

**ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ РИЗИКУ ПРИ ВІДМОВІ СТАВА СТІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ,
ЩО ПРАЦЮЮТЬ В УМОВАХ ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ****¹Кірія Р.В., ¹Смірнов А.М., ¹Новіков Л.А., ¹Мищенко Т.Ф.**¹Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ РИСКА ПРИ ОТКАЗЕ СТАВА ЛЕНТОЧНЫХ
КОНВЕЙЕРОВ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ****¹Кирия Р.В., ¹Смирнов А.Н., ¹Новиков Л.А., ¹Мищенко Т.Ф.**¹Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины**DETERMINATION OF RISK MAGNITUDE AT REFUSAL OF BAND CONVEYERS FRAME
WORKING IN THE CONDITIONS OF MINING ENTERPRISES****¹Kiriia R.V., ¹Smirnov A.M., ¹Novikov L.A., ¹Mishchenko T.F.**¹Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of NAS of Ukraine

Анотація. В даний час у зв'язку зі складністю технічних систем промислове виробництво стає джерелом виникнення аварій, катастроф, що призводять до великих людських і матеріальних втрат, а також до забруднення навколишнього середовища. Зокрема це відноситься до систем конвеєрного транспорту гірничих підприємств. Основними причинами аварій і катастроф на конвеєрному транспорті гірничих підприємств є вплив зовнішнього середовища, надійність обладнання, а також рівень експлуатації. Досвід експлуатації конвеєрного транспорту на гірничих підприємствах показав, що велика кількість аварій на стрічкових конвеєрах пов'язана з відмовами става. Це пояснюється тим, що при русі стрічки з вантажем по ставу конвеєра виникають динамічні навантаження на роликоопори, які призводять до виходу з ладу підшипників роликів. При цьому, як показав аналіз даних експлуатації стрічкових конвеєрів, аварії, що виникають при виході з ладу роликів, часто призводять до великих матеріальних втрат. Ці матеріальні втрати пов'язані з руйнуванням роликів роликоопор, а також з поривом стрічки конвеєра. Крім того, усунення аварій на ставі стрічкових конвеєрів часто призводять до тривалого простою всього конвеєрного транспорту і, як наслідок, до втрати його продуктивності. В даній статті на підставі теорії випадкових марківських процесів загибелі та розмноження визначено величину ризику при відмові става стрічкового конвеєра по фактору виходу з ладу роликів роликоопор. Величина ризику визначалася як математичне сподівання добутку ймовірності відмов роликів на величину матеріальних втрат від простою конвеєра та ремонту роликоопор. В результаті отримано залежність величини ризику відмови става стрічкових конвеєрів від продуктивності конвеєра, інтенсивностей відмов і відновлень роликів роликоопор, а також від середнього ресурсу роликів. Встановлено, що при збільшенні продуктивності конвеєра величина ризику відмови става стрічкового конвеєра збільшується за лінійним законом, а із зменшенням інтенсивності відновлення роликоопори величина ризику збільшується за гіперболічним законом. При цьому із збільшенням інтенсивності відмов роликів роликоопор величина ризику збільшується. Крім того, із збільшенням ресурсу роликів роликоопор стрічкового конвеєра величина ризику відмов става зменшується. Встановлено, що максимальну величину ризику має став стрічкового конвеєра з жорсткими роликоопорами, а мінімальну – став стрічкового конвеєра з амортизованими роликоопорами.

Ключові слова: стрічкові конвеєри, став, роликоопори, величина ризику

Досвід експлуатації конвеєрного транспорту на гірничих підприємствах показав, що велика кількість аварій на стрічкових конвеєрах пов'язана з відмовами става. Це пояснюється тим, що при русі стрічки з вантажем по ставові конвеєра виникають динамічні навантаження на роликоопори, які призводять до виходу з ладу підшипників роликів. При цьому, як показав аналіз даних експлуатації стрічкових конвеєрів, аварії, що виникають при виході з ладу роликів, часто призводять до великих матеріальних втрат, які пов'язано з руйнуванням роликів роликоопор, а також з поривом стрічки конвеєра. Крім того, усунення аварій на ставові стрічкових конвеєрів часто призводять до тривалого простою всього конвеєрного транспорту і, як наслідок, до втрати його продуктивності.

Отже, відмова роликів роlikоопор є основним фактором ризику при відмові става стрічкового конвеєра.

Визначимо середню величину ризику при відмові става стрічкового конвеєра за фактором виходу з ладу роликів роlikоопор.

Згідно [1, 2] величина ризику технічної системи визначається як математичне сподівання матеріальних втрат унаслідок її відмов і відновлень і визначається за формулою

$$K = \sum_{k=0}^n P_k W_k, \quad (1)$$

де P_k – ймовірність того, що в ставові в даний момент часу не працюють k роlikоопор; W_k – величина матеріальних втрат става стрічкового конвеєра в результаті відмов k роlikоопор (грн).

