

Д.Л. Васильев, канд. техн. наук, научн. сотр.,
Ю.Е. Поляков, аспирант, инженер
(ИГТМ НАН Украины),
Ю.А. Костандов, канд. физ.-мат. наук, ст. научн. сотр.,
Л.Я. Локшина, научн. сотр.
(ТНУ им. В.И. Вернадского)

МЕТОД РАСЧЁТА ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ СЖАТИИ УСЕЧЁННО-КОНУСНЫХ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПОСТОЯННОМ КОНТАКТНОМ КАСАТЕЛЬНОМ НАПРЯЖЕНИИ

Аннотация. Изучено напряжённо-деформированное состояние образца горной породы усечено-конусной формы при его одноосном сжатии. Разработан метод расчёта предела прочности образцов усечено-конусной формы при одноосном сжатии, получено выражение для расчёта их предела прочности. Учтено влияние внутреннего трения материала и контактного трения на поверхности приложения нагрузки на предельные напряжения в образце. Установлена зависимость между углом конусности и пределом прочности образцов усечено-конусной формы. Проведено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными и установлено их удовлетворительное соответствие.

Ключевые слова: контактные напряжения, касательные, напряжения, разрушение образца, усечённо-конусная форма

D.L. Vasilyev, Ph. D. (Tech.), Scientific Associate,
Yu.Ye. Polyakov, Doctoral Student, Engineer
(IGTM NAS of Ukraine)

Yu.A. Kostandov, Ph. D. (Phys.-Math.), Senior Researcher,
L.Ya. Lokshina, Scientific Associate
(V.I. Vernadsky TNU)

THE METHOD OF CALCULATING COMPRESSIVE STRENGTH OF THE TRUNCATED CONICAL ROCK SAMPLES AT A CONSTANT CONTACT SHEAR STRESS

Abstract. The stress-strain state of a rock sample of truncated conical shape at its uniaxial compression is studied. The method for calculating the ultimate strength of the samples truncated-cone shape under uniaxial compression is developed, and we get the expression for the calculation of their ultimate strength. The influence of internal friction of the material and contact friction on the load application surface on the limit stress in the sample is taken into account. The relationship between the cone angle and the ultimate strength of the truncated-cone shape samples has been established. A comparison of the obtained results with experimental data shows their satisfactory conformity.

Keywords: contact, shear, strain, fracture sample, truncated-cone shape

Одним из основных параметров оценки напряжённо-деформированного состояния горных массивов и разрушения их исполнительными органами горных машин является предел прочности горных пород при одноосном сжатии.

В 60-е годы прошлого столетия в бывшем СССР и за рубежом для получения достоверных данных о пределе прочности материалов были созданы специальные прессы, в элементах которых напряжения и перемещения при заданной нагрузке значительно меньше напряжений и перемещений в испытываемых образцах. В СССР такие прессы имелись в отдельных НИИ (ВНИМИ, ИГТМ НАНУ, ИФГП НАНУ, ИГД им. Скочинского, ИГМОН НАН Киргизии и др.). Но они требуют высококвалифицированного обслуживания и располагаются вдали от горных предприятий, где требуется оперативность получения информации о свойствах горных пород. Поэтому актуальной является разработка метода аналитического расчёта предела

прочности горных пород при условии знания их механических свойств, определяемых более простыми способами, доступными в условиях производства.

При лабораторных исследованиях прочности горных пород на сжатие в основном используются образцы правильной геометрии. В реальных условиях выемки полезного ископаемого выработки, забои и откосы имеют не прямолинейную форму. Поэтому важно учесть эту их особенность. В данной работе исследовано влияние геометрии образца на предел его прочности на примере усеченно-конусных образцов.

Рассмотрим образец усеченно-конусной формы, на контактных плоскостях которого приложены касательные напряжения τ_k , обусловленные контактным трением, направленные против поперечной деформации (рис. 1). На рис. 1 показаны линии скольжения (ЛС) ξ_l (левая) и ЛС ξ_n (правая) для цилиндра и соответственно ЛС со штрихом ξ'_l и ξ'_n – для усеченно-конусного образца.

