



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

**DETERMINATION OF THE MAXIMUM NUMBER OF BRAKED
ROLLER SUPPORTS OF THE CONVEYOR, AT WHICH THERE
IS A RISK OF LOSING THE DRIVE TRACTION CAPACITY
ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНОЇ КІЛЬКОСТІ ЗАГАЛЬМОВАНИХ
РОЛИКООПОР КОНВЕЄРА, ПРИ ЯКІЙ ВИНИКАЄ РИЗИК
ВТРАТИ ТЯГОВОЇ ЗДАТНОСТІ ПРИВОДА**

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 статті розглянуто питання щодо втрати тягової здатності привода стрічкових конвеєрів. Визначені основні причини втрати тягової здатності привода конвеєрів та розглянуто випадок втрати тягової здатності привода через збільшення опору руху стрічки, пов'язаного з виходом з ладу 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. Побудовано графіки залежності n_0 від коефіцієнта зчеплення μ для однопривідного і двопривідного стрічкових 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.

Вступ.

Конвеєрний транспорт – дуже важлива складова гірничого підприємства, від ефективної роботи якої залежить робота усього технологічного комплексу при видобутку, обробці та збагаченні корисних копалин. 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 роликоопор, і зниження коефіцієнта зчеплення стрічки з приводними барабанами стрічкових конвеєрів.

Допустиме перевантаження стрічкового конвеєра контролюється датчиками вимірювання погонного навантаження, потужності привода



конвеєра, а також датчиками пробуксовки привода. Крім того, підвищення навантаження на стрічковий конвеєр компенсується запасом зчеплення стрічки з приводними барабанами.

Отже, основними первинними причинами втрати тягової здатності стрічкових конвеєрів, що призводять до аварійної ситуації, пов'язаної з пробуксовкою стрічки на приводних барабанах, є зниження коефіцієнта зчеплення стрічки з приводними барабанами і відмова роликів роликкоопор става стрічкових конвеєрів.

Основна частина.

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

– для однопривідного стрічкового конвеєра

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

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

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

$$W_{T2} \geq \frac{S_{зб2}}{K_c} (e^{\mu\alpha_2} - 1), \quad (2)$$

де W_{T2} – тягове зусилля на другому приводному барабані, Н; α_2 – кут обхвату другого приводного барабана, рад; $S_{зб2}$ – натяг стрічки в точці збігання стрічки з другого приводного барабана, Н.

При цьому згідно з [1] маємо

$$W_{T2} = \frac{W_T}{1 + K_p},$$

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.

З нерівностей (1) і (2) з урахуванням останньої рівності визначимо μ . В результаті отримаємо значення коефіцієнтів зчеплення стрічки з приводними барабанами, при яких відбувається повне ковзання стрічки по приводному барабану стрічкового конвеєра:

– для однопривідного конвеєра

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

– для двопривідного конвеєра



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

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

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

де для однопривідного конвеєра

$$\mu_0 = \frac{1}{\alpha} \ln \left(\frac{K_c W_T}{S_{\beta}} + 1 \right); \quad (6)$$

для двопривідного конвеєра

$$\mu_0 = \frac{1}{\alpha_2} \ln \left[\frac{K_c W_T}{(1 + K_p) S_{\beta 2}} - 1 \right]. \quad (7)$$

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]

$$W_T = W_3 + W_{II}, \quad (8)$$

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:

$$W_3 = k_1 (q_e + q_c + q'_p) L \omega_3 \cos \beta + (q_e + q_c) L \sin \beta; \quad (9)$$

$$W_{II} = k_1 (q_c + q''_p) L \omega_n \cos \beta - q_c L \sin \beta, \quad (10)$$

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 (9) і (10) в (8), після перетворення отримаємо

$$W_T = k_1 (q_e + q_c + q'_p) L \omega_3 \cos \beta + k_1 (q_c + q''_p) L \omega_n \cos \beta + q_e L \sin \beta. \quad (11)$$

Вважаючи в (11), що $\omega_3 \approx \omega_n = \omega'$, після перетворення отримаємо

$$W_T = k_1 (q_e + 2q_c + q'_p + q''_p) L \omega' \cos \beta + q_e L \sin \beta. \quad (12)$$

Підставимо (12) 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 стрічкового 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.

