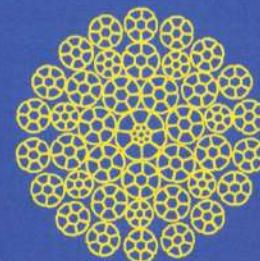


Международная ассоциация исследователей стальных канатов  
Міжнародна асоціація дослідників сталевих канатів  
International Association of Steel Rope Researchers

Бюллетень **13**



**МАИСК**  
**Международная ассоциация**  
**исследователей стальных канатов**

Секретариат: Научно-производственное предприятие  
«ВИРА-СЕРВИС Плюс»  
ул. Запорожская, 30, офис 4,  
Одесса, 65005, Украина  
т./ф. + 0038-048-777-50-27  
E-mail: vira.od.ua@gmail.com



Международная ассоциация исследователей стальных канатов  
Міжнародна асоціація дослідників сталевих канатів  
International Association of Steel Ropes Researchers

## Бюллетень 13

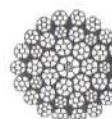
Сборник основан в апреле 2001 г.

Президент	<b>Ильин С. Р., к.т.н.</b>	— Украина
Исполнительный директор:	<b>Малиновский В. А., д.т.н., проф.</b> Бережинский В. И., д.т.н. Лавриненко С. Г., инж. Мироненко А. С., к.т.н. Патарая Д. И., д.т.н., проф. Рубель А. В., инж. Трифанов Г. Д., д.т.н., проф. Чаюн И. М., д.т.н., проф.	— Украина — Украина — Украина — Россия — Грузия — Украина — Россия — Украина
Секретарь	<b>Бартенева Н. А., инж.</b>	— Украина
Редактор	<b>Мищенко А. А., инж.</b>	— Украина

Ревизионная комиссия:

<b>Яглинский В. П., к.т.н.</b>	— Украина
<b>Пригода А. А., к.т.н.</b>	— Украина

**Июнь 2019**



Одесса  
«Астропринт»  
2019

УДК 62-427.4(063)

Редакционная коллегия:  
*Малиновский В.А.*, д.т.н., профессор  
*Бартенева Н.А.*, инженер  
*Мищенко А.А.*, инженер

Ответственный редактор:  
*Малиновский В.А.*

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	4
Научно-технический раздел	
<i>Малиновский В.А., Свиридов А.А., Пригода А.А.</i> . Особенности продольных деформаций подъемных канатов типа «Метапласт» на установках системы Кепе (Анализ реальной ситуации).....	5
<i>Трифанов Г.Д., Иванченко А.А.</i> . Использование стальных канатов в качестве тяговых элементов штанг в наклонно-направленных скважинах при нефтедобыче.....	10
<i>Новик В.А., Приходько А.Л.</i> . Анализ влияния направления свивки стальных канатов на долговечность их эксплуатации в подъемных установках с машинами барабанного типа.....	16
Вычисление минимальной прочности каната (практическая рекомендация) .....	21
<i>Ильин С.Р., Василькевич В.И., Соломенцев К.А.</i> . Комплексная методика оценки динамической безопасности систем «подъемный сосуд – армировка» вертикальных стволов шахт и рудников.....	23
<i>Колосов Д.Л., Онищенко С.В.</i> . Вплив повороту посудини на напруженено-деформований стан підйомногого гумотросового каната при багатоканатній схемі її підвішування.....	33
<i>Дубинин М.В., Ильин С.Р.</i> . Определение динамических параметров взаимодействия в системе «подъемный сосуд – армировка» методом твердотельного моделирования.....	40

© Международная ассоциация исследователей  
стальных канатов, 2019

### Література

- Гаркуша Н.Г. Об истории разрешения одной крупной проблемы горной механики XX века / Н.Г.Гаркуша // НГА Украины. Горная электромеханика и автоматика: Сб. науч. тр. Вып. 2(61). Днепропетровск, 1999. – С. 5-8.
- Дворников В.И., Кирцелин Е.Р. Теоретические основы динамики шахтного подъемного комплекса // – София, 1997. – 364 с.
- Пособие по проектированию и монтажу жесткой армировке вертикальных стволов шахт и рудников – Москва: НЕДРА, 1989. – 158 с.
- Методика расчета жестких армировок вертикальных стволов шахт. – Донецк: НІІГТМ им. М.М. Федорова, 1994. – 145 с.
- Ільин С.Р., Соломенцев К.А., Василькевич В.І. Аналіз впливання форми сечения коробчатых проводників жесткої армировки шахтних стволов на допустимунюю скорость движення подъемных сосудов. / ІГТМ НАН України // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. Вып. 120. Днепропетровск, 2015. – С. 265-275. URL: <http://geotm.dp.ua>.
- Василькевич В.І., Ільин С.Р. Аналіз применения цельнокатаних коробчатых проводников армировки шахтных стволов // Шоста всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих учених «Наукова весна 2015». Дніпро: Вид. НГУ, 2015. – С. 8-9.

