

жимаясь, перемещает каретки 2, которые жестко соединены с вторичным элементом 11, в исходное положение.

Вследствие этого контактные поверхности 4 кареток 2 перемещаются относительно копира 5, а последний занимает верхнее положение. Копиры 5 в таком положении через рычаги 6 воздействуют на башмаки 7 тормозных колодок 8, растягивая пружины 10, затормаживают колёса 9 тележек 1.

При толкающем воздействии электромагнитного поля статора линейного двигателя на вторичный элемент 11 последний, а вместе с ним и каретка 2 перемещается, сжимая пружины 12. При этом контактная поверхность 4 каретки 2, движется относительно копира 5 и последний занимает своё нижнее положение. Рычаги 6 при этом не воздействуют на башмаки 7 тормозных колодок 8, которые при помощи пружин 10 отводятся от колёс.

Такая тормозная система позволяет осуществлять плавное торможение, как на горизонтальных, так и на наклонных участках пути, полную остановку поезда в заданном месте, а также автоматическое управление конвейерным поездом.

Таким образом, с помощью схем замещения рассмотрены основные электрические параметры линейного двигателя (ЛАД), при применении которого в качестве привода может быть осуществлено автоматическое управление транспортной системой с автоматическим торможением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пилипчук С.М. Об экспериментальных исследованиях аварийного корпусного тормоза конвейерного поезда на опытно-промышленном участке Рыбальского гранитного карьера. «Геотехническая механика». Сб. научн. тр. ИГТМ НАНУ–Днепропетровск, 2003 Вып. 42 с.171-178.
2. А.С. № 582411 СССР МКИ E21F ¹³/₀₂ Конвейерный поезд С. М. Пилипчук, Л.М. Солодовник, опубликовано в БИ 1977, № 44
3. Ребров С.А, Ижеля Г.И. Электропривод с линейными электродвигателями. Труды Всесоюзной научной конференции по электроприводам с линейными электродвигателями – Киев, 1975, №2, 137с.

УДК: 622.831: 624.131 (043.3)

Д.Л. Васильев

РАСЧЕТ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ИХ РАЗРУШЕНИИ В ВИДЕ УСЕЧЕННЫХ ПИРАМИД

Дається фізичне пояснення утворенню форми руйнування зразків гірських порід у вигляді усічених пірамід.

CALCULATION OF STRENGTH LIMIT OF SAMPLES OF ROCK UNDER THEIR DESTROYING IN THE MANNER OF TRUNCATED PYRAMIDS

Given physical explanation to forming a form of destroying the samples of rock in the manner of truncated pyramids.

В работе [1] установлено, что при одноосном раздавливании монолитных, не имеющих видимых трещин и выраженной слоистости, образцов с высотой, равной диаметру, встречаются четыре формы разрушения. Наиболее распространенной из них является пирамидальная форма (приблизительно около по-

ловины случаев).

В работе [2] проведено исследование формирования образования этого вида разрушения на основании теории линий скольжения, по которой принимается, что разрушение происходит при достижении по всей линии скольжения эффективных касательных напряжений по Кулону значений, равных постоянной пластичности k – сопротивляемости материала сдвигу. Однако, несмотря на совершенствование критерия Кулона учетом внешнего трения достичь высокой достоверности расчетного подхода с экспериментальными данными не удалось. Поэтому изыскание решения задач раскрытия механизма образования форм разрушения требует дальнейшего продолжения. Данная статья подготовлена в соответствии с заданием госбюджетной темы 1.3.5.74 НАН Украины «Механика горных пород, техника и технология добычи угля высоконагруженными лавами».

В статье [3] предлагается исходить из условия предельного состояния, по которому принимается, что разрушение происходит при достижении эффективности касательных напряжений τ_s сопротивляемости сдвигу в локальной области, в то же время, как остальные области, в которых напряжение τ_s не достигают значения k , находятся в упругом состоянии. Для этого было получено и решено дифференциальное уравнение расчета предела прочности материала в локальной области.

В статье [4] представлен метод расчета предела прочности на одноосное сжатие при линейной связи между контактными напряжениями.

В данной статье ограничимся образованием пирамид при условии отсутствия пересечения траекторией максимальных эффективных касательных напряжений (ТМЭКН) продольной оси образца.

