

ISSN 1694-8335 (print) ·
ISSN 1694-8343 (online)



Известия

**КЫРГЫЗСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
имени И.Раззакова**

Выпуск 4 (68) 2023

**И.Раззаков атындагы
КЫРГЫЗ МАМЛЕКЕТТИК ТЕХНИКАЛЫК
УНИВЕРСИТЕТИНИН**

Жарчысы

KYRGYZ STATE TECHNICAL UNIVERSITY

WWW.KSTU.KG

ISSN 1694-8335 (print)

ISSN 1694-8343 (online)

ИЗВЕСТИЯ

КЫРГЫЗСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
им. И. РАЗЗАКОВА

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

2023

№4 (68)

Теоретический и прикладной научно-технический
журнал

Учредитель: Кыргызский государственный
технический университет им. И.Раззакова

Адрес редакции: 720044, Кыргызская Республика,
город Бишкек, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова 66,
каб.272.

Тел.: +996(312) 54-51-40

Сайт: [https://kstu.kg/bokovoe-menju/zhurnal-izvestija-](https://kstu.kg/bokovoe-menju/zhurnal-izvestija-kgtu-im-i-razzakova)
[kgtu-im-i-razzakova](https://kstu.kg/bokovoe-menju/zhurnal-izvestija-kgtu-im-i-razzakova)

email: journalkstu@gmail.com
journalkstu@gmail.com

Журнал зарегистрирован В Министерстве юстиции
Кыргызской Республики
Свидетельство № 925 от 16 января 2004 года.

ISSN 1694-8335

Журнал зарегистрирован В Российском индексе
научного цитирования

Материалы журнала проходят независимое
рецензирование

Подписан в печать 15.11.2023

Тираж 50 экз.

Отпечатано в типографии «Калем»

Главный редактор: М.К. Чыныбаев, кандидат
физико-математических наук, доцент, ректор КГТУ
им. И.Раззакова

Тел.: Тел.: (312)54-51-25

Электронная почта: rector@kstu.kg

Заместитель главного редактора: Б.Т. Торбеков,
доктор технических наук, профессор,
проректор по научной работе

Тел.: Тел.: (312)54-51-40

Электронная почта: torobekov@kstu.kg

Ответственный секретарь: А.Б.Аманкулова
тел.: 0550-660-442
0505-660-442

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

С.А. Алымкулов - д. т. н., профессор
М.З. Алмаматов - д. т. н., профессор
М.К. Асаналиев - д. педаг. н. профессор
А.А. Акунов - д. истор. н., профессор
М.Б. Баткибекова - д. хим. н., профессор
А.Б. Бакасова - д.т. н., профессор
Ж.И. Батырканов - д. т. н., профессор
И.В. Бочкарев - д. т. н., профессор
У.Н. Бримкулов - д. т. н., профессор, чл.-корр.
НАН КР
Ж.Т.Галбаев - д.т.н., профессор
М. Дж. Джаманбаев - д. физ.-мат. н. профессор
М.С. Джуматаев - д. т. н., профессор, академик
НАН КР
У.Р. Давлятов - д. т. н., профессор, член-корр. НАН
КР
Т.Б. Дуйшеналиев - д. физ.-мат. н., профессор
Т.Ш. Джунушалиева - д. хим. н., профессор
К.М. Иванов - д. т. н., профессор (Россия)
А.С. Иманкулова - д. т. н., профессор
Г.Дж. Кабаева - д. физ.-мат. н., профессор
К. Ч. Кожогулов - д. т. н., профессор, чл.-корр.
НАН КР
Т.Ы. Маткеримов - д. т. н., профессор
М.М. Мусульманова - д. т. н., профессор
А.Дж. Обозов - д.т.н., профессор, член-корр. НАН
КР
К.О. Осмонбетов - д. геолого-минерал. н.,
профессор
Н.Д. Рогалев - д. т. н., профессор (Россия)
А.Б. Салиев - д. физ.-мат. н., профессор
Р.М. Султаналиева - д. физ.-мат. н., профессор,
член-корр. НАН КР
А.Т. Татыбеков - д. т. н., профессор
Ж.Ж. Тургумбаев - д. т. н., профессор
А.С. Уметалиев - д.э.н., профессор

© Кыргызский государственный технический
университет им. И. Раззакова, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО

- Насирдинова А. М., Азизбек кызы А.** Стратегический «мастер-план» как инструмент управления1651
- Омурканова А.К., Усенов С.Дж.** Особенности градостроительного проектирования в кыргызстане: международный опыт и отечественные реалии.....1657
- Кутуев М.Д., Муканбет к Э., Супибекова А. К.** Использование экспертной системы теплотехнического расчета ограждающих конструкций.....1666

