

УДК 621.86.065:539.38

**І.М. Чаюн**, д-р техн. наук, проф.,  
**О.О. Пишняк**, магістр,  
 Одес. нац. політехн. ун-т

## ВПЛИВ ЗВИВАЛЬНОГО НАТЯГНЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КАНАТІВ ПОДВІЙНОЇ ЗВИВКИ

*І.М. Чаюн, О.О. Пишняк.* **Вплив звивального натягнення елементів канатів подвійної звивки.** Звивальні напруження суттєво впливають на довговічність канатів. Пропонується визначення зв'язку звивального натягнення елементів каната подвійної звивки з його подальшим деформовано-напруженим станом. Проведено розрахунок залишкових зусиль елементів канатів подвійної звивки.

*И.М. Чаюн, О.А. Пишняк.* **Влияние свивочного натяжения элементов канатов двойной свивки.** Свивочные напряжения оказывают большое влияние на долговечность канатов. Предлагается определение связи свивочного натяжения элементов каната двойной свивки с его последующим деформированно-напряженным состоянием. Проведен расчет остаточных усилий элементов канатов двойной свивки.

*I.M. Chayun, O.A. Pishniak.* **Influence of a twisting pull of elements of double-lay ropes.** Twisting of tensions have a great influence on durability of ropes. The construction of a theory for determining the connection of a twisting pull of elements of a double-lay rope with its subsequent deformed-stressed state is offered. The calculation of residual efforts of elements of double-lay ropes is conducted.

Нерівномірність передзвивального натягнення та неоднорідність механічних характеристик дротин створюють несиметричність напруженого стану в процесі розвантаження від зазначених технологічних напружень. Інтегральні напруження розвантаження можуть призводити канат у вільному стані після виготовлення до розкручування з просторовим згинанням. Зовні це спостерігається утворенням хвилястості, “ліхтарінням”, штопором і іншими дефектами, особливо в перший період експлуатації.

Залишкові напруження після розвантаження від технологічного напруженого стану в певних точках поперечних перерізів дротин співрозмірні з напруженнями від експлуатаційного навантаження каната. Звичайно, це негативно впливає на статичну несучу здатність і довговічність канатів.

Описаний коротко стан, звичайно, не є відкриттям, а ґрунтується на багатьох дослідженнях і висновках [1...3].

Незважаючи на значну кількість теоретичних і практичних досліджень, пов'язаних з технологічним напружено-деформованим станом, деякі питання залишаються або незайманими, або їх рішення не доведене до логічного завершення.

Пропонується дослідження впливу звивального натягнення елементів каната на інтегральні показники його напруженого стану після виготовлення.

Запропоновано сучасний підхід до визначення впливу звивального натягнення елементів канатів одинарної звивки [4]. Скористаємося таким же способом для канатів подвійної звивки.

Стан після звивки каната залежить від сумарного зусилля натягнення елементів

$$P = \sum_1^n \bar{P} \cos \beta,$$

де  $n$  — кількість елементів (сталок) каната;

$\beta$  — кут звивки сталок в канат;

$\bar{P}$  — зусилля натягнення  $j$ -го елемента каната.

У стані після розвантаження одні елементи залишаються розтягнутими, а інші стискаються.

Рівняння сумісності переміщень для каната подвійної звивки отримане на основі аналізу зміни положення нижнього перерізу сталки в процесі розвантаження каната [4] (рис. 1) і має вигляд

$$\Delta_j = \Delta_{Hj} - \Delta \cos \beta_j,$$

де  $\Delta_j$  — переміщення  $j$ -го елемента каната в стані після розвантаження;

$\Delta_{Hj}$  — переміщення  $j$ -го елемента каната від попереднього звивального натягнення;

$\Delta$  — переміщення розвантаження каната від звивального натягнення;

$\beta_j$  — кут звивки  $j$ -ї сталки в канат;

Тоді рівняння сумісності деформацій сталок, після звивки їх в канат має вигляд

$$E_j = E_{Hj} - \varepsilon \cos^2 \beta_j, \quad (1)$$

де  $E_j$  — залишкова пружна деформація  $j$ -ї сталки в стані після розвантаження;

$E_{Hj}$  — деформація  $j$ -ї сталки від попереднього звивального натягнення;

$\varepsilon$  — деформація розвантаження каната від зусилля  $P$ .

Рівняння статки каната в стані після розвантаження

$$\sum_1^n N \cos \beta = 0, \quad (2)$$

де  $N$  — залишкова подовжня сила в  $j$ -й сталці.

