокового давления, соответствующие максимальной объемной деформации уплотнения образца при достигнутых значениях бокового давления, за предельные длительные значения главных напряжений.

Недостатком способа является необходимость проведения дополнительных испытаний для экспериментального установления оптимальной скорости осевой деформации образцов, при которой достигается минимальное отклонение результатов испытаний от результатов длительных испытаний.

Известен способ определения длительной прочности горных пород (патент РФ RU 2339816 C1, 27.11.2008), заключающийся в том, что образец правильной формы ступенчато нагружают в камере всестороннего сжатия при постоянном боковом напряжении и измеряют во времени затухание акустической эмиссии, при этом на каждой ступени нагружения образец выдерживают до момента стабилизации параметров потока импульсов акустической эмиссии и определяют время интервала затухания акустической эмиссии, по которым судят о начале интенсивного трещинообразования.

Недостатком способа является сложность, обусловленная необходимостью обеспечения испытательным и измерительным оборудованием для проведения объемных испытаний в камере всестороннего сжатия в сочетании с регистрацией параметров акустической эмиссии.

Известен ускоренный способ реологических испытаний соляных пород (Асанов В. А., Паньков И. Л. Изучение особенностей деформирования соляных пород при длительном нагружении. Горный информационно-аналитический бюллетень, № 1, 2010, с. 105-109), заключающийся в том, что образец правильной формы нагружают в ползуче-

релаксационном режиме деформирования, при котором образец нагружают до возникновения деформации ползучести, далее поддерживают постоянную суммарную деформацию образца и пресса до относительной стабилизации процесса релаксации, наступающей через десять-двадцать часов после начала эксперимента; повторно
 5 нагружают образец до достижения предела мгновенной прочности и доводят образец до разрушения на запредельной стадии деформирования, после чего за величину предела длительной прочности принимают максимум диаграммы длительного нагружения образца, построенной графически пропорциональным сжатием экспериментальной условно-мгновенной кривой деформирования.

10 Недостатком способа является невысокая точность определения длительной прочности, обусловленная частичной релаксацией напряжений при испытаниях и использованием эмпирических корректирующих коэффициентов.

Известен способ определения предела длительной прочности (авторское
 15 свидетельство СССР SU 1113704 A1, 15.09.1984), заключающийся в том, что одинаковые образцы нагружают различными по величине сжимающими усилиями, затем образцы разгружают и определяют их трещиноватость, по которой судят о пределе длительной прочности при сжатии; при этом трещиноватость породы определяют после разгрузки образцов по массе инертной по отношению к породе жидкости, заполнившей трещины при насыщении под вакуумом, а предел длительной прочности определяют по величине
 20 усилия нагружения образца, вес которого после насыщения превышает вес образцов, которые были нагружены меньшими усилиями.

Недостатком способа являются невысокая точность вследствие регистрации при
 25 определении трещиноватости образцов по массе жидкости, заполнившей трещины при насыщении, только микротрещин, связанных с поверхностью образца, и невозможности регистрации замкнутых, полностью изолированных дефектов.

Известен способ определения предела длительной прочности горных пород и
 эквивалентных материалов по данным испытаний на одноосное сжатие образцов
 (авторское свидетельство СССР SU 968165 A1, 23.10.1982), принятый за прототип,
 заключающийся в том, что к образцу прикладывают сжимающую нагрузку
 30 возрастающими ступенями, непрерывно измеряют деформации, при испытаниях строят графическую зависимость между нагрузкой и деформацией; осуществляют измерение деформации до момента увеличения объема образца и принимают нагрузку, при которой объем образца начинает увеличиваться, равной пределу длительной прочности испытываемого образца.

35 Недостатком способа является его невысокая точность, обусловленная невысокой точностью непрерывного измерения продольной и поперечной деформации, неравномерной по всему объему образца в условиях сложного неоднородного напряженного состояния при испытании на одноосное сжатие. Другим недостатком способа является невысокая точность применения способа для горных пород, в
 40 частности, для песчано-глинистых пород, для которых при испытаниях характерен постепенный плавный переход от упругих деформаций к деформациям ползучести, затрудняющий определение момента увеличения объема образца по графической зависимости между нагрузкой и объемной деформацией.

Техническим результатом является повышение точности определения предела
 45 длительной прочности при одноосном сжатии горных пород.

