

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РЕЗИНОТРОСОВОГО КАНАТА НА УЧАСТКЕ ПЕРЕХОДА К ТРУБЧАТОЙ ФОРМЕ

И.В. Бельмас, Д.Л. Колосов*, А.Л. Колосов**

Днепродзержинский государственный технический университет,
Днепродзержинск, Украина

*Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина

**Московский государственный университет технологий и управления,
Москва, Россия

Особенностью подъемной машины с устройством для добычи полезных ископаемых подводным способом является наличие участка придания плоскому канату трубчатой формы, граничащего с барабаном. На нем плоская лента деформируется, в ней возникают дополнительные напряжения. Величины этих напряжений влияют на безопасность эксплуатации машины, поэтому они должны быть учтены при ее конструировании.

В работе в замкнутом виде получены аналитические зависимости для определения напряженно-деформированного состояния плоского резинотросового каната, которому придана трубчатая форма. Показано, что придание плоскому канату трубчатой формы приводит к неравномерному распределению сил растяжения тросов в нем. Величины максимальных внутренних усилий зависят как от конструкции участка придания канату трубчатой формы, так и от конструктивных параметров каната. Внутренние усилия, возникающие в наиболее нагруженных крайних тросах плоского резинотросового каната на участке придания ему трубчатой формы, пропорциональны жесткости тросов каната. Они уменьшаются с ростом длины участка, возрастают с ростом расстояния между тросами и зависят от жесткости резиновой оболочки каната на сдвиг и толщины каната. Полученные выражения могут быть использованы в инженерной практике при проектировании подъемных машин с тяговым органом трубчатой формы. Выполненное исследование позволит использовать резинотросовые канаты при подводной добыче полезных ископаемых со значительных глубин и существенно повысить экологическую безопасность добычных работ.

Ключевые слова: подъемная машина, плоский резинотросовый канат, трубчатая форма, напряженно-деформированное состояние, распределение напряжений и перемещений.

STUDY OF STRESSED-DEFORMED STATE OF RUBBER CABLE IN THE AREA OF TUBULAR TRANSFORMATION

I.V. Bel'mas, D.L. Kolosov*, A.L. Kolosov**

Dniprodzerzhynsk State Technical University, Dniprodzerzhynsk, Ukraine

*National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine

**Moscow State University of Technology and Management, Moscow,
Russian Federation

One of the features of a winding engine for underwater mineral resources extraction is the area near a drum in which a flat cable gets tubular shape. The flat band is deformed, acquiring additional stresses. The values of such stresses affect engine operation safety so they have to be taken into account in design.

The paper presents analytic dependences in closed form to determine the stressed-deformed state of a flat rubber cable that acquires tubular shape. It is shown that the tubular shape acquired brings about an uneven distribution of tensile forces in ropes. Values of the maximum internal forces depend on both a structure of the area where the cable gets tubular shape and the cable structural features. Internal forces emerging within the most stressed extreme ropes of the flat rubber cable within the area where it gets tubular shape are proportional to ropes rigidity. The forces decrease as the area length increases and increase as the distance between the ropes grows and depend on rubber covering rigidity with relation to the cable shift and thickness. The equations produced may be of use in engineering in designing winding engines with tubular pulling device. The study done makes it possible to apply rubber cables in underwater mineral resources extraction in deep waters, improving environmental safety of mining operations.

Keywords: winding engine, flat rubber cable, tubular shape, stressed-deformed state, stress and shift distribution.

Введение

Плоские резинокросовые канаты широко используются в шахтном подъеме [1–5]. Такие канаты имеют ряд преимуществ при добыче полезных ископаемых подводным способом [6]. В отдельных случаях плоским канатам целесообразно придавать трубчатую форму для использования образовавшейся полости для размещения в ней средств коммуникации. Так, авторами¹ предложена конструкция устройства для защиты окружающей среды от аварийного выброса нефти в воду (рис. 1).

