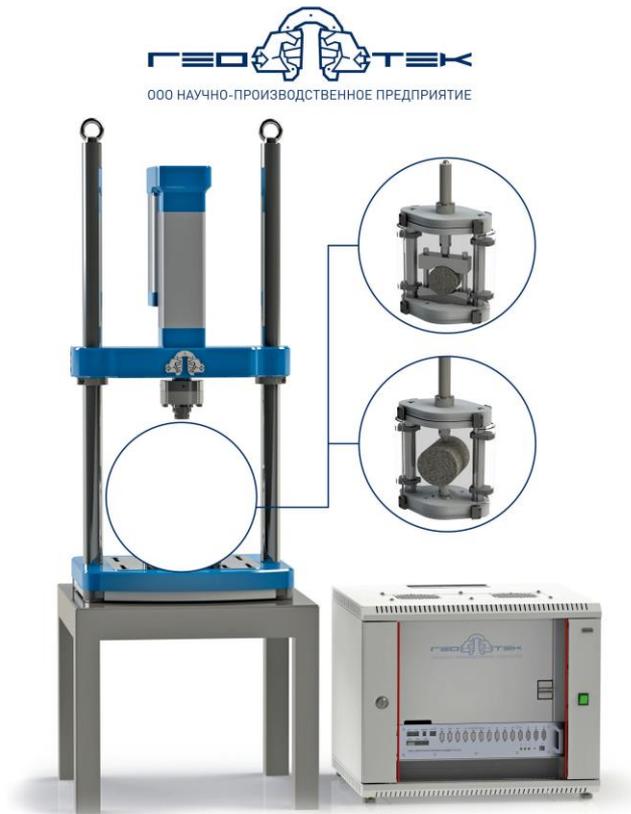


## Испытания скальных грунтов на не прямое растяжение



**Все чаще при реализации проектов гражданских и промышленных сооружений возникает необходимость определения механических свойств скальных грунтов. Между тем, стандартное оборудование испытательных лабораторий не всегда позволяет проводить такие испытания. Именно поэтому особенно ценятся методы испытаний, которые могут быть реализованы в тех же нагрузочных устройствах путем замены оснастки.**

**Новая статья из цикла о лабораторных методах испытаний грунтов рассматривает испытания скальных грунтов на не прямое растяжение.**

**Мирный Анатолий Юрьевич**

Старший научный сотрудник Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, к.т.н.

**Идрисов Илья Хамитович**

Генеральный директор ООО НПП «Геотек», к.т.н.

Определение механических свойств скальных грунтов представляет важную, и в то же время сложную задачу. По сравнению с дисперсными грунтами скальные грунты обладают на порядок большими жесткостью и прочностью, что не только требует применения специализированных, более мощных нагрузочных устройств, но и вызывает сложности с изготовлением образцов заданной формы. Помимо этого, скальные грунты обладают существенной прочностью при растяжении. Все это усложняет и удорожает конструкцию испытательного оборудования. Именно поэтому в изыскательских лабораториях ценятся

установки, позволяющие решать несколько задач путем замены оснастки, а также универсальные методы. К таким методам относятся испытания на непрямоe растяжение.

### **Прямое растяжение**

Испытания на одноосное растяжение в нашей стране регламентируются ГОСТ 21153.3 «Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении». Этот документ предусматривает три варианта проведения испытаний, первый из которых – прямое растяжение. Его реализация связана с рядом трудностей. Во-первых, необходимо обеспечить передачу на образец растягивающего усилия, иногда весьма значительного. Следовательно, необходимы захваты, надежно удерживающие образец в ходе опыта. Только обжатия за боковую поверхность может оказаться недостаточно, поэтому многие такие конструкции используют образцы в форме гантели, за «полки» которой захват удерживает образец. Изготовление таких образцов правильной геометрической формы снижает производительность лаборатории, требует специального оборудования (а зачастую и помещения для него). Помимо этого, половина массы образца превращается в пыль. Во-вторых, не каждое нагрузочное устройство и измерительная система могут работать в одинаковом диапазоне осевых сжимающих и растягивающих усилий. Это ограничивает универсальность метода и не позволяет реализовать его в имеющихся нагрузочных устройствах.