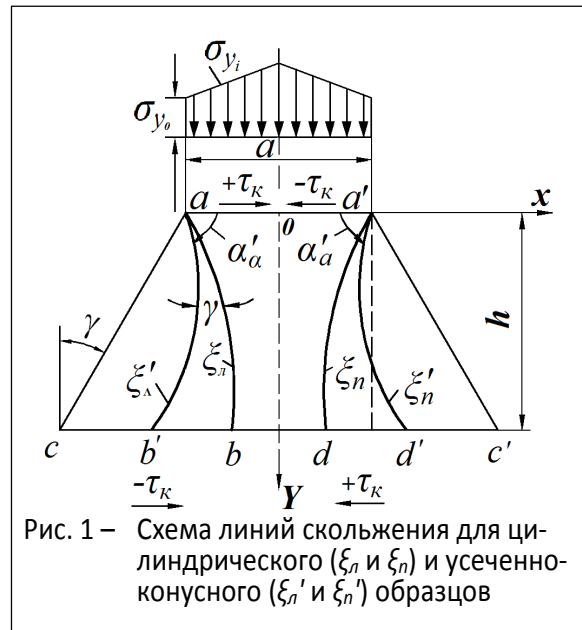


Рис. 1 – Схема линий скольжения для цилиндрического (ξ_l и ξ_n) и усеченно-конусного (ξ'_l и ξ'_n) образцов

Примем, что на контактных поверхностях распределение нормального напряжения имеет вид треугольника (рис. 2, а), а контактные касательные напряжения τ_k являются постоянными (рис. 2, б), что подтверждено экспериментально [1].

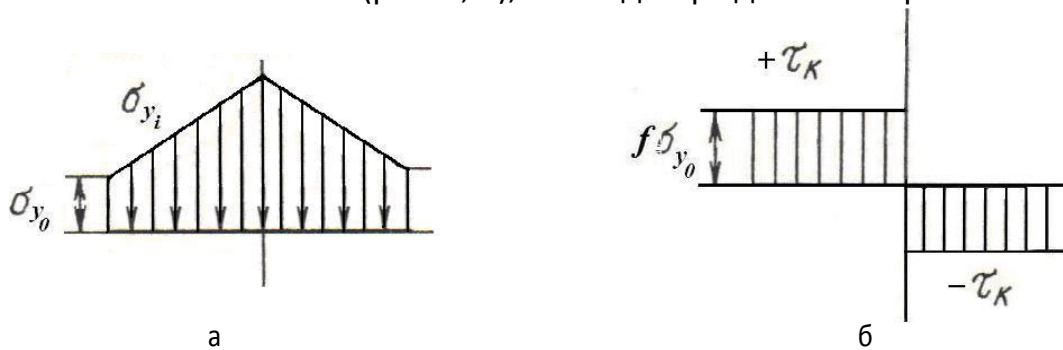


Рис. 2 – Распределение контактных нормальных σ_y (а) и касательных τ_k (б) напряжений на верхней контактной поверхности образца

Расположим начало системы координат посередине верхней контактной поверхности образца. Ось OY совпадает с вертикальной осью симметрии образца. Оговорим правило знаков действующих в образце напряжений: касательные напряжения считаются положительными, если они направлены вдоль одной из осей координат, а нормальные сжимающие напряжения при этом – вдоль другой оси. Из сказанного следует, что на верхней контактной поверхности левой половины образца касательные напряжения имеют положительный знак, на нижней – отрицательный, а на правой половине образца – наоборот.

Распределение нормальных напряжений $\sigma_{y_i}^B$ на верхней контактной поверхности описывается выражением

$$\sigma_{y_i}^B = \sigma_{y_0} \left(1 + f \frac{a - 2x}{h} \right), \tag{1}$$

где a – диаметр контактного круга;
 σ_{y_0} – нормальное напряжение в угловой точке образца a (при $x = a/2$);
 f – коэффициент контактного трения;
 h – высота образца.