Колосов Д.Л., д-р техн. наук; Онищенко С.В. (м. Дніпро, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», [evo1yuta@gmail.com](mailto:evo1yuta@gmail.com))

### ВПЛИВ ПОВОРОТУ ПОСУДИНИ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПІДЙОМНОГО ГУМОТРОСОВОГО КАНАТА ПРИ БАГАТОКАНАТНІЙ СХЕМІ ІІ ПІДВІШУВАННЯ

Використання плоских гумотросових, канатів, як вріноважувальних, на шахтних підйомних установках показує, що термін їх експлуатації значно перевищує термін роботи звичайних сталевих канатів. Проте випадкове формування маси матеріалу в посудині та її переміщення в підйомній системі, суттєво впливає на розподіл зусиль поміж тросами плоского підйомного каната, відповідно на його міцність. Відхилення посудини та її повороти, зумовлені порушенням геометрії стовбурів, призводять до скручування каната, деформування (гину) каната в його площині та в площині, нормальній до тросів. Поворот посудини навколо власної осі разом з присиднанням канатом пов'язаний з його просторовим деформуванням та нерівномірним розподілом сил розтягу тросів по ширині каната.

З метою підвищення безпеки використання гумотросових канатів, як головних, проектними організаціями [1] внесена пропозиція підвішування посудини на декількох головних гумотросових канатах (рис. 1). Канати запропоновано виготовляти однаковими за кількістю тросів, кроком їх розташування в канаті та діаметром тросів.

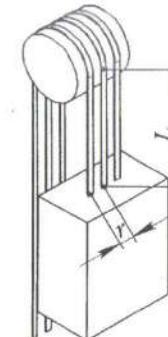


Рисунок 1 – Багатоканатна схема підвішування посудини

При підвішуванні посудини на декількох канатах можна припустити, що усі троси декількох канатів набувають форми гвинтових ліній. Вісь такої лінії

мала би проходити через вісь симетрії розташування тросів. Разом з тим треба підкреслити, що підставою для прийняття гіпотези про набуття тросами форми гвинтових ліній була наявність поміж тросами гумових прошарків незначної ширини. Остання умова визначається зазором поміж тросами. Мала товщина гумового прошарку може призводити до значної зміни відстані поміж осями тросів, навіть під впливом проекції сил розтягу тросів на лінію, що проходить поміж двома суміжними тросами. Як наслідок, прийняття гіпотези про відсутність деформації гуми поміж тросами при взаємному повороті перерізів гумотросового каната, зумовлює набуття ними форми прямого гелікоїда.

#### Вплив повороту посудини в горизонтальній площині.

Для визначення характеру деформування канатів, розглянемо схему повороту канатів в перерізі їх приєднання до посудини (рис. 2). На барабані всі троси канатів розташовані в одній площині. Поміж тросами різних канатів відсутній взаємний зв'язок. Відповідно деформації тросів одного каната не впливають на деформації тросів суміжного каната. Вказане має бути врахованім.

Відповідно до наведеної схеми вісь середнього каната залишається нерухомою. Переріз каната повертається на кут повороту посудини  $\varphi$ . Канат набуває форми гелікоїда. Перерізи суміжних канатів відхиляються в площині каната по нормальні до неї та повертаються на кут  $\varphi$ .



Рисунок 2 – Схема переміщень канатів в перерізі їх приєднання до посудини у випадку повороту посудини в горизонтальній площині

Відхилення канатів в їх площині відбувається симетрично та силового впливу на напрямі не спричиняє. Горизонтальні сили призводять до деякого стискання металоконструкції приєднання канатів до посудини. Встановимо величини сил, зумовлених відхиленням перерізів каната в його площині.

Відхилення перерізів нецентрального каната в напрямку, нормальному до його площини, не викликає нормальних деформацій осі розташування тросів. Вони залишаються прямолінійними.