ГОРНОЕ ДЕЛО

- Кабаев О.Д., Мааткеримова Б.С., Кабаев А.О., Малышев А.Ф.** Металлогенические особенности Сарыджазской подвижной зоны1673
- Пазылов Т.Ш., Коробовский Н.В., Рахматов С.Н., Курманалиев К.З.** Лицензионное и договорное право в горной отрасли Кыргызской Республики. Собственность права пользования недрами1681
- Пазылов Т.Ш., Коробовский Н.В., Рахматов С.Н., Курманалиев К.З.** Система горного права в Кыргызской Республике1688
- Тажиев К.Т., Тажибаев Д.К.** Применение научных достижений для решения производственных и экологических проблем в Кыргызской Республике1698
- Тажиев Д.К., Салиев А.Б., Тажибаев К. Т.** Расчет напряжений и устойчивости борта карьера Сары-Тор Кумторского месторождения1706
- Маймеков З.К., Самбаева Д.А., Шабданова Э.А., Сыдыков Ж.Д.** Обезвреживание отработанных органических масел в электротрансформаторах и снижение их техногенных нагрузок в окружающей среде.....1712

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Айдаралиев Ж. К., Кайназаров А. Т.** Базальт сырьесунан өтө ичке була өндүрүүнүн физика-химиялык жана технологиялык негиздер1723
- Асанов А.А., Джаманкызов Н.К., Мекенбаев Б.Т.** Расчетно-теоретическое исследование механизмов теплообмена в процессе пиролиза угля.....1730
- Рубаник В.В., Багрец Д.А., Рубаник В.В. (мл.), Урбан В.И., Лабцкий В.С.** Функциональные свойства TiNi сплава после ионно-плазменного и ультразвукового воздействия.....1739

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗДЕЛИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

- Арзиев М., Камилжан к. К.** Кыз-келиндердин улуттук кийимдериндеги оюмдарга жана орнаменттерге анализ1746

ЭКОЛОГИЯ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

- Аманов К.А., Касиев К.А., Кожобаев К.А., Молдогазиева Г.Т.** Ак-Түз кендигинин (руднигинин), Кичи Кемин өрөөнүндө жашаган адамдардын ден-соолугуна тийгизген терс таасирлери1759
- Андреева К.А., Васильева А.А., Васьков А.Г.** Способы повышения эффективности существующих солнечно-дизельных комплексов1765

ЭКОНОМИКА, МЕНЕДЖМЕНТ

- Мешков С.А., Курочкин И.В.** Переход от сертификации к инспекции как способ уменьшения рисков и увеличения продуктивности компаний по сертификации.....1774
- Шербекоева А.А., Токталиева А.К.** Необходимость развития корпоративного управления в региональном строительстве Кыргызской Республики.....1780

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Алышбаев К.С. Интеллектуальная система и оптимизация принятия решений по управлению электронным бизнесом а так же электронным обучением	1791
Алышбаев К.С. Анализ достоинств и недостатков местных и международных платформ электронной коммерции.....	1799
Алексеев А. М., Кабаева Г. Дж. НУ-КУ-0.1: набор данных для оценки качества векторных представлений слов кыргызского языка	1806
Абдимуталипова З.К., Курбаналиев А.Ы. Моделирование распространения респираторных вирусных инфекций в пакете OPENFOAM	1815
Асан уулу Аскат. Многослойная нейронная сеть для частотного анализа электростатического разряда в воздушной среде	1821
Дикарев Д.С., Дуйшеналиев Т.Б. Программный комплекс для решения задач динамики систем сосредоточенных центров масс	1829
Колбаев Н.К., Тен И.Г. Система автоматизации регрессионного тестирования для мобильного банкинга ОАО «Халык банк Кыргызстан»	1837
Искакова Н.Н., Тен И.Г., Мусина И.Р. Оптимизация логистических процессов в подсистеме управления доставкой товаров.....	1847

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Азимова А.А. Билим берүү мониторингинин моделин изилдөө.....	1856
Кожоголов К.Ч., Воробьев А.Е., Султаналиева Р.М., Воробьев К.А. Причины современной интернационализации ВУЗов Центрально-Азиатского региона	1867
Курманалиева Р.А. Дүйнөлүк адабият сабагында адеп-ахлак түшүнүгү.....	1872
Озерова Н.В., Королев И.В. Педагогические возможности электронного тестирования в современных условиях	1876
Султаналиева Р. М., Тынышова А.М., Керменбаева Н.С. Мектеп окуучуларынын физикалык олимпиадаларын уюштурууда маалыматтык инновациялык технологияларды колдонуу	1881

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА, ФИЗИКА И МАТЕМАТИКА

Абдраманова Г.Б., Жакыпбек А.А., Зиябек А.Т., Буланбаева А. С. Упругое рассеяние адронов на изотопах Не при промежуточных энергиях	1888
Акназарова С.С. LES моделин колдонуу менен турбуленттүү ички агымды моделдештирүү	1897
Киреев О.Л., Холодов В. Исследование влияния некруглости и геометрических размеров изделия при его контроле на вращающихся валках, используемых в инновационных технологиях по развитию и поддержанию горных экосистем.....	1902
Рычков Б.А. Комарцов Н.М. Гончарова И.В. Кулагина М.А. Модифицированный критерий прочности горных пород	1907
Садиева А.Э., Кокоева У.У., Душенова М.А. Муштумчалуу механизмдерди түзмөлөөнүн алгоритми	1916

ТРАНСПОРТ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

Торобеков Б.Т., Кудакеева Г.М., Абдыкалыков Р. К. Проектирование модели беспилотного автомобиля с системой распознавания.....	1922
---	------

ЭНЕРГЕТИКА

Терентьев П. В., Шильников С.В., Шолин А. В. Экономическое обоснование внедрения объектов микрогенерации в малоэтажную жилую застройку	1930
--	------