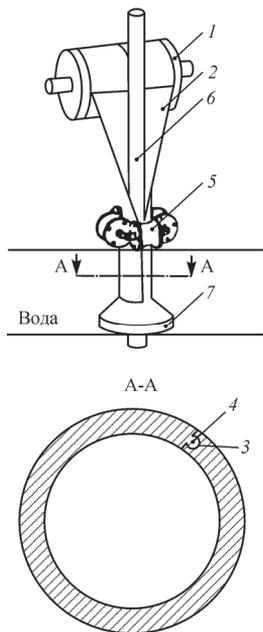


Рис. 1. Схема устройства для защиты окружающей среды от протечек обсадных труб в толще воды: 1 – барабан; 2 – канат; 3 – впадина; 4 – выступ; 5 – ролики; 6 – обсадная труба; 7 – деталь конусная

Устройство работает следующим образом. Вращение барабана 1 приводит к

разматыванию плоского каната 2. Роликами 5, установленными по периметру обсадной трубы, канату придается цилиндрическая форма. При этом выступ 4 торца каната входит во впадину 3 другого торца, что обеспечивает создание замкнутой поверхности. Превышение ширины каната над длиной окружности, образованной наибольшим диаметром обсадной трубы, обеспечивает наличие полости между обсадной трубой и созданной из каната цилиндрической поверхностью – нефть из скважины будет подниматься в ней на поверхность. Ко второму концу каната присоединена конусообразная полая деталь 7, которая за счет вращения барабана опускается подъемной машиной на дно водоема. Опускание осуществляется таким образом, чтобы зона нефтяной скважины была отделена от водной среды конусообразной деталью с канатом, которому придана трубчатая форма. Из полости каната в верхней его части нефть может подаваться помпой в танкеры для дальнейшей переработки. Это устраняет возможность неконтролируемой утечки сырья выше уровня роликов, где выступ одного торца каната еще не заведен во впадину другого. По такой схеме отвода нефти устройство может работать до возобновления нормальной работы скважины или до ее закрытия (консервации).

Состояние вопроса и постановка задачи исследования

Особенностью подъемной машины с рассмотренным устройством является наличие участка придания плоскому канату трубчатой формы (рис. 2), граничащего с барабаном. На нем плоская лента деформируется, в ней возникают дополнительные напряжения. Величины этих напряжений влияют на безопасность эксплуатации машины, поэтому они должны быть учтены при конструировании машины.

Курс на развитие подводной добычи углеводородов, выбранный Россией и Украиной, требует обеспечения условий

¹ Пат. 59953 Украина. Устройство для защиты окружающей среды от протечек обсадных труб в толще воды / Белоус Е.И., Танцура А.И. 2011. Бюл. № 11. 2 с.

экологической безопасности. Применение предлагаемого устройства ограничено отсутствием исследований напряженно-деформированного состояния и методики расчета плоского каната, которому придана трубчатая форма.

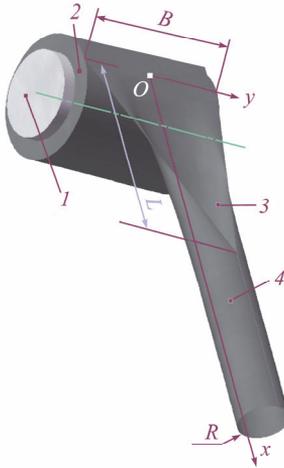


Рис. 2. Рабочий орган подъемной машины бобинного типа с плоским канатом, которому придана трубчатая форма: 1 – барабан; 2 – канат, намотанный на барабан в несколько слоев; 3 – участок придания канату трубчатой формы; 4 – канат трубчатой формы

Исследование напряженно-деформированного состояния каната в таком случае *актуальная научно-техническая задача*, решение которой позволит использовать резинотросовые канаты при подводной добыче полезных ископаемых со значительных глубин и существенно повысить экологическую безопасность добычных работ.

Основное содержание работы

Рассмотрим участок резинотросового каната 3 (см. рис. 2), состоящего из $2N$ тросов. Шаг укладки тросов обозначим через t , длину участка обозначим L . В начале участка тросы расположены на прямой линии. Во втором сечении тросы расположены по кругу радиусом R . Четное количество тросов позволяет считать, что нулевого троса нет, а тросы

с номерами $\pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \pm N$ расположены симметрично. Будем считать, что резина между тросами на границах участка придания канату цилиндрической формы не деформируется. Канат из $2N$ тросов образует цилиндр радиусом

$$R = \frac{t}{2 \sin\left(\frac{a}{2}\right)}, \quad (1)$$

где $a = \pi/(N-1)$.

С учетом симметричности каната и образованного цилиндра рассмотрим половину каната. Процесс деформирования представим как ряд последовательных перемещений. Пусть в начальный момент концы тросов каната в первом (прямолинейном) и втором (которому должна быть придана форма окружности) сечениях расположены в одной плоскости. При этом тросы с номерами ± 1 расположены на окружности, на которой должны быть все тросы во втором сечении (рис. 3).

