

Кущ V.V., Matushevskyy V.B. Fundamentals of theoretical studies for the process of wood cleavage by means of stepped operating element

The work proposes the method of theoretical study for the process of wood cleavage by means of stepped operating element. The comparative analysis of the calculation results for the maximum cleaving force calculated respectively according to the classical approach and to the proposed methodology is presented.

УДК 621.086.065 Доц. О.Л. Ляшук, канд. техн. наук – Тернопільський НТУ ім. Івана Пулюя

**КОЛИВАННЯ КАНАТІВ ГНУЧКИХ КОНВЕЄРІВ
ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ НАСИПНИХ ВАНТАЖІВ**

Розглянуто поздовжні коливання горизонтальної і вертикальної ділянок тягового канату конвеєра. Отримано вирази для визначення переміщень окремих точок канату, що характеризують його коливання і залежність для визначення натягу канату. Обґрунтовано параметри та режими експлуатації конвеєрів із гнучкими тяговими органами.

На елеваторах і складах сипучих продуктів та матеріалів їх доводиться транспортувати на значні відстані [1, 2]. Як тягові органи доцільно використовувати канати, які огинають направляючі блоки і зменшують динамічні навантаження порівняно з ланцюговими конвеєрами [3, 4]. На рис. 1 зображено схему конвеєра з гнучким тяговим елементом, яким є канат. Такі конвеєри мають циклічні навантаження, тому їхня надійність і довговічність визначається надійністю роботи тягового канату.