Б.А. Рычков¹ Н.М. Комарцов² И.В. Гончарова³ М.А. Кулагина⁴

^{1,2,3,4} Б.Н. Ельцин атындагы КРСУ, Бишкек, Кыргыз Республикасы
^{1,2,3,4} Кыргызско- Российский славянский университет им. Б.Ельцина, Бишкек, Кыргызская Республика

B.A. Rychkov¹, N.M. Komartsov², I.V. Goncharova³, M.A. Kulagina⁴
^{1,2,3,4} Kyrgyz-Russian Slavic University n. a. B. Yeltsin, Bishkek, Kyrgyz Republic
e-mail: rychkovba@mail.ru komartsovm@mail.ru goncharovaiv@mail.ru
kulagina_m.a@mail.ru

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ КРИТЕРИЙ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

ТОО ТЕКТЕРИНИН БЫШЫКТЫГЫНЫН МОДИФИКАЦИЯЛАНГАН КРИТЕРИЙИ

MODIFIED ROCK STRENGTH CRITERION

Массивдердеги жана ар кандай конструкциялардын тегерегиндеги тоо тектери бирдей эмес үч октуу кысуу абалында экени белгилүү. Бул шарттарда алардын кесүү жолу менен бузулушу (белгилүү бир тегиздиктер жана багыттар боюнча) Мора теориясы менен көрсөтүлөт, анда кесүү тегиздигиндеги нормалдуу жана тангенс стрессстеринин ортосундагы байланыш постулат кылынат. Бул көз карандылыкты конкреттештирүү негизги стрессстердин ортосундагы байланыш болгон күч критерийинин тапшырмасы менен жетишишет. Мындай күч критерийинин түрү кеңири диапазондо өзгөрүп турат, анын колдонулушун, тигил же бул түрдө, тиешелүү лабораториялык сыноолордун жыйынтыгы боюнча аныктайт. Бул учурда көлөмдүү чыңалуудагы тоо тектеринин бекемдигинин паспорту болуп нормалдуу жана тангенс чыңалууларынын тегиздигинде курулган Мора чыңалууларынын эң чоң чектик чөйрөлөрүнө конверт эсептелет, ал ГОСТ 21153.8–88 менен регламенттелет. Конверттин ар кандай эмпирикалык сызыктары (түз сызыктуу, парабола, кээ бирлери, ошондой эле бул ГОСТ сунуш кылган М.М. Протодьяконов критерийинин негизинде алынган) чыңалуу абалынын түрлөрү үчүн да, ошондой эле породаардын типтери үчүн да чектелген колдонуу чөйрөсүнө ээ. Бул кемчилик Чөнтөк схемасы боюнча тектердин цилиндрдик үлгүлөрүнүн стандарттык сыноолорунда алардын аныктоо диапазонундагы негизги стрессстердин ортосундагы байланышты белгилеген бул иште колдонулган өзгөртүлгөн күч критерийин колдонууда четтетилет. Баштапкы эксперименталдык маалыматтардын жана эсептик материалдык параметрлердин зарыл болгон санын камтыган каталог сунушталат. Мындай каталогдун негизинде бузулбаган абалда ар кандай тоо тектеринин конверттерин көрсөтүүгө болору көрсөтүлгөн.

Түйүндүү сөздөр: тоо тек, жапырт кысуу, негизги стресс, күч критерийи, Мора чектүү чөйрөлөрүн айланып өтүү

Известно, что горные породы в массивах и в окрестностях различных выработок находятся в состоянии неравномерного трехосного сжатия. В этих условиях их разрушение путем среза (по определенным плоскостям и направлениям) отображается теорией Мора, в которой постулируется зависимость между нормальным и касательным напряжениями в плоскости среза. Конкретизация этой зависимости достигается заданием критерия прочности, представляющего собой соотношение между главными напряжениями. Вид такого критерия прочности варьируется в широких пределах, определяя его применимость, в том или ином виде, по результатам соответствующих лабораторных испытаний. При этом паспортом прочности горных пород при объемном напряженном состоянии считается огибающая к наибольшим предельным кругам напряжений Мора, построенным в

плоскости нормального и касательного напряжений, что регламентируется ГОСТ 21153.8–88. Различные эмпирические линии огибающей (прямолинейная, парабола, некоторые другие, а также получаемая на основе рекомендуемого данным ГОСТом критерия М.М. Протодаконова) имеют ограниченную область применимости как для видов напряженного состояния, так и для типов пород. Этот недостаток устраняется при использовании используемого в данной работе модифицированного критерия прочности, устанавливающего связь между главными напряжениями в диапазоне их определения при стандартных испытаниях цилиндрических образцов пород по схеме Кармана. Предлагается каталог, содержащий необходимое количество исходных экспериментальных данных и расчетных материальных параметров. Показано, что на основе такого каталога можно отобразить огибающие разнообразных горных пород в ненарушенном состоянии.

Ключевые слова: Горная порода, объемное сжатие, главные напряжения, критерий прочности, огибающая предельных кругов Мора.