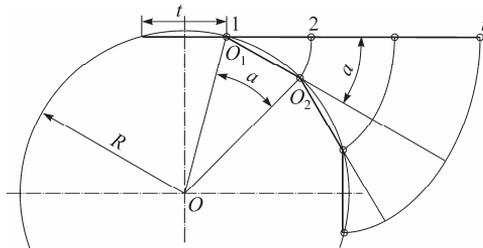


Рис. 3. Схема деформирования плоского каната в сечении придания ему трубчатой формы

Концы тросов во втором сечении повернем вокруг первого троса на угол a . В результате поворота конец второго троса расположится на окружности. Плоскому канату и его тросам будет придана винтовая форма. Расстояние между тросами на краях участка при этом не изменится. Выполним следующее перемещение: повернем на угол a концы всех тросов, кроме первого, вокруг прямой, проходящей через точку O_2 перпендикулярно плоскости окружности. Конец третьего троса расположится на

окружности. Повторяя такие повороты, обеспечим расположение с первого по N -й трос на окружности радиусом R . При этом все перемещения концов тросов происходят по дугам, центры которых расположены на окружности образуемого сечения, что позволяет найти путь, пройденный ими в плоскости, нормальной к оси каната.

Длина траектории движения i -го троса в процессе деформирования каната с учетом значения угла a составит

$$\begin{aligned} \kappa_i &= t(i-1)a + t(i-2)a + \dots + ta = \\ &= t \frac{\pi}{N-1} \sum_{j=1}^{i-1} (i-j). \end{aligned} \quad (2)$$

Определим относительное удлинение i -го троса:

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{\left[t \frac{\pi}{N-1} \sum_{j=1}^{i-1} (i-j) \right]^2 + L^2} - L}{L}. \quad (3)$$

Полученную зависимость, учитывая симметричность изгиба каната при придании ему трубчатой формы, разложим в ряд Фурье по косинусам:

$$f_i = D_0 + \sum_{m=1}^{\infty} D_m \cos(\mu_m (i-0,5)), \quad (4)$$

где $\mu_m = \frac{\pi m}{N}$.

Номера тросов будем рассматривать как дискретную координату. Разложение в зависимости (4) ограничим количеством тросов в одной половине каната:

$$\begin{aligned} D_0 &= \sum_{k=1}^N \frac{\varepsilon_k}{N}, \\ D_m &= \sum_{k=1}^N \frac{2\varepsilon_k}{N} \cos(\mu_m (k-0,5)). \end{aligned}$$

В соответствии с принятой расчетной схемой канат на барабане уложен в несколько слоев. Исследование распре-

деления напряжений в многослойных резинотросовых конструкциях выполнено в ряде работ [7–15]. Для изучения влияния на напряженное состояние каната придания ему трубчатой формы будем считать, что на барабан намотан только один виток каната, а барабан имеет бесконечный диаметр.

Характер деформирования каната изменяется по его длине дискретно. В соответствии с принципом Сен-Венана дискретное (локальное) изменение деформаций обуславливает появление краевых эффектов. С целью определения влияния только формы переходного участка будем считать бесконечными и другие участки.

Таким образом, примем следующую физическую модель каната. Участок, на котором ему придается трубчатая форма, граничит с участками плоского каната и канатом трубчатой формы. Длины последних двух участков бесконечны; канат нагружен силой растяжения.

Участкам присвоим номера от 1 до 3. Первым участком будем считать участок, на котором канат имеет плоскую форму. Третьим – участок, на котором канат получает трубчатую форму. Указанные номера будем использовать для обозначения параметров, относящихся к соответствующим участкам. Для обоих указанных участков общим является то, что все тросы на них прямолинейные и параллельны оси x . На среднем (втором) участке тросы имеют относительные удлинения, определяемые зависимостью (4). Согласно принятой физической модели сформулируем граничные условия:

$$\begin{aligned} x \rightarrow -\infty \quad u_{1,i} &= 0, \quad p_{1,1} = p_{1,2} = \dots = p_{1,N}, \\ x \rightarrow \infty \quad u_{3,1} &= u_{3,2} = \dots = u_{3,N}, \quad p_{3,i} = P, \end{aligned} \quad (5)$$