Два розглянуті переміщення осі каната призводять до додаткового середнього подовження тросів несереднього каната. Відносне подовження викликало би додаткове зусилля

$$P_{\text{доd}} = EFM \left( \sqrt{1 + \left( \frac{\Omega + \Delta}{L} \right)^2} - 1 \right),$$

де  $\Delta$ ,  $\Omega$  – відхилення осі симетрії перерізів нецентрального каната в площині каната та в напрямку, нормальному до неї;  $E$  – приведений модуль пружності троса на розтягнення;  $F$  – площа перерізу троса каната;  $M$  – кількість тросів в канаті.

Значення відхилень залежать від кроку розтупування канатів та кута повороту посудини

$$\Delta = 2r \sin \left( \frac{\varphi}{2} \right)^2,$$

$$\Omega = 2r \sin \left( \frac{\varphi}{2} \right) \cos \left( \frac{\varphi}{2} \right).$$

З урахуванням малих значень кута повороту посудини, значення відхилень осі симетрії перерізів нецентрального каната в площині каната та в напрямку, нормальному до неї, становлять

$$\Delta = r \frac{\varphi^2}{2},$$

$$\Omega = r \varphi \cos \left( \frac{\varphi}{2} \right).$$

З урахуванням малого у порівнянні з одиницею значення  $\left( \frac{\Omega + \Delta}{L} \right)^2$ ,

запишемо додаткове зусилля

$$P_{\text{доd}} = EF \frac{M}{2} \left( \frac{\Omega + \Delta}{L} \right)^2.$$

Додатковим зусилля можна вважати умовно. У разі підвищування посудини на канатах сила ваги посудини, канатів врівноважування не змінюється. Відповідно відносні подовження осей канатів

$$-k + 2 \left( \sqrt{1 + \left( \frac{\Omega + \Delta}{L} \right)^2} - k \right) = 0,$$

де  $k$  – відносне зміщення перерізу приєднання канатів до посудини, зумовлене відхиленням крайніх канатів від вертикалі.

Звідки з урахуванням малого у порівнянні з одиницею значення  $\left(\frac{\Omega+\Delta}{L}\right)^2$ , маємо

$$k = \frac{1}{3} \frac{\Omega+\Delta}{L}.$$

Відповідно, середнє зусилля натягнення середнього каната становить

$$P_{\text{середн}} = \frac{X}{3M} - EF \frac{\Omega+\Delta}{3L},$$

де  $X$  – максимальне зусилля натягнення канатів підйомної машини.

Середні зусилля натягнення крайнього каната

$$P_{\text{крайн}} = \frac{X}{3M} + \frac{EF}{2} \left( \frac{\Omega+\Delta}{L} \right)^2.$$

З наведеного можна зробити висновок, що у разі підвішування посудини на трох канатах найбільш навантаженими є троси крайніх канатів. Максимальні сили розтягу тросів становлять

$$P_{\max} = EF \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{k=1}^M \left( \sqrt{\left( \frac{(k-\frac{M}{2})t\varphi}{L} \right)^2 + 1} - 1 \right) \cos(\mu_m(k-0,5)) \cos(\mu_m(M-0,5)) + \frac{X}{3M} + \frac{EF}{2} \left( \frac{\Omega+\Delta}{L} \right)^2,$$

де  $\mu_m = \frac{\pi m}{M}$ ,  $t$  – крок розташування тросів в канаті.

В інженерних розрахунках можна використовувати залежність

$$P_{\max} = \frac{EF}{2} \left( \frac{t\varphi}{L} \right)^2 \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{k=1}^M \left( k - \frac{M}{2} \right)^2 \cos(\mu_m(k-0,5)) \cos(\mu_m(M-0,5)) + \frac{X}{3M} + \frac{EF}{2} \left( \frac{\Omega+\Delta}{L} \right)^2.$$

З урахуванням значень відхилень внутрішні сили розтягнення найбільш навантажених тросів

$$p_{\max} = \frac{EF}{2} \left( \frac{t\varphi}{L} \right)^2 \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{k=1}^M \left( k - \frac{M}{2} \right)^2 \cos(\mu_m(k-0,5)) \cos(\mu_m(M-0,5)) + \frac{X}{3M} + \frac{EF}{2} \left( \frac{r}{L} \right)^2 \left( \varphi \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) + \frac{\varphi^2}{2} \right)^2.$$

Зменшення навантаження на середній канат, відповідно впливає і на значення допустимого з умови упередження виникнення напружень стискання тросів, кута повороту посудини в напрямних

$$\frac{\varphi}{\sqrt{\frac{X}{3M} - EF \frac{\Omega+\Delta}{3L}}} \leq t \sqrt{\frac{MEF}{2} \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{k=1}^M \left( k - \frac{M}{2} \right)^2 \cos(\mu_m(k-0,5)) \cos(\mu_m(M-0,5))}$$

#### Поворот посудини в площині каната.

На рисунку 3 показана схема деформування канатів, зумовлена поворотом посудини в її напрямних в площині каната.

