

висит от материала фибровых волокон и степени армирования. При использовании металлических волокон образцы проявляли повышенную прочность на изгиб, даже в случае возникновения трещин. Однако увеличение предельных изгибающих усилий, действующих на образец до полной потери им устойчивости, не характеризует работоспособность образца под нагрузкой. По критерию работоспособности наибольшую устойчивость показали образцы, армированные извилистой полимерной фиброй ( $P=1938 \text{ кгс}\cdot\text{мм}$ ), значительно меньшей работоспособностью характеризовались образцы с жесткой полимерной фиброй ( $P=1524 \text{ кгс}\cdot\text{мм}$ ). Наименьшей работоспособностью при наибольшей прочности образцов ( $\sigma_{\text{изг}}=6,5 \text{ МПа}$ ) обладали образцы с металлической фиброй.

Характер деформирования образцов с различным типом фибр может в дальнейшем определять область использования волокон в зависимости от горно-геологических условий и глубины ведения проходческих работ.

Таким образом, можно судить, что показатель работоспособности волокон является актуальным для полимерных фибр, в то время как для металлических волокон более актуальным является предел прочности образцов.

#### Список литературы

Будівельне матеріалознавство: Підручник. – К.: ТОВ УВПК „ЕксОб“, 2008. – 704 с.

Представлено результати лабораторних випробувань відновлених зразків фібробетону. Виконано порівняльний аналіз характеру деформування зразків. В якості фібр використані ті, що отримали найбільше поширення – звивисті полімерні, жорсткі полімерні та металеві волокна. Розглянуто вплив типу армування на працездатність відновлених фібробетонних зразків.

**Ключові слова:** *фібробетон, фібра, ослаблений тріщиною зразок, відновлюючий шар, межа міцності*

The article presents results of laboratory tests of recovered fiber-reinforced concrete specimens. A comparative analysis of the nature of the specimens deformation is done. In the capacity of fibers are used widely known winding polymer, rigid plastics and metal fibers. An influence of the type of the reinforcement on the performance of the reduced fiber-concrete specimens is fulfilled.

**Keywords:** *fiber concrete, fiber, a model weakened by a crack, restoring layer, tensile strength*

Рекомендовано до публікації д.т.н. О.М. Шашенком 17.06.2010

УДК 621.85.01

© Лубенец Н.А., 2010

Н.А. Лубенец

## ЗАВИСИМОСТЬ НАТЯЖЕНИЯ ИДЕАЛЬНОЙ НИТИ ВДОЛЬ ЛИНИИ КОНТАКТА С НЕПОДВИЖНЫМ БЛОКОМ ПРИ СКОЛЬЖЕНИИ

N.A. Lubenets

### DEPENDENCE OF PULL OF IDEAL FILAMENT ALONG THE LINE OF CONTACT WITH IMMOBILE BLOCK WHEN SLIDING

Уточнена известная зависимость натяжения идеальной нити Эйлера при скольжении по блоку под действием сил, приложенных к ее концам. Зависимость отчасти учитывает представления о трении Кулона, которые господствуют в науке со времени их введения в 1779 г. Полученная зависимость способствует совершенствованию теории трения гибких тел, теории и практики транспортирования грузов с гибким тяговым органом.

**Ключевые слова:** *гибкое тело, идеальная нить, блок, натяжение, скольжение, закон трения*

В соответствии с выводом в 1775 г. закона трения гибких тел Эйлера (формулы Эйлера), изменение натяжения идеальной нити вдоль линии контакта с блоком описывается выражением

$$S(\alpha) = S_2 \cdot e^{\omega \cdot \alpha},$$

где  $S(\alpha)$  – натяжение идеальной нити в заданном сечении;  $S_2$  – натяжение идеальной нити в точке набега;  $\omega$  – коэффициент трения скольжения между идеальной нитью и блоком;  $e$  – основание натурального логарифма;  $\alpha$  – угол сечения идеальной нити.