Технический результат достигается тем, что устанавливают монолитный образец в
 нагрузочном устройстве между двумя встречно направленными сферическими
 инденторами, и равномерно с постоянной скоростью нагружения не более 20 Н/с до

разрушения образца разрывом по поверхности трещины, которая проходит через ось нагружения и фиксируют разрушающую силу P , затем из обломков собирают составной образец, при этом обеспечивают плотное прилегание обломков вдоль поверхности трещины отрыва, на поверхности которой, измеряют во взаимно перпендикулярных направлениях параметры остаточной деформации, которая соответствует зонам интенсивной трещиноватости под каждым из сферических инденторов в момент разрушения образца, далее определяют фактическую площадь поверхностей зон интенсивной трещиноватости породы под обоими сферическими инденторами F_1 и F_2 , соответствующих моменту разрушения образца, по формуле:

$$F = \pi DL, \text{ где}$$

D - диаметр остаточного отпечатка от сферического индентора;

L - длина лунки скола вдоль поверхности трещины отрыва,

выбирают большее из значений площади поверхностей зон интенсивной трещиноватости, далее по значениям разрушающей силы P и площади поверхности зоны F определяют среднее сжимающее напряжение вдоль поверхности большей из зон интенсивной трещиноватости породы под сферическими инденторами, в качестве предела длительной прочности при одноосном сжатии $\sigma_{\text{длит}}$ принимают среднее сжимающее напряжение вдоль поверхности большей из зон интенсивной трещиноватости породы под сферическими инденторами, которое рассчитывают по формуле

$$\sigma_{\text{длит}} = \frac{P}{F}, \text{ где}$$

$\sigma_{\text{длит}}$ - предел длительной прочности при одноосном сжатии;

P - разрушающая сила;

F - площадь поверхности большей из зон интенсивной трещиноватости

Способ поясняется следующей фигурой.

Фиг. 1 - схема нагружения образца сферическими инденторами, где:

1 - образец;

2 - сферические инденторы;

3 - зоны интенсивной трещиноватости породы.

Способ осуществляют следующим образом.

Устанавливают монолитный образец 1 (фиг. 1) в виде куска породы произвольной, в том числе неправильной формы, с минимальным размером не менее 20 мм и максимальным размером не более 100 мм, в нагрузочном устройстве между двумя встречно направленными сферическими инденторами 2.

Далее нагружают образец до разрушения равномерно с постоянной скоростью нагружения не более 20 Н/с. Задаваемый интервал скорости нагружения образца выбирают, исходя из соображений приближения процесса развития микротрещин в образце к соответствующим длительным процессам релаксации напряжений в скальных и полускальных горных породах. По мере нагружения в образце происходит развитие микротрещин. При этом зоны интенсивной трещиноватости породы 3 в форме усеченных эллипсоидов концентрируются непосредственно под сферическими инденторами. Вследствие неоднородности горной породы, более интенсивно развивается зона трещиноватости в слабейшей по прочности области образца. При достижении предельного уровня растягивающих напряжений в большей из зон происходит хрупкое разрушение образца разрывом по поверхности трещины, проходящей через ось нагружения.

Фиксируют разрушающую силу P .

Далее из обломков разрушенного образца собирают составной образец, обеспечивая при этом плотное прилегание обломков вдоль поверхности трещины отрыва.

Далее в собранном образце на его поверхности во взаимно перпендикулярных направлениях измеряют параметры остаточной деформации, соответствующие зонам интенсивной трещиноватости под каждым из сферических инденторов в момент разрушения образца - диаметр остаточных отпечатков от сферических инденторов D и длину лунок скола вдоль поверхности трещины отрыва L .

Далее определяют фактическую площадь поверхностей зон интенсивной трещиноватости породы под обоими сферическими инденторами F_1 и F_2 ,

соответствующих моменту разрушения образца, по формуле

$$F = \pi DL,$$

где D - диаметр остаточного отпечатка от сферического индентора;

L - длина лунки скола вдоль поверхности трещины отрыва.

Выбирают большее из значений площади поверхностей зон интенсивной трещиноватости F_1 и F_2 - F .

Затем по значениям разрушающей силы P и площади поверхности зоны F определяют среднее сжимающее напряжение вдоль поверхности большей из зон интенсивной трещиноватости породы под сферическими инденторами как частное от деления разрушающей силы P на площадь поверхности F .