и условия совместности деформирования участков каната:

$$\begin{aligned} x = 0 \quad u_{1,i}^{[1]} &= u_{2,i}^{[2]}, \quad p_{1,i}^{[1]} = p_{2,i}^{[2]}, \\ x = L \quad u_{2,i} &= u_{3,i}, \quad p_{2,i} = p_{3,i}. \end{aligned} \quad (6)$$

Из условия равновесия отрезка троса длиной dx , вырезанного из резинотросового каната, имеем уравнение равновесия всех тросов каната

$$EF \frac{d^2 u_i}{dx^2} + \frac{Gh}{t-d} \begin{cases} (u_2 - u_1) & (i=1), \\ (u_{i-1} - 2u_i + u_{i+1}) & (1 < i < N), \\ (u_{N-1} - u_N) & (i=N), \end{cases} \quad (7)$$

где E , F – приведенный модуль упругости троса и площадь его поперечного сечения; G – модуль сдвига резины; h , d , t – соответственно толщина каната, диаметр тросов и шаг их укладки.

Решение системы уравнений (7) имеет вид

$$u_i = (Ae^{\beta_m x} + Be^{-\beta_m x}) \cos(\mu_m (i-0,5)) + ax + c,$$

где A , B , a , c – постоянные интегрирования; m – целое число ($1 \leq m \leq N$),

$$\beta_m = \sqrt{2 \frac{Gh}{(t-d)EF} (1 - \cos \mu_m)}.$$

Воспользовавшись указанным решением условиями (5) и (6), запишем решение для тросов всех трех участков (здесь и далее в нижних индексах первые цифры воспроизводят номера участков, а вторые – номера тросов):

$$u_{1,i} = \sum_{m=1}^N A_{1,m} e^{\beta_m x} \cos(\mu_m (i-0,5)) + \frac{Px}{EF} + c_1, \quad (8)$$

$$P_{1,i} = EF \sum_{m=1}^N A_{1,m} e^{\beta_m x} \beta_m \times \cos(\mu_m (i-0,5)) + P, \quad (9)$$

$$u_{2,i} = \sum_{m=1}^{N-1} (A_{2,m} e^{\beta_m x} + B_{2,m} e^{-\beta_m x}) \times \cos(\mu_m (i-0,5)) + a_2 x + c_2, \quad (10)$$

$$P_{2,i} = EF \left[\sum_{m=1}^N (A_{2,m} e^{\beta_m x} - B_{2,m} e^{-\beta_m x}) \beta_m \times \cos(\mu_m (i-0,5)) + \sum_{m=1}^N D_m \cos(\mu_m (i-0,5)) + a_2 + D_0 \right], \quad (11)$$

$$u_{3,i} = \sum_{m=1}^N B_{3,m} e^{-\beta_m x} \cos(\mu_m (i-0,5)) + \frac{P}{EF} x + c_3, \quad (12)$$

$$P_{3,i} = -EF \sum_{m=1}^N B_{3,m} e^{-\beta_m x} \times \beta_m \cos(\mu_m (i-0,5)) + P, \quad (13)$$

где $A_{k,m}$, $B_{k,m}$, a_k , c_k – постоянные интегрирования; k – номер участка.

Отдельно отметим, что в зависимости (10) относительные деформации не учтены, поскольку они возникают вследствие изгиба тросов, а величины проекций перемещений $u_{2,i}$ точек тросов на ось x не меняются.

Неизвестные постоянные в зависимостях (8)–(13) найдем из условий совместности деформирования участков (6):

$$c_1 = c_2 = 0, \quad a_2 = -D_0, \quad c_3 = -D_0 L, \\ A_{1,m} = \frac{D_m}{2\beta_m} (1 - e^{-\beta_m L}), \quad B_{2,m} = \frac{D_m}{2\beta_m}, \\ B_{3,m} = \frac{D_m}{2\beta_m} (1 - e^{\beta_m L}), \quad A_{2,m} = -\frac{D_m}{2\beta_m e^{\beta_m L}}.$$

Для каната с параметрами тросов и шагом укладки, соответствующими канату типа РТК-3150, выполнены расчеты деформаций и усилий на участке придания ему трубчатой формы. На рис. 4, 5 приведены графики удлинений тросов u в канате и отношений внутренних сил к средним значениям (принятых равными максимально допустимым), возникающих в тросах плоского каната, которому придана трубчатая форма.