It is known that rocks in mountain range and in various mining area are in a state of uneven triaxial compression. Under these conditions, their breaking by shearing (along certain planes and directions) is reflected by Mohr's theory, which postulates a relationship between normal and shear stresses in the shear plane. The concretization of this dependence is achieved by setting the strength criterion, which is the ratio between the principal stresses. The form of such strength criterion varies widely, determining its applicability, in one form or another, according to the results of appropriate laboratory tests. At the same time, the envelope to the highest limit Mohr stress circles, built in the plane of normal and shear stresses, which is regulated by ГОСТ 21153.8–88, is considered to be the passport of the strength of rocks in a volumetric stress state. Various empirical envelope lines (rectilinear, parabola, some others, as well as those obtained on the basis of the M.M. Protodyakonov criterion recommended by this ГОСТ) have a limited area of applicability for both stress state types and rock types. This drawback is eliminated by using the modified strength criterion used in this work, which establishes a relationship between the principal stresses in the range of their determination in standard tests of cylindrical rock samples according to the Karman scheme. A catalog containing the required amount of initial experimental data and calculated material parameters is proposed. It is shown that on the basis of such a catalog it is possible to reflect the envelopes of various rocks in an undisturbed state.

Key words: Rock, volumetric compression, principal stresses, strength criterion, envelope of Mohr's limiting circles.

Исходная концепция. Согласно ГОСТ 21153.8–88 [1] паспортом прочности горных пород считается огибающая к наибольшим предельным кругам напряжений Мора, получаемых в эксперименте при нескольких видах трехосного сжатия цилиндрических образцов по схеме Кармана. Различные эмпирические линии огибающей (прямолинейная, парабола и т.д. [2] – [7]) имеют ограниченную область применимости как для видов напряженного состояния, так и для типов пород. Для построения более адекватного эксперименту паспорта прочности необходимо знать теоретическую зависимость между главными напряжениями. Такую зависимость, т.е. соответствующий критерий прочности (апробированный в диссертации К.Т. Койчуманова), предложил Т.Б. Дуйшеналиев [2]. В отличие от авторской формулировки, этот критерий, как показано в работе [8], можно представить в виде:

$$\sigma_3 = A + \sqrt{Q\sigma_1^2 + B^2} \quad (A, B, Q - \text{const}), \quad (1)$$

где главные напряжения сжатия (σ_i , $i = 1, 2, 3$) считаются положительными и $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$, вид напряженного состояния характеризуется параметром $c = \sigma_3 / \sigma_1$.

Исходное представление (в пространстве главных напряжений) зависимости $\sigma_3 = \sigma_3(\sigma_1)$ (которое привело [2] к выражению, подобному (1)) фактически было дано в виде сопряженной гиперболы (согласно методу её построения) с параллельным сдвигом вдоль вертикальной оси относительно центра симметрии гиперболы. Это обстоятельство очень усложнило преобразования при получении формулы вида (1). В расчетах соотношение (1) авторами [2] использовано только для случая $Q=1$.

Между тем, искомый результат представления зависимости $\sigma_3 = \sigma_3(\sigma_1)$ достигается элементарно непосредственно из канонического выражения сопряженной гиперболы (в декартовых осях координат x, y) с указанным сдвигом (x_0, y_0) относительно центра симметрии [9]:

$$\frac{(x-x_0)^2}{b^2} - \frac{(y-y_0)^2}{a^2} = -1, \quad (a, b = \text{const}). \quad (2)$$

Из (2) выразим координату y с учетом того, что для наших целей она должна непрерывно возрастать:

$$y = y_0 + \sqrt{\frac{(x-x_0)^2}{b^2} a^2 + a^2}. \quad (3)$$

Формула (3) в случае, когда отношение полуосей гиперболы $a/b=1$, характеризует равнобочную гиперболу.

Переобозначим координаты x, y , полагая

$$x = \sigma_1, \quad y = \sigma_3, \quad (4)$$

а константы a, x_0, y_0 и отношение $(a/b)^2$ представим в виде:

$$a = B, \quad x_0 = 0, \quad y_0 = A, \quad (a/b)^2 = Q. \quad (5)$$

В результате таких переобозначений, искомая зависимость $\sigma_3 = \sigma_3(\sigma_1)$ будет иметь вид формулы (1), которая в нашей редакции обобщает критерий прочности Дуйшеналиева-Койчуманова [2], поскольку установлено, что $Q \leq 1$ (т.е. применяется и значение $Q \neq 1$). На этом основании, с учетом предложенного нами метода вывода формулы (1), данная формула представляет собой модифицированный критерий прочности горных пород. Его апробация была осуществлена при построении паспорта прочности, используя экспериментальные данные для разнообразных горных пород, для которых механические характеристики представлены в монографии [10].

Для определения параметров A, B, Q в модифицированном критерии прочности в число исходных данных нет необходимости вводить в рассмотрение предел прочности на растяжение. Достаточно последовательно использовать формулу (1) следующим образом: в качестве исходных данных при $Q=1$ выбираются экспериментальные значения пределов прочности при одноосном сжатии ($c = c_0 = 0$) и при наибольшем (осуществленном в опыте) виде объемного напряженного состояния (c_2); а при $Q \neq 1$ к первым двум видам напряженного состояния добавляется рассмотрение еще при одном значении параметра

$c_1 \in (c_0, c_2)$. Из полученной таким образом системы уравнений находятся искомые параметры A , B , Q .