Із формули (1) виходить, що для того, щоб визначити величину ризику K при відмові става стрічкового конвеєра необхідно знати P_k , тобто ймовірність того, що на ставові стрічкового конвеєра не працюють k роlikоопор.

Згідно [3] розглянемо став стрічкового конвеєра як систему n паралельно з'єднаних роlikоопор (елементів) з інтенсивністю відмов і відновлень відповідно λ_p (год⁻¹) і μ_p (год⁻¹). Процес функціонування става стрічкового конвеєра представимо у вигляді марковського процесу загибелі і розмноження.

В результаті величина P_k у випадку стаціонарного режиму визначиться за формулою [4]

$$P_k = \frac{\theta^k (1 - \theta)}{1 - \theta^{n+1}} \quad (k = 1, \dots, n), \quad (2)$$

де $\theta = \frac{\lambda_p}{\mu_p}$ ($\lambda_p < \mu_p$, $\theta < 1$); n – кількість роlikоопор на ставові конвеєра.

Інтенсивність відмови λ_p і відновлення μ_p роlikоопор стрічкового конвеєра, тобто середнє число відмов і відновлень роlikоопор за одиницю часу, визначаються за формулами [5]:

$$\lambda_p = \frac{1}{t_c}; \quad \mu_p = \frac{1}{t_g}, \quad (3)$$

де t_c – середній час роботи (середній строк служби) роlikоопори, год; t_g – середній час відновлення роlikоопори, год.

Величину втрат у випадку, якщо на ставі k роlikоопор відмовило, визначимо за формулою

$$W_k = kc_g Q t_g + kC_p, \quad (4)$$

де Q – продуктивність конвеєра, т/год; c_g – вартість однієї тонни вантажу, що транспортується, грн/т; C_p – вартість ремонту однієї роlikоопори, грн.

У формулі (4) перший доданок є матеріальними втратами стрічкового конвеєра унаслідок простою конвеєрної лінії через відмову k роликкоопор, а другий доданок є матеріальними втратами, які йдуть на ремонт k роликкоопор, що відмовили.

Підставляючи (2) і (4) в (1), отримаємо

$$K = (c_s Q t_s + C_p) \sum_{k=0}^n k P_k. \quad (5)$$

Підставимо (2) в (5), маємо

$$K = (c_s Q t_s + C_p) \left(\frac{1-\theta}{1-\theta^{n+1}} \right) \sum_{k=0}^n k \theta^k, \quad (6)$$

де $\theta = \frac{\lambda_p}{\mu_p} < 1$.

Кількість роликкоопор n на ставі стрічкових конвеєрів гірничих підприємств, як правило, велике число ($n \gg 100$). Тому рівність (6) наближено можна представити у наступному вигляді:

$$K = (c_s Q t_s + C_p) \sum_{k=0}^{\infty} k \theta^k. \quad (7)$$

Згідно [6] сума в правій частині рівності (7) дорівнює

$$\sum_{k=0}^{\infty} k \theta^k \approx \frac{\theta}{(1-\theta)^2}.$$

Підставляючи останню рівність в (7), отримаємо величину ризику става стрічкового конвеєра у вигляді:

$$K = (c_s Q t_s + C_p) \frac{\theta}{1-\theta},$$

або з урахуванням (3) маємо

$$K = \left(\frac{c_s Q}{\mu_p} + C_p \right) \frac{\lambda_p}{(\mu_p - \lambda_p)}. \quad (8)$$

При цьому повинна виконуватися умова $\lambda_p < \mu_p$, тобто середня кількість відмов роликкоопори в одиницю часу повинна бути менше від середньої кількості відновлень роликкоопори в одиницю часу.

З формули (8) виходить, що при збільшенні продуктивності конвеєра Q та інтенсивності відмови роликкоопор λ_p середня величина ризику K збільшується, а зі збільшенням інтенсивності відновлення роликкоопор μ_p – зменшується. При цьому величина ризику не залежить від кількості роликкоопор става стрічкового конвеєра.

Визначимо інтенсивність потоку відмов роlikоопор става стрічкового конвеєра λ_p .

У стрічкових конвеєрах загального призначення роlikоопори складаються з трьох роликів: центрального і двох бічних (рис. 1). У трубчастих стрічкових конвеєрах роlikоопори складаються з центрального нижнього ролика, двох нижніх бічних роликів, двох верхніх бічних роликів і центрального верхнього ролика (рис. 2).