Распределение касательных напряжений τ_k на контактной поверхности описывается выражением

$$\tau_k = f \sigma_{y_i}. \quad (2)$$

В процессе разрушения образца при удалении вершины трещины от контактной поверхности образца касательные напряжения уменьшаются. Это происходит по двум причинам: за счёт затухания контактного трения вдоль оси ОУ и увеличения ширины образца. Затухание считаем линейным. В срединной плоскости образца при $y = h/2$ касательные напряжения τ_k равны нулю. Различие размеров верхней и нижней контактных поверхностей определяется углом γ между нормалью и образующей конуса [2].

Распределение контактных нормальных напряжений $\sigma_{y_i}^H$ на нижней поверхности образца при $y = h$, с учётом увеличения ширины образца, имеет вид

$$\sigma_{y_i}^H = \sigma_{y_0} \left(1 + \frac{f(a-2x)}{L_H h} \right), \quad (3)$$

где $L_H = 1 + 2 \frac{h}{a} \operatorname{tg} \gamma$.

Для касательных напряжений τ_{xy} , действующих внутри образца ($0 < y < h$):

$$\tau_{xy} = \frac{\tau_k (1 - 2y/h)}{L}, \quad (4)$$

где $L = 1 + 2 \frac{y}{a} \operatorname{tg} \gamma$; $\frac{y}{a} \operatorname{tg} \gamma$ – параметр увеличения ширины образца при изменении y от 0 до h .

С учётом (2) выражение (4) примет вид

$$\tau_{xy} = \frac{f \sigma_{y_i} (1 - 2y/h)}{L}$$

С учётом приведенного выше необходимо разработать метод расчёта предела прочности на одноосное сжатие усечено-конусных образцов. Для этого используем критерий разрушения Кулона с учётом внутреннего трения материала, в соответствии с которым

$$\tau_{\varepsilon} = \tau_{\alpha} - \mu \sigma_{\alpha} \leq k, \quad (5)$$

где τ_{ε} – эффективное касательное напряжение,
 τ_{α} – активное касательное напряжение на наклонной плоскости,
 σ_{α} – активное нормальное напряжение на наклонной плоскости,
 μ – коэффициент внутреннего трения материала,
 k – предельная сопротивляемость материала сдвигу.
 Значения τ_{α} и σ_{α} определяются в соответствии с [3]

$$\tau_{\alpha} = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\alpha + \tau_k \cos 2\alpha, \quad (6)$$

$$\sigma_{\alpha} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\alpha - \tau_k \sin 2\alpha, \quad (7)$$

где α – угол наклона нормали к ЛС относительно оси OX ,
 σ_x – нормальные напряжения, действующие вдоль оси OX ,
 σ_y – нормальные напряжения, действующие вдоль оси OY .

Подставив выражения (6) и (7) в выражение (5) и продифференцировав по α , находим выражение для определения угла наклона траектории максимальных касательных напряжений (линии скольжения) относительно оси OX :

$$\alpha_1 = \frac{1}{2} \arctg \left(-\frac{2\mu\tau_k - (\sigma_x - \sigma_y)}{\mu(\sigma_x - \sigma_y) + 2\tau_k} \right) + \frac{\pi}{2}. \quad (8)$$

Используя выражение (8), находим тригонометрические функции $\sin 2\alpha$ и $\cos 2\alpha$, после подстановки которых в выражение (5), получаем

$$\tau_{\alpha} = \frac{\cos \rho}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_k^2}, \quad (9)$$

где $\rho = \arctg \mu$ – угол внутреннего трения.