В качестве предела длительной прочности при одноосном сжатии $\sigma_{\text{длит}}$ принимают среднее сжимающее напряжение вдоль поверхности большей из зон интенсивной трещиноватости породы под сферическими инденторами, которое рассчитывают по формуле

$$\sigma_{\text{длит}} = \frac{P}{F},$$

где $\sigma_{\text{длит}}$ - предел длительной прочности при одноосном сжатии;

P - разрушающая сила;

F - площадь поверхности большей из зон интенсивной трещиноватости.

Для обеспечения надежности определения предела длительной прочности при одноосном сжатии горной породы предлагаемым способом проводят испытания серии образцов (6-10 штук), по результатам которых определяют среднее арифметическое значение предела длительной прочности при одноосном сжатии горной породы.

Полученное среднее арифметическое значение предела длительной прочности при одноосном сжатии допустимо рассматривать как оценочный показатель длительной прочности горной породы при расчетах устойчивости бортов карьеров длительного срока службы, а также использовать для определения расчетного сопротивления породного массива сжатию с учетом коэффициента длительной прочности пород, обладающих существенной ползучестью, при определении параметров крепи подземных выработок.

Способ поясняется следующими примерами.

Пример 1. Для проведения экспериментальных исследований была отобрана однородная по литологическому составу группа из 9 образцов алевролита в виде необработанных кусков неправильной формы с ожидаемой площадью поверхностей разрыва от 6 до 20 см², характеризующаяся средним значением предела прочности при одноосном сжатии, равным 7,66 МПа и коэффициентом вариации 28 %, которые были установлены по результатам стандартных кратковременных испытаний на одноосное

сжатие цилиндрических образцов.

Образцы были испытаны нагружением встречно направленными стальными сферическими инденторами диаметром 15 мм с твердостью по Роквеллу *HRC* 60-65 единиц со скоростью нагружения 10 Н/с в переносной испытательной машине вертикального нагружения ИСМ-190 (Россия), рассчитанной на рабочую нагрузку до 25 кН, укомплектованной динамометром образцовым ДОСМ-3-3 и двумя индикаторами часового типа ИЧ-10, до разрушения разрывом по поверхности, проходящей через ось нагружения. Затем из обломков разрушенных образцов собирали составные образцы, обеспечивая при этом плотное прилегание обломков вдоль поверхностей трещин отрыва и измеряли на поверхности собранных образцов параметры остаточной деформации, соответствующие зонам интенсивной трещиноватости под каждым из сферических инденторов в момент разрушения образца - диаметр остаточных отпечатков от сферических инденторов D и длину лунок скола вдоль поверхностей трещины отрыва L . При этом, учитывая небольшие размеры зон, для их измерения применяли увеличенные фотографии поверхностей образцов совместно с штангенциркулем или масштабной линейкой. Далее вычисляли площадь поверхностей зон интенсивной трещиноватости породы под обоими сферическими инденторами F_1 и F_2 , из которых выбирали большие по размерам, а затем по предлагаемой формуле, как частное от деления разрушающей силы P на площадь поверхности F , вычисляли среднее сжимающее напряжение вдоль поверхности большей из зон трещиноватости породы под сферическими инденторами, которое принимали в качестве предела длительной прочности при одноосном сжатии $\sigma_{\text{длит}}$ для каждого испытанного образца.

Продолжительность одного испытания образца составила от 2 до 4 минут.

Таблица 1 - Значения предела длительной прочности при одноосном сжатии алевролита

Номер образца	Разрушающая сила R, кН	Параметры зон интенсивной трещиноватости							Предел длительной прочности при одноосном сжатии $\sigma_{\text{длит}}$, МПа	
		Под верхним индикатором			Под нижним индикатором			Большая из зон		
		D ₁ , мм	L ₁ , мм	F ₁ , см ²	D ₂ , мм	L ₂ , мм	F ₂ , см ²		F, см ²	Частное значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,50	3,5	7,3	0,80	3,3	7,0	0,66	0,80	6,23	5,15
2	0,85	5,5	8,0	1,38	5,1	7,2	1,15	1,38	6,15	
3	0,69	3,8	7,5	0,90	4,2	8,2	1,08	1,08	6,38	
4	0,33	4,5	7,0	0,99	4,0	6,5	0,82	0,99	3,33	
5	1,05	4,8	8,5	1,28	5,1	8,8	1,41	1,41	7,45	
6	0,30	2,5	5,7	0,45	3,0	6,0	0,57	0,57	5,31	
7	0,33	4,0	6,0	0,75	3,5	5,4	0,59	0,75	4,38	
8	0,45	4,5	7,0	0,99	4,8	7,2	1,09	1,09	4,14	
9	0,42	5,6	7,9	1,39	5,2	7,5	1,23	1,39	3,02	

