

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2447284

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА ГОРНЫХ ПОРОД

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет)" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2010116923

Приоритет изобретения 28 апреля 2010 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 10 апреля 2012 г.

Срок действия патента истекает 28 апреля 2030 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Симонов", is written over a faint, circular embossed seal on the left side of the page. The seal has a sunburst or gear-like outer edge and a central emblem.

⁽¹²⁾ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21), (22) Заявка: **2010116923/03, 28.04.2010**(24) Дата начала отсчета срока действия патента: **28.04.2010**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **28.04.2010**(43) Дата публикации заявки: **10.11.2011**(45) Опубликовано: **10.04.2012**(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **МАТВЕЕВ Б.В.**
**Руководство по механическим
испытаниям горных пород методом
соосных пуансонов. - ВНИМИ, Л.: 1960,
с.80. SU 1176209 A1, 30.08.1985. RU
2350922 C1, 27.03.2009. RU 2361188 C1,
10.07.2009. CN 101063646 A, 31.10.2007.**

Адрес для переписки:

**199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия,
2, СПГИ (ТУ), отдел интеллектуальной
собственности и трансфера технологий,
пат.пов. А.П.Яковлеву, рег. № 314**

(72) Автор(ы):

**Коршунов Владимир Алексеевич (RU),
Каргашов Юрий Михайлович (RU),
Синякин Кирилл Геннадьевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования "Санкт-Петербургский
государственный горный институт
имени Г.В. Плеханова (технический
университет)" (RU)**
⁽⁵⁴⁾ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА ГОРНЫХ ПОРОД⁽⁵⁷⁾ Реферат:

Изобретение относится к физико-механическим испытаниям материалов и может быть использовано при инженерно-геологических изысканиях. Способ заключается во вдавливании в образец сферических встречно направленных нагрузочных элементов (сферических инденторов) до его разрыва по плоскости, проходящей через ось нагружения, и измерение площади поверхностей разрыва и зон разрушенной породы в областях контакта с обоими сферическими инденторами. Предложена формула для вычисления коэффициента Пуассона, учитывающая площади поверхности разрыва и большей из зон разрушенной породы. Реализация способа существенно уменьшает трудоемкость испытаний и упрощает определение коэффициента Пуассона горных пород. Допускается использование образцов неправильной формы с необработанными поверхностями. 1 табл., 2 ил.

Изобретение относится к физико-механическим испытаниям материалов и может быть использовано при инженерно-геологических изысканиях.

Известен способ определения коэффициента Пуассона горных пород («ГОСТ 28985-91. Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии»), заключающийся в том, что к торцам образца правильной (цилиндрической или призматической) формы через стальные встречно направленные плоские плиты прикладывают сжимающую силу и нагружают образец до максимального заданного значения напряжения сжатия, после чего разгружают образец, при этом в процессе разгрузки измеряют продольные деформации в направлении напряжения сжатия и поперечные растягивающие деформации в направлении, перпендикулярном направлению вызывающего его напряжения сжатия. Коэффициент Пуассона рассчитывают по результатам этих измерений как отношение величины изменения относительной поперечной деформации к величине изменения относительной продольной деформации при разгрузке образца в заданном диапазоне напряжений.

Недостаток способа состоит в трудоемкости подготовки образцов правильной геометрической формы и проведения испытаний из-за необходимости измерения сжимающей силы, продольных и поперечных деформаций образца. Кроме того, способ предусматривает предварительное определение предела прочности при одноосном сжатии.

Известен способ определения коэффициента Пуассона горных пород (патент РФ № 2361188, кл. G01N 3/08, 2009), заключающийся в том, что одноосно механически нагружают образец, при этом регистрируют поперечные и продольные деформации и активность акустической эмиссии образца. Коэффициент Пуассона рассчитывают по результатам этих измерений на временном интервале механического нагружения образца, на котором зарегистрированы минимальные значения активности акустической эмиссии.

Недостаток способа состоит в трудоемкости подготовки образца правильной геометрической формы и проведения испытания из-за необходимости измерения продольных и поперечных деформаций и активности акустической эмиссии образца по трем независимым каналам.