Далее продифференцируем по α_1 выражение (7). После подстановки в полученную формулу тригонометрических функций получаем

$$\frac{d\sigma_{\alpha}}{d\alpha} = \cos \rho \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_k^2}. \quad (10)$$

Из сравнения выражений (9) и (10) следует, что

$$\frac{d\sigma_{\alpha}}{d\alpha} = 2\tau_{\alpha}. \quad (11)$$

Из выражения (11) с учётом (5) получим важное дифференциальное уравнение равновесного состояния на линии скольжения ξ

$$\frac{d\sigma_{\alpha}}{d\alpha} = 2(\tau_{\alpha} + \mu\sigma_{\alpha}), \quad (12)$$

Решение уравнения (12) сводится к интегрированию на линии скольжения ξ между точками a и b

$$\int_{\sigma_{\alpha b'}}^{\sigma_{\alpha a}} \frac{d(\tau_{\alpha} + \mu\sigma_{\alpha})}{\mu} = 2 \int_{\alpha_b'}^{\alpha_a} d\alpha. \quad (13)$$

Для решения этого уравнения необходимо знать значения касательных τ_{α} и нормальных напряжений σ_{α} , углов α_a и α_b' наклона линий скольжения в точках a и b' .

Из выражения (7), с учётом (8), получаем

$$\sigma_{\alpha} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{\sin \rho}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_k^2}. \quad (14)$$

Из уравнения равновесия (6), с учётом (8), получим для точки a

$$\tau_{\alpha} = k = \frac{\cos \rho}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_k^2} - \mu \frac{(\sigma_x + \sigma_y)}{2}. \quad (15)$$

Из (15) находим

$$\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_k^2} = \frac{2k + \mu(\sigma_x + \sigma_y)}{\cos \rho}. \quad (16)$$

Для определения суммы $(\sigma_x + \sigma_y)$ используем соотношение между нормальными напряжениями σ_x и σ_y из [4].

$$\frac{(\sigma_x + \sigma_y)}{2} = \frac{(k + \mu\sigma_y)}{\cos \rho} (\sin \rho - \sqrt{1 - b^2}) + \sigma_y, \quad (17)$$

где

$$b = \frac{\tau_k}{k + \mu\sigma_{y_i}}. \quad (18)$$

Применительно к образцу усечено-конусной формы с учётом выражения (5) и связи между касательными и нормальными напряжениями, задаваемой законом Кулона-Амонтона, на линии скольжения ξ_l в вершине трещины внутри образца выражение (18) имеет вид

$$b_{\xi_l} = \frac{f\sigma_{y_i} \left(1 - \frac{2y}{h}\right)}{L(\tau_{\xi} + \mu\sigma_{y_i})}. \quad (19)$$

Значение параметра b в точке b' (при $y = h$) с учётом выражения (3) запишем в виде

$$b_{b'} = -\frac{f\sigma_{y_i}^H}{L_H(\tau_{\xi_{b'}} + \mu\sigma_{y_i}^H)}, \quad (20)$$

где $\tau_{\xi_{b'}}$ – эффективные касательные напряжения в точке b' .

Отметим, что в вершине неразвивающейся трещины $\tau_{\xi_{b'}} < k$. При достижении вершиной трещины точки b' на нижней плоскости образца $\tau_{\xi_{b'}} = k$.

Теперь с учётом выражений (16) и (17) преобразуем уравнение (14) для точки b' к виду

$$\sigma_{\alpha_{b'}} = \sigma_y \left(1 - \sin \rho \cdot \sqrt{1 - b_{b'}^2}\right) - \tau_{\xi_{b'}} \cos \rho \sqrt{1 - b_{b'}^2}. \quad (21)$$

В точке a $\sigma_x = 0$. Следовательно, для точки a можем записать

$$\sigma_{\alpha_a} = k \cos \rho \sqrt{1 - b_a^2}. \quad (22)$$

Найдём углы наклона α_a и $\alpha_{b'}$, используя выражение (8).

Обозначим

$$\frac{2\tau_k}{\sigma_x - \sigma_y} = 2\beta_a,$$

где β_a – угол поворота ЛС ξ' , обусловленный действием контактного трения.

Тогда

$$\beta_a = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{2\tau_k}{\sigma_x - \sigma_y}. \quad (23)$$

Из выражения (23), проведя ряд преобразований, получим

$$\beta_a = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{b \cdot \cos \rho}{\sin \rho - \sqrt{1 + b^2}}.$$

Преобразуя выражение (9), находим в точке a

$$\alpha = \frac{\pi}{4} + \frac{\rho}{2} + \beta_a. \quad (24)$$

Теперь следует учесть геометрию образца усечено-конусной формы.