Это наиболее простой вид разрушения образцов, возникающий при одноосном сжатии. Схему нагружения образца и возникающие в нем ТМЭКН представим на рис. 1. Ширину образца обозначим через a , высоту – через h .

На контактных поверхностях напряжения от внешнего трения изобразим в виде τ_k . Искажением формы сечений образца пренебрегаем. Для упрощения решения задачи и, учитывая симметричность нагружения, центр осей координат расположим в левом верхнем углу образца. Ось Y направим вдоль действия активного нагружения σ_y , ось X – вдоль действия левой силы трения τ_k , которая согласно правилу знаков на верхней контактной плоскости левой половины образца имеет положительное значение, на нижней – отрицательное значение. В виду симметрии нагружения достаточно рассматривать левую половину образца.

Принимаем, что касательно напряжение от внешнего трения по высоте образца к центру снижаются по линейному закону

$$\tau_{xy} = \tau_k \left(1 - \frac{2y}{h} \right). \quad (1)$$

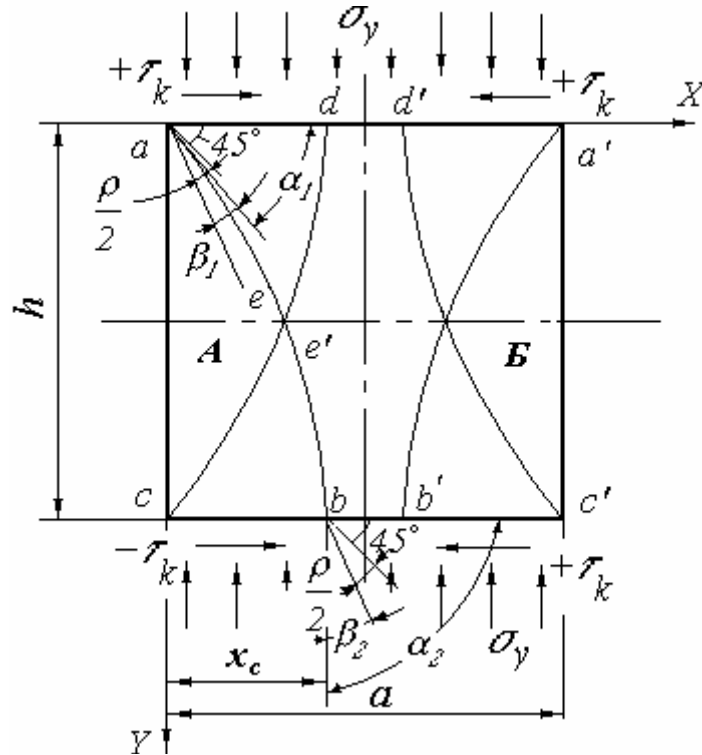


Рис. 1 – Схема сетки линий скольжения в образце горной породы при наличии внутреннего и внешнего трения

Связь между касательными напряжениями от внешнего трения и нормальными напряжениями принимается согласно закону Амонтона через f_k (коэффициент внешнего трения)

$$\tau_k = f_k \cdot \sigma_y. \quad (2)$$

Распределение нормальных и касательных напряжений имеет экспоненциальный вид согласно решений дифференциальных уравнений равновесия [4]. Нормальные и касательные напряжения на контактных поверхностях определяются из выражений

$$\sigma_y = \sigma_{y_0} e^{2f_k \cdot x/h}; \quad (3)$$

$$\tau_k = f_k \cdot \sigma_y = f_k \cdot \sigma_{y_0} e^{2f_k \cdot x/h}; \quad (4)$$

где σ_{y_0} - нормальные напряжения в угловых точках образца.

Из этой работы позаимствуем выражения для определения предельных продольных напряжений сжимающих напряжений σ_{y_0} , обозначив τ_0 – текущее значение эффективного касательного напряжения на ТМЭНК и k_2 – эффектив-