У подовжній жорсткості в першому наближенні можна враховувати тільки складову подовження дротин [5]. На основі теореми розвантаження [6], приймаючи спрощення щодо постійності подовжньої жорсткості сталок в процесі розвантаження, рівняння (2) набуває вигляду

$$\sum_1^s \bar{\varepsilon} EA \cos^3 \alpha \cos \beta = 0, \quad (3)$$

де  $s$  — кількість дротів в канаті;

$\alpha$  — кут звивки шару дротин в сталки;

$EA$  — подовжня жорсткість.

Підставивши (1) в (3), отримуємо деформацію розвантаження каната

$$\varepsilon = \frac{\sum_1^s \bar{\varepsilon}_H EA \cos^3 \alpha \cos \beta}{\sum_1^s EA \cos^3 \alpha \cos^3 \beta}.$$

Залишкове зусилля в сталках

$$N_j = \bar{\varepsilon}_j \sum_1^m EA \cos^3 \alpha,$$

де  $m$  — кількість дротин в  $j$ -й сталці,

$$N_j = \left( \bar{\varepsilon}_{Hj} - \frac{\sum_1^s \bar{\varepsilon}_H EA \cos^3 \alpha \cos \beta}{\sum_1^s EA \cos^3 \alpha \cos^3 \beta} \right) \cos^2 \beta_j \sum_1^m EA \cos^3 \alpha. \quad (4)$$

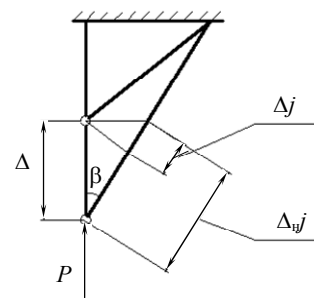


Рис. 1. Схема розвантаження каната

Вираз (4), записаний через зусилля натягнення сталок після подвійної звивки  $P_j$ , приймає вигляд

$$N_j = \bar{P}_j - \frac{\sum_1^n \bar{P} \cos \beta}{\sum_1^s EA \cos^3 \alpha \cos^3 \beta} \cos^2 \beta_j \sum_1^m EA \cos^3 \alpha.$$

Сумарне залишкове зусилля в елементі (дроті) каната подвійної звивки від натягнення дротів під час їх звивки в сталки  $P_i$  і сталок в процесі їх звивки в канат  $P_j$

$$N_{ij} = P_i - \frac{E_i A_i \sum_1^m P \cos \alpha}{\sum_1^m EA \cos^3 \alpha} \cos^2 \alpha_i + \left[ \bar{P}_j \frac{E_i A_i \cos^2 \alpha_i}{\sum_1^m EA \cos^3 \alpha} - \frac{E_i A_i \sum_1^n \bar{P} \cos \beta}{\sum_1^s EA \cos^3 \alpha \cos^3 \beta} \cos^2 \alpha_i \cos^2 \beta_j \right].$$

Залишкові зусилля в елементах обумовлюють внутрішні силові чинники в перерізах каната у стані після розвантаження. З них подовжня сила буде дорівнювати нулю, а крутний  $M_x$  і згинальні  $M_z$ ,  $M_y$  моменти на основі залежностей будівельної механіки каната [2] можна представити у вигляді

$$M_x = \sum_1^s N_{ij} \sin(\alpha + \beta)(\bar{r} \cos \varphi + r), \quad (5)$$

$$M_z = \sum_1^s N_{ij} \cos(\alpha + \beta)(\bar{r} \sin \gamma + r \sin(\gamma + \varphi)), \quad (6)$$

$$M_y = \sum_1^s N_{ij} \cos(\alpha + \beta)(\bar{r} \cos \gamma + r \cos(\gamma + \varphi)). \quad (7)$$

Повний згинальний момент

$$M = \sum_1^s N_{ij} \cos(\alpha + \beta) \sqrt{\bar{r}^2 + 2\bar{r}r \cos \varphi + r^2}, \quad (8)$$

де  $\varphi$  — кут положення дроту в сталці (рис. 2);

$r$  — радіус звивки дроту в сталку;

$\gamma$  — кут положення сталки в канаті подвійної звивки;

$\bar{r}$  — радіус звивки елементів (сталок) каната.

При наявності залишкових зусиль  $N$  чинники (5)...(8) з'являються одночасно. Це призводить до втрати прямолінійної форми каната, що нерідко зустрічається на практиці, як тільки відрізок каната звільнити від закріплення по кінцях.

Отримані залежності дозволяють визначити натягнення дротів, при яких забезпечується задане допустиме значення чинників (5)...(7) з точки зору збереження прямолінійності відрізків каната у вільному стані. Розв'язання таких задач має практичну цінність.