Закон трения гибких тел Эйлера устанавливает взаимосвязь между параметрами трения идеальной нити (невесомой, абсолютно гибкой и нерастяжимой)

по неподвижному блоку при скольжении, которая описывается выражением

$$\ln \frac{S_1}{S_2} = \omega \cdot \varphi,$$

где  $S_1$  – натяжения в сбегавшей с блока ветви идеальной нити;  $\varphi$  – угол обхвата барабана идеальной нитью.

Закон трения гибких тел Эйлера (формула Эйлера) имеет высокую степень цитирования в научной, учебной и методической литературе по механике, физике, математике, транспорту, используется при выполнении научных исследований и диссертационных работ. Решение Эйлером задачи о скольжении идеальной нити по неподвижному блоку, из которого

вытекает упомянутый закон, рассматривается учеными, преподавателями и студентами как показательный классический пример решения задач механики аналитическими методами, основателем которых является Великий Эйлер [1–3].

Однако закон трения гибких тел Эйлера не описывает условия скольжения, когда одно из усилий, приложенных к концам идеальной нити, равно нулю и дает весьма сомнительную прогнозную оценку значения угла обхвата, необходимого для удержания груза идеальной нитью силой, приложенной к другому концу, близкой к нулю (угол обхвата стремится к бесконечности) [3]. При этом Эйлер в своих выводах опирался на господствующие в то время, но устаревшие сегодня представления о трении, введенные Амонтоном в 1699 г. (закон о прямой пропорциональности между силой трения и нормальной реакцией между телами).

Кроме того, результаты научных исследований по оценке коэффициента трения между конвейерной лентой и барабаном конвейера свидетельствуют о глубочайшем противоречии между показателями, полученными косвенным методом с использованием упомянутого закона трения гибких тел Эйлера и его истинным значением, полученным на плоской поверхности ленты прямым методом в соответствии с законом Кулона-Амонтона [1]. Оказывается, что отличие между этими коэффициентами трения порой достигает 30% [1, 2]. Такую разницу между показателями, по нашему мнению, только отчасти можно объяснить различными механизмами трения идеальной нити и реального тягового органа, и условиями скольжения конвейерной ленты по плоской и цилиндрической поверхности тела.

Все это породило сомнение в правильности закона трения гибких тел Эйлера и, отвечающей ему, зависимости натяжения идеальной нити вдоль линии контакта с блоком при скольжении.

Поэтому автор настоящей статьи предложил новое решение задачи Эйлера, которое отчасти учитывает изменившиеся после вывода формулы Эйлера представления о трении, а именно представления Кулона (закон о двухпараметрической линейной зависимости между силой трения и нормальной реакцией между телами), господствующие сейчас в науке со времени их введения в 1779 г [4–6]. Оно расширяет пределы применимости закона трения гибких тел, вытекающего из нового решения задачи Эйлера, дает реальную прогнозную оценку угла обхвата идеальной нитью блока при значении силы, приложенной к ее концу, близкой к нулю и преодолевает накопившиеся противоречия в оценке коэффициента трения гибких тяговых органов при использовании формулы Эйлера.

Новое решение задачи Эйлера в параметрах трения, которые ввел Кулон [6]

$$S_1 - S_2 = F_c + \omega' \cdot \frac{S_2 + S_1}{2} \cdot \varphi,$$

где  $F_c$  – сила трения между идеальной нитью и блоком при нормальной реакции между ними, равной

нулю;  $\omega'$  – тангенс угла наклона зависимости силы трения от нормальной реакции между телами.

А решение, которое включает коэффициент трения, введенный Амонтоном [6], будет таким

$$S_1 - S_2 = \left( \frac{2 \cdot F_c}{\varphi \cdot (S_1 + S_2)} + \omega' \right) \cdot \frac{S_2 + S_1}{2} \cdot \varphi = \omega' \cdot \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot \varphi$$

или

$$\frac{2 \cdot (S_1 - S_2)}{S_1 + S_2} = \varphi \cdot \omega' - const.$$

Однако, в соответствии с новым решением задачи Эйлера, в явном виде не следует какой является истинная зависимость натяжения идеальной нити вдоль линии контакта пары трения [6].