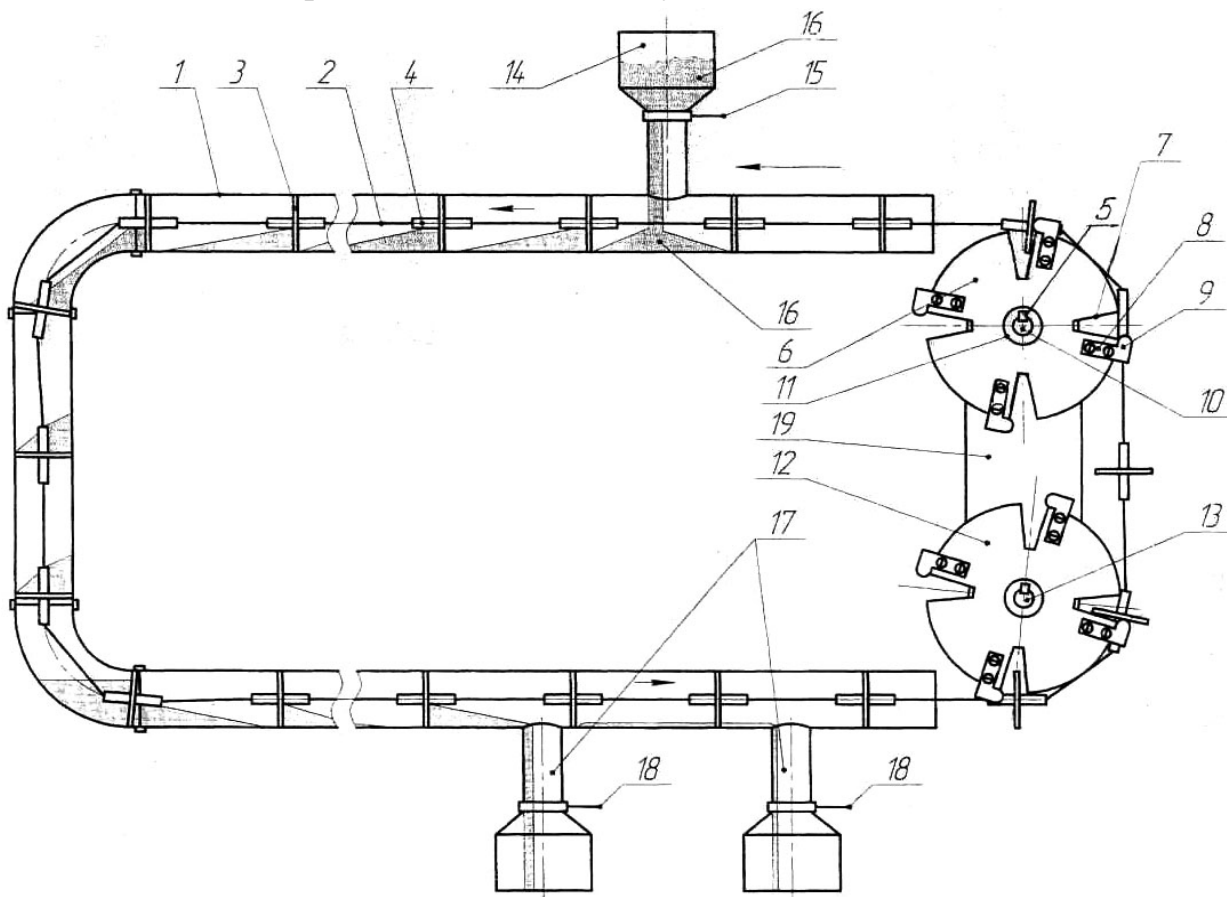


Рис. 1. Схема гнучкого канатного конвеєра

Гнучкий канатний конвеєр виконано у вигляді U -подібної труби 1 круглого поперечного січення, в яку вставлено гнучкий канат робочий орган 2, по довжині якого рівномірно з заданим кроком встановлено круглі подаючі диски 3, які з двох сторін жорстко підтиснуті і закріплені до каната кріпильними втулками 4, за допомогою болтів 5. На вході у U -подібну трубу жорстко встановлена спеціальна приводна зірочка 6, виконана у вигляді диска з пазами 7. Паралельно до U -подібних пазів із двох сторін жорстко встановлені Γ -подібні штовхачі 8, в яких верхні горизонтальні полицьки 9 штовхачів є у взаємодії з круглими подаючими дисками 3 з тильної сторони. Спеціальна приводна зірочка 6 жорстко вставлена на привідному валу 10 редуктора з маточиною 11, який встановлено перпендикулярно до площини встановлення гнучкого канатного ланцюга 2.

На виході U -подібної труби 1 жорстко встановлена направляюча зірочка 12 на валу 13, з можливістю кругового провертання. Зверху траси U -подібної труби 1 на виході встановлено бункер 14 з регульовальним шибером 15 і сипким матеріалом 16, який необхідно транспортувати. Знизу траси U -подібної труби 1 встановлені вивантажувальні патрубки 17 з шиберами 18 для вивантаження сипкого матеріалу в певних дозах, згідно з технічними вимогами. Привідний вал 10 з редуктором встановлені на плиту 19 механізму натягу робочого органу відомої конструкції.

У процесі роботи сипкий матеріал 16 з бункера 14 з відкритим шибером 15 поступає в U -подібну трубу 1. При ввімкненні приводу гнучкий канатний робочий орган з сипким матеріалом переміщується згідно стрілки до вивантажувальних патрубків 17. Шибер 18 відкривається на необхідну величину згідно технічних вимог. Після закінчення подачі сипкого матеріалу конвеєр виключається.

У процесі роботи тяговий канат сприймає розтягуючи навантаження здійснює позовжні коливання. Для дослідження коливань таких канатів представимо розрахункову схему, рис. 2, виділивши ділянки завантаженого канату. Представлений конвеєр має горизонтальні та вертикальні ділянки канату