В результате испытаний было установлено, что среднее значение предела длительной прочности при одноосном сжатии алевролита составило 5,15 МПа при коэффициенте вариации 29 % и соответствовало коэффициенту длительной прочности, равному 0,77. При этом коэффициент вариации значений предела длительной прочности при одноосном сжатии алевролита соответствовал вариации значений прочности, определенных по результатам кратковременных испытаний на одноосное сжатие цилиндрических образцов - 29 и 28 %, соответственно (таблица 1).

Пример 2. Для проведения аналогичных приведенным в примере 1 экспериментальных исследований была отобрана однородная по литологическому составу группа из 6

образцов песчаника в виде цилиндрических дисков с ожидаемой площадью поверхностей разрыва от 7 до 20 см², характеризуемая средним значением предела прочности при одноосном сжатии, равным 5,98 МПа и коэффициентом вариации 20 %. Образцы были испытаны нагружением сферическими инденторами со скоростью нагружения 10 Н/с. Продолжительность одного испытания каждого из образцов этой группы составила от 2 до 3 минут.

Таблица 2 - Значения предела длительной прочности при одноосном сжатии песчаника

Номер образца	Разрушающая сила R, кН	Параметры зон интенсивной трещиноватости							Предел длительной прочности при одноосном сжатии $\sigma_{\text{длит}}$, МПа	
		Под верхним индикатором			Под нижним индикатором		Большая из зон			
		D_1 , мм	L_1 , мм	F_1 , см ²	D_2 , мм	L_2 , мм	F_2 , см ²	F , см ²	Частное значение	Среднее значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,47	6,4	6,4	1,29	5,8	6,4	1,17	1,29	3,65	4,26
2	0,39	4,0	7,5	0,94	4,8	8	1,21	1,21	3,23	
3	0,53	4,8	8,5	1,28	4,5	7,5	1,06	1,28	4,13	
4	0,53	4,2	8,8	1,16	4,0	7,2	0,90	1,16	4,56	
5	1,54	9,0	9,5	2,69	8,8	10,2	2,82	2,82	5,46	
6	0,89	7	9	1,98	6,6	8,4	1,74	1,98	4,50	

В результате испытаний было установлено, что среднее значение предела длительной прочности при одноосном сжатии песчаника составило 4,26 МПа при коэффициенте вариации 18 % и соответствовало коэффициенту длительной прочности, равному 0,71. При этом коэффициент вариации значений предела длительной прочности при одноосном сжатии песчаника соответствовал вариации значений прочности, определенных по результатам кратковременных испытаний на одноосное сжатие цилиндрических образцов - 18 и 20 %, соответственно (таблица 2).

Пример 3. Для проведения аналогичных приведенным в примерах 1 и 2 экспериментальных исследований была отобрана однородная по литологическому составу группа из 7 образцов угля в виде кусков неправильной формы с ожидаемой площадью поверхностей разрыва от 7 до 30 см², характеризуемая средним значением предела прочности при одноосном сжатии, равным 2,52 МПа и коэффициентом вариации 35 %. Образцы были испытаны нагружением сферическими инденторами со скоростью нагружения 10 Н/с. Продолжительность одного испытания образца составила от 1 до 2 минут.