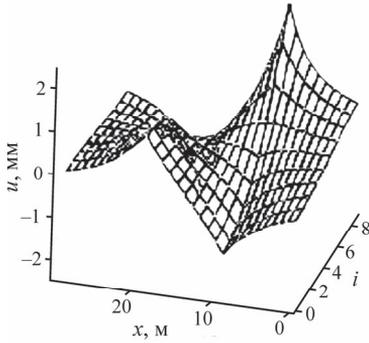


Рис. 4. Поверхность, описывающая характер распределения удлинений тросов в канате вдоль оси x между тросами с номерами i

Отметим, что на рис. 4 показаны деформации без учета удлинения тросов от растяжения средним усилием P .

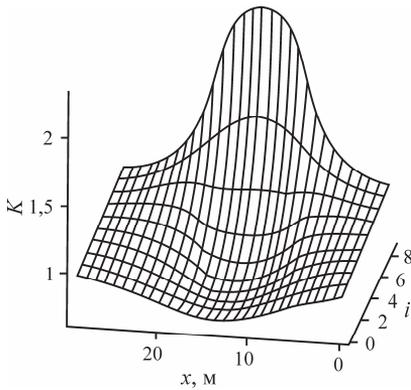


Рис. 5. Поверхность, описывающая характер распределения сил натяжения тросов в канате, относенных к среднему усилию P вдоль оси x между тросами с номерами i

Приведенные на рисунках поверхности отображают распределение деформаций и усилий для половины каната, поскольку эти зависимости распределены по обеим частям симметрично. Указанные распределения имеют характер местного возмущения, которое практически локально и действует на расстояниях, равных длинам участка придания канату трубчатой формы. Наибольшие натяжения возникают лишь в нескольких крайних тросах. Анализ показывает, что количество таких тросов не превышает 20 % от их общего числа. При

этом максимальное усилие действует в N -м тросе в сечении $x = L/2$:

$$p_{\max} = EF \sum_{m=1}^N D_m (1 - e^{-\beta_m L/2}) \cos\left(\frac{\pi m}{2N}\right) + P.$$

Полученная зависимость показывает, что внутренние усилия, возникающие в крайних тросах плоского резинотросового каната на участке придания ему трубчатой формы, пропорциональны деформациям крайних тросов D_m и жесткости тросов каната EF , уменьшаются с увеличением длины участка L , возрастают с увеличением расстояния между тросами $(t - d)$ и зависят от следующих факторов: жесткости резиновой оболочки каната на сдвиг G , толщины каната h . При этом для канатов с одинаковым количеством тросов распределение относительных деформаций будет совпадать, если для обоих канатов параметр $\phi = \frac{GhL^2}{2(t-d)EF}$ будет равным.

В общем случае в качестве каната может быть использована лента с другими тяговыми элементами, расположенными с малым шагом. При значительном количестве тяговых элементов (тросов) в ленте разность перемещений $(u_{i-1} - 2u_i + u_{i+1})$ в зависимости (7) приближенно можно заменить производной

$$(u_{i-1} - 2u_i + u_{i+1}) = t^2 \frac{d^2 u}{dy^2},$$

где y – ось, расположенная в плоскости каната и ортогональная оси x .

В этом случае зависимость (7) получит форму уравнения Лапласа

$$E \frac{\pi d^2}{4} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + G \frac{ht^2}{t-d} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0.$$

Особенность характера нагружения крайних тяговых элементов каната требует задания дополнительных граничных условий: если $y = 0$ или $y = b$ (где b – половина ширины каната), $\frac{\partial u}{\partial y} = 0$.

Получим решение уравнения

$$u = (Ae^{\beta_m x} + Be^{-\beta_m x}) \cos\left(\pi m \frac{y}{b}\right) + ax + c,$$

$$\beta_m = \frac{m}{b} \sqrt{\frac{G}{E} \frac{4ht^2 \pi}{(t-d)d^2}}.$$

Непрерывная координатная ось требует принятия и непрерывного задания удлинений поперечных сечений участков каната при придании ему трубчатой формы. При уменьшении шага тросов кривые перемещения их концов (см. рис. 3) будут описывать не коробовые кривые (созданные дугами окружностей), а эвольвенты. Длину эвольвенты, описанной точкой, расположенной на расстоянии y от середины каната, определим как

$$\kappa(y) = \frac{\pi^2 y^2}{2R}.$$

Соответственно, относительное удлинение

$$\varepsilon(y) = \frac{\sqrt{\left[\frac{\pi^2 y^2}{2R}\right]^2 + L^2} - L}{L}.$$

