



(19) **KG** (11) **431** (13) **C2** (46) **31.07.2025**

(51) *G01N 3/32* (2025.01)  
*G01N 3/40* (2025.01)

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ, ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И ИННОВАЦИЙ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

### к патенту Кыргызской Республики

(21) 20240039.1

(22) 19.07.2024

(46) 31.07.2025. Бюл. № 7

(71) Тажибаев Кушбакали (KG)

(72) (73) Тажибаев Кушбакали

Тажибаев Данияр Кушбакалиевич (KG)

(56) Породы горные. Метод определения  
предела прочности при объемном сжатии.  
ГОСТ 21153.8-88. Москва

(54) **Способ определения прочности горных  
пород при объемном сжатии**

(57) Изобретение относится к механике горных пород, в частности к способам определения прочностных показателей горных пород, и решает задачу определения прочности объемного сжатия горных пород, характерную в большей мере для породного массива. Изобретение может быть использовано при определении прочностных показателей хрупких твердых материалов, в том числе горных пород для разных масштабов (добычи), при инженерно-геологических изысканиях, для выполнения инженерных расчетов устойчивости горных выработок, при разработке месторождений полезных ископаемых.

Цель изобретения - снижение трудоемкости и повышение точности определения прочности горных пород при объемном сжатии.

Цель достигается за счет точных измерений показателя прочности горной породы при ее одноосном сжатии ( $\sigma_{сж}$ ) и коэффициента бокового распора ( $m$ ), отражающего условие увеличения прочности по сравнению с показателем прочности при условии одноосного сжатия. Действительно, во многих случаях горные породы в массиве разрушаются в условиях двухосного, трехосного сжатия. Опыты показывают, что при наличии бокового распора (боковых пород в массиве, или давления рабочей жидкости в камере всестороннего сжатия) разрушающая нагрузка сжатия, то есть прочность, увеличивается в зависимости от величины бокового распора.

Сущность предлагаемого способа определения прочности горных пород при объемном сжа-

тии заключается в следующем: с целью снижения трудоемкости и повышения точности определения прочности выполняют работу по изготовлению образцов горных пород цилиндрической формы стандартных размеров и определяют их прочность при одноосном сжатии  $\sigma_{сж}$  по существующему стандарту. Где предлагаемый способ отличается тем, что для образцов горных пород определяется среднее значение коэффициента бокового распора

$$m = \frac{\mu}{1 - \mu}$$

по скоростям продольной  $V_P$  и поперечной  $V_S$  ультразвуковой волны и коэффициенту Пуассона  $\mu = \frac{V_S}{2V_P + V_S}$ , а прочность горных пород при объемном сжатии определяется по следующей формуле, по скоростям продольной  $V_P$  и поперечной  $V_S$  ультразвуковой волны и коэффициенту Пуассона  $\mu = \frac{V_S}{2V_P + V_S}$ , а прочность горных пород при объемном сжатии рассчитывается по следующей формуле

$$\sigma_{сж}^0 = \frac{\sigma_{сж}}{m}.$$

Предлагаемый способ позволяет уменьшить трудоемкость определения и получения надежных значений прочности горных пород при объемном сжатии. Экономический эффект от применения данного способа достигается путем уменьшения трудоемкости измерений и обеспечения надежности и точности определения значений прочности горных пород при объемном сжатии. Применение способа позволяет обеспечить безопасность ведения горных работ за счет точного и надежного определения прочности горных пород при их объемном сжатии, так как показатель прочности входит в расчетные формулы и численные программные расчеты устойчивости горных пород вокруг открытых и подземных горных выработок различного назначения при разработке месторождений полезных ископаемых.

1 н. п. ф.

(19) **KG** (11) **431** (13) **C2** (46) **31.07.2025**

3

Изобретение относится к механике горных пород, в частности к способам определения прочностных показателей горных пород. В данном случае решается задача определения прочности объемного сжатия горных пород, характерный в особенности для породного массива. Например, в глубине нетронутого породного массива и вдали от горных выработок имеется условие объемного сжатия, как начальное напряженное состояние горной породы. Разрушающее напряжение горной породы в условиях объемного сжатия и есть прочность ее объемного сжатия. Изобретение может быть использовано при определении прочностных показателей хрупких твердых материалов, в том числе горных пород для разных масштабов (масштабов чего?), при инженерно-геологических изысканиях, для выполнения инженерных расчетов устойчивости горных выработок при разработке месторождений полезных ископаемых.