Позначимо цю мінімальну кількість поламаних роликоопор через n_0 . Тоді тягове зусилля на приводному барабані можна визначити за формулою

$$W'_T = W'_3 + W'_H, \quad (13)$$

де W'_3 – опір руху стрічки завантаженої вітки по роликоопорах конвеєра в разі непрацюючих n_0 роликоопорах, Н; W'_H – опір руху стрічки порожньої вітки по роликоопорах конвеєра, Н.

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

$$W'_3 = k_1(q_s + q_c + q'_p)(L - n_0 l_p) \omega' \cos \beta + k_1(q_s + q_c + q_p) n_0 l_p f_1 \cos \beta + (q_s + q_c) L \sin \beta; \quad (14)$$

$$W'_H = k_1(q_c + q''_p) L \omega' \cos \beta - q_c L \sin \beta, \quad (15)$$

де f_1 – коефіцієнт тертя ковзання стрічки по відмовним роликам роликоопор.

Підставляючи (14) і (15) в (13), після перетворення отримаємо

$$W'_T = k_1(q_s + 2q_c + q'_p + q''_p) L \omega' \cos \beta + k_1(q_s + q_c) n_0 l_p (f_1 - \omega') \cos \beta - k_1 q'_p n_0 l_p \omega' \cos \beta + q_s L \sin \beta. \quad (16)$$

Нехтуючи в правій частині останньої рівності членом з мінусом через його малість у порівнянні з іншими членами, отримаємо

$$W'_T = k_1(q_s + 2q_c + q'_p + q''_p) L \omega' \cos \beta + k_1(q_s + q_c) n_0 l_p (f_1 - \omega') \cos \beta + q_s L \sin \beta. \quad (17)$$

Порівнюючи вирази (12) і (17), отримаємо

$$W'_T = W_T + k_1(q_s + q_c) n_0 l_p (f_1 - \omega') \cos \beta. \quad (18)$$

З виразу (18) виходить: в разі виходу з ладу n_0 роликоопор завантаженої вітки стрічкового конвеєра тягове зусилля на приводних барабанах збільшується на величину, пропорційну кількості роликоопор, що відмовили.

Для визначення мінімальної кількості поламаних роликоопор n_0 , при якій відбувається повне ковзання стрічки по приводному барабану, згідно рівностям (1) і (2) запишемо умови:

– для однопривідного конвеєра

$$W'_T = \frac{S_{36}}{K_c} (e^{\mu\alpha} - 1); \quad (19)$$

– для двопривідного конвеєра

$$W'_T = \frac{S_{362}}{(1 + K_p) K_c} (e^{\mu\alpha_2} - 1). \quad (20)$$

Підставляючи значення W'_T з (17) в рівності (19) і (20), отримаємо рівняння щодо n_0 . Після розв'язку цих рівнянь отримаємо:

– для однопривідного конвеєра

$$n_0 = \frac{S_{36} (e^{\mu\alpha} - 1) - K_c [k_1(q_s + 2q_c + q'_p + q''_p) L \omega' \cos \beta + q_s L \sin \beta]}{K_c k_1 (q_s + q_c) l_p (f_1 - \omega') \cos \beta}; \quad (21)$$

– для двопривідного конвеєра



$$n_0 = \frac{S_{3\phi}(e^{\mu\alpha} - 1)(1 + K_p) - K_c[k_1(q_B + 2q_c + q'_p + q''_p)L\omega' \cos\beta + q_B L \sin\beta]}{K_c k_1 (q_B + q_c) l_p (f_1 - \omega') \cos\beta}. \quad (22)$$