Учитывая симметричность изгиба каната при придании ему трубчатой формы, принятую форму решения разложим в ряд Фурье по косинусам:

$$f_i = D_0 + \sum_{m=1}^{\infty} D_m \cos\left(\pi m \frac{y}{b}\right).$$

После осуществления преобразования, аналогичных приведенным выше для резинотросового каната, получим максимальное напряжение в канате

$$\sigma_{\max} = E \sum_{m=1}^{\infty} D_m (1 - e^{-\beta_m L/2}) \cos(\pi m) + \sigma,$$

где σ – среднее напряжение, равное равномерно распределенному напряжению от действия силы растяжения каната.

Заключение

Придание плоскому канату трубчатой формы приводит к неравномерному распределению сил растяжения тросов. Величины максимальных внутренних усилий зависят как от конструкции участка придания канату трубчатой формы, так и от конструктивных параметров каната. Внутренние усилия, возникающие в наиболее нагруженных крайних тросах плоского резинотросового каната на участке придания ему трубчатой формы, пропорциональны жесткости тросов каната. Они уменьшаются с ростом длины участка, возрастают с ростом расстояния между тросами и зависят от жесткости резиновой оболочки каната на сдвиг и толщины каната. При этом для канатов с одинаковым количеством тросов распределение относительных деформаций будет совпадать, если для обоих канатов

параметр $\phi = \frac{GhL^2}{2(t-d)EF}$ будет одинаковым. Подбором параметров участка придания канату трубчатой формы и конструкции каната можно обеспечить допустимый уровень напряжений в нем.

Полученные в замкнутом виде аналитические зависимости могут быть использованы в инженерной практике проектирования подъемных машин с плоским тяговым органом, которому придана трубчатая форма.

Список литературы

1. О создании подъемных установок большой грузоподъемности с несущими резинотросовыми лентами / В.И. Онищенко, Л.В. Колосов, К.С. Заболотный, В.В. Безпалько, В.П. Мартыненко, И.П. Ковалевский // Горный журнал. – 1980. – № 5. – С. 36–39.
2. Об использовании плоской резинотросовой ленты в качестве тягового органа шахтных подъемных машин с бобинной намоткой / К.С. Заболотный, Н.Г. Гаркуша, Л.В. Колосов [и др.] // Горная электромеханика и автоматика. – 1976. – Вып. 29. – С. 3–9.
3. Колосов Л.В. Научные основы разработки и применения резинотросовых канатов подъемных установок глубоких рудников: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Днепропетровск, 1987. – 20 с.
4. Полушина М.В. Исследование и обоснование рациональных параметров бобинной подъемной машины с ведущими шкивами трения и резинотросовым тяговым органом: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1990. – 20 с.
5. Carbogno A. Bobbin drum hoists with flat steel rubber-coated ropes // LOAD02001. Logistics & Transport. Zbornik ADS Graphic. – Koshice, 2001. – P. 218–221.
6. Колосов Л.В., Сафонов Ю.Л. Перспективы и технические возможности использования резинотросовых канатов для глубоководного подъема // Горная электромеханика и автоматика – 1999. – № 11–12. – С. 67–71.