Таблица 3 - Значения предела длительной прочности при одноосном сжатии угля

Номер образца	Разрушающая сила R, кН	Параметры зон интенсивной трещиноватости							Предел длительной прочности при одноосном сжатии $\sigma_{\text{длит}}$, МПа	
		Под верхним индикатором			Под нижним индикатором		Большая из зон			
		D_1 , мм	L_1 , мм	F_1 , см ²	D_2 , мм	L_2 , мм	F_2 , см ²	F , см ²	Частное значение	Среднее значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,18	3,0	5,8	0,55	3,2	6,8	0,68	0,80	2,63	1,94
2	0,20	6,0	9,0	1,70	4,1	7,0	0,90	1,38	1,18	
3	0,51	6,0	12,9	2,43	5,5	10,0	1,73	1,08	2,08	
4	0,24	6,5	11,0	2,25	6,0	8,8	1,66	0,99	1,07	
5	0,48	5	9	1,41	5,4	9,6	1,63	1,41	2,95	
6	0,21	5,0	7,2	1,13	4,0	6,2	0,78	1,13	1,81	
7	0,25	5,0	8,5	1,34	4,5	7,5	1,06	1,34	1,87	

В результате испытаний было установлено, что среднее значение предела длительной прочности при одноосном сжатии угля составило 1,94 МПа при коэффициенте вариации

36 % и соответствовало коэффициенту длительной прочности, равному 0,77. При этом коэффициент вариации значений предела длительной прочности при одноосном сжатии угля соответствовал вариации значений прочности, определенных по результатам кратковременных испытаний на одноосное сжатие цилиндрических образцов - 36 и 35 %, соответственно (таблица 3).

Для экспериментального обоснования предлагаемого способа выполнено сопоставление данных определения предела длительной прочности при одноосном сжатии образцов 12 групп горных пород предлагаемым способом и способом-прототипом. Отобранные для испытаний группы пород отличались по литологическому составу, прочности и степени хрупкости.

Испытания образцов пород сосредоточенной нагрузкой соосных встречно направленных сферических инденторов по определению длительной прочности пород в соответствии с предлагаемым способом были проведены в нагрузочном устройстве БУ-11 (Россия), установленном в электромеханической универсальной испытательной машине *Insight 200* (США, *MTS*), рассчитанной на создание сжимающего усилия до 200кН. Приложение нагрузок к образцам осуществляли с постоянной скоростью нагружения не более 20 Н/с через стальные инденторы диаметром 15 мм с твердостью по Роквеллу *HRC* 60-65 единиц. Испытаниям подвергали образцы с ожидаемой площадью поверхности разрыва от 10 до 20 см².

Испытания по определению длительной прочности пород в соответствии со способом-прототипом были проведены с использованием сервогидравлической системы *MTS* 816 1500 кН (США), рассчитанной на создание сжимающего усилия до 1500 кН и оснащенной программным обеспечением для проведения испытаний на одноосное сжатие. Испытанию подвергали образцы цилиндрической формы с отношением высоты к диаметру, равным 2, и диаметром 40-45 мм.

Средние арифметические значения пределов длительной прочности при одноосном сжатии горных пород, определенные сравниваемыми способами, представлены в Таблице 4.

Таблица 4 - Средние значения предела длительной прочности при одноосном сжатии горных пород

Литологический состав горной породы	Среднее значение предела длительной прочности при одноосном сжатии, МПа		Отклонение результатов, %
	Предлагаемый способ	Способ-прототип	
1	2	3	4
Алеврит	19,02	18,28	4,0
Ангидрит	24,64	23,74	3,8
Аргиллит	6,47	6,18	4,5
Доломит	53,83	52,01	3,5
Доломит глинистый	126,28	124,80	1,2
Каменная соль	19,61	17,62	11,3
Каменная соль	16,82	16,17	4,0
Кембрийская глина	1,90	1,79	6,3
Мел	8,70	8,25	5,4
Мрамор	94,07	91,38	2,9
Песчаник	46,37	46,04	0,7
Песчаник	3,54	3,35	5,6

В результате сопоставления значений показателей длительной прочности исследованных горных пород установлено, что отклонение данных определения длительной прочности сравниваемыми способами составляет, в среднем, около 5%,

что свидетельствует об их приемлемой сходимости и о допустимости применения предлагаемого способа для оценки длительной прочности пород, обладающих существенной ползучестью.

Применение предлагаемого способа позволяет повысить точность определения предела длительной прочности при одноосном сжатии горных пород, благодаря учету при испытаниях особенностей напряженно-деформированного состояния образца и доступности измерения остаточной деформации зон трещиноватой породы, сконцентрированных непосредственно под сферическими инденторами. Предлагаемый способ обладает широким диапазоном применения от слабых песчано-глинистых до крепких хрупких горных пород. Способ доступен к применению в полевых условиях на образцах произвольной, в том числе неправильной формы.