Следовательно, установление истинной зависимости натяжения идеальной нити вдоль линии контакта с блоком, является актуальной научной задачей, имеющей большое научное и практическое значение. Это, в частности, необходимо для правильного понимания механизма передачи тягового усилия гибкому тяговому органу, способствует совершенствованию теории трения гибких тел, теории и практики транспортирования грузов с гибким тяговым органом.

Целью статьи является установление истинной зависимости натяжения идеальной нити по длине линии контакта при ее скольжении по неподвижному блоку под действием сил, приложенных к ее концам, которая отчасти учитывает изменившиеся представления о трении после вывода формулы Эйлера в 1775 г.

Для реализации поставленной цели попытаемся установить некоторые закономерности между параметрами трения идеальной нити по неподвижному блоку. Воспользуемся известным методом определения усилий натяжения в сбегавшей и набегающей с блока ветвях идеальной нити при скольжении [7]. Сущность метода испытаний состоит в уравнивании моментов сил тяги и трения скольжения идеальной нити о блок при срыве сцепления между ними [6].

Идеальная нить охватывает приводной и концевой блоки с заданным натяжением (угол обхвата может быть различным, что достигается отклоняющимися блоками, которые на схеме не показаны). Созданием тормозного момента на оси концевой блока реализуется различный характер трения между идеальной нитью и блоком (сцепление или скольжение). Приводным блоком приводится в движение идеальная нить. Средством сил трения сцепления концевой блок приводится идеальной нитью во вращение. Затем создается и доводится тормозной момент на оси концевой блока, до значения, при котором блок останавливается (срыв сцепления между идеальной нитью и блоком). При этом идеальная нить начинает скользить по блоку с заданной скоростью, а моменты сил тяги и трения идеальной нити уравниваются между собой.

Аналитическое решение задачи осуществим методами теоретической механики, которые гибкую связь рассматривают невесомой, абсолютно гибкой и нерастяжимой. Расчетная схема испытательного стenda приведена на рис. 1.

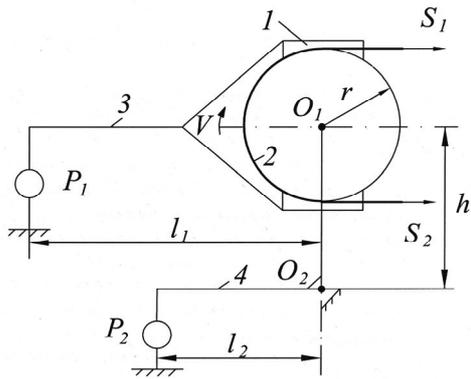


Рис. 1. Расчетная схема испытательного стенда: 1 – ленточный тормоз; 2 – концевой блок; 3, 4 – рычаги; P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> – динамометры; S<sub>2</sub>, S<sub>1</sub> – натяжение идеальной нити в точках набега и сбега

Стенд включает концевой блок 2, установленный на шарнире O<sub>1</sub> рычага с осью поворота O<sub>2</sub>. Он оснащен ленточным тормозом 1 для торможения блока 2. Динамометры P<sub>1</sub> и P<sub>2</sub>, закрепленные на рычагах 3 и 4, предназначены для измерения соответствующих усилий.

Усилия на участках набега и сбега идеальной нити S<sub>1</sub> и S<sub>2</sub> являются корнями системы линейных уравнений механической системы в состоянии равновесия – сцеплении или срыве сцепления между идеальной нитью и блоком

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n M_{O1} = S_1 \cdot r - S_2 \cdot r - P_1 \cdot l_1 = 0; \\ \sum_{i=1}^k M_{O2} = S_1 \cdot (h+r) + S_2 \cdot (h-r) - P_2 \cdot l_2 - P_1 \cdot l_1 = 0. \end{cases}$$

Отсюда

$$S_1 = \frac{P_2 \cdot l_2 \cdot r + P_1 \cdot l_1 \cdot h}{2 \cdot r \cdot h};$$

$$S_2 = \frac{P_2 \cdot l_2 \cdot r - P_1 \cdot l_1 \cdot h}{2 \cdot r \cdot h}.$$