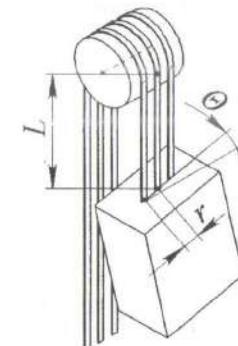


Рисунок 3 – Схема деформування канатів у разі повороту посудини в площині каната (напрямні умовно не показані)

З рисунку 3 видно, що деформації канатів при багатоканатній схемі підвішування посудини, відповідно і тросів в них різні. З цього можна зробити висновок, що багатоканатна схема підвішування посудини впливає на вище визначені характеристики розподілу сил розтягу тросів в канатах, окрім середнього, при повороті посудини в площині канатів в напрямних, що мають відхилення

від проектного розташування. Поворот перерізу приєднання канатів до посудини як твердого тіла призводить до взаємно врівноважених сил в некрайніх канатах. При цьому деформування (подовження) осей симетрії цих канатів визначається лінійною залежністю

$$\delta = r \sin(\Theta).$$

Відповідно, додаткове відносне подовження.

$$\varepsilon = \pm \frac{r \sin(\Theta)}{L}.$$

Зміна навантажень на крайні канати становить

$$P_{\text{до}} = \pm E F \frac{r \sin(\Theta)}{L}.$$

#### **Основні висновки та рекомендації.**

Отримані залежності показують, що крок розташування канатів, у разі багатоканатного підвішування посудини, призводить до зростання внутрішніх сил розтягнення найбільш навантажених тросів канатів підвішування. Зростання пропорційне квадрату кроку розташування канатів підвішування для трохтросового підвішування та пропорційно квадрату відстані осі симетрії тросів крайніх канатів від осі симетрії розташування тросів в усіх канатах системи підвішування посудини. Зростання внутрішніх зусиль розтягнення найбільш навантажених тросів канатів підвішування зворотно пропорційне квадрату відстані від осі барабана підйомної машини до перерізу підвішування посудини при повороті останньої в горизонтальній площині, зумовлене як відхиленням напрямних від проектного розташування, так і внаслідок коливань, пов'язаних з обертанням посудини в горизонтальній площині.

Відстань від барабану підйомної машини до перерізу присиднання посудини до канатів перевищує декілька десятків метрів. Таким чином незначні зміщення осьових ліній крайніх тросів можна вважати такими, що не впливають на прямолінійну форму ліній симетрії некрайніх тросів. Відповідно поворот перерізу присиднання каната до посудини можна вважати таким, що призводить до набуття канатом форми прямого гелікоїда, а тросів – гвинтових ліній. Оскільки канати пропонується використовувати однакової конструкції, то і додаткові зусилля розтягу тросів, від набуття ними форми гвинтових, мають визначатися за вищепереданими залежностями.

Кути повороту посудини в горизонтальній площині зумовлені станом її напрямних та мають бути меншими, а за можливістю найменшими, у верхній частині стовбура. Їх значення в залежності від довжини каната мають регламентуватися допустимими силами розтягу крайніх тросів каната та умовою нестискування тросів в канаті.

Внаслідок повороту посудини в горизонтальній площині найбільше зростають зусилля розтягу у найбільш віддалених від осі симетрії розташування тросів середнього каната багатоканатної системи підвішування посудини для випадку непарного багатоканатного підвішування посудини. У разі парної кількості канатів підвішування посудини максимальні зусилля діють в тросах, найдальше розташованих відносно площини симетрії розташування канатів підвішування посудини. Значення максимальних відхилень пропорційні кроku розташування канатів підвішування посудини.

#### **Література**

1. Переоборудование клетевой подъемной установки шахты «Заря» шахты «Октябрьская» под головные резинотросовые канаты. / Рабочая документация. Технологические решения. Пояснительная записка / ДП «ДП Кривбаспроект». – Кривий Ріг, 2011.