(57) Формула изобретения

Способ определения предела длительной прочности при одноосном сжатии горных пород, включающий приложение к образцу возрастающей сжимающей нагрузки, измерение нагрузки и деформации, по изменению которых судят о пределе длительной прочности, отличающийся тем, что устанавливают монолитный образец в нагрузочном устройстве между двумя встречно направленными сферическими инденторами и равномерно с постоянной скоростью нагружения не более 20 Н/с до разрушения образца разрывом по поверхности трещины, которая проходит через ось нагружения, фиксируют разрушающую силу P , затем из обломков собирают составной образец, при этом обеспечивают плотное прилегание обломков вдоль поверхности трещины отрыва, на поверхности которой измеряют во взаимно перпендикулярных направлениях параметры остаточной деформации, которая соответствует зонам интенсивной трещиноватости под каждым из сферических инденторов в момент разрушения образца, далее определяют фактическую площадь поверхностей зон интенсивной трещиноватости породы под обоими сферическими инденторами F_1 и F_2 , соответствующими моменту разрушения образца, по формуле

$$F = \pi DL, \text{ см}^2,$$

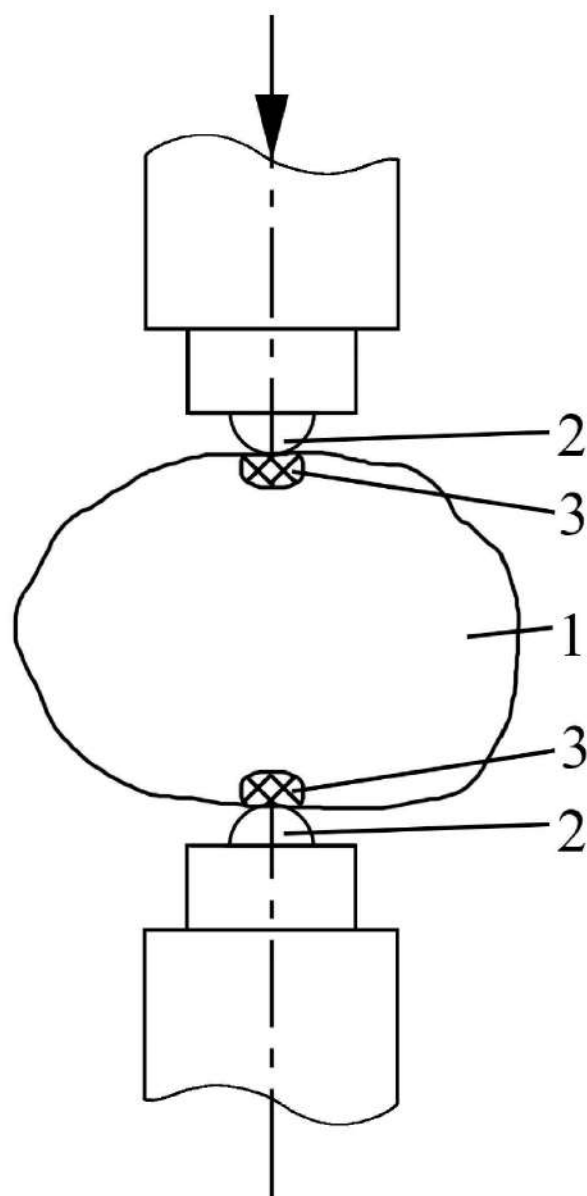
где D - диаметр остаточного отпечатка от сферического индентора, см;
 L - длина лунки скола вдоль поверхности трещины отрыва, см,
 выбирают большее из значений площади поверхностей зон интенсивной трещиноватости, далее по значениям разрушающей силы P и площади поверхности зоны F определяют среднее сжимающее напряжение вдоль поверхности большей из зон интенсивной трещиноватости породы под сферическими инденторами, в качестве предела длительной прочности при одноосном сжатии $\sigma_{\text{длит}}$ принимают среднее сжимающее напряжение вдоль поверхности большей из зон интенсивной трещиноватости породы под сферическими инденторами, которое рассчитывают по формуле

$$\sigma_{\text{длит}} = \frac{P}{F}, \text{ Мпа},$$

где $\sigma_{\text{длит}}$ - предел длительной прочности при одноосном сжатии, Па;

P - разрушающая сила, кН;

F - площадь поверхности большей из зон интенсивной трещиноватости, см².



Фиг. 1