Выражения усилий натяжения в набегающей и сбегающей ветвях идеальной нити S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> включают силу P<sub>1</sub>, характеризующую момент силы трения, что свидетельствует о влиянии на них фрикционных свойств и режима сцепления пары трения. Причем, их значения симметрично увеличиваются и уменьшаются относительно некоторого известного значения (они симметричны относительно известной точки), что обусловлено фрикционными свойствами идеальной нити. Следовательно,

$$(S(\alpha, \omega) - S_0) = k(\omega) \cdot (\alpha - \alpha_0),$$

где S(α, ω) – уравнение прямой линии, на которой лежат точки S<sub>1</sub>(ω) и S<sub>2</sub>(ω); k(ω) – угловой коэффициент прямой; S<sub>0</sub>, α<sub>0</sub> – координаты точки симметрии.

Даем графическую интерпретацию наших выкладок для идеальной нити с различными фрикционными свойствами при заданном усилии предварительного натяжения, рис. 2.

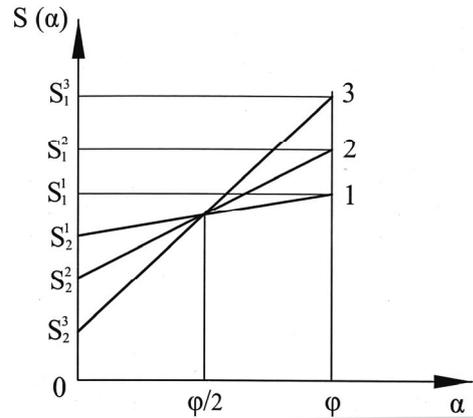


Рис. 2. Зависимость натяжения идеальной нити в различных сечениях идеальной нити при заданном усилии предварительного натяжения P: 1 – для ω<sub>1</sub> = 0; 2 – для ω<sub>2</sub> > 0; 3 – для ω<sub>3</sub> > ω<sub>2</sub>

Тогда параметры линейной функции, определяемые из граничных условий

$$k(\omega) = \frac{S_1(\omega) - S_2(\omega)}{\varphi}; \quad S_0 = \frac{S_1(\omega) + S_2(\omega)}{2}; \quad \alpha_0 = \frac{\varphi}{2},$$

а уравнение прямой линии, на которой лежат точки S<sub>1</sub>(ω) и S<sub>2</sub>(ω)

$$S(\alpha, \omega) = \frac{S_1(\omega) - S_2(\omega)}{\varphi} \cdot \alpha + S_2(\omega).$$

Поскольку найденная функция описывает граничные условия трения, попытаемся найти другие доказательства характера искомой зависимости.

С приведенным выше уравнением согласуется характер зависимости натяжения идеальной нити S(α, ω) при граничных условиях ω = 0 (зависимость 1, рис. 2). При этом натяжение идеальной нити S(α, ω) определяется только силами межмолекулярного взаимодействия материалов пары трения, которые, в соответствии с законом Кулона, пропорциональны длине линии контакта

$$F \delta \delta |_{\omega=0} = F_c + \omega' \cdot N = F_c = f_c \cdot r \cdot \varphi = S_1^1(\omega) - S_2^1(\omega),$$

где F<sub>mp</sub> – сила трения между идеальной нитью и блоком; f<sub>c</sub> – удельная (погонная) сила трения между идеальной нитью и блоком при нормальной реакции, равной нулю, равная  $\frac{F_c}{r \cdot \varphi}$ ; F<sub>c</sub> – сила трения между

идеальной нитью и блоком при нормальной реакции, равной нулю; ω' – тангенс угла наклона характеристики F<sub>mp</sub> = F<sub>mp</sub>(N) (при ω = 0, угол наклона характеристики равен нулю).

Следовательно,

$$S(\alpha, \omega) = S_2^1(\omega) + \frac{F_c}{r \cdot \varphi} \cdot r \cdot \alpha = S_2^1(\omega) + \frac{F_c}{\varphi} \cdot \alpha = S_2^1(\omega) + \frac{S_1^1(\omega) - S_2^1(\omega)}{\varphi} \cdot \alpha.$$

Теперь вычислим разницу и сумму этих усилий натяжения, которые также являются показателем степени влияния на нее фрикционных свойств пары трения, и проанализируем их значение.