7. Панченко Е.В. Определение расчетных нагрузок в витках многослойной наматки резинотросового каната: дис. ... канд. техн. наук. – Днепропетровск, 2007. – 206 с.
8. Belmas I., Kolosov D. The stress-strain state of the stepped rubber-rope cable in bobbin of winding // *School of Underground Mining 2011. New Techniques and technologies in Mining*. – Netherlands: CRC Press/Balkema, 2011. – P. 211–214.
9. Колосов Д.Л. Исследование влияния касательных усилий между резинотросовым канатом переменного сечения и бобиной на распределение напряжений в канате // *Науч. тр. Донецк. нац. техн. ун-та. Сер. горно-электромеханическая*. – 2012. – № 23(196). – С. 92–100.
10. Kolosov D., Dolgov O., Kolosov A. The stress-strain state of the belt on a drum under compression by flat plates // *Annual Scientific-Technical Collection. Mining of Mineral Deposits*. – Netherlands: CRC Press/Balkema, 2013. – P. 351–357.
11. Заболотный К.С., Панченко Е.В., Жупиев А.Л. Теория многослойной наматки резинотросового каната: монография / Национальный горный университет. – Днепропетровск, 2011. – 151 с.
12. Напряженно-деформированное состояние плоского резинотросового тягового органа в прицепном устройстве / С.Е. Блохин, Д.Л. Колосов, Н.В. Матвеева, Н.Н. Шидо // *Горн. информ.-аналит. бюл. / Моск. гос. горн. ун-т*. – 2013. – № 3. – С. 256–261.
13. Панченко Е.В. Результаты исследования напряженно-деформированного состояния многослойной наматки резинотросового каната в бобинном подъеме // *Геотехн. механика: междувед. сб. науч. тр. Ин-та геотехн. механики НАН Украины*. – 2006. – Вып. 64. – С. 221–230.
14. Ropaj V., Zajczenko W. Wplyw tarczy zawieszania bebnowego na stan naprezen powloki gumowej liny RTK // *Transport szybowy. Praca zbiorowa. Monografia*. – Gliwice, 2011. – S. 389–398.
15. Ropaj V., Zajczenko V., Carbogno A. Stan naprezen i odkształcen powloki gumowej liny wyrownawczej plaskiej na bebnie zawieszania gorniczego wyciagu szybowego // *Bezpieczenstwo pracy urzadzen transportowych w gornictwie. Praca zbiorowa. Monografia*. – Ledziny, 2011. – S. 63–70.

References

1. Onishchenko V.I., Kolosov L.V., Zabolotnyi K.S., Bezpalko V.V., Martynenko V.P., Kovalevskii I.P. O sozdanii pod'emnykh ustanovok bol'shoi grupozod'emnosti s nesushchimi rezinotrosovymi lentami [On design of hoist engines of high working capacity with carrying rubber-rope bands]. *Gornyi zhurnal*, 1980, no. 5, pp. 36–39.
2. Zabolotnyi K.S., Garkusha N.G., Kolosov L.V. [et al.]. Ob ispol'zovanii ploskoi rezinotrosovoi lenty v kachestve tiagovogo organa shakhtnykh pod'emnykh mashin s bobbinoi namotkoi [On application of flat rubber band as a pulling device in mine reel winding engines]. *Gornia elektromekhanika i avtomatika*, 1976, no. 29, pp. 3–9.
3. Kolosov L.V. Nauchnye osnovy razrabotki i primeneniia rezinotrosovykh kanatov pod'emnykh ustanovok glubokikh rudnikov [Scientific basis of development and application of rubber cables in winding engines in deep mines]. Abstract of the thesis of doctor's degree dissertation. Dnepropetrovsk, 1987. 20 p.
4. Polushina M.V. Issledovanie i obosnovanie ratsional'nykh parametrov bobbinoi pod'emnoi mashiny s vedushchimi shkivami treniia i rezinotrosovym tiagovym organom [Research and justification of efficient parameters of reel winding engines with friction driving pulleys and rubber cable pulling device]. Abstract of the thesis of the candidate of technical sciences. Dnepropetrovsk, 1990. 20 p.
5. Carbogno A. Bobbin drum hoists with flat steel rubber-coated ropes. *LOAD02001. Logistics & Transport. Zhornik ADS Graphic*. Koshice, 2001, pp. 218–221.
6. Kolosov L.V., Safonov Iu.L. Perspektivy i tekhnicheskie vozmozhnosti ispol'zovanii rezinotrosovykh kanatov dlia glubokovodnogo pod'ema [Prospects and technical feasibility of applying rubber cables for deepwater lifting]. *Gornia elektromekhanika i avtomatika*, 1999, no. 11–12, pp. 67–71.
7. Panchenko E.V. Opredelenie raschetnykh nagruzok v vitkakh mnogoslonoii namotki rezinotrosovogo kanata [Finding load rating in wraps of multilayer winding of rubber cable]. Thesis of the candidate of technical sciences. Dnepropetrovsk, 2007. 206 p.
8. Belmas I., Kolosov D. The stress-strain state of the stepped rubber-rope cable in bobbin of winding. *School of Underground Mining 2011. New Techniques and technologies in Mining*. Netherlands: CRC Press/Balkema, 2011, pp. 211–214.
9. Kolosov D.L. Issledovanie vliianiia kasatel'nykh usilii mezhdu rezinotrosovym kanatom peremennogo sечeniia i bobbinoi na raspredelenie napriazhenii v kanate [Research into effects of tangential forces between rubber-rope cable of variable section and reel on stress distribution]. *Nauchnye trudy Donetskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta. Seriia gorno-elektromekhanicheskaiia*, 2012, no. 23(196), pp. 92–100.
10. Kolosov D., Dolgov O., Kolosov A. The stress-strain state of the belt on a drum under compression by flat plates. *Annual Scientific-Technical Collection. Mining of Mineral Deposits*. Netherlands: CRC Press/Balkema, 2013, pp. 351–357.
11. Zabolotnyi K.S., Panchenko E.V., Zhupiev A.L. Teoriia mnogoslonoii namotki rezinotrosovogo kanata [Theory of multilayer winding of rubber-rope cable]. Dnepropetrovsk: Natsional'nyi gornyi universitet, 2011. 151 c.
12. Blokhin S.E., Kolosov D.L., Matvееva N.V., Shido N.N. Napriazhenno-deformirovannoe sostoiianie ploskogo rezinotrosovogo tiagovogo organa v pritsepnom ustroistve [The stress-strain state of flat rubber-cable pulling device in a drawbar hitch]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biuleten'*. Moskovskii gosudarstvennyi gornyi universitet, 2013, no. 3, pp. 256–261.
13. Panchenko E.V. Rezultaty issledovaniia napriazhenno-deformirovannogo sostoiianiia mnogoslonoii namotki rezinotrosovogo kanata v bobbinoi pod'eme [Results of research of the stress-strain state of multilayer winding on rubber-rope cable in reel hoisting]. *Mezhvedomstvennyi sbornik nauchnykh trudov Instituta geotekhnicheskoi mekhaniki natsional'noi akademii nauk Ukrainy "Geotekhnicheskaiia mekhanika"*, 2006, no. 64, pp. 221–230.
14. Ropaj V., Zajczenko W. Wplyw tarczy zawieszania bebnowego na stan naprezen powloki gumowej liny RTK. *Transport szybowy. Praca zbiorowa. Monografia*. Gliwice, 2011, s. 389–398.
15. Ropaj V., Zajczenko V., Carbogno A. Stan naprezen i odkształcen powloki gumowej liny wyrownawczej plaskiej na bebnie zawieszania gorniczego wyciagu szybowego. *Bezpieczenstwo pracy urzadzen transportowych w gornictwie. Praca zbiorowa. Monografia*. Ledziny, 2011, s. 63–70.