ное касательное напряжение в точке выхода ТМЭНК на нижней контактной плоскости:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{y_0} &= \frac{1}{\mu} \left[\frac{\tau_3 (1 + \text{Sin} \rho \sqrt{1 - b_1^2}) e^{2\mu(\beta_1 + \beta_2)}}{1 - \text{Sin} \rho \sqrt{1 - b_2^2}} - k_2 \right] \\ k_2 &= \frac{\tau_3 (1 - \text{Sin} \rho \sqrt{1 - b_1^2}) + \mu \sigma_{y_0} (1 - \text{Sin} \rho \sqrt{1 - b_2^2})}{(1 + \text{Sin} \rho \sqrt{1 - b_2^2}) e^{2\mu(-\beta_1 + \beta_2)}} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где $\mu = \text{arctg} \rho$ – коэффициент и ρ – угол внутреннего трения;

$$b_1 = \frac{f_k \sigma_{y_0} \psi_1(f_k, x, y)}{k + \mu \sigma_{y_0} \psi_1(f_k, x, y)}; \quad (6)$$

$$b_2 = - \frac{f_k \sigma_{y_0} \psi_2(f_k, x_c, y_{max})}{k_2 + \mu \sigma_{y_0} \psi_2(f_k, x_c, y_{max})}; \quad (7)$$

x_c – абсцисса точки пересечения ТМЭНК в точке выхода её на нижнюю контактную плоскость образца (рис. 1) при $y = y_{max} = h$ для ТМЭНК, выходящей из верхнего левого угла образца; β_1 и β_2 – углы поворота ТМЭНК соответственно в угловых точках образца и в точках выхода ТМЭНК на контактные поверхности, определяемые выражениями:

$$\beta_1 = \frac{1}{2} \text{arctg} \frac{b_1 \text{Cos} \rho}{\text{Sin} \rho - \sqrt{1 - b_1^2}}; \quad (8)$$

$$\beta_2 = \frac{1}{2} \text{arctg} \frac{b_2 \text{Cos} \rho}{\text{Sin} \rho - \sqrt{1 - b_2^2}}; \quad (9)$$

$\Psi_1(f_k, x, y)$ и $\Psi_2(f_k, x_c, y_{max})$ функции распределения нормальных напряжений на контактных поверхностях, которые определяются условиями формирования ТМЭНК.

При достижении в угловых точках значения τ_3 , равного k – сопротивляемости материала сдвигу, принято считать, что предельная сжимающая нагрузка σ_{y_0} достигает предела прочности образца. Поэтому при расчете последнего следует принимать τ_3 , равным k . Параметр k_2 обозначает наименьшее значение эффективного касательного напряжения в точке выхода с абсциссой x_c (рис. 1) ТМЭНК на нижнюю контактную плоскость.

Теперь, прежде всего, определимся с геометрией ТМЭНК. В качестве базовой для изучения принимаем ТМЭНК, выходящую из левого верхнего угла. Остальные ТМЭНК cd , $a'b'$, $c'd'$ являются аналогичными. Углы наклона ТМЭНК относительно оси X определяются по формуле [4]

$$\alpha = \frac{\pi}{4} + \rho / 2 + \beta_i, \quad (10)$$

где β_i – текущее значение угла поворота ТМЭКН от внешнего трения в точках x_i и y_i образца.

Как видно из выражений (8) и (9) численные значения углов поворотов на ТМЭКН определяются параметрами b_1 и b_2 . Здесь возникает необходимость определения функций Ψ_1 и Ψ_2 . С учетом известного положения о том, что вдоль ординаты y на плоскостях, перпендикулярных к действию нормальных напряжений, значения последних являются постоянными, выражения b_1 и b_2 согласно формул (3), (6) и (7) имеют вид

$$b_1 = \frac{f_k \sigma_{y_0} e^{2f_k \cdot x/h}}{k + \mu \sigma_{y_0} e^{2f_k \cdot x/h}}; \quad (11)$$

$$b_2 = - \frac{f_k \sigma_{y_0} e^{2f_k \cdot x_c/h}}{k_2 + \mu \sigma_{y_0} \cdot e^{2f_k \cdot x_c/h}}. \quad (12)$$

Учитывая, что параметр b_1 определяется для точки $x = 0$, формула (11) упрощается

$$b_1 = \frac{f_k \sigma_{y_0}}{k + \mu \sigma_{y_0}}.$$

Совокупность системы уравнений (1) – (5) и (8) - (11) решались на ПЭВМ методом итераций, что позволило определить нормальное напряжение σ_{y_0} в угловых точках, в частности в верхней левой. При знании значений напряжения σ_{y_0} , коэффициентов контактного f_k и внутреннего μ трения и геометрических размеров образца согласно [4] представляется возможным определить предел прочности образцов горных пород по формуле

$$\rho = \sigma_{y_0} \cdot \frac{h}{f_k \cdot a} \left(e^{\frac{f_k \cdot a}{h}} - 1 \right) \quad (13)$$

Теперь определим значения углов внутреннего трения, при которых, например при $f_m = 0,25$, формируются усеченные пирамиды согласно рис. 2, заимствованного из [5].

