

УДК [622.647.2–192:621.867.2]:622.8.1/.8

**RISK ISSUES LOSS OF TRACTION CAPACITY DRIVEN
BY A CONVEYOR BELT
ПИТАННЯ ЩОДО РИЗИКУ ВТРАТИ ТЯГОВОЇ ЗДАТНОСТІ ПРИВОДА
СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА**

Smirnov A. M. / Смірнов А. М.*Ph.D, Senior Researcher / к.т.н., ст. дослід.*

ORCID: 0000-0003-2827-521X

Kiriia R.V. / Кірія Р.В.*D.Sc., Senior Researcher / д.т.н., ст. н. співр.*

ORCID: 0000-0003-4842-7188

Mishchenko T. F. / Міщенко Т. Ф.*Master of Science / магістр*

ORCID: 0000-0002-3993-3639

Mostovyi B. I. / Мостовий Б. І.*Master of Science / магістр*

Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, 2A Simferopolska St., 49005
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ, НАНУ), м. Дніпро, вул. Симферопольська, 2А, 49005

Анотація. У роботі розглянуто питання щодо втрати тягової здатності привода стрічкових конвеєрів. Визначено основні причини втрати тягової здатності привода конвеєрів та розглянуто випадок втрати тягової здатності привода через збільшення опору руху стрічки, пов'язаного з відмовою роликів роликоопор, і внаслідок цього зниження коефіцієнта зчеплення стрічки з приводними барабанами стрічкових конвеєрів. Визначено граничну кількість загальмованих роликоопор конвеєра n_0 , при якій виникає ризик втрати тягової здатності привода, для однопривідного та двопривідного конвеєрів. Запропоновано шлях визначення величини ризику втрати тягової здатності стрічкового конвеєра. Зроблено висновки щодо отриманих результатів досліджень.

Ключові слова: конвеєр, привод, роликоопори, тягова здатність, ризик.

Abstract. The article deals with the issue of the loss of traction capacity of the drive of belt conveyors. The main reasons for the loss of traction capacity of the conveyor drive are determined, and the case of the loss of traction capacity of the drive due to the increase in the resistance of the belt movement associated with the failure of the rollers of the roller supports and, as a result, the reduction of the adhesion coefficient of the belt with the belt conveyors drive drums is considered. The limit number of braked conveyor roller supports n_0 , at which there is a risk of loss of traction capacity of the drive, is determined for one-drive and two-drive conveyors. A method of determining the risk of loss of traction capacity of a belt conveyor is proposed. Conclusions are made regarding the research results obtained.

Key words: conveyor, drive, roller supports, traction capacity, risk.

Вступ.

Одним з істотних факторів ризику відмови стрічкових конвеєрів загального призначення і трубчастих є втрата тягової здатності привода конвеєрів.

Основними причинами втрати тягової здатності привода стрічкових конвеєрів, тобто повного ковзання стрічки по приводному барабану (пробуксовки), є перевантаження конвеєра, збільшення опору руху стрічки,

пов'язане з виходом з ладу роликів роликкоопор, і зниження коефіцієнта зчеплення стрічки з приводними барабанами стрічкових конвеєрів.

Допустиме перевантаження стрічкового конвеєра контролюється датчиками вимірювання погонного навантаження, потужності приводу конвеєра, а також датчиками пробуксовки приводу, які своєчасно реагують на критичні змінення параметрів і попереджають аварійні ситуації. Крім того, підвищення навантаження на стрічковий конвеєр компенсується запасом зчеплення стрічки з приводними барабанами.

Основна частина.