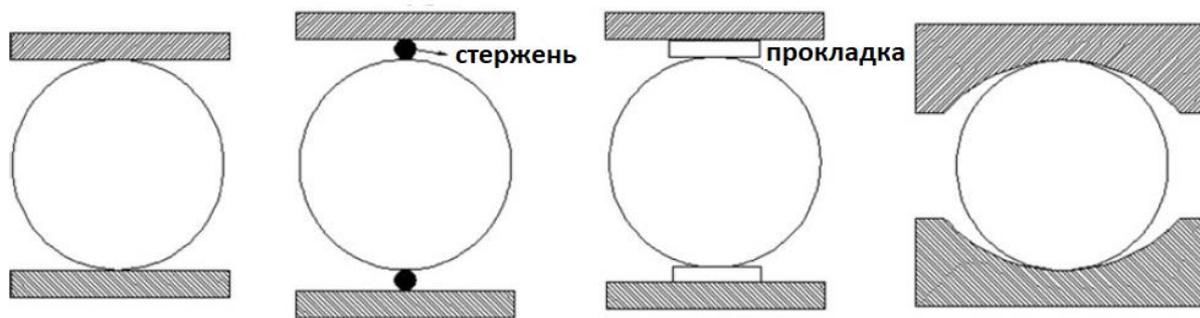
### **Непрямое растяжение**

Именно поэтому более универсальными являются методы непрямого растяжения. Метод разрушения цилиндрических образцов сжатием по образующим (известный в зарубежных странах как «бразильский тест») позволяет проводить испытания на образцах-цилиндрах диаметром от 30 до 60 мм, что значительно снижает затраты на проведение опыта. Цилиндр укладывается горизонтально между верхней и нижней плитами либо клиньями, после чего прикладывается сжимающая нагрузка, вызывающая раскалывание образца по вертикальной оси. Прочность на одноосное растяжение определяется по формуле:

$$\sigma_p^u = K \cdot \frac{P}{S} \cdot 10,$$

где  $P$  – осевое усилие при разрушении,  $S$  – площадь сечения образца по плоскости раскалывания,  $K$  – коэффициент пропорциональности.

Коэффициент пропорциональности учитывает концентрацию/деконцентрацию напряжений на контакте с образцом в зависимости от способа передачи сжимающего усилия (плита или клин). В мировой практике вместо клиньев иногда используются тонкие стальные стержни, обеспечивающие передачу нагрузки по линии. Кроме этого, существуют варианты испытания с относительно мягкими прокладками (для предотвращения локального дробления образца) и искривленными плитами (для лучшей центровки). Отечественный нормативный документ предписывает для обеспечения центровки использовать сегментный шарнир.



**Рис. 1.** Варианты передачи нагрузки при испытаниях цилиндрических образцов сжатием по образующим

Еще одним методом испытаний на непрямоe растяжение является нагружение сферическими инденторами образцов неправильной формы. Данный вид испытания очень популярен и широко применяется исследовательскими организациями, так как не требует сложной оснастки и какой-либо подготовки образцов. Предполагается, что образец неправильной формы следует поместить между двумя встречно направленными сферическими инденторами. Приложение нагрузки вызывает раскалывание образца, после чего следует определить площадь скола и вычислить прочность при одноосном растяжении. Очевидно, что испытание считается успешным, если в результате разрушения образец разделится не более, чем на две части.

Необходимо отметить, что данный вид испытания описан в двух параллельно действующих нормативных документах. Раздел 3 ГОСТ 21153.3-85 предполагает проведения данного испытания исключительно для определения прочности при растяжении:

$$\sigma_p = K \cdot \frac{P}{S} \cdot 7,5,$$

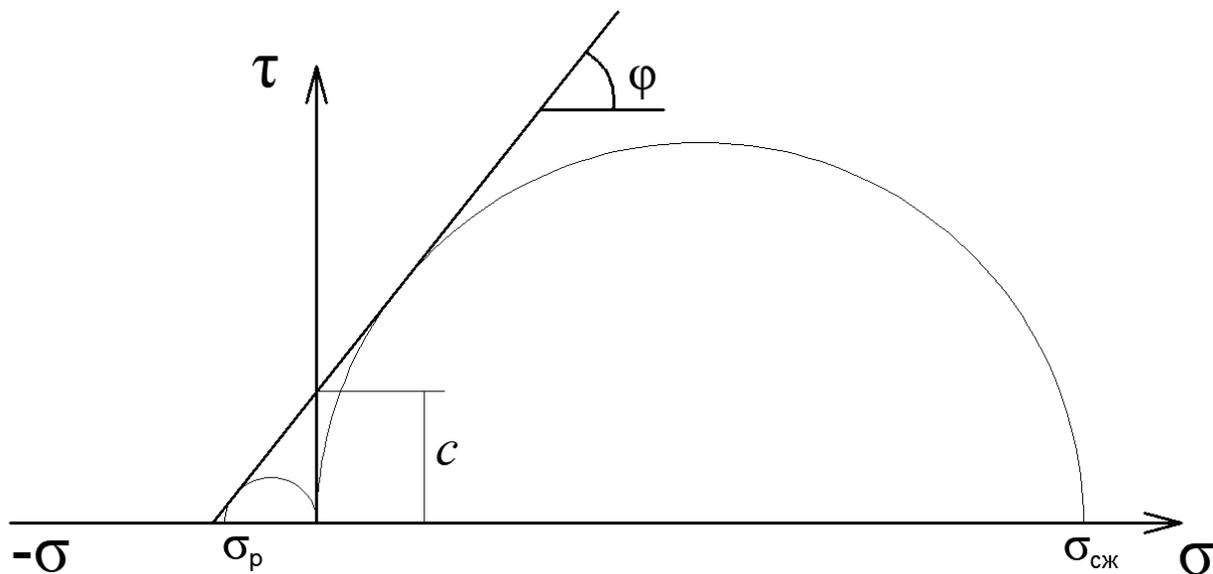
где  $P$  – осевое усилие при разрушении,  $S$  – площадь сечения образца по плоскости раскалывания,  $K$  – масштабный коэффициент, принимаемый в зависимости от  $S$ .