Разница усилий натяжения идеальной нити в точках сбега и набега

$$S_1(\omega) - S_2(\omega) = \frac{P_1 \cdot l_1}{r}.$$

Она не зависит от силы  $P_2$  и на нее влияют только фрикционные свойства пары трения. А ее значение равно суммарной силе трения, возникающей между парой трения, что совпадает с выводами, которые были установлены еще Эйлером [1,3].

Сумма усилий натяжения идеальной нити в точках сбега и набега

$$S_1(\omega) + S_2(\omega) = \frac{P_2 \cdot l_2}{h}.$$

Искомая сумма усилий натяжения идеальной нити не зависит от момента силы  $P_1$ , а следовательно, на нее не влияют фрикционные свойства пары трения и режим сцепления. Т. е. сумма усилий натяжения идеальной нити при сцеплении или скольжении, независимо от перераспределения натяжения нити, обусловленного различными фрикционными свойствами тел, остается неизменной

$$(S_1(\omega) + S_2(\omega)) = P \neq P(\omega),$$

где  $P$  – значение усилия натяжения идеальной нити, контролируемое динамометром [6].

В этом случае частная производная функции  $(S_1(\omega) + S_2(\omega))$  по коэффициенту трения  $(\omega)$  будет равняться нулю

$$\frac{\partial(S_1(\omega) + S_2(\omega))}{\partial \omega} = 0.$$

Представив идеальную нить как линейно-деформируемую, модуль Юнга которой стремится к бесконечности, можно прогнозировать, что и удлинение гибкой линейно-деформируемой нити с различными фрикционными свойствами для различных режимов сцепления при заданном усилии предварительного натяжения  $P$  также остается неизменным (относится как к нити в целом, так и к ее отдельным частям: набегающей и сбегающей с блока ветвям; ветви, контактирующей с блоком). Наши предположения были подтверждены опытным путем при исследованиях конвейерной ленты по рассматриваемой методике, которая, с некоторыми допущениями, может быть принята линейно-деформируемой нитью [6]. Действительно, независимо от режима трения между конвейерной лентой и блоком, ее фрикцион-

ных свойств (достигалось смачиванием ленты), показания динамометра не изменялись.

Следовательно

$$\Delta l_k = \frac{1}{E} \cdot \int_a^{\dot{\alpha}} \sigma(\alpha, \omega) \cdot dl = \frac{1}{E} \cdot \int_a^{\dot{\alpha}} \frac{S(\alpha, \omega)}{F} \cdot dl = \frac{r}{EF} \cdot \int_0^{\varphi} S(\alpha, \omega) \cdot d\alpha - const$$

где  $\Delta l_k$  – удлинение участка гибкой линейно-деформируемой нити, контактирующей с блоком;  $E$  – модуль Юнга гибкой нити;  $F$  – площадь сечения гибкой нити;  $\sigma(\alpha, \omega)$  – продольные напряжения в гибкой нити.

Поэтому, интеграл вида:  $\int_0^{\varphi} S(\alpha, \omega) \cdot d\alpha$ , также ве-

личина постоянная для заданного предварительного натяжения идеальной или гибкой линейно-деформируемой нити с различными фрикционными свойствами (коэффициентом трения) при скольжении или сцеплении.

Установим физический смысл указанного интеграла. Для этого рассмотрим расчетную схему Эйлера [1,3,6], выделим элементарный участок идеальной нити  $dl$ , к которой приложены усилия натяжения  $S(\alpha)$  и  $[S(\alpha) + dS]$ , нормальную реакцию  $dN$  и силу трения скольжения  $dF$ , и определим нормальную реакцию между парой трения.