Известен способ определения прочности материала, в частности горных пород, путем вдавливания индентора в поверхность образца (RU 2721089 C1, 2020, 05 15, G01N 3/32, G01N 3/40). Задача данного способа заключается в определении предела прочности материала при сжатии без разрушения образца. Технический результат достигается тем, что в способе определения прочностных характеристик материала используется вдавливание индентора переменного сечения с непрерывно возрастающей нагрузкой до максимального значения произвольной величины, после достижения, которого вдавливание прекращают и производят разгрузку образца до нулевого значения. При этом регистрируют значение величины нагрузки и соответствующую ей глубину перемещения индентора, рассчитывают давление на контактной поверхности между индентором и образцом в период возрастания нагрузки. Согласно изобретению, вдавливание и разгрузку индентора производят, не изменяя его положения, циклично, обеспечивая в каждом последующем цикле дискретное увеличение максимального значения нагрузки при которой начинается разгрузка. При этом в период разгрузки образца определяют давление на контактной поверхности путем отношения значения нагрузки на индентор к максимальной площади контактной поверхности в каждом цикле. А также в каждом цикле для одной и той же глубины перемещения индентора рассчиты-

4

вают разность между давлениями на контактную поверхность в период увеличения нагрузки и давлением в период разгрузки, затем определяют максимальное значение разности указанных давлений на основании установленной зависимости между максимальными значениями разности давлений, соответствующей значениям максимальных нагрузок в циклах. И, таким образом, определяют предел прочности испытуемого образца.

При расчете давления на контактной поверхности между индентором и образцом, с целью упрощения расчетов, при применении инденторов пирамидальной или конической формы, за величину площади контактной поверхности принимают проекцию площади контактной поверхности индентора с соответствующим поправочным коэффициентом. Испытания продолжают до тех пор, пока на графике зависимости между максимальными значениями разности давлений и соответствующими значениями нагрузки не сформируется горизонтальный участок с постоянными значениями разности давлений, величина которых является пределом прочности материала при сжимающих нагрузках.

Недостатками данного способа является высокая трудоемкость в виду повторного определения параметров при циклических нагружениях и разгрузке, применения поправочных коэффициентов для определения площади контактной поверхности индентора, невысокая точность и косвенность определения прочности объемного сжатия горной породы.

Наиболее близким к изобретению (прототипом) является метод определения предела прочности горных пород при объемном сжатии (Породы горные. Метод определения предела прочности при объемном сжатии. ГОСТ 21153.8-88. Москва), включающий изготовление образцов правильной формы, камеру объемного сжатия, для размещения в ней образца и создания гидростатического давления на его боковые поверхности, обеспечивающую по ГОСТ 21153.2-84 соосное приложение осевой нагрузки к образцу через стальные плиты.

Сущность метода заключается в следующем. Образец правильной (цилиндрической) формы изолируют от жидкости, передающей гидростатическое давление, либо вместе с приложенными к его торцам стальными плитами (при изоляции боковых поверхностей

5

образца и плит трубчатой резиной), либо отдельно от них сплошным покрытием образца двух-трехкратным слоем клея. Изолированный образец устанавливают в рабочую полость камеры объемного сжатия в сборе с плитами или проложив их между торцами образца и опорными торцами нагрузочных элементов камеры. Герметизируют рабочую полость камеры и путем подачи в нее рабочей жидкости доводят боковое давление на образец до значения, заданного условиями и решаемой задачей. Нагружают образец вдоль оси до разрушения, равномерно, со скоростью нагружения 1-5 МПа/с. Момент разрушения фиксируют по максимальному значению осевой нагрузки. Записывают значения разрушающей силы  $P$  приложенной к торцам образца, в килоньютонах и бокового гидростатического давления  $p$  в мега паскалях. Предел прочности при объемном сжатии ( $\sigma_{сж}^0$ ) в мега паскалях при заданном значении бокового давления для каждого образца вычисляют по формуле

$$\sigma_{сж}^0 = 10 \frac{P}{S},$$

где  $P$  - разрушающая сила, приложенная к торцам образца, кН;

$S$  - площадь поперечного сечения образца, см<sup>2</sup>.

Недостатком данного способа является высокая трудоемкость, связанная с необходимостью изолирования каждого образца специальным покрытием, а также изготовления специальной камеры для бокового всестороннего сжатия, поддержания заданного значения бокового давления рабочей жидкости насосом высокого давления на постоянном уровне. Из-за трудности точного поддержания постоянной величины заданного значения бокового давления рабочей жидкости в камере снижается точность определения прочности.

Цель изобретения - снижение трудоемкости и повышение точности определения прочности горных пород при объемном сжатии.