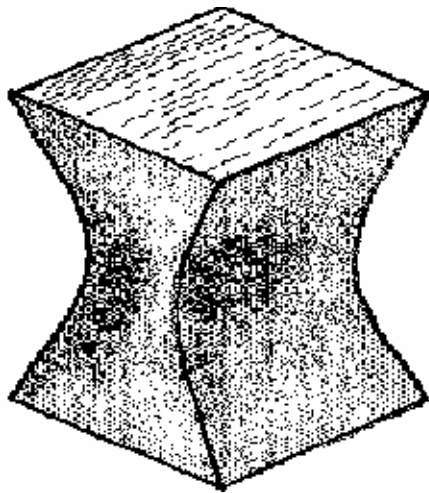


Рис. 2 – Форма разрушения образца в виде усеченных пирамид

Для этого должны быть построены по формуле (10) ТМЭКН. На рис. 3 показаны для левой продольной половины образца траектории при различных значениях ρ : 1 – 40° ; 2 – 45° ; 3 – 56° . Понятно, что в виду симметричности нагрузок, также имеют место траектории, выходящие из остальных углов образца. В процессе разрушения по этим ТМЭКН образуются усеченные пирамиды, что видно на рис. 1, когда части образца А и Б отделяются от образца. На рис. 3 показаны значения τ_s на этих ТМЭКН от высоты образца в случае, когда в левой верхней точке $\tau_s = k$ (k условно принято равным единице).

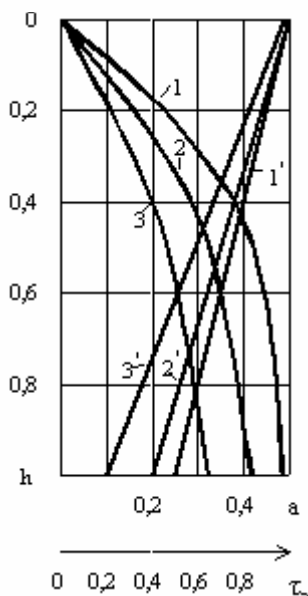


Рис. 3 – Траектории максимальных эффективных касательных напряжений, выходящих из левого верхнего угла (1,2,3) и зависимости τ_s от высоты образца при $f=0,25$ и ρ : 1(1') - 40° ; 2(2') - 45° ; 3(3') - 56°

Теперь определим зависимости предела прочности от коэффициентов внутреннего и внешнего трения. На рис.4 показаны зависимости предела прочности от коэффициентов внутреннего и внешнего трения при $k=1,0$ МПа и их различных значениях для образцов, в которых формируются усеченные пирамиды.

Расчетные данные свидетельствуют о линейности зависимости предела прочности от коэффициентов внутреннего и внешнего трения в области указанных их значениях.

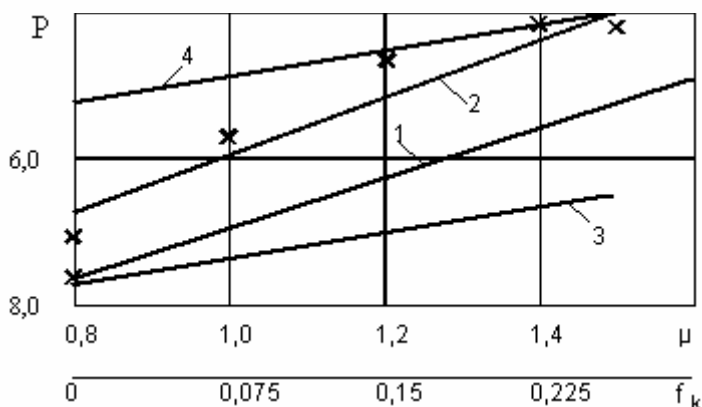


Рис. 4 – Зависимости предела прочности образцов пород при $k = 1,0$ от коэффициента внутреннего трения при: 1- $f_k= 0,0$; 2- $f_k= 0,25$ и от коэффициента внешнего трения при: 3- $\mu= 0,8$; 4- $\mu= 1,5$