Определим угол наклона ЛС ξ'_n внутри образца с учётом геометрии образца усечено-конусной формы, характеризующейся углом γ :

$$\alpha_{\xi'} = \frac{\pi}{4} + \frac{\rho}{2} + \beta_{\xi'} + \gamma, \quad (25)$$

где, на основании выражения (23), значение угла поворота ЛС ξ' , обусловленного действием контактного трения, вдоль ЛС

$$\beta_{\xi'} = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{b_{\xi'_n} \cdot \cos \rho}{\sin \rho - \sqrt{1 - b_{\xi'_n}^2}}.$$

Отметим, что $\beta_{\xi'}$ имеет отрицательный знак при $\sqrt{1 - b_{\xi'_n}^2} > \sin \rho$.

Значение угла поворота ЛС ξ'_n в точке b' нижней плоскости на основании выражения (23) определяется из выражения

$$\beta_{b'} = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{-b_{b'} \cdot \cos \rho}{\sin \rho - \sqrt{1 - b_{b'}^2}} \right).$$

Тогда угол наклона $\alpha_{b'}$ линии скольжения ξ'_n в точке b'

$$\alpha_{b'} = \frac{\pi}{4} + \frac{\rho}{2} + \beta_{b'} + \gamma.$$

Найдём общий угол поворота α линии скольжения между точками b' и a , который необходим для решения уравнения (13), используя разность величин $\alpha_{b'}$ и $\alpha_{\xi'_n}$

$$\alpha = \beta_{b'} + \beta_{\xi'_n} + \gamma. \quad (26)$$

Используя выражения (19)-(26) при решении уравнения (13) и опуская громоздкие преобразования, получим систему уравнений (27) для расчёта нормального сжимающего напряжения на линии скольжения ξ' в вершине трещины в образце

$$\left\{ \begin{aligned} \sigma_y &= \frac{1}{\mu} \left[\frac{k(1 + \sin \rho \cdot \sqrt{1 - b_{\xi'_n}^2}) \cdot \exp[2\mu(\beta_{\xi'_n} + \beta_{b'} + \gamma)]}{1 - \sin \rho \cdot \sqrt{1 - b_{b'}^2}} - \tau_{\text{эб}'} \right]; \\ \tau_{\text{эб}'} &= \frac{(k + \mu\sigma_y)(1 - \sin \rho \cdot \sqrt{1 - b_{\xi'_n}^2})}{(1 + \sin \rho \cdot \sqrt{1 - b_{b'}^2}) \cdot \exp[2\mu(2\beta_{b'} + \gamma)]}. \end{aligned} \right. \quad (27)$$

Условием предельного состояния в вершине трещины является равенство эффективного касательного напряжения пределу сопротивления материала сдвигу k . Уравнения (27) позволяют определить нормальное напряжение в вершине трещины в процессе её развития. Тогда напряжения σ_y в вершине трещины выполняют роль σ_{y_0} в силу обнажения образца, за счёт выхода одного из берегов трещины из-под нагрузки в процессе разрушения.

Для расчёта значений напряжений σ_y по формулам (27) разработана программа для ПЭВМ с использованием метода итераций.

Поскольку при разрушении материала $\sigma_{y_0} = \sigma_y$, предел прочности σ_c , соответствующий началу образования трещин, может быть определён как предельная нагрузка, отнесённая к площади круга верхней контактной поверхности образца усечённо-конусной формы, то с учётом (1) запишем

$$\sigma_c = \frac{8\sigma_{y_0}}{a^2} \int_0^{a/2} x \left(1 + f \frac{a-2x}{h} \right) dx, \quad (28)$$

где σ_y определяется по формуле (27).