Таблица 1 - Исходные экспериментальные данные [10] (размерность напряжения - МПа)

Dunham dolomite (block 1)	σ_1	209	289	296	344	367	412
	σ_3	0.1	8.2	10.8	18	21.6	33
Westerly granite	σ_1	239	387	484	582	771	917
	σ_3	0.1	9.5	17	27.5	51	77
Solnhofen limestone	σ_1	310	397	447.5	473	528	
	σ_3	0	20	40	60	80	
Dunham dolomite (block 2)	σ_1	261.5	400	487	540	568	620
	σ_3	0	25	45	60	65	85
Yamaguchi marble	σ_1	82	118	140	189	243	
	σ_3	0	6	12.5	25	40	
Mizuho trachyte	σ_1	100	196	259	302	341	368
	σ_3	0	15	30	45	60	75
Manazuru andesite	σ_1	140	349	381	552	671	806
	σ_3	0	16	20	40	70	100
Orikabe monzonite	σ_1	234	339	504	584.7	751.4	962
	σ_3	0	5	20	40	80	140
Inada granite	σ_1	229	508	692	860	1013	1168
	σ_3	0	20	40	70	100	150

На основе представленных формул порядка расчета и исходных экспериментальных данных составляется следующий вариант каталога прочностных характеристик горных пород, включающий необходимое количество экспериментальных данных и определенных материальных параметров породы (A , B , Q): таблица 2.

Задаются расчетные напряжения: σ_c , $\sigma_1|_{c=c_i} = \sigma_{1(i)}$ ($i = 1, 2$).

В число определяемых материальных параметров включается также теоретический предел прочности на растяжение (σ_p^t).

Возможен и другой вариант расчета: в качестве исходных экспериментальных данных можно использовать пределы прочности на растяжение и одноосное сжатие для определения параметров A , B при $Q=1$.

Таблица 2 - К определению материальных параметров модифицированного критерия прочности

σ_c	$\sigma_{l(1)}$	c_1	$\sigma_{l(2)}$	c_2	A	Q	B	σ'_p
Dunham dolomite (block 1)								
209	-	-	445	0.074	-2322.06	1	2312.63	-9.19
Westerly granite								
239	917	0.084	2117	0.189	-1824.2	0.366	1818.45	-5.74
Solnhofen limestone								
310	-	-	528	0.1515	-1101.8	1	1057.27	-44.5
Dunham dolomite (block 2)								
261.5	-	-	725	0.1724	-1766.47	1	1747.01	-19.46
Yamaguchi marble								
82	140	0.089	243	0.164	-44.69	0.098	36.49	-8.19
Mizuho trachyte								
100	-	-	437	0.23	-854.8	1	848.9	-5.87
Manazuru andesite								
140	-	-	881	0.147	-2844.5	1	2841.4	-3.44
Orikabe monzonite								
234	-	-	1107	0.18	-2826.7	1	2817.03	-9.7
Inada granite								
229	-	-	1497	0.15	-4642.76	1	4637.1	-5.65

На основе данного каталога представим наибольшие круги напряжений Мора и огибающую к ним, например, для Mizuho trachyte (рис.1, 2), для Westerly granite (рис.3,4), для Yamaguchi marble (рис.5,6). Координаты огибающей вычислялись известным образом согласно теореме о её существовании как касательной к семейству окружностей.

Уравнение круга (для удобства его исследования) записывается в виде:

$$\varphi(\sigma, \tau, \sigma_1) = \sigma^2 + \tau^2 - (\sigma_1 + \sigma_3)\sigma + \sigma_1\sigma_3 = 0, \quad (6)$$

где параметром семейства уравнений (φ) является напряжение σ_1 .

Согласно известной теореме [11], огибающая семейства уравнений вида (6) должна удовлетворять также уравнению:

$$\varphi_{\sigma_1}(\sigma, \tau, \sigma_1) = 0, \varphi_{\sigma_1} = \partial \varphi / \partial \sigma_1. \quad (7)$$

Решением системы уравнений (6)-(7) будут координаты огибающей:

$$\sigma = \frac{\sigma_3 + \sigma_1 \sigma'_3}{1 + \sigma'_3}, \tau = \pm \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{1 + \sigma'_3} \sqrt{\sigma'_3}, \left(\sigma'_3 = \frac{\partial \sigma_3}{\partial \sigma_1} \right) \quad (8)$$

Предварительно укажем следующее: уравнение кругов Мора можно представить еще в виде, отличном от (6):

$$\varphi(\sigma, \tau, \sigma_1) = \sigma^2 + \tau^2 - (1+c)\sigma_1\sigma + c\sigma_1^2 = 0, \quad (9)$$

где в качестве параметра данного семейства кругов фигурирует вид напряженного состояния (c).