Поставленная цель достигается за счет точных измерений показателя прочности горной породы при одноосном сжатии ( $\sigma_{сж}$ ) и коэффициента бокового распора ( $m$ ), отражающего условие увеличения прочности по сравнению с показателем прочности при одноосном сжатии. Действительно, во многих

6

случаях горные породы в массиве разрушаются в условиях двухосного, трехосного сжатия. Опыты показывают, что при наличии бокового распора (боковых пород в массиве, или давления рабочей жидкости в камере всестороннего сжатия), разрушающая нагрузка сжатия, то есть прочность увеличивается в зависимости от величины бокового распора.

Способ определения прочности горных пород при объемном сжатии, включающий изготовление образцов цилиндрической формы стандартных размеров, и определение прочности горной породы при одноосном сжатии  $\sigma_{сж}$  по существующему стандарту, отличается тем, что для образцов горной породы рассчитывается среднее значение коэффициента бокового распора

$$m = \frac{\mu}{1 - \mu},$$

с учетом скоростей продольной  $V_p$  и поперечной  $V_s$  ультразвуковых волн и коэффициента Пуассона  $\mu = \frac{V_s}{2V_p + V_s}$ , а прочность горных пород при объемном сжатии определяется по следующей формуле

$$\sigma_{сж}^0 = \frac{\sigma_{сж}}{m}.$$

Например, исходя из данных типичной (обладающей средней прочностью) горной породы, имеющей следующие характеристики:  $\sigma_{сж} = 100$  МПа;  $\sigma_p = 12$  МПа;  $\mu = 0,216$ , прочность при объемном сжатии составит

$$\sigma_{сж}^0 = \frac{\sigma_{сж}}{m} = \frac{100}{0,298} = 335,57 \text{ МПа.}$$

Другой пример: при всестороннем сжатии образца № 31-14-1 песчаника (Рогун) при условии бокового сжатия  $\sigma_2 = \sigma_3 = 60$  МПа (камера всестороннего сжатия ВНИМИ, Ленинград), прочность при объемном сжатии составит  $\sigma_{сж}^0 = 410$  МПа, тогда как прочность данного песчаника при одноосном сжатии составляет  $\sigma_{сж} = 130$  МПа, а коэффициент Пуассона  $\mu = 0,26$ . Исходя из этих последних данных, полученных по предложенному способу, прочность при объемном сжатии составляет  $\sigma_{сж}^0 = \frac{\sigma_{сж}}{m} = \frac{130}{0,35} = 371,43$  МПа, то есть отклонение ре-

7

зультата расчета по предлагаемому способу от результата экспериментальных определений составляет 9,41 %. Экспериментальные результаты показывают, что величина прочности при объемном сжатии зависит от величины бокового сжатия. Данные факты согласуются с формулой изобретения, где одним из определяющих показателей прочности при объемном сжатии является коэффициент бокового распора.

Сущность предлагаемого способа определения прочности горных пород при объемном сжатии заключается в следующем: с целью снижения трудоемкости и повышения точности определения прочности выполняют работу по изготовлению образцов горной породы цилиндрической формы стандартных размеров и определяют их прочность при одноосном сжатии  $\sigma_{сж}$  по существующему стандарту. Способ отличается тем, что для образцов горной породы определяется среднее значение коэффициента бокового распора

$$m = \frac{\mu}{1 - \mu}$$

### Ф о р м у л а   и з о б р е т е н и я

Способ определения прочности горных пород при объемном сжатии, включающий изготовление образцов цилиндрической формы стандартных размеров и определение прочности горной породы при одноосном сжатии  $\sigma_{сж}$  по существующему стандарту, отличающийся тем, что для образцов горной породы определяется среднее значение

8

по скоростям продольной  $V_P$  и поперечной  $V_S$  ультразвуковых волн и коэффициенту Пуассона  $\mu = \frac{V_S}{2V_P + V_S}$ , а прочность горных пород при объемном сжатии определяется по следующей формуле

$$\sigma_{сж}^0 = \frac{\sigma_{сж}}{m}.$$

Экономический эффект от применения способа достигается путем уменьшения трудоемкости и обеспечения надежности и точности определения значений прочности при объемном сжатии конкретной разновидности горной породы. Применение способа позволяет обеспечить безопасность ведения горных работ за счет точного и надежного определения значений прочности горных пород при объемном сжатии. Значения прочности входят в расчетные формулы и численные программные расчеты устойчивости горных пород вокруг открытых и подземных горных выработок различного назначения при разработке месторождений полезных ископаемых.

ние коэффициента бокового распора  $m = \frac{\mu}{1 - \mu}$  по скоростям продольной  $V_P$  и поперечной  $V_S$  ультразвуковой волны и коэффициенту Пуассона  $\mu = \frac{V_S}{2V_P + V_S}$ , а прочность горных пород при объемном сжатии определяется по следующей формуле  $\sigma_{сж}^0 = \frac{\sigma_{сж}}{m}$ .

Выпущено отделом подготовки официальных изданий