В соответствии с решением Эйлера, уравнение равновесия для элементарного участка идеальной нити  $dl$ , отвечающего элементарному углу обхвата  $d\alpha$ , при скольжении идеальной нити по блоку имеет вид [3]

$$S(\alpha) \cdot \sin \frac{d\alpha}{2} + [S(\alpha) + dS] \cdot \sin \frac{d\alpha}{2} = dN,$$

где  $S(\alpha)$  и  $[S(\alpha) + dS]$  – усилия натяжения идеальной нити на концах элементарного участка;  $dN$  – нормальная реакция между элементарным участком идеальной нити и блоком;  $d\alpha$  – приращение угла на элементарном участке идеальной нити.

Отсюда

$$dN = S(\alpha) \cdot d\alpha.$$

Поэтому, нормальная реакция между идеальной нитью с заданными фрикционными свойствами и блоком выглядит следующим образом

$$N = \int_0^{\varphi} S(\alpha, \omega) \cdot d\alpha,$$

где,  $N$  – нормальная реакция между идеальной нитью и блоком.

Т. е. рассматриваемый нами интеграл  $\int_0^{\varphi} S(\alpha, \omega) \cdot d\alpha$

(площадь фигуры, ограниченная функцией  $S(\alpha, \omega)$  в пределах угла обхвата) – нормальная реакция между идеальной нитью и блоком.

Тогда обобщенное условие неизменности нормальной реакции между идеальной нитью или гибкой

линейно-деформируемой нитью с различными фрикционными свойствами для заданного усилия натяжения при скольжении (сцеплении) по блоку будет выглядеть следующим образом

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial N}{\partial \omega} = \frac{\partial \left( \int_0^{\varphi} S(\alpha, \omega) \cdot d\alpha \right)}{\partial \omega} = 0; \\ \frac{\partial (S_1(\omega) + S_2(\omega))}{\partial \omega} = 0; \\ S_1(\omega) + S_2(\omega) = P. \end{array} \right.$$

Отсюда следует окончательный вывод, что единственно возможным характер непрерывной функции  $S(\alpha, \omega)$ , описывающей натяжение идеальной нити от угла сечения, и коэффициента трения, является линейный

$$S(\alpha, \omega) = k(\omega) \cdot \alpha + b(\omega),$$

где  $k(\omega)$ ,  $b(\omega)$  – параметры линейной функции, определяются из граничных условий

$$(b=S_2(\omega); k(\omega) = \frac{S_1(\omega) - S_2(\omega)}{\varphi}).$$

Проведем проверку наших выкладок.

Для альтернативной формулы зависимости Эйлера определим сумму натяжений идеальной нити в точках сбегания и набегания, нормальную реакцию между идеальной нитью и блоком, удлинение участка гибкой линейно-деформируемой нити, контактирующей с блоком

$$S_1(\omega) + S_2(\omega) = S(\alpha, \omega) |_{\alpha=\varphi} + S_2(\omega) = (S_2(\omega) + \frac{S_1(\omega) - S_2(\omega)}{\varphi} \cdot \alpha) |_{\alpha=\varphi} + S_2(\omega) = S_1(\omega) + S_2(\omega) = P;$$

$$N = \int_0^{\varphi} S(\alpha, \omega) \cdot d\alpha = \int_0^{\varphi} (\frac{S_1(\omega) - S_2(\omega)}{\varphi} \cdot \alpha + S_2(\omega)) \cdot d\alpha = (\frac{S_1(\omega) - S_2(\omega)}{\varphi} \cdot \frac{\alpha^2}{2} + S_2(\omega) \cdot \alpha) |_0^{\varphi} = \varphi \cdot \frac{S_1(\omega) + S_2(\omega)}{2} = \varphi \cdot \frac{P}{2};$$

$$\Delta_k = \frac{r}{EF} \cdot \int_0^{\varphi} S(\alpha, \omega) \cdot d\alpha = \frac{r}{E \cdot F} \cdot \frac{P}{2} \cdot \varphi.$$

Следовательно, искомые величины не являются функцией от коэффициента трения  $\omega$ , что отвечает практике.

