

УДК 622.831.3.02

*И.Ю. Старотиторов, асп., Р.Ю. Киреев, студ., каф. СГМ, НГУ,  
г.Днепропетровск, Украина*

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Наука о прочности преследует цель определения предельного уровня напряжений, которые может выдержать материал без разрушения при произвольном способе его нагружения. Эту задачу призваны решать существующие теории прочности: функциональные зависимости, связывающие в одном уравнении критические компоненты напряжений и пределы прочности материала на растяжение, сжатие, сдвиг. На сегодняшний день известно довольно большое количество теорий прочности [1, 2]. Все они не универсальны: хорошо описывая процесс разрушения одних твердых тел, они непригодны для других, отличающихся структурой.

В зависимости от способа получения все критерии прочности можно разделить на две большие группы: аналитические и эмпирические. Наиболее известные аналитические критерии прочности: Треска-Сен-Венана, Ю.И. Ягна, П.П. Баландина, И.Н. Миролюбова, Л.Я. Парчевского-А.Н. Шашенко и т.п. К наиболее популярным эмпирическим относятся критерии О. Мора, З.Т. Бенявского, Хоека-Брауна и некоторые другие.

Одной из первых теорий прочности, более или менее удовлетворительно описывающих процесс разрушения твердых тел, является теория разработанная П.П. Баландиным [2], которая основывается на результатах испытаний материала при предельных одноосном растяжении и одноосном сжатии. Формула эквивалентности теории прочности П.П. Баландина, приводящая сложное напряженное состояние к простому одноосному (для случая, когда  $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ ), выглядит так

$$\sigma_e = \frac{(\psi - 1)(\sigma_1 + 2\sigma_3) + \sqrt{(1 - \psi)^2(\sigma_1 + 2\sigma_3)^2 + 4\psi(\sigma_1 - \sigma_3)^2}}{2\psi} \leq R_c, \quad (1)$$

где  $\sigma_e$  – так называемое напряжение, эквивалентное одноосному напряженному состоянию;  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  – главные значения компонентов тензора напряжений;  $\psi = R_p / R_c$  – коэффициент хрупкости горных пород ( $\psi=1$  – соответствует понятию идеальной пластичности,  $\psi=0$  – идеальной хрупкости);  $R_c$  и  $R_p$  – соответственно пределы прочности материала при одноосном сжатии и растяжении.

В настоящее время за рубежом наибольшее применение нашел критерий прочности Хоека-Брауна [3], в Украине критерий прочности Л.Я. Парчевского-

А.Н. Шашенко [1]. Причем, если первый получен эмпирическим путем, то второй чисто теоретическим.

Критерий прочности предложенный Хоеком и Брауном для ненарушенной породы имеет следующий вид

$$\sigma_1 = \sigma_3 + R_c \left( m \frac{\sigma_3}{R_c} + 1 \right)^{0,5}, \quad (2)$$

где  $m$  – постоянная, учитывающая генезис и текстуру горных пород ( $0 \leq m \leq 33$ ). Большая величина  $m$  соответствует более хрупким породам.

Критерий прочности Л.Я. Парчевского-А.Н. Шашенко выглядит так:

$$\sigma_e = \frac{(\psi - 1)(\sigma_1 + \sigma_3) + \sqrt{(1 - \psi)^2 (\sigma_1 + \sigma_3)^2 + 4\psi(\sigma_1 - \sigma_3)^2}}{2\psi} \leq R_c. \quad (3)$$

С целью дать качественную оценку рассмотренным теориям прочности в пределах одной безразмерной системы координат ( $X = \sigma_3/R_c; Y = \sigma_1/R_c$ ) были построены нелинейные паспорта прочности для хрупкой горной породы (рис. 1). В качестве базовой использовалась усредняющая кривая, построенная в пределах этой же системы координат по экспериментальным точкам, полученным А.Н. Ставрогиным [1] в результате многочисленных испытаний горных пород. Критерии прочности оценивались по степени отклонения описанных ими паспортов от результирующей кривой.

Как следует из рисунка сравниваемые критерии прочности дают отличающиеся результаты. Кривая, соответствующая критерию Хоека-Брауна, при  $m = 10$  (что отвечает тестируемым породам в исследованиях А.Н. Ставрогина) располагается выше результирующей кривой. Причем при  $m > 10$  кривая уходит резко вверх. Расчеты, выполняемые по критерию Хоека-Брауна, будут тем точнее, чем слабее, пластичнее рассматриваемые породы. В случае же крепких, хрупких пород расчеты выполняемые по этому критерию, будут несколько завышены, что должно корректироваться при оценке прочности проектируемых сооружений введением соответствующего запаса прочности.

Чуть ниже результирующей кривой располагаются кривые, соответствующие критериям Л.Я. Парчевского-А.Н. Шашенко и П.П. Баландина. Оба критерия позволяют достаточно хорошо прогнозировать прочность хрупких горных пород. Причем оба позволяют делать это с некоторым заранее заложенным в структуре формул запасом прочности. При этом запас прочности в критерии Л.Я. Парчевского-А.Н. Шашенко заложен несколько больший, чем в критерии П.П. Баландина.