Об авторах

Бельмас Иван Васильевич (Днепродзержинск, Украина) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой оборудования перерабатывающих и пищевых производств Днепродзержинского государственного технического университета (51918, г. Днепродзержинск, ул. Днепродзержинская, 2).

Колосов Дмитрий Леонидович (Днепропетровск, Украина) – кандидат технических наук, доцент кафедры строительной, теоретической и прикладной механики Национального горного университета (49600, г. Днепропетровск, пр. Карла Маркса, 19; e-mail: gelikoid@mail.ru).

Колосов Александр Леонидович (Москва, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и инженерной графики Московского государственного университета технологий и управления (109004, г. Москва, ул. Земляной вал, 73; e-mail: globoid@mail.ru).

About the authors

Ivan V. Bel'mas (Dneprodzerzhynsk, Ukraine) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Processing Plants and Food Production Equipment, Dneprodzerzhynsk State Technical University (51918, Dneprodzerzhynsk, Dneproetrovskskaia st., 2).

Dmitrii L. Kolosov (Dnepropetrovsk, Ukraine) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Structural, Theoretical and Applied Mechanics, National Mining University (49600, Dnepropetrovsk, Karl Marx av., 19; e-mail: gelikoid@mail.ru).

Aleksandr L. Kolosov (Moscow, Russia) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Theoretical Mechanics and Engineering Graphics, Moscow State University of Technologies and Management (109004, Moscow, Zemlyanoy Val st., 73; e-mail: globoid@mail.ru).

Получено 01.08.2014

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Бельмас И.В., Колосов Д.Л., Колосов А.Л. Исследование напряженно-деформированного состояния резинотросового каната на участке перехода к трубчатой форме // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело*. – 2014. – № 12. – С. 48–55. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.12.6.

Please cite this article in English as:

Bel'mas I.V., Kolosov D.L., Kolosov A.L. Study of stressed-deformed state of rubber cable in the area of tubular transformation. *Bulletin of PNPRU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2014, no. 12, pp. 48–55. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.12.6.