И наоборот, для зависимости, обоснованной Эйлером

$$S_1(\omega) + S_2(\omega) = S(\alpha) |_{\alpha=\varphi} + S_2(\omega) = S_2(\omega) \cdot e^{\omega \cdot \varphi} |_{\alpha=\varphi} + S_2(\omega) = S_2(\omega) \cdot (e^{\omega \cdot \varphi} + 1);$$

$$N = \int_0^{\varphi} S(\alpha, \omega) \cdot d\alpha = \int_0^{\varphi} S_2(\omega) \cdot e^{\omega \cdot \alpha} \cdot d\alpha = S_2(\omega) \cdot \frac{1}{\omega} \cdot (e^{\omega \cdot \alpha}) |_0^{\varphi} = \frac{S_2(\omega)}{\omega} \cdot (e^{\omega \cdot \varphi} - 1);$$

$$\Delta_k = \frac{r}{EF} \cdot \int_0^{\varphi} S(\alpha, \omega) \cdot d\alpha = \frac{r}{E \cdot F} \cdot \frac{S_2(\omega)}{\omega} \cdot (e^{\omega \cdot \varphi} - 1)$$

Т. е. рассматриваемые параметры для зависимости Эйлера есть функции от коэффициента трения  $\omega$ , что противоречит практике.

Таким образом, установлена альтернативная зависимость натяжения идеальной нити по длине линии контакта при скольжении по неподвижному блоку под действием сил, приложенных к ее концам. Она представляет собой линейную функцию, параметры которой определяются граничными условиями, зависящими от усилия ее предварительного натяжения, фрикционных свойств пары трения и угла обхвата идеальной нитью блока

$$S(\alpha, \omega) = \frac{S_1(\omega) - S_2(\omega)}{\varphi} \cdot \alpha + S_2(\omega).$$

Установленная зависимость способствует правильному пониманию механизма передачи тягового усилия гибкому тяговому органу трением, совершенствованию теории трения гибких тел, теории и практики транспортирования грузов транспортными машинами с гибким тяговым органом, что имеет научное и практическое значение.

#### Список литературы

1. Андреев А.В. Передача трением. – М.: Машгиз, 1963. – 112 с.
2. Рошин А.С. Исследование коэффициента сцепления ленты с приводным барабаном конвейера. – Дис... канд.техн.наук. – Д., 1977–78, ДГИ. – 128 с.
3. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: Учеб. для вузов. – 12-е изд. – М.: Высш. шк., 1998. – 416 с.
4. Лубенец Н.А. Учет влияния поперечного размера гибкого тягового органа в реализации силы тяги трением // Науковий вісник НГУ. – 2008. – №10. С. 64–66.
5. Лубенец Н.А. Развитие представлений о механизме передачи тягового усилия гибкому тяговому органу трением. // Тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. “Сучасні проблеми та перспективи розвитку транспорту гірничих підприємств”. – Д., 22–24 листопада 2007 р. – С. 44–46.
6. Лубенец Н.А. Альтернативный формуле Эйлера закон реализации тягового усилия трением // Науковий вісник НГУ. – 2008. – №11. – С. 67–70.
7. Биличенко Н.Я. Экспериментальное определение коэффициента трения ленты о барабан. // Вопросы рудничного транспорта. – М.: Углетехиздат, 1954. – С. 54–60.

Уточнена відома залежність натягання ідеальної нитки Ейлера при ковзанні під дією сил, що прикладені до її кінців. Залежність, зокрема, враховує уявлення

про тертя Кулона, які панують у науці з часу їх введення в 1779 р. Отримана залежність сприяє вдосконаленню теорії тертя гнучких тіл, теорії і практиці транспортування вантажів із гнучким тяговим органом.

**Ключові слова:** гнучке тіло, ідеальна нитка, блок, натяжіння, ковзання, закон тертя

It is specified the well known dependence of pull of ideal filament of Euler along the line of contact with the immobile block when sliding under the action of the forces enclosed to its ends. The dependence in particular takes in-

to account the picture of frictions of Coulomb, which dominates in science since its introduction in 1779. Received dependence contributes to the improvement of the theory of friction of flexible bodies, the theory and practice of a freight hauling with a flexible hauling organ.