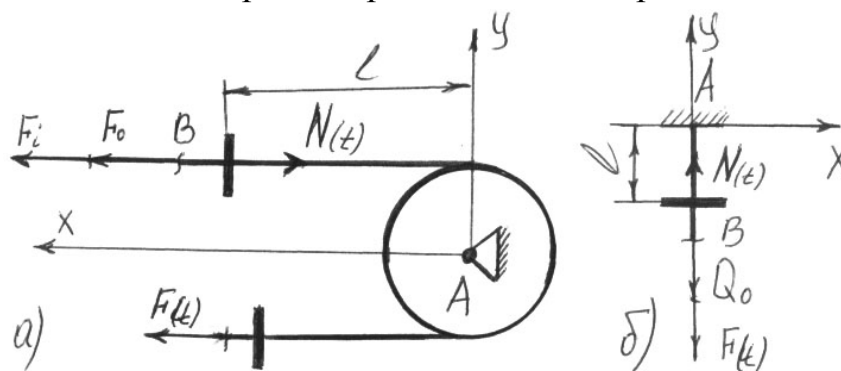


Рис. 2. Розрахункові схеми завантажених ділянок канату:
а) горизонтальної; б) вертикальної

Поздовжні коливання канату можна описати функцією переміщення, що показує переміщення перерізів канату вздовж осей A_x та A_y . Якщо вважати, що поперечні перерізи залишаються плоскими в процесі роботи конвеєра, а канат рухається вздовж осі, то відповідно натяг у будь-якому поперечному перерізі можна визначити зі залежності

$$N = E_k \cdot A \frac{\partial U}{\partial \xi}, \quad (1)$$

де: N – натяг тягового канату; E_k ; A – відповідно модуль пружності та площа поперечного перерізу канату. U – функція переміщення, $U = U(\xi, t)$. Для горизонтальної осі $\xi = x$, для вертикальної $\xi = y$.

Загальний вигляд коливання системи можна отримати шляхом накладання ряду головних простих коливань, які відповідають нормальним координатам $\varphi_1, \varphi_2, \dots$. Для будь якої координати φ_i загальне рівняння коливань можна представити в такому вигляді [5, 6]:

$$\varphi_i + n_i^2 \cdot \varphi_i = \frac{1}{a_i} \cdot \Phi_i; \quad (2)$$

де: $n_i^2 = \frac{C_i}{a_i}$; Φ_i – узагальнена сила, що відповідає координаті φ_i ; a_i, C_i – постійні величини, які залежать від конфігурації системи та її пружних властивостей.

Якщо початок координат знаходиться в точці A , а вісь направлена вздовж осі канату (рис. 2), тоді на кінцях A і B отримаємо граничні умови:

$$U|_{\xi=0} = 0; \quad \frac{\partial U}{\partial \xi}|_{\xi=e} = 0. \quad (3)$$

Загальний вираз для переміщення в нормальних координатах можна записати в такому вигляді:

$$U = \sum_{n=0}^{\infty} \varphi_n \cdot \sin\left(\frac{2n+1}{2} \cdot \frac{\pi}{l} \cdot \xi\right). \quad (4)$$

Із залежності (4) знаходимо

$$\frac{\partial U}{\partial \xi} = \sum_{n=0}^{\infty} \varphi_n \cdot \frac{2n+1}{2} \cdot \frac{\pi}{l} \cdot \cos\left(\frac{2n+1}{2} \cdot \frac{\pi}{l} \cdot \xi\right). \quad (5)$$

Підставивши значення $\frac{\partial U}{\partial \xi}$ у залежність (1), отримаємо вираз для визначення натягу канату в такому вигляді:

$$N = E_k \cdot A \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \varphi_n \cdot \frac{2n+1}{2} \cdot \frac{\pi}{l} \cdot \cos\left(\frac{2n+1}{2} \cdot \frac{\pi}{l} \cdot \xi\right), \quad (6)$$

де l – довжина ділянки канату.