Известен способ определения коэффициента Пуассона горных пород (патент РФ № 2350922, кл. G01N 3/08, 2009), заключающийся в том, что проводят сопоставительные испытания на сжатие образцов горной породы и измеряют осевые напряжения и активность акустической эмиссии. Для испытаний изготавливают два образца правильной геометрической формы из одного и того же керна. Образцы циклически нагружают в режиме трехосного осесимметричного сжатия и режиме запрещенных боковых деформаций, а затем - одноосным сжатием. Коэффициент Пуассона рассчитывают по эмпирической формуле с учетом величин осевых напряжений, соответствующих максимуму активности акустической эмиссии каждого из образцов.

Недостаток способа состоит в трудоемкости подготовки образцов правильной геометрической формы и проведения сопоставительных циклических испытаний образцов в сложных режимах нагружения в условиях трехосного осесимметричного сжатия, сжатия при запрещенных боковых деформациях и одноосного сжатия.

Известен способ косвенного определения коэффициента Пуассона горной породы, заключающийся в том, что проводят сопоставительные испытания образцов на одноосное сжатие и растяжение, по результатам которых коэффициент Пуассона принимают равным значению отношения предела прочности при одноосном растяжении к пределу прочности при одноосном сжатии (монография: Ягодкин Г.И., Мохначев М.П., Кунтыш М.Ф. Прочность и деформируемость горных пород в процессе их нагружения. М, Наука, 1971 - 148 с.).

Недостаток способа состоит в трудоемкости испытаний по определению прочности при одноосном сжатии и растяжении и низкой точности определения коэффициента Пуассона,

обусловленной отличием деформирования и разрушения реальной горной породы от их линейной интерпретации.

Известен способ косвенного определения коэффициента поперечных деформаций методом соосных пуансонов (Руководство по механическим испытаниям горных пород методом соосных пуансонов. Л., Издание ВНИМИ, 1960 - 80 с.), принимаемый за прототип и заключающийся в том, что в образец вдавливают стальные встречно направленные нагрузочные элементы и измеряют его деформации. В качестве нагрузочных элементов применяют стальные плоские цилиндрические пуансоны. Для испытаний изготавливают два образца с плоскопараллельными поверхностями в виде дисков, один - сплошной, а другой - полый с центральным отверстием, заполненным пластической массой. В образцы вдавливают нагрузочные элементы (пуансоны) диаметром, равным внутреннему диаметру полого образца; измеряют величины давления пуансонов и деформации вдоль концентрических дуг одинакового радиуса в наружной части полого и сплошного образцов. Коэффициент поперечных деформаций μ рассчитывают по эмпирической формуле, основанной на аналитическом решении Ламе для толстостенного цилиндра, нагруженного в пределах упругости внутренним

$$\mu = \frac{2 \cdot D^2}{D^2 - d^2} \cdot \frac{\sigma_r}{\sigma_{п(спл.)}}$$

давлением: где D - внешний диаметр образцов, d - внутренний диаметр полого образца (диаметр пуансонов); $\sigma_{п(спл.)}$ и σ_r - соответственно давление пуансонов на полый образец и внутреннее радиальное давление в сплошном образце, вызывающие равные значения деформаций вдоль концентрических дуг одинакового радиуса в наружной части полого и сплошного образцов.

Недостаток способа состоит в высокой трудоемкости подготовки и проведения сопоставительных испытаний сплошного и полого образцов и необходимости сложного измерительного оборудования для проведения испытаний.

Технический результат заключается в существенном уменьшении трудоемкости испытаний и упрощении определения коэффициента Пуассона горных пород доступным и весьма производительным методом разрушения образцов произвольной формы встречными сферическими инденторами за счет учета реального предельного напряженного состояния горной породы в образце в области контакта со сферическими инденторами.