На рисунках 1 та 2 показано графіки залежності n_0 від коефіцієнта зчеплення μ для однопривідного і двопривідного стрічкових конвеєрів. При цьому параметри однопривідного стрічкового конвеєра і параметри привода приймали значення: $Q = 2000$ т/год; $L = 300$ м; $\beta = 0^\circ$; $l_p = 1$ м; $q_B = 2000$ Н/м; $q_c = 1000$ Н/м; $q'_p = 80$ Н/м; $q''_p = 40$ Н/м; $k_1 = 1,1$; $\omega' = 0,03$; $f_1 = 0,7$; $S_{3\phi} = 20000$ Н; $\alpha = 200^\circ$ (3,49 рад); $K_c = 1,3$. А параметри двопривідного конвеєра і параметри привода приймали значення: $Q = 3000$ т/год; $L = 500$ м; $\beta = 0^\circ$; $l_p = 1$ м; $q_B = 3000$ Н/м; $q_c = 1000$ Н/м; $q'_p = 80$ Н/м; $q''_p = 40$ Н/м; $k_1 = 1,1$; $\omega' = 0,03$; $f_1 = 0,7$; $S_{3\phi} = 40000$ Н; $\alpha = 200^\circ$ (3,49 рад); $K_c = 1,3$; $K_p = 2$.

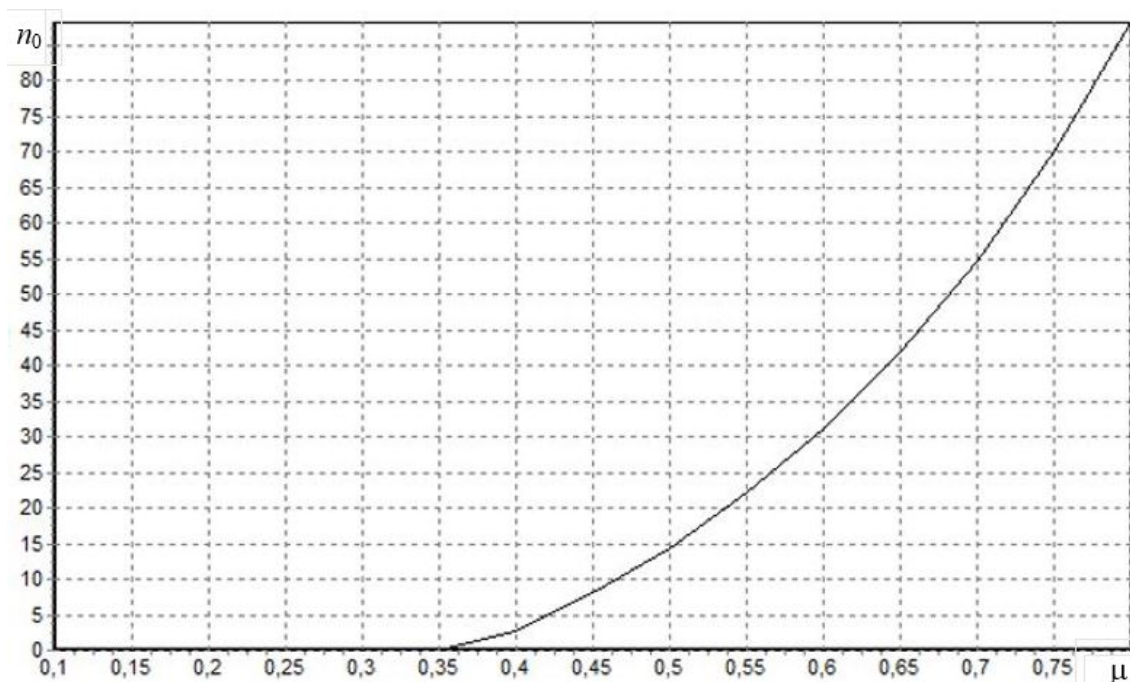


Рисунок 1 – Залежність n_0 від коефіцієнта зчеплення μ для однопривідного стрічкового конвеєра

Авторська розробка

Графіки побудовано за умови, що n_0 має фізичний сенс лише при $n_0 \geq 0$.

З графіків видно, 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 , отриманому відповідно до формул (6) і (7).

Отже, якщо $n_0 > 0$, то повне ковзання стрічки по приводному барабану відбувається в результаті відмови роликоопор. 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.