Таким образом, на сегодняшний день наиболее подходящим для практического использования является критерий прочности Л.Я. Парчевского-А.Н. Шашенко.

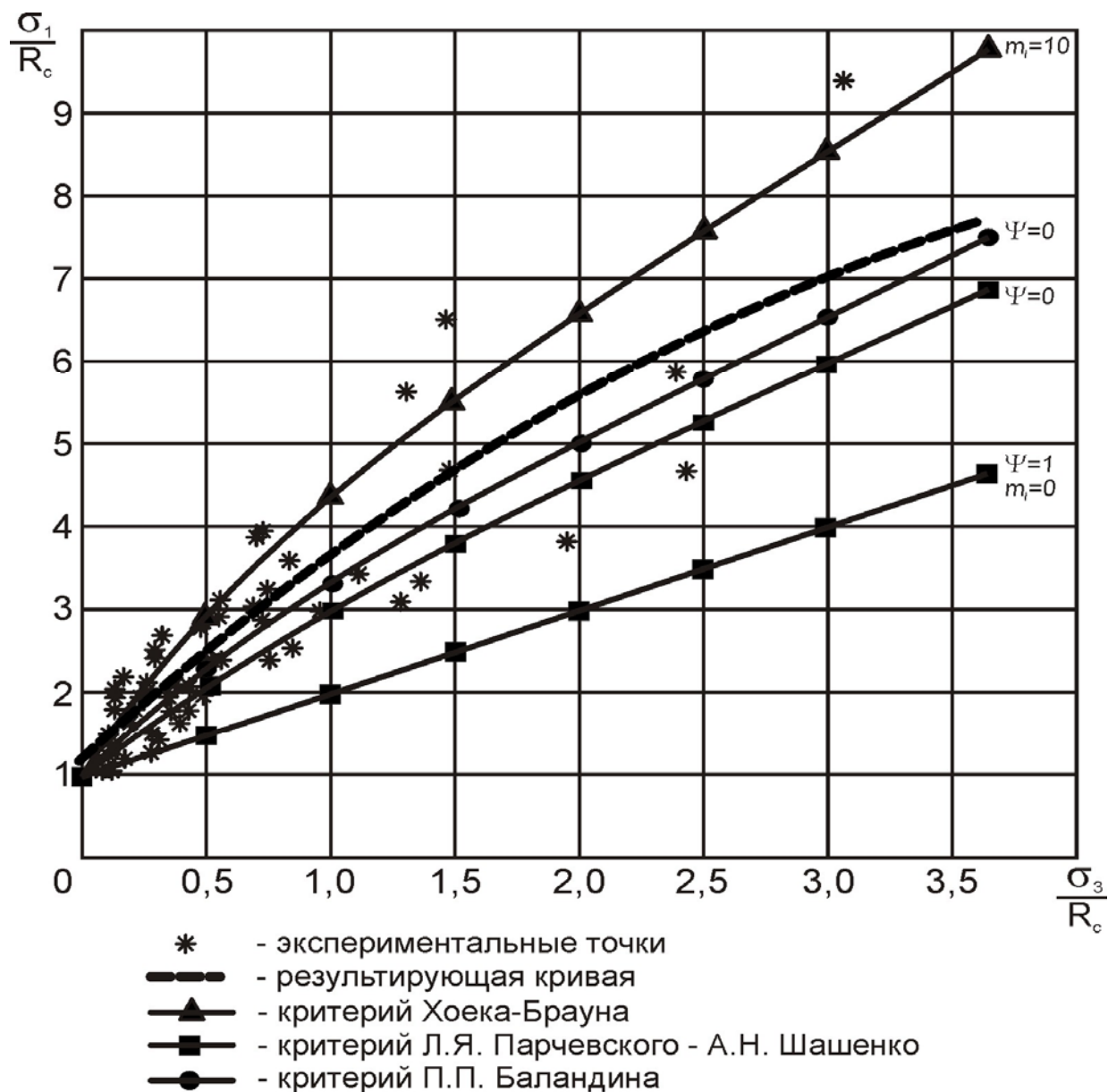


Рис. 1. Сравнение существующих критериев прочности с экспериментальными данными (по А. Н. Ставрогину [1])

### Библиографический список

1. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П. Механика горных пород: Учебник для вузов. – К.: Новый друк, 2003. – 400 с.
2. Расчеты на прочность в машиностроении/ Пономарев С.Д., Бидерман В.Л. и др. – Москва: МАШГИЗ, 1956. Том I. – 884 с.
3. Hoek, E., Carranza-Torres, C. and Corkum, B. (2002) Hoek-Brown criterion – 2002 edition. Proc. NARMS-TAC Conference, Toronto, 2002.- 1. – p. 267-273.