Технический результат достигается тем, что способ определения коэффициента Пуассона горных пород, включающий вдавливание в образец стальных встречно направленных нагрузочных элементов и измерение его деформации, согласно изобретению в образец вдавливают сферические встречно направленные нагрузочные элементы (сферические инденторы) до его разрыва по плоскости, проходящей через ось нагружения, затем в образце измеряют площадь поверхностей разрыва и зон разрушенной породы в областях контакта с обоими сферическими инденторами, при этом коэффициент Пуассона μ_k

$$\mu_k = \frac{2 \cdot F}{\frac{\pi}{4} \cdot S - \frac{1}{2} \cdot F}$$

рассчитывают по формуле, где S - площадь поверхности разрыва; F - площадь поверхности большей из зон разрушенной породы в областях контакта со сферическими инденторами.

Способ позволяет определять коэффициент Пуассона твердых горных пород на образцах произвольной, в том числе и неправильной формы. Допускается использовать образцы с необработанными поверхностями. При этом размеры образца должны обеспечивать площадь поверхности разрыва в диапазоне от 5 до 20 см², высоту образца (расстояние между точками приложения нагрузки) - от 20 до 50 мм, диаметр образца (максимальный размер площади поверхности разрыва в направлении, перпендикулярном оси нагружения)

- от 1 до 3 значений высоты образца, но не более 50 мм. Необходимую корректировку размеров образца при подготовке к испытанию осуществляют путем его обкалывания или распиливания.

Способ поясняется фиг.1, на которой представлена схема определения коэффициента Пуассона вдавливанием сферических инденторов, и фиг.2, на которой представлена схема измерения площади поверхностей разрыва и зон разрушенной породы.

Способ реализуют следующим образом. Образец 1 размещают в нагрузочном устройстве 2, установленном на опорной плите испытательной машины или встроенном в нее. Конструкция нагрузочного устройства должна обеспечивать соосное приложение силы Р к образцу через размещенные на оси нагружения 00 сферические встречно направленные нагрузочные элементы (сферические инденторы) 3. Затем осуществляют равномерное вдавливание сферических инденторов (стальных шариков диаметром 15 мм) в образец путем нагружения со скоростью 0,1-0,5 кН/с. По мере вдавливания сферических инденторов в образец под ними образуются зоны разрушенной измельченной породы 4. Эти зоны постепенно развиваются и увеличиваются в размерах. При этом вследствие неоднородности вещественного состава и строения, присущих большинству горных пород, более интенсивно развивается зона разрушений в слабейшей по прочности области образца. При достижении в средней области образца предельного напряженного состояния с растягивающей составляющей, приблизительно равной 0,5 от предела прочности при одноосном растяжении, на границе большей из зон разрушенной породы возникает трещина разрыва 5, которая прорастает до второй зоны и раскалывает образец в плоскости, проходящей через ось нагружения 00.

В расколоте образце измеряют линейные размеры поверхности разрыва, по которым вычисляют площадь поверхности разрыва S. Затем в образце измеряют параметры зон разрушенной породы в областях контакта со сферическими инденторами - глубины зон h от исходной поверхности образца и максимальные поперечные размеры зон D₃. Вычисляют площадь поверхностей зон разрушенной породы на контакте с обоими сферическими инденторами по формулам F₁=π · D₃₁ · h₁ и F₂ =π · D₃₂ · h₁. Выбирают большую из двух значений площадь F поверхностей зон разрушенной породы.

Рассчитывают величину коэффициента Пуассона μ_к горной породы по формуле

$$\mu_k = \frac{2 \cdot F}{\frac{\pi}{4} \cdot S - \frac{1}{2} \cdot F}$$

Экспериментально установлено (Руководство по механическим испытаниям горных пород методом соосных пуансонов. Л., Издание ВНИМИ, 1960 - 80 с.), что напряженное состояние и характер деформаций внешней части породного образца-плитки, нагруженного соосными пуансонами, соответствует решению Ламе (монография: Феодосьев В.И. Сопротивление материалов - 8-е изд., стереотип. М.: Наука, Гл. редакция физ.-мат. лит-ры, 1979. - 560 с.) для толстостенного цилиндра, нагруженного внутренним давлением. При этом было показано, что характер деформации внешней части образца соответствует закону, описываемому формулой:

$$\mu = 2 \cdot \frac{\sigma_r}{\sigma_n} \cdot \frac{D^2}{D^2 - d^2}$$

где σ_r - внутреннее давление на цилиндр (радиальное напряжение на образец); σ_n - осевое напряжение на пуансон; μ - коэффициент Пуассона; D и d - внешний (диаметр образца) и внутренний (диаметр пуансона) диаметры толстостенного цилиндра соответственно.