Очевидно, что неизвестная форма сечения не позволяет получить точное аналитическое решение для данного метода. Именно этим объясняется необходимость использования эмпирического коэффициента  $K$ . Еще одной причиной неточности является сложность определения площади сечения. Традиционным методом является использование миллиметровой бумаги, но современные устройства позволяют оптимизировать и повысить точность – например, путем сканирования отпечатка и определения его площади программными способами.

Существует так же ГОСТ 24494-81, в котором описана установка со сферическими инденторами для определения параметров деформируемости. В ходе опыта определяется прочность на одноосное растяжение (в полном соответствии с ГОСТ 21153.3-85, в тексте приведена ссылка); прочность на одноосное сжатие (по корреляционным уравнениям, в зависимости от разновидности горной породы), а также параметры деформируемости.

Определение параметров деформируемости требует дополнительной установки измерительной системы вертикальных перемещений. При этом выполняется несколько ступеней нагружения, что позволяет определить не только модуль упругости при одноосном сжатии  $E_{сж}$ , но также контактный модуль  $E_k$  и категорию пластичности горной породы. К сожалению, метод имеет ограничения по применимости, так как для особо жестких пород точность измерения перемещений может оказаться недостаточной, и потребуются применение одноосного сжатия по ГОСТ 21153.2-84.

Полученная любым методом величина сопротивления одноосному растяжению может использоваться как непосредственно (например, при расчете устойчивости подземной выработки или скального откоса), так и при дальнейшей интерпретации результатов. В частности, на основании  $\sigma_{сж}$  и  $\sigma_p$ , определенных непосредственными испытаниями, могут быть построены круги Мора для случаев одноосного сжатия и растяжения, соответственно. Это позволяет определить параметры условия прочности Кулона-Мора для скального грунта.



**Рис. 2.** Схема к определению параметров условия прочности Кулона-Мора для скального грунта

Более корректным будет построение не прямой, а огибающей линии по эмпирической зависимости ГОСТ 21153.8-88 – это позволит определять параметры сопротивления сдвигу в любом требуемом диапазоне напряжений. Однако подобные задачи редко возникают в практике гражданского строительства, и скорее относятся к горному делу.

**Комплект оборудования для испытаний на не прямое растяжение ООО НПП «Геотек»**  
ООО НПП «Геотек» предлагает в составе комплекса «АСИС Про» комплект оборудования для испытаний на не прямое растяжение. В состав комплекса входит необходимое оборудование для создания статического или кинематического вертикального воздействия, необходимая измерительная аппаратура и программное обеспечение, а также специализированные приспособления для испытаний на не прямое растяжение: точечное растяжение; растяжение по образующей; растяжение при изгибе. Испытания проводятся в автоматизированном режиме с контролем всех параметров в реальном времени. Более подробную техническую информацию можно получить у специалистов компании или на сайте [www.npp-geotek.ru](http://www.npp-geotek.ru).

### Список литературы

1. ГОСТ 21153.2-84 Методы определения предела прочности при одноосном сжатии
2. ГОСТ 21153.3-85 Методы определения предела прочности при одноосном растяжении

3. ГОСТ 21153.8-88 Метод определения предела прочности при объемном сжатии
4. ГОСТ 24941-81 Породы горные. Методы определения механических свойств нагружением сферическими инденторами (с Изменением N 1)
5. Diyuang Li, Louis Ngai Yuen Wong. The Brazilian Disc Test for Rock Mechanics Applications: Review and New Insights. Rock Mechanics and Rock Engineering, 46, 2013, стр. 269–287.