Для визначення переміщень окремих перерізів канату знайдемо кінетичну і потенціальну енергії системи і складемо рівняння Лагранжа

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial W}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \frac{\partial W}{\partial \varphi_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_i} = \bar{\Phi}_i \quad (7)$$

Потенціальну енергію системи можна знайти з виразу

$$\begin{aligned} \Pi &= \frac{1}{2} E_k \cdot A \cdot \int_0^l \left(\frac{\partial U}{\partial \xi} \right)^2 \cdot d\xi = \frac{1}{2} \cdot E_k \cdot A \cdot \left[\frac{1}{2} l + \frac{l}{2(2n+1)\pi} \cdot \sin(2n+1)\pi \right] = \\ &= \frac{E_k \cdot A}{16} \cdot \frac{\pi}{l} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \varphi_n^2 \cdot (2n+1)^2. \end{aligned} \quad (8)$$

Кінематичну енергію можна представити залежністю

$$W = \frac{q}{2g} \sum_{n=0}^{\infty} \dot{\varphi}_n^2 \cdot \int_0^l \sin^2 \left(\frac{2n+1}{2} \frac{\pi}{l} \xi \right) \cdot \xi \cdot d\xi = \frac{q}{2g} \sum_{n=0}^{\infty} \dot{\varphi}_n^2 \cdot \frac{1}{2} \int_0^l \left(1 - \cos \left((2n+1) \cdot \frac{\pi}{l} \cdot \xi \right) \right) \cdot d\xi =$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \frac{q \cdot l}{g} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \dot{\varphi}_n^2, \quad (9)$$

де: q – вага погонного метра канату; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – пришвидшення вільного падіння. Зі врахуванням значень енергій, рівняння (7) набуде такого вигляду:

$$\ddot{\varphi}_n + \frac{E_k \cdot A \cdot g \cdot \pi^2}{4 \cdot g \cdot l^2} \cdot (2n+1)^2 \cdot \varphi_n = \frac{2g}{q \cdot l} = \bar{\Phi}_n. \quad (10)$$

Після введення позначення $b^2 = \frac{E_k \cdot A \cdot g}{q}$ нормальне коливання, що відповідає будь-якій координаті φ_n запишемо так:

$$\varphi_n = (\varphi_n)_0 \cdot \cos \left(\frac{b \cdot \pi}{l} \cdot \frac{2n+1}{2} \right) \cdot t + (\dot{\varphi}_n)_0 \frac{2l}{\pi \cdot b \cdot (2n+1)} \cdot \sin \left(\frac{b \cdot \pi}{l} \cdot \frac{2n+1}{2} \right) \cdot t +$$

$$+ \frac{4g}{\pi \cdot b \cdot q \cdot (2n+1)} \cdot \int_0^t \sin \left(\frac{b \cdot \pi}{l} \cdot \frac{2n+1}{2} \cdot (t-t_0) \right) \cdot \bar{\Phi}_n \cdot dt, \quad (11)$$

де: t_0, t – відповідно, початковий час та час фіксування переміщення.

Підставивши значення φ_n із залежності (11) в (4) і прийнявши $(\varphi_n)_0$ та $(\dot{\varphi}_n)_0$, які дорівнюють нулю, отримаємо

$$U = \frac{4g}{\pi \cdot b \cdot q} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{2n+1} \int_0^t \sin \left(\frac{2n+1}{2} \cdot \frac{\pi \xi}{l} \right) \cdot \sin \left(\frac{2n+1}{2} \cdot \frac{\pi \cdot \xi}{l} \cdot (t-t_0) \right) \cdot \bar{\Phi}_n \cdot dt. \quad (12)$$

Виразимо узагальнюючу силу через натяг канату

$$\bar{\Phi}_n = F(t) \cdot \sin \left(\frac{2n+1}{2} \cdot \pi \right), \quad (13)$$

де: $F(t)$ – сумарне зовнішнє навантаження, що діє на канат в певний момент часу.