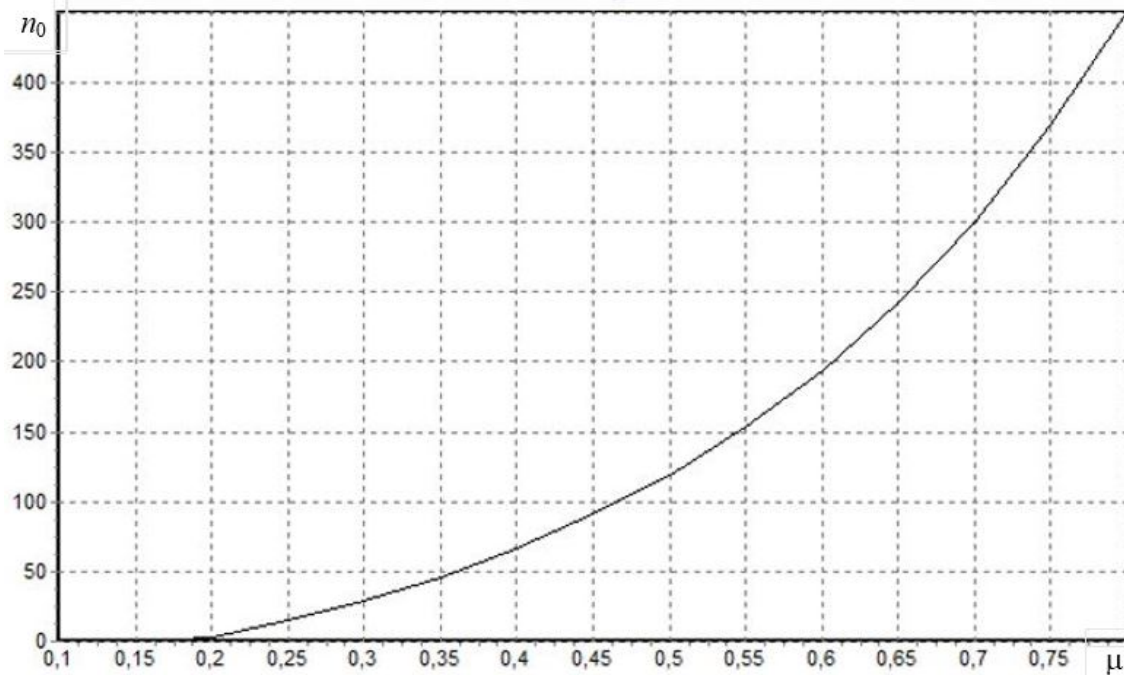


Рисунок 2 – Залежність n_0 від коефіцієнта зчеплення μ для двопривідного стрічкового конвеєра

Авторська розробка

Визначимо у загальному вигляді величину ризику втрати тягової здатності стрічкового конвеєра.

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

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

$$K = P_{n_0} W_c, \quad (23)$$

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

Визначення цієї величини для різних конвеєрних систем та умов є напрямком подальшої роботи авторів. □

Висновки.

Виходячи з проведених досліджень щодо визначення граничної кількості загальмованих роlikоопор конвеєра, при якій виникає ризик втрати тягової здатності привода, можна зробити наступні висновки:

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

2. З рисунків 1 і 2 видно, що мінімальна кількість загальмованих роlikоопор 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 , отриманому відповідно до формул (6) і (7). Для вибраних умов і параметрів для однопривідного конвеєра $\mu_0 = 0,35$, для двопривідного $\mu_0 = 0,2$.

3. Отже, 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. При цьому для однопривідного стрічкового конвеєра втрата тягової здатності привода відбувається при $\mu < 0,35$, а для двопривідного стрічкового конвеєра – при $\mu < 0,2$. Тому для однопривідного конвеєра для зменшення ризику втрати тягової здатності приводом необхідно застосовувати футерований гумою приводний барабан. А для двопривідного стрічкового конвеєра необов'язково застосування футеровки приводних барабанів.

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 konveyyernyye 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). *Matematicheskije 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.

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. Graphs of the dependence of n_0 on the adhesion coefficient μ for single-drive and two-drive belt conveyors are plotted. 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.*

Стаття відправлена: 15.06.2023 р.

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