В этом случае координаты огибающей предельных кругов напряжений имеют вид:

$$\sigma = \frac{\sigma_1(\sigma_1 + 2c(\sigma_1)_c)}{\sigma_1 + (1+c)(\sigma_1)_c}, \quad \tau = \frac{(1-c)\sigma_1\sqrt{(\sigma_1 + c(\sigma_1)_c)(\sigma_1)_c}}{\sigma_1 + (1+c)(\sigma_1)_c}$$

$$(\sigma_1)_c = \frac{\partial \sigma_1}{\partial c} = \frac{c[2A^2 - (1-c^2)B^2] - A(1+c^2)\sqrt{A^2 - (1-c^2)B^2}}{(1-c^2)^2\sqrt{A^2 - (1-c^2)B^2}} \quad (10)$$

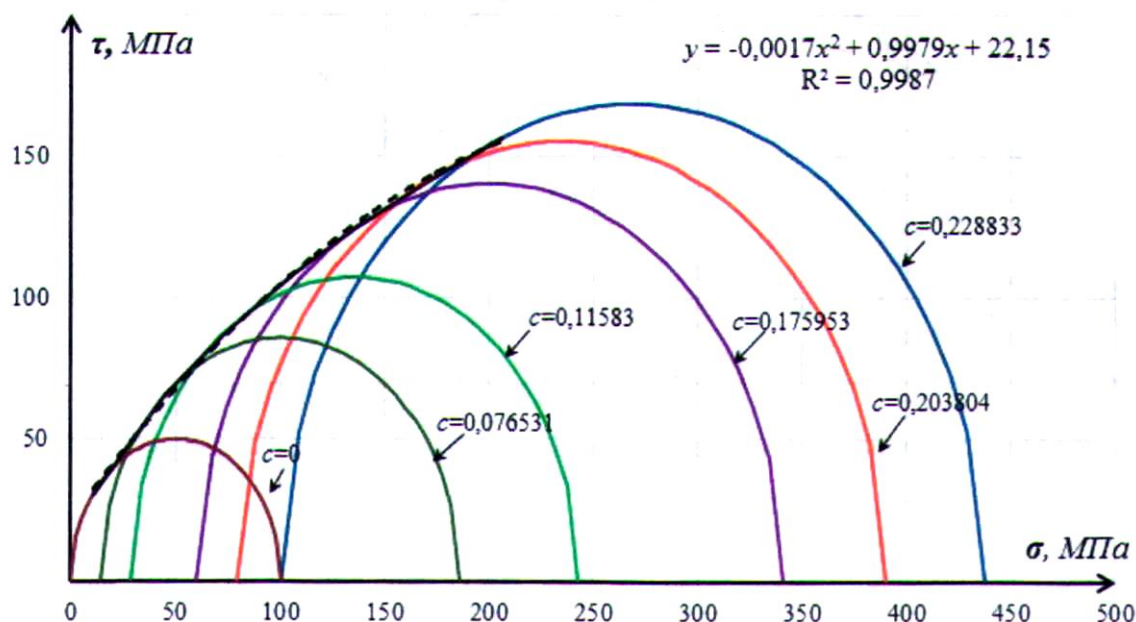


Рис. 1. Круги Мора для одноосного и трехосного сжатия горной породы Mizuho trachyte. Представлена также линия тренда, с высокой достоверностью R^2 отражающая расчётную огибающую.

На рис.1,3,5 расчетная огибающая построена по формулам (10). На рис.2,4,6 отдельно представлены круги Мора для растяжения, одноосного сжатия и огибающая к ним, построенная по формулам (8). Вычисленные по этим двум формулам координаты огибающей точно совпадают в точке касания круга на одноосное сжатие. Тем самым подтверждается применимость всех представленных расчетных формул. Для всех рассмотренных горных

поряд расхождения между расчетными и экспериментальными предельными кругами напряжений Мора не превышает 10%.

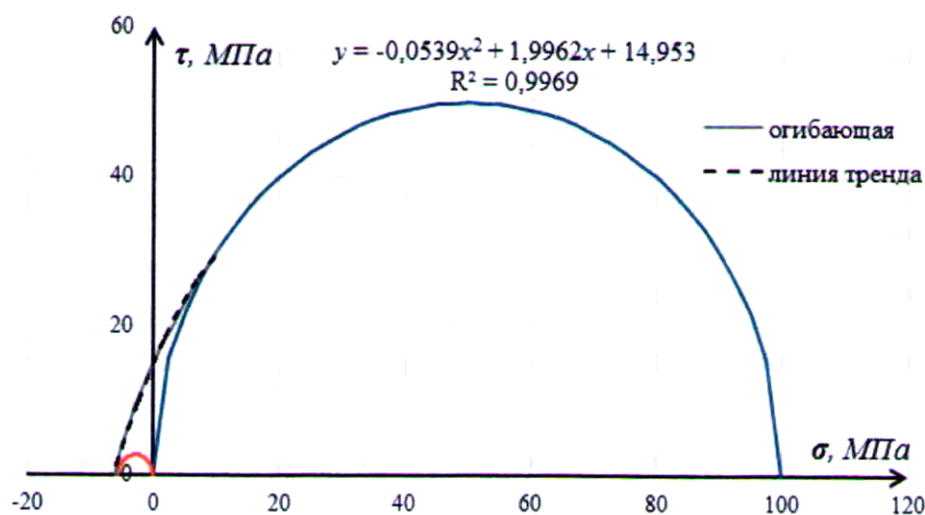


Рис. 2. Огибающая к кругам Мора на растяжение и одноосное сжатие для Mizuho trachyte