**Keywords:** flexible body, ideal filament, block, pull, sliding, law of friction

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.П Франчуком 29.06.10, к. т. н. С.С. Тімченко 16.06.10

УДК 622.023+551.243:622.268.6

© Должиков П.Н., Кобзарь Ю.И., Должиков Ю.П., 2010

П.Н. Должиков, Ю.И. Кобзарь, Ю.П. Должиков

## ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ГЛУБОКИХ АНТРАЦИТОВЫХ ШАХТ В СОДИЗЬЮНКТИВНЫХ ЗОНАХ

P.N. Dolzhikov, Yu.I. Kobzar, Yu.P. Dolzhikov

### ABOUT STABILITY OF THE LEVELS OF THE DEEP ANTHRACITIC MINES IN THE ZONES NEAR-BY DISJUNCTIVES

Рассматривается зависимость увеличения вывалообразований в горные выработки от водопритокков для глубоких антрацитовых шахт в содизьюнктивных зонах. За счет снижения прочности обводненных пород кровли нелинейно уменьшается коэффициент устойчивости выработок до 0,3–0,4. Установлена экспоненциальная зависимость коэффициента структурного ослабления от расстояния до тектонического нарушения, времени эксплуатации выработки и амплитуды дизьюнктива.

**Ключевые слова:** выработка, нарушение, водоприток, трещины, вывалы, ослабления пород

Строительство протяженных горных выработок в современных условиях сдерживается трудностью их проведения в сложных горно-геологических условиях. Это связано с тем, что с увеличением глубины ведения горных работ до 50% сооружаемых вскрывающих, подготовительных и капитальных выработок пересекают интенсивно трещиноватые нарушения (сбросы, надвиги). Имеются примеры на ряде горных предприятий, когда одна выработка встречает до 50 нарушений, т.е. на 100 м выработки приходится до 2,5 нарушений. Тектонические нарушения часто представлены чередующимися трещиноватыми обводненными предразломными зонами, неустойчивыми интервалами раздробленных пород и заразломными трещиноватыми зонами. Переход выработками нарушений сопровождается рядом осложняющих факторов, в частности, повышенным горным давлением, высокой трещиноватостью пород в районе сбросов, заполнением сместителей разрывов продуктами дробления боковых пород с различной степенью уплотнения, ведением буровзрывных работ, значительно ослабляющих окружающие породы, высокими и не всегда точно прогнозируемыми притоками и прорывами воды. Это способствует низкой устойчивости выработок, интенсивному вывалообразованию и обрушению боковых пород в выработку и, как результат, увеличению в 1,1–2,2 раза затрат на проведение и поддержание выработок [1].

**Целью** данной работы является изучение особенностей и закономерностей проявления вывалообразований, прогнозирования условий строительства и поддержания

выработок глубоких антрацитовых шахт в трещиноватых зонах дизьюнктивных нарушений.

Исследования по данной работе проводились в Бокво-Хрустальском и Должано-Ровенецком геолого-промышленных районах, в том числе на обособленном предприятии „Шахта „Комсомольская“ государственного предприятия „Антрацит“. Шахтное поле данного горного предприятия пересекают 19 сбросов, в том числе: Яковлевский, Щетовский №1, №2, №3, №4, Лобовский, Центральный №1, №2, №3, Ясеновский №1, №2, Юскинский Западный №1, №2, №3, Промежуточный, Юскинский Восточный №1, №2, №3.

Схема горных работ по одному из указанных шахтопластов в зонах тектонических нарушений приведена на рис. 1.

К основным геологическим факторам, определяющим поведение вмещающих пород и угольного пласта, влияющим на устойчивость горных выработок, относятся: слоистость и расслоение пород, трещиноватость пород и угольного массива, тектонические нарушения, обводненность массивов, литологический состав вмещающих пород, мощность, угол наклона и текстура угольного пласта, его физико-механические свойства [2].

Для выявления взаимосвязи обводненности, трещиноватости и факторов, определяющих формирование очагов вывалообразования при проведении и эксплуатации подготовительных выработок вблизи зон тектонических нарушений, проведены исследования по пластам  $h_8$  и  $h_{10}$  в 9 горизонтальных выработках.