Тоді:

$$U = \frac{4g}{\pi b q} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{2n+1} \int_0^t \sin \left(\frac{2n+1}{2} \cdot \pi \right) \sin \left(\frac{2n+1}{2} \cdot \frac{\pi \xi}{l} \right) \cdot \sin \left(\frac{2n+1}{2} \cdot \frac{\pi b}{l} (t-t_0) \right) \cdot F(t) dt =$$

$$= \frac{4g}{\pi b q} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \cdot \int_0^t \sin \left(\frac{2n+1}{2} \cdot \frac{\pi \xi}{l} \right) \cdot \sin \left(\frac{2n+1}{2} \cdot \frac{\pi b}{l} \cdot (t-t_0) \right) \cdot F(t) dt. \quad (14)$$

Натяг канату в певний момент часу можна визначити з такої залежності:

$$N(t) = \frac{2E_k A g}{b \cdot q} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{l} \cos \left(\frac{2n+1}{2} \cdot \frac{\pi \xi}{l} \right) \cdot \int_0^t \sin \left(\frac{2n+1}{2} \cdot \frac{b \pi}{l} \cdot (t-t_0) \right) \cdot F(t) dt. \quad (15)$$

Аналіз залежностей (14), (15) для конкретних умов експлуатації дасть змогу оцінити характер зміни переміщень канату та їхнього натягу в процесі роботи й обґрунтувати параметри та режими експлуатації конвеєрів із гнучкими тяговими органами.

Література

1. Спиваковский А.О. Транспортирующие машины / А.О. Спиваковский, В.К. Дьяков. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1983. – 487 с.
2. Берклан М.Б. Подвесные канатные дороги / Берклан М.Б., Бовский Г.Н., Куйбида Г.Г., Леонтьев Ю.С. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1984. – 264 с.
3. Малиновский В.А. Стальные канаты. – Ч. I, II. – Одесса : Астропринт, 2001. – 188 с.; 2002. – 180 с.
4. Мартинців М.П. Аналіз роботи рекреаційних канатних установок, як підвісних конвеєрів / Мартинців М.П., Удовиський О.М., Сологуб Б.В. // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.7. – С. 90-97.
5. Энтин Г.Я. Распределение усилия в гибких растяжимых нитях, охватывающих абсолютно жесткие шкивы // Функциональный привод гибкого тягового органа. – М. : Изд-во "Машгиз", 1963. – 86 с.
6. Горошко О.А. Введение в механику деформируемых одномерных тел переменной длины / О.А. Горошко, Г.Н. Савин. – К. : Вид-во "Наук. думка", 1971. – 224 с.

Ляшук О.Л. Колебание канатов гибких конвейеров для транспортировки насыпных грузов

Рассмотрены продольные колебания горизонтального и вертикального участков натяжного каната конвейера. Получены выражения для определения перемещений отдельных точек каната, которые характеризуют его колебание и зависимость для определения натяжки каната. Обоснованы параметры и режимы эксплуатации конвейеров с гибкими натяжными органами.

Lyashuk O.L. Fluctuations of flexible rope conveyor for transporting bulk cargo

We consider longitudinal vibrations of horizontal and vertical sections of the traction rope conveyor. The expressions for displacements of individual points of rope that characterize its fluctuations and dependence to determine the tension rope. Grounded parameters and modes of exploitation of conveyers with flexible hauling organs.

УДК 622.67:534.11 Викл. Л.В. Семчук, канд. техн. наук – Червоноградський державний технікум гірничих технологій та економіки

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТ І ФОРМ ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ ШАХТНОЇ ПІДЙІМАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ЗІ ЗРІВНОВАЖУВАЛЬНИМ КАНАТОМ

Розглянуто математичну модель власних коливань механічної системи шахтної підйімальної установки із зрівноважувальним канатом. Рух підйімального каната описано рівняннями з частковими похідними гіперболічного типу. Сформульовано крайові умови, яким повинні задовольняти розв'язки рівнянь руху. Будується алгоритм розрахунку частот і форм гармонічних коливань механічної системи із застосуванням матричного методу початкових параметрів. Досліджено вплив довжин віток каната на характеристики частотного спектру і на форми коливань установки.

Ключові слова: математична модель, власні коливання, шахтна підймальна установка, зрівноважувальний канат, частоти і форми.