Як приклад розглянемо канат загального призначення  $6 \times 19(1+6+12)+1 \times 19(1+6+12)$  (рис. 3) діаметром 15,45 мм зі сталками конструкції  $1/1,15+6/1+12/1$  з кутами звивки  $\alpha_2 = 16,75^\circ$ ,  $\alpha_3 = 16,16^\circ$ . Кут звивки сталок  $\beta_2 = 17,67^\circ$  (див. таблицю).

## Розрахунок залишкових зусиль елементів канатів подвійної звивки

| Номер дроту                                   | Натягнення дротів при звивці їх в сталки $P, Н$ | Натягнення сталок при звивці їх в канат $\bar{P}, Н$ | Залишкове зусилля сталки каната від звивки сталок в канат $N_j, Н$ | Залишкове зусилля дроту каната від звивки сталок в канат $N_{pj}, Н$ | Сумарне залишкове зусилля дротів каната подвійної звивки $N_{ij}, Н$ |
|---|---|--|--|--|--|
| 1   | 65  | 800  | 116,638  | 8,956  | -2,860   |
| 2...7   | 60  |  |  | 6,209  | 12,950   |
| 8...16  | 67  |  |  | 6,247  | 19,663   |
| 17...19                                       | 4   |  |  | 6,247  | -43,337  |
| 20, 39, 58, 77, 96                            | 65  | 700  | 79,598   | 6,112  | -5,704   |
| 21...26, 40...45, 59...64, 78...83, 97...102  | 60  |  |  | 4,238  | 10,978   |
| 27...35, 46...54, 65...73, 84...92, 103...111 | 67  |  |  | 4,263  | 17,679   |
| 36...38, 55...57, 74...76, 93...95, 112...114 | 4   |  |  | 4,263  | -45,321  |
| 115   | 65  | 100  | -520,402   | -39,958  | -51,774  |
| 116...121                                     | 60  |  |  | -27,705  | -20,964  |
| 122...130                                     | 67  |  |  | -27,874  | -14,458  |
| 131...133                                     | 4   |  |  | -27,874  | -77,458  |

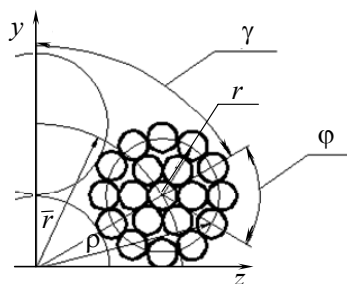
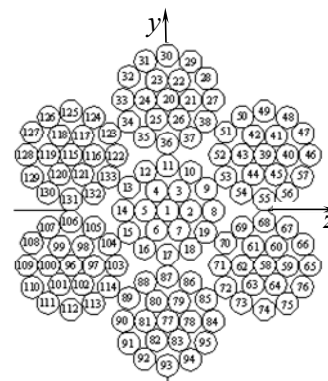


Рис. 2. Система координат в поперечному перерізі каната

Рис. 3. Переріз каната  $6 \times 19(1+6+12) + 1 \times 19(1+6+12)$ 

В загальному випадку деформований стан каната, пов'язаний з розвантаженням від звивального натягнення елементів, слід розглядати з урахуванням всіх жорсткостей каната, обумовлених нерівномірністю натягнення. При цьому розвантаження буде асиметричним, а тому канат, окрім подовжньої, отримає також деформацію просторового гвинтового згинання.

Такий процес деформування, що проходить при змінних жорсткостях в зв'язку з неодноразністю розвантаження елементів, можна представити на основі розрахункових схем [4], описуючи весь комплекс деформацій каната матричним рівнянням.

На основі проведених досліджень в рамках даної розрахункової схеми отримана умова відношення натягнення елементів, при яких не буде залишкових зусиль після розвантаження в канатах подвійної звивки.

## Література

1. Нестеров, П.П. К вопросу о влиянии параметров свивки на долговечность канатов / П.П. Нестеров, А.П. Ветров // Изв. вузов. Горный журнал. — 1964. — № 7. — С. 18 — 20.
2. Глушко, М.Ф. Стальные подъемные канаты / М.Ф. Глушко. — К.: Техніка, 1966. — 325 с.
3. Сергеев, С.Т. Стальные канаты / С.Т. Сергеев. — К.: Техніка, 1974. — 325 с.

4. Чаюн, И.М. Связь свивочного натяжения элементов каната с его последующим деформированно-напряженным состоянием / И.М. Чаюн // Стал. канаты. Вып. 4. — Одесса: Астропринт, 2005. — С. 14 — 24.
5. Чаюн, И.М. Несущая способность подъемных канатов и лент / И.М. Чаюн. — Одесса: Астропринт, 2003. — 233 с.
6. Малинин, Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести / Н.Н. Малинин. — М.: Машиностроение. 1975. — 400 с.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. політехн. ун-ту Семенюк В.Ф.

Надійшла до редакції 18 березня 2009 р.