Згідно [1, 2] умови повного ковзання стрічки по приводних барабанах стрічкового конвеєра мають вигляд:

– для однопривідного стрічкового конвеєра

$$W_T \geq \frac{S_{3\delta}}{K_c} (e^{\mu\alpha} - 1), \quad (1)$$

де W_T – тягове зусилля на приводному барабані, Н; α – кут обхвату приводного барабана, рад; $S_{3\delta}$ – натяг стрічки в точці збігання стрічки з приводного барабана, Н; μ – коефіцієнт зчеплення стрічки з приводним барабаном; K_c – коефіцієнт запасу тягової здатності приводу конвеєра;

– для двопривідного стрічкового конвеєра з незалежними зв'язками між приводами

$$W_{T2} \geq \frac{S_{3\delta 2}}{K_c} (e^{\mu\alpha_2} - 1), \quad (2)$$

де W_{T2} – тягове зусилля на другому приводному барабані, Н; α_2 – кут обхвату другого приводного барабана, рад; $S_{3\delta 2}$ – натяг стрічки в точці збігання стрічки з другого приводного барабана, Н.

При цьому згідно з [1] маємо

$$W_T = \frac{W_T}{1 + K_p},$$

де $W_T = W_{T1} + W_{T2}$.

Тут W_T – загальне тягове зусилля двопривідного конвеєра, Н; W_{T1} – тягове зусилля на першому приводному барабані, Н; $K_p = W_{T1} / W_{T2}$ – коефіцієнт розподілу тягового зусилля між приводними барабанами.

В результаті отримуємо значення коефіцієнтів зчеплення стрічки з приводними барабанами, при яких відбувається повне ковзання стрічки по приводному барабану стрічкового конвеєра:

– для однопривідного конвеєра

$$\mu \leq \frac{1}{\alpha} \ln \left(\frac{K_c W_T}{S_{3\delta}} + 1 \right); \quad (3)$$

– для двопривідного конвеєра

$$\mu \leq \frac{1}{\alpha_2} \ln \left[\frac{K_c W_T}{(1 + K_p) S_{3\delta 2}} - 1 \right]. \quad (4)$$

Нерівності (3) і (4) можна записати у вигляді

$$\mu \leq \mu_0. \quad (5)$$

Тут μ_0 – граничне значення коефіцієнта зчеплення стрічки з приводним барабаном, при якому відбувається повне ковзання стрічки по барабану.

Визначимо тепер тягові зусилля на приводних барабанах згідно з формулою [1, 2]

$$W_T = W_3 + W_{II}, \quad (6)$$

де W_3 – опір руху стрічки завантаженої вітки по роликоопорах конвеєра, Н;

W_{II} – опір руху стрічки порожньої вітки по роликоопорах конвеєра, Н.

Опори W_3 і W_{II} визначаються за формулами:

$$W_3 = k_1 (q_e + q_c + q'_p) L \omega_3 \cos \beta + (q_e + q_c) L \sin \beta; \quad (7)$$

$$W_{II} = k_1 (q_c + q''_p) L \omega_n \cos \beta - q_c L \sin \beta, \quad (8)$$

де L – довжина конвеєра, м; β – кут нахилу конвеєра, град; q_e – погонна вага вантажу, Н/м; q_c – погонна вага стрічки, Н/м; q'_p , q''_p – погонні ваги обертових частин роликів завантаженої і порожньої віток, Н/м; ω_3 , ω_n – коефіцієнти опору руху стрічки завантаженої і порожньої віток конвеєра; k_1 – коефіцієнт, що враховує додаткові опори руху стрічки в місці перевантаження і на поворотах конвеєра (залежить від довжини конвеєра).

Підставляючи (7) і (8) в (6), після перетворення отримаємо

$$W_T = k_1 (q_e + q_c + q'_p) L \omega_3 \cos \beta + k_1 (q_c + q''_p) L \omega_n \cos \beta + q_e L \sin \beta. \quad (9)$$

Вважаючи в (9) що $\omega_3 \approx \omega_n = \omega'$, після перетворення отримаємо

$$W_T = k_1 (q_e + 2q_c + q'_p + q''_p) L \omega' \cos \beta + q_e L \sin \beta. \quad (10)$$

Підставимо (10) в нерівності (3) і (4), отримаємо інтервал значень коефіцієнта зчеплення μ ($0 < \mu \leq \mu_0$), при яких виникає аварійна ситуація в приводі конвеєра, пов'язана з пробуксовкою стрічки по приводному барабану.

У разі, коли коефіцієнт зчеплення стрічки з приводним барабаном $\mu > \mu_0$, може виникнути повне ковзання стрічки по приводному барабану, пов'язане зі збільшенням опору руху стрічки по роликоопорах конвеєра.