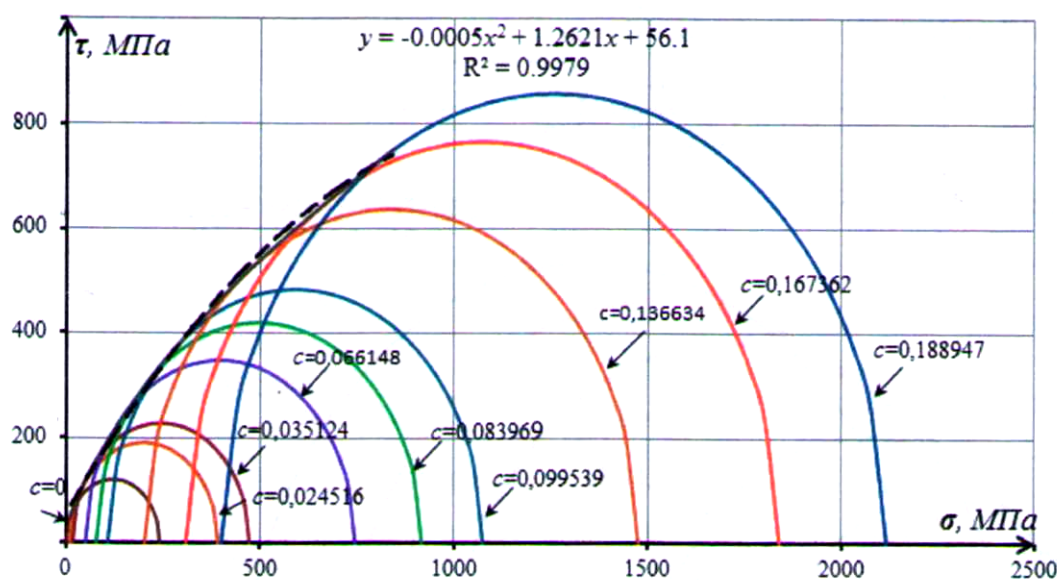


Рис. 3. Круги Мора для одноосного и трехосного сжатия горной породы Westerly granite

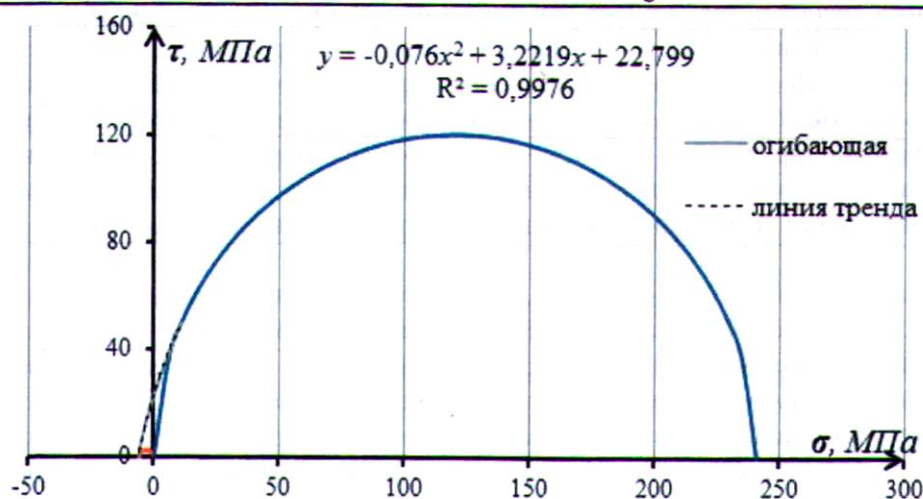


Рис. 4. Огибающая к кругам Мора на растяжение и одноосное сжатие для Westerly granite

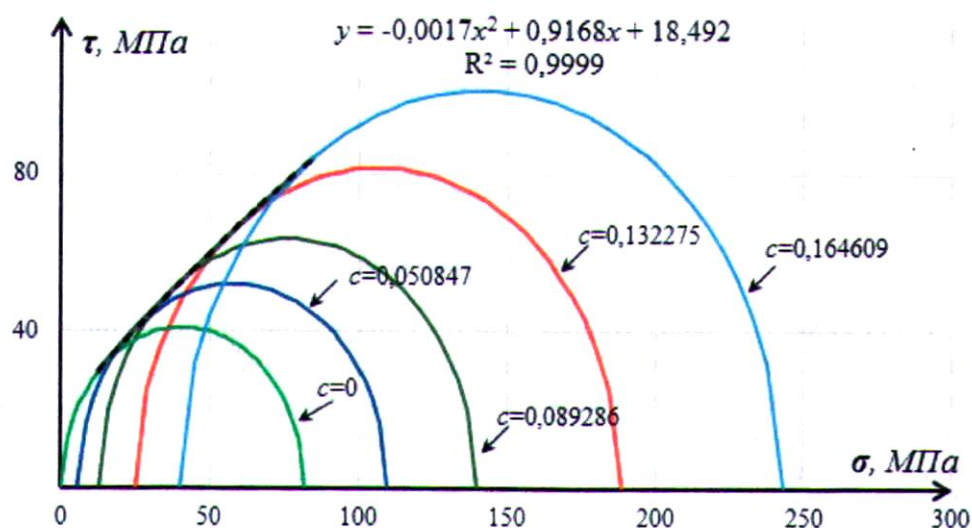


Рис. 5. Круги Мора для одноосного и трехосного сжатия горной породы Yamaguchi marble