Если, основываясь на подобии в геомеханическом поведении образцов горных пород, сжимаемых соосными встречно направленными нагрузочными элементами (соосными пуансонами и сферическими инденторами), заменить в формуле аналогичные параметры (радиальное растягивающее напряжение σ_r на образец, нагружаемый пуансонами - на

растягивающее напряжение σ_t в плоскости разрыва образца сферическими инденторами; осевое сжимающее напряжение σ_n на пуансон - на радиальное сжимающее напряжение p на поверхности большей из зон разрушенной породы; квадрат диаметра образца D^2 при нагружении пуансонами - на площадь поверхности раскола образца S (с учетом формы поверхности) при нагружении сферическими инденторами и квадрат диаметра пуансона d^2 - на удвоенное (по количеству зон) значение площади поперечного сечения большей из

зон разрушенной породы $\frac{1}{2} \cdot F$) и подставить значения σ_t и p , выраженные через величины нагрузки на образец P и площади поверхностей разрыва S и большей зоны разрушенной породы F в соответствии с формулами, приведенными в статье Коршунова В.А. Определение показателей объемной прочности образцов горных пород при их нагружении сферическими инденторами. Горная геомеханика и маркшейдерское дело: Сборник научных трудов. - СПб.: ВНИМИ, 1999. - М-во топлива и энергетики РФ, РАН. - с.70-75, то формула для расчета коэффициента Пуассона после алгебраических преобразований и сокращения подобных членов принимает вид:

$$\mu_k = \frac{2 \cdot F}{\frac{\pi}{4} \cdot S - \frac{1}{2} \cdot F}$$

Таким образом, определяемая согласно предлагаемому способу величина μ_k по своему физическому смыслу соответствует величине коэффициента Пуассона для конкретных условий испытания образца сферическими встречно направленными нагрузочными элементами (сферическими инденторами).

Экспериментальным обоснованием способа служат результаты сопоставления значений коэффициента Пуассона 10 проб горных пород, определенных предлагаемым способом и в соответствии с ГОСТ 28985-91 «Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии». При испытаниях образцов горных пород согласно предлагаемому способу была использована машина испытательная вертикального нагружения ИСМ-190, рассчитанная на рабочую нагрузку до 25 кН и оснащенная динамометром образцовым ДОСМ-3-3. Определение коэффициента Пуассона горных пород по ГОСТ 28985-91 было произведено на цилиндрических образцах диаметром 42 ± 2 мм и отношением высоты к диаметру, равным $2,00 \pm 0,05$, с применением механического испытательного пресса ЦДМ 10, рассчитанным на нагрузку до 100 кН с погрешностью $\pm 0,5$ кН, тензорезисторов с базой измерения 15 мм в прижимном тензометре ДМ-12, и измерителя деформации цифрового ИДЦ-1 с ценой деления $1 \cdot 10^{-5}$.

Среднеарифметические значения коэффициентов Пуассона горных пород, определенные сравниваемыми способами, представлены в таблице 1. Среднее отклонение результатов составило 8%.

№ п/п	Литологический состав пробы горных пород	Среднеарифметические значения коэффициента Пуассона		Отклонение результатов, %
		предлагаемый способ	в соответствии с ГОСТ 28985-91	
1	2	3	4	5
1	Мергель	0,166	0,160	+0,6
2	Соль каменная	0,188	0,176	+6,8
3	Песчаник брекчированный	0,228	0,183	+13,7
4	Конглобрекчия	0,341	0,330	+3,3

5	Туфобрекчия	0,306	0,302	+1,3
6	Кимберлит	0,180	0,193	-6,7
7	Кимберлит	0,241	0,253	-4,7
8	Скарн силикатный	0,244	0,210	+16,2
9	Песчаник окварцованный	0,282	0,250	+12,8
10	Песчаник окварцованный выветрелый	0,252	0,235	+7,2