Як правило, підвищення опору руху стрічки по роликоопорах стрічкового конвеєра обумовлено виходом з ладу роликів роликоопор. В цьому випадку визначимо мінімальну кількість поламаних роликоопор n_0 , при якій відбувається повне ковзання стрічки по приводному барабану конвеєра.

Тоді тягове зусилля на приводному барабані можна визначити за формулою

$$W'_T = W'_3 + W'_{II}, \quad (11)$$

де W'_3 – опір руху стрічки завантаженої вітки по роликоопорах конвеєра в разі непрацюючих n_0 роликоопор, Н; W'_{II} – опір руху стрічки порожньої вітки по роликоопорах конвеєра, Н.

Опори W'_3 і W'_n визначимо за формулами:

$$W'_3 = k_1(q_e + q_c + q'_p)(L - n_0 l_p) \omega' \cos \beta + k_1(q_e + q_c + q_p) n_0 l_p f_1 \cos \beta + (q_e + q_c) L \sin \beta; \quad (12)$$

$$W'_n = k_1(q_c + q''_p) L \omega' \cos \beta - q_c L \sin \beta, \quad (13)$$

де f_1 – коефіцієнт тертя ковзання стрічки по роликам роликоопор, що відмовили.

Підставляючи (12) і (13) в (11), після перетворення отримаємо

$$W'_T = k_1(q_e + 2q_c + q'_p + q''_p) L \omega' \cos \beta + k_1(q_e + q_c) n_0 l_p (f_1 - \omega') \cos \beta + q_e L \sin \beta. \quad (14)$$

Порівнюючи вирази (10) і (14), отримаємо

$$W'_T = W_T + k_1(q_e + q_c) n_0 l_p (f_1 - \omega') \cos \beta. \quad (15)$$

Згідно рівностям (1) і (2), отримаємо рівняння щодо n_0 :

– для однопривідного конвеєра

$$n_0 = \frac{S_{3\sigma}(e^{\mu\alpha} - 1) - K_c[k_1(q_e + 2q_c + q'_p + q''_p) L \omega' \cos \beta + q_e L \sin \beta]}{K_c k_1(q_e + q_c) n_0 l_p (f_1 - \omega') \cos \beta}; \quad (16)$$

– для двопривідного конвеєра

$$n_0 = \frac{S_{3\sigma}(e^{\mu\alpha} - 1)(1 + K_p) - K_c[k_1(q_e + 2q_c + q'_p + q''_p) L \omega' \cos \beta + q_e L \sin \beta]}{K_c k_1(q_e + q_c) n_0 l_p (f_1 - \omega') \cos \beta}, \quad (17)$$

причому ці вирази мають фізичний сенс за умови $n_0 \geq 0$.

Аналіз отриманих результатів виявив, що підвищення n_0 починається тільки з певних значень μ . Це коефіцієнти зчеплення стрічки з приводними барабанами μ , при яких починається повне ковзання стрічки по приводним барабанам. При цьому цей коефіцієнт зчеплення μ дорівнює граничному значенню коефіцієнта зчеплення μ_0 .

Питання визначення величини ризику при відмові става стрічкових конвеєрів розглянуте авторами у роботі [3].

У випадку, коли втрата тягової здатності приводного барабана, тобто повне ковзання стрічки по барабану, відбувається через вихід з ладу роликоопор, маємо $n_0 > 0$ і $\mu > \mu_0$.

Величину ризику в цьому випадку визначимо за формулою [4, 5]

$$K = P_{n_0} W_c, \quad (18)$$

де P_{n_0} – ймовірність того, що в ставі стрічкового конвеєра відмовили ролики n_0 роликоопор; W_c – величина втрат в результаті відмови роликів n_0 роликоопор і повного ковзання стрічки по приводному барабану.

Висновки.