Выполнив интегрирование (28), получим среднее давление – предел прочности, соответствующий началу образования трещин

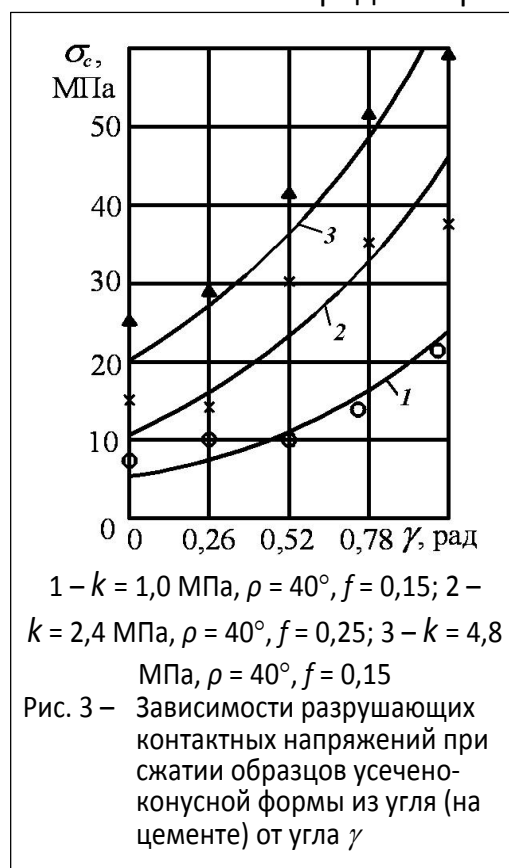
$$\sigma_c = \sigma_{y_0} \left(1 + f \frac{a}{3h} \right). \quad (29)$$

Сравним предел прочности, полученный с помощью расчётов, с экспериментальными данными.

В работе [5] приведены экспериментальные данные, соответствующие разрушающей нагрузке при одноосном сжатии усечённо-конусных образцов, изготовленных из угля и цемента, при которой образуется первая трещина. При этом были изготовлены три партии образцов из донецкого угля при различных соотношениях между углем и цементом в интервале 1:0,3...1:1. В каждой партии образцов их состав оставался неизменным. Образцы изготавливали путём заливки специальных форм из органического стекла массой из угля, цемента и воды. Результаты экспериментов по определению прочности образцов приведены на рис. 3 и обозначены для каждой из трёх партий кружками, крестиками и треугольниками.

В [5] приведены экспериментально установленные значения предела прочности в зависимости от угла γ , но, к сожалению, без указания значений параметров k , ρ и f для использованных образцов, которые необходимы для расчётов по формулам (27). Сопоставление расчётных кривых, построенных при предположительных значениях параметров k , ρ и f , с экспериментальными данными свидетельствует об удовлетворительном их совпадении. Так совпадение кривых 1 и 2 с экспериментальными данными составляет 78÷82 %, кривой 3 – 72÷75 %.

В [5] сделан вывод о том, что при разрушении конических образцов образуются радиальные трещины вследствие разрыва наружного кольца материала внутренними конусами. Естественно, линии скольжения формируют радиальные трещины. Однако, ввиду отсутствия растягивающих сил, разрыва кольца материала внутренними конусами не происходит. На основании критерия разрушения Кулона и учёта контактного трения можно сделать вывод о том, что разрушение происходит за счёт сдви-



говых деформаций при наличии не растягивающих, а сжимающих напряжений.

Выводы

1. Разработан метод расчёта предела прочности образцов усечённо-конусной формы при одноосном сжатии и постоянном контактом касательном напряжении на контактирующих поверхностях, который основан на использовании трёх параметров свойств пород (k , f , μ), измерение которых осуществляется простыми способами, доступными для лабораторий производственных предприятий.

2. Построены зависимости предела прочности образцов усечённо-конусной формы от угла конусности γ .