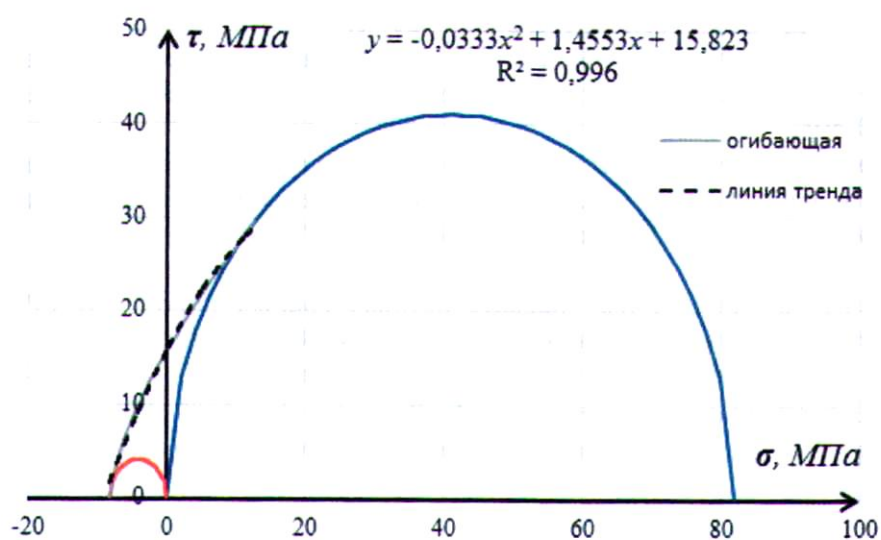


Рис. 6. Огибающая к кругам Мора на растяжение и одноосное сжатие для Yamaguchi marble

Из указанного способа построения огибающих в области растягивающих и сжимающих напряжений следует важный вывод; а именно: при экспериментальном построении огибающей к кругам Мора, включая одноосное растяжение, не следует стремиться аппроксимировать такую огибающую единой эмпирической зависимостью, начиная от растяжения и экстраполируя её в область сжимающих напряжений. Попытки такой аппроксимации заканчивались, как правило, неудачами. Между тем таких затруднений не возникает при применении изложенной методики построения паспорта прочности горных пород.

Заключение. Согласно ГОСТ 21153.3-88, для составления паспорта прочности горных пород (т.е. для построения огибающей к предельным наибольшим кругам Мора) надо знать пределы прочности не менее чем при пяти видах напряженного состояния: при одноосном сжатии и растяжении, а также не менее чем при трех видах трехосного (объемного) сжатия. В то время как при применении модифицированного критерия прочности (представленного формулой (1)), при $Q=1$ требуются только значения пределов прочности при одноосном сжатии ($c=c_0=0$) и при наибольшем (осуществленном в опыте) виде объемного напряженного состояния (c_2). При $Q \neq 1$ к первым двум видам напряженного состояния добавляется рассмотрение еще при одном значении параметра $c_1 \in (c_0, c_2)$. Таким образом, в общем случае (при $Q \neq 1$) для построения расчетного паспорта прочности максимальное количество исходных экспериментальных данных не превышает трех. Этих данных достаточно и для прогноза значений пределов прочности на растяжение большого количества рассмотренных нами горных пород, представленных в [10].

Список литературы

1. ГОСТ 21153.8-88 Породы горные. Метод определения предела прочности при объемном сжатии. – Введ. 1988–15–03. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 15 с.
2. Дуйшеналиев, Т.Б. Уравнение огибающей линии предельных кругов напряжений / Т.Б. Дуйшеналиев, К.Т. Койчуманов. – Бишкек: Илим, 2006. – 130 с.
3. Ставрогин, А.Н. Пластичность горных пород / А.Н. Ставрогин, А.Г. Протосеня. – М.: Недра, 1979. – 301 с.
4. Mao-hong Yu. Advances in strength theories for materials under complex stress state in the 20th Century // Appl Mech Rev vol 55, no 3, 2002. – p. 169-218.
5. Литвинский Г.Г. Аналитическая теория прочности горных пород и массивов. – Монография / ДонГТУ. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 207 с.
6. Abigail Hackston, and Ernest Rutter. The Mohr–Coulomb criterion for intact rock strength and friction – a re-evaluation and consideration of failure under polyaxial stresses // Solid Earth, 7, 2016 – p. 493-508.
7. Протоdjаконов, М.М. Методы исследования механических свойств горных пород в условиях объемного напряженного состояния. – В кн.: Механические свойства горных пород / М.М.Протоdjаконов, Е.И. Ильницкая, В.И.Карпов. – М.: Изд-во АН СССР, 1963, С. 38–56.
8. Рычков, Б.А. О прочностных характеристиках горных пород / Б.А.Рычков // Современные проблемы механики сплошных сред – Бишкек, 2011. – Вып. 13. – С. 310-317.
9. Погорелов, А.В. Аналитическая геометрия. / А.В.Погорелов. – М.: Наука, 1968. – 176 с.
10. Mogi K., Experimental rock mechanics, CRC Press, London, 2007, 375 p.
11. Погорелов, А.В. Дифференциальная геометрия / А.В. Погорелов. – М.: Наука, 1974. – 176 с.