Для сопоставления расчетных значений с экспериментальными данными из кадастра [6] были заимствованы данные предела прочности на сжатие для $\mu = 0,8; 1,0; 1,3; 1,5$. Было взято для каждого из указанных значений μ 4-5 значений предела прочности, которые были подвергнуты усреднению. После чего средние данные были пересчитаны для $k = 1,0$ МПа и показаны на рис. 4 крестиками. Сопоставление этих экспериментальных данных с теоретической прямой $\rho = f(\mu)$ при $f_k = 0,25$ свидетельствует о высокой сходимости теоретических данных с экспериментальными данными (ошибка составляет 4-12 %), что подтверждает более высокое соответствие теории предельного состояния реальному процессу разрушения по сравнению с теорией линий скольжения, ошибка при которой достигает значений 20-35 % [2].

Выводы

На основании полученных зависимостей можно сделать вывод о линейном возрастании предела прочности образцов от коэффициентов внутреннего и внешнего трения до $f_k = 0,25$, при этом при указанных значениях коэффициентов трения возрастание предела составляет 35-50 %.

Однако здесь следует оговориться, что линейность этих зависимостей наблюдается при значениях коэффициента внутреннего трения в пределах $\mu = 0,8-1,6$ и внешнего $f_{max} = 0 - 0,25$. При других значениях коэффициентов внутреннего и внешнего трения линейность предела прочности нарушается и формы

разрушения приобретают другие виды: продольного разрушения или пирамид без усечения, что является предметом следующих публикаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барон Л.И. Горнотехнологическое породоведение. – М.: Наука, 1977. – 324 с.
2. Васильев Д.Л. Определение влияния внутреннего и внешнего трения горных пород на их прочность при одноосном сжатии. Дисс. канд. техн. наук. – Днепропетровск, 2002. – 145 с.
3. Васильев Л.М., Васильев Д.Л. Дифференциальное уравнение предельного состояния деформируемого твердого материала с учетом внутреннего и внешнего трения // Геотехническая механика, выпуск 41. - Днепропетровск, 2003. – С. 145-152.
4. Васильев Л.М., Васильев Д.Л. Метод расчета предела прочности горных пород на одноосное сжатие при линейной связи между контактными напряжениями// Геотехническая механика, выпуск 42.-Днепропетровск, 2003. –с 48 – 55.
5. Биргер И.А., Мавлютов Р.Р. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1986. –560 с.
6. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород. - М.: Недра, 1975. – 277 с.

УДК 622.647.2

Р.В. Кирия, Т.Ф. Мищенко, Р.Г. Павленко

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ ЛЕНТЫ КОНВЕЙЕРА ПО РОЛИКООПОРАМ

Рассмотрен вопрос о коэффициенте сопротивления движению ленты по роlikоопорам ленточного конвейера. Найдены аналитические зависимости коэффициента сопротивления от параметров конвейера. Полученные результаты достаточно хорошо согласуются с опытными данными.

TOWARDS DEFINING THE COEFFICIENT OF RESISTANCE TO THE MOTION OF THE CONVEYER BELT ON THE ROLLER BEARINGS

The question under consideration deals with the coefficient of resistance to the motion of the belt on the roller bearings of the belt conveyer. The analytic dependences of the resistance coefficient upon the conveyer parameters were found. Obtained results coordinate well with the experimental data.

В связи с выполнением программы "Энергосбережение и надежность горного производства", выполняемой с 2000 года по Постановлению Президиума НАН Украины, возникла проблема создания эффективно работающего горного транспорта на угольных предприятиях. Как показал опыт эксплуатации конвейерного транспорта на шахтах Украины, наибольшие потери энергии при транспортировании угля возникают при движении ленты конвейера по роlikоопорам.

Поэтому определение коэффициента сопротивления движению ленты конвейера по роlikоопорам является важной задачей при проектировании и управлении работой ленточного конвейера с помощью ЭВМ. Этим вопросом занимались многие исследователи [1-7].

В результате были выделены основные составляющие силы сопротивления движению ленты по роlikоопорам ленточного конвейера. Кроме того, были найдены зависимости этих составляющих от различных параметров. Однако эти зависимости были получены, в основном, по результатам обработки эмпи-