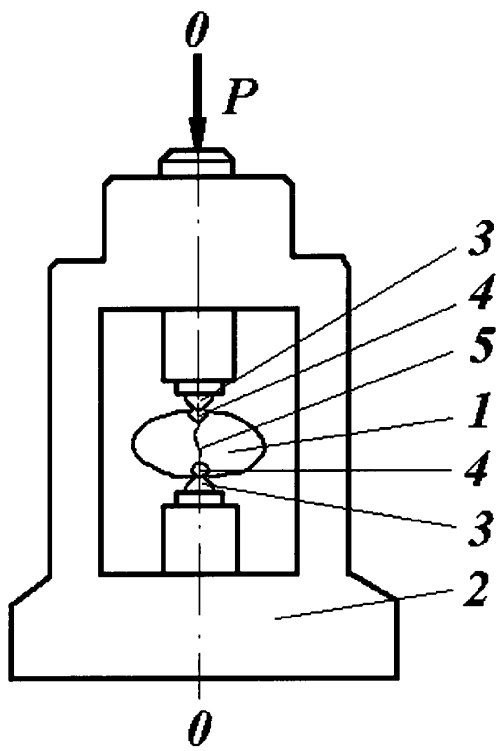
Реализация предлагаемого способа существенно уменьшает трудоемкость и упрощает определение коэффициента Пуассона горных пород доступным и весьма производительным методом разрушения образцов произвольной формы встречными сферическими инденторами.

Формула изобретения

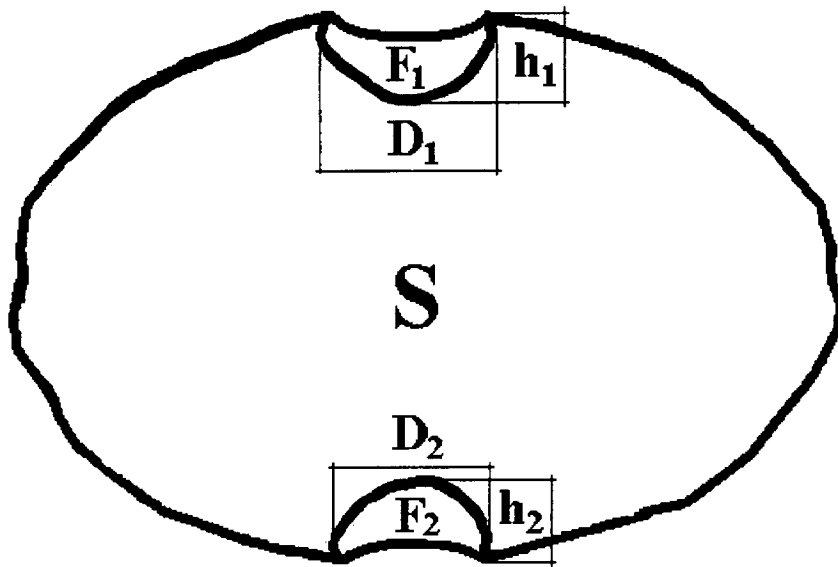
Способ определения коэффициента Пуассона горных пород, включающий вдавливание в образец стальных встречно направленных нагрузочных элементов и измерение его деформации, отличающийся тем, что в образец вдавливают сферические встречно направленные нагрузочные элементы (сферические инденторы) до его разрыва по плоскости, проходящей через ось нагружения, затем в образце измеряют площадь поверхностей разрыва и зон разрушенной породы в областях контакта с обоими сферическими инденторами, при этом коэффициент Пуассона μ_k рассчитывают по формуле

$$\mu_k = \frac{2 \cdot F}{\frac{\pi}{4} \cdot S - \frac{1}{2} \cdot F},$$

где S - площадь поверхности разрыва; F - площадь поверхности большей из зон разрушенной породы в областях контакта со сферическими инденторами.



Фиг. 1



Фиг. 2