Виходячи з проведених досліджень щодо ризику втрати тягової здатності привода стрічкового конвеєра, можна зробити наступні висновки:

1. Розрахунки показали, що для однопривідного і двопривідного стрічкових конвеєрів при зниженні ресурсу роликів роликоопор крім ризику втрати тягової здатності привода від перевантаження конвеєра або недостатнього коефіцієнта зчеплення стрічки з приводним барабаном виникає ризик втрати тягової здатності від відмов роликів роликоопор става конвеєра.

При цьому зі збільшенням коефіцієнта зчеплення стрічки з приводним барабаном величина ризику зменшується. Якщо $n_0 > 0$, то повне ковзання стрічки по приводному барабану відбувається в результаті відмови роликкоопор. Якщо ж $n_0 = 0$, то повне ковзання стрічки по приводному барабану відбувається через перевантаження стрічкового конвеєра або малого значення коефіцієнта зчеплення стрічки з приводним барабаном.

2. Для однопривідного стрічкового конвеєра втрата тягової здатності приводу відбувається при μ , більшому, ніж для двопривідного стрічкового конвеєра. Тому для однопривідного конвеєра для зменшення ризику втрати тягової здатності приводом необхідно застосовувати футерований гумою приводний барабан, що необов'язково для двопривідного стрічкового конвеєра.

3. Мінімальна кількість загальмованих роликкоопор конвеєра n_0 зростає по експоненціальній залежності зі зростанням коефіцієнта зчеплення стрічки з приводними барабанами μ , причому підвищення n_0 починається тільки з певних значень μ . Це коефіцієнти зчеплення стрічки з приводними барабанами μ , при яких починається повне ковзання стрічки по приводним барабанам. При цьому цей коефіцієнт зчеплення μ дорівнює граничному значенню коефіцієнта зчеплення μ_0 .

Література:

1. Шахмейстер Л. Г. Теория и расчет ленточных конвейеров / Л. Г. Шахмейстер, В. Г. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1987. – 336 с.
2. Шахмейстер Л. Г. Подземные конвейерные установки / Л. Г. Шахмейстер, Г.И. Солод. – М.: Недра, 1976. – 432 с
3. Кірія Р. В. Визначення величини ризику при відмові става стрічкових конвеєрів, що працюють в умовах гірничих підприємств / Р. В. Кірія, А. М. Смірнов, Л. А. Новіков, Т. Ф. Міщенко // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України. – Дніпро, 2021. – Вип. 157. – С. 180–189. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2021.157.180>.
4. Хенли Э. Дж. Надежность технических систем и оценка риска / Э. Дж. Хенли, Х. Кумамото. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
5. Гнеденко Б. В. Математические методы в теории надежности: Основные характеристики надежности и их статистический анализ / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М.: ЛИБРОКОМ, 2013. – 584 с

References:

1. Shakhmeyster, L.G. and Dmitriev, V.G. (1987). *Teoriya i raschet lentochnykh konveyerov* [Theory and calculation of band conveyers], Mashinostroenie, Moscow, SU.
2. Shakhmeyster, L.G. and Solod, G.I. (1976). *Podzemnyye konveyernyye ustanovki* [Underground conveyer options], Nedra, Moscow, SU.
3. Kiriya, R.V., Smirnov, A.M., Novikov, L.A. and Mishchenko, T.F. (2021). Determination of size of risk at refusal of stava of band conveyers working in the conditions of mountain enterprises. *Geo-Technical Mechanics*, (157), 180–189. Dnipro, Ukraine. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2021.157.180>.
4. Khenli, E.Dzh. and Kumamoto, H. (1984). *Nadezhnost tekhnicheskikh sistem i otsenka riska* [Reliability of technical systems and risk assessment], Mashinosrtoenie, Moscow, SU.

5. Gnedenko, B.V., Belyayev, Yu.K. and Solovyov, A.D. (2013). *Matematicheskiye metody v teorii nadezhnosti: Osnovnyye kharakteristiki nadezhnosti i ikh statisticheskiy analiz* [Mathematical methods in reliability theory: basic reliability characteristics and their statistical analysis], LIBROCOM, Moscow, SU.

Тези відправлено: 15.06.2023 р.

© Смірнов А.М., Кірія Р.В., Міщенко Т.Ф., Мостовий Б.І.