3. Проведено сопоставление указанных расчётных зависимостей с экспериментальными данными. Совпадение расчётных данных с экспериментальными составляет 72-82 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Унксов, Е.П. Инженерные методы расчета усилий при обработке металлов давлением / Е.П. Унксов. – М., Машгиз, 1955. – 230 с.
2. Томленов, А.Д. Теория пластического деформирования металлов / А.Д. Томленов. – М.: Metallurgia, 1972. – 408 с.
3. Биргер, И.А. Сопrotивление материалов / И.А. Биргер, Р.Р. Мавлютов. – М.: Наука, 1986. – 560 с.
4. Васильев, Д.Л. Метод расчета распределения горизонтальных напряжений в массивах горных пород // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2002. – Вып. 29. – С. 161-165.
5. Некрасов, С.С. Сопrotивление хрупких материалов резанию / С.С. Некрасов. – М.: Машиностроение, 1971. – 183 с.

Об авторах

Васильев Дмитрий Леонидович, кандидат технических наук, научный сотрудник, отдел Механики эластомерных конструкций горных машин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина

Поляков Юрий Евгеньевич, аспирант, инженер I категории отдела Проблем разрушения горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, ZoRTFA@mail.ru

Костандов Юрий Аршавинович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского (ТНУ им. В.И. Вернадского), НИИ проблем геодинамики, Симферополь, Украина, ipgd@yandex.ru

Локшина Людмила Яковлевна, научный сотрудник, Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского (ТНУ им. В.И. Вернадского), НИИ проблем геодинамики, Симферополь, Украина

About the authors

Vasilyev Dmitriy Leonidovich, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Researcher, Researcher in Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine

Polyakov Yuriy Evgenovich, Doctoral Student, Engineer in Department of Rock Breaking Problems, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, ZoRTFA@mail.ru

Kostandov Yuriy Arshavirovich, Candidate of Physics and Mathematics (Ph. D.), Senior Researcher, Principal Researcher in SRI Department of Geodynamics, V.I. Vernadsky Taurida National University (V.I. Vernadsky TNU), Simferopol, Ukraine, ipgd@yandex.ru

Lokshina Lyudmila Yakovlevna, Researcher in SRI Department of Geodynamics, V.I. Vernadsky Taurida National University (V.I. Vernadsky TNU), Simferopol, Ukraine

А.А. Каспаров, канд. техн. наук, главный конструктор
(ОП НТЦ «Интайр»),
Ю.К. Растеряев, канд. техн. наук, ведущий специалист
Г.Н. Агальцов, инженер, мл. научн. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

БРЕКЕР РАДИАЛЬНОЙ ШИНЫ И СПОСОБЫ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Аннотация. Представлен способ изготовления брекера радиальных шин, заключающийся в предварительной его вытяжке для обеспечения жёсткости и монолитности.

Ключевые слова: радиальная пневматическая шина, брекер, предварительная вытяжка

A.A. Kasparov, Ph. D. (Tech.), Chief Designer
(Intire STC),
Y.K. Rasteryaev, Ph. D. (Tech.), Principal Specialist
G.N. Agaltsov, Engineer, Junior Researcher
(IGTM NASU)

THE BREAKER OF A RADIAL TYRE AND METHODS OF IT'S MANUFACTURING

Abstract. The manufacturing method of a breaker of the radial tires, which consists in its preliminary stretching for strength and solidity, is presented.

Keywords: radial pneumatic tyre, breaker, preliminary stretching

В радиальной пневматической шине обрезаемые нити корда слоя (или слоёв) каркаса охватывают её всю (от борта до борта) и заворачиваются вокруг проволоочных бортовых колец [1]. Нити корда каркаса такой шины разбегаются от бортовых колец радиально, совпадая с меридианами шины (рис. 1). Радиальный каркас обеспечивает шине максимальную вертикальную упругость, и, тем самым, создаёт максимальный комфорт транспортного средства.

Однако устойчивость геометрии радиального каркаса в окружном направлении стремится к нулю. С другой стороны, при накачивании шины воздухом, радиальный каркас будет разрастаться по диаметру. Для устранения этих недостатков радиальный каркас опоясывают брекером (рис. 1).

В шинной промышленности брекером называют силовой элемент радиальной пневматической шины, который представляет собой слоистый резиновый пояс, армированный нитями корда (текстильными нитями корда или металлокордными нитями) с обрезанными концами на его краях (рис. 1). Брекер