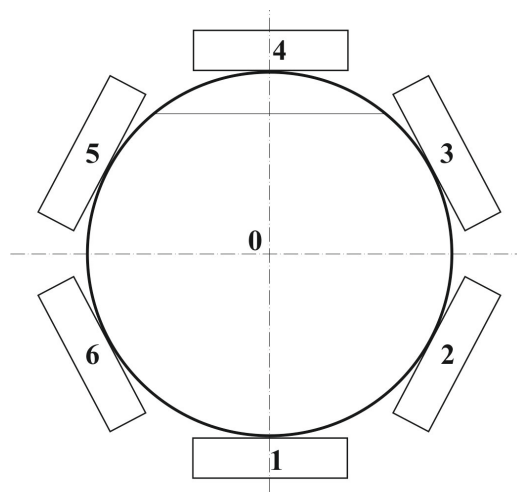
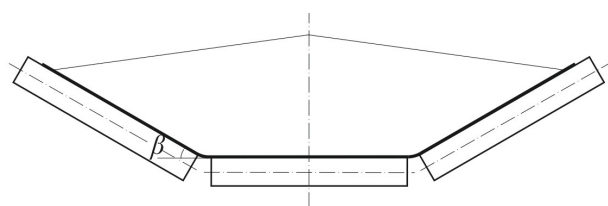


Рисунок 1 – Трьохроlikова опора стрічкового конвеєра загального призначення Рисунок 2 – Шістьохроlikова опора трубчастого конвеєра

Якщо відмовляє хоча б один ролик трьохроlikової опори, то відмовить вся роlikоопора, також якщо відмовить один ролик в шістьохроlikовій опорі, то відмовить вся роlikоопора. Кожен ролик роlikоопори складається з двох підшипників. При цьому якщо відмовить один з підшипників, то відмовить весь ролик.

В роботі [7] було показано, що якщо кількість елементів в технічній системі велике, то показники надійності системи з будь-яким законом розподілу ймовірності безвідмовної роботи її елементів наближено співпадають з тими же показниками надійності системи при експоненціальному законі розподілу безвідмовної роботи її елементів. При цьому потрібен збіг середніх значень ймовірності безвідмовної роботи елементів.

Тому припустимо, що ймовірність безвідмовної роботи роликів має експоненціальний закон розподілу.

Для трьохроlikової опори ймовірність безвідмовної роботи середнього і бічних роликів визначимо за формулами:

– середній ролик

$$P_c = e^{-\lambda_{cp}t};$$

– бічний ролик

$$P_o = e^{-\lambda_{op}t},$$

$$\text{де } \lambda_{cp} = \frac{1}{t_{cp}}; \lambda_{\bar{o}p} = \frac{1}{t_{\bar{o}p}}.$$

Тут t_{cp} і $t_{\bar{o}p}$ – середні ресурси середнього і бічних роликів трьохроlikової опори, (год).

Тоді ймовірність безвідмовної роботи трьохроlikової опори визначимо за формулою

$$P = P_c P_{\bar{o}}^2 = e^{-(\lambda_c + 2\lambda_{\bar{o}})t}. \quad (9)$$

Отже, інтенсивність відмови трьохроlikової опори конвеєра загального призначення визначається за формулою

$$\lambda_p = \lambda_{cp} + 2\lambda_{\bar{o}p} \quad (10)$$

або

$$\lambda_p = \frac{t_{cp} t_{\bar{o}p}}{t_{\bar{o}p} + 2t_{cp}}. \quad (11)$$

Аналогічно для шістьохроlikової опори трубчастого конвеєра інтенсивність відмов роlikоопори визначається за формулою

$$\lambda_p = \lambda_1 + 2\lambda_2 + 2\lambda_3 + \lambda_4, \quad (12)$$

де λ_1 – інтенсивність відмов нижнього центрального ролика, (1/год); λ_2, λ_6 – інтенсивності відмов нижніх бічних роликів, (1/год); λ_3, λ_5 – інтенсивності відмов верхніх бічних роликів, (1/год); λ_4 – інтенсивність відмов верхнього центрального ролика, (1/год).

При цьому виконується рівність $\lambda_2 = \lambda_6; \lambda_3 = \lambda_5$.

Інтенсивність відмов роликів шістьохроlikової опори визначимо через середній термін служби роликів за формулами:

$$\lambda_1 = \frac{1}{t_1}; \lambda_2 = \lambda_6 = \frac{1}{t_2}; \lambda_3 = \lambda_5 = \frac{1}{t_3}; \lambda_4 = \frac{1}{t_4}, \quad (13)$$

де t_1, t_2, t_3, t_4 – середній термін служби нижнього центрального ролика, бічних нижніх роликів, бічних верхніх роликів і верхнього центрального ролика шістьохроlikової опори трубчастого конвеєра, год.

Термін служби середнього і бокового роликів трьохроlikової опори можна визначити за формулами:

$$t_c = \frac{t_{nc}}{2}; t_{\bar{o}} = \frac{t_{n\bar{o}}}{2}, \quad (14)$$

де t_{nc} і $t_{n\bar{o}}$ – середній термін служби підшипників центрального і бічних роликів трьохроlikової опори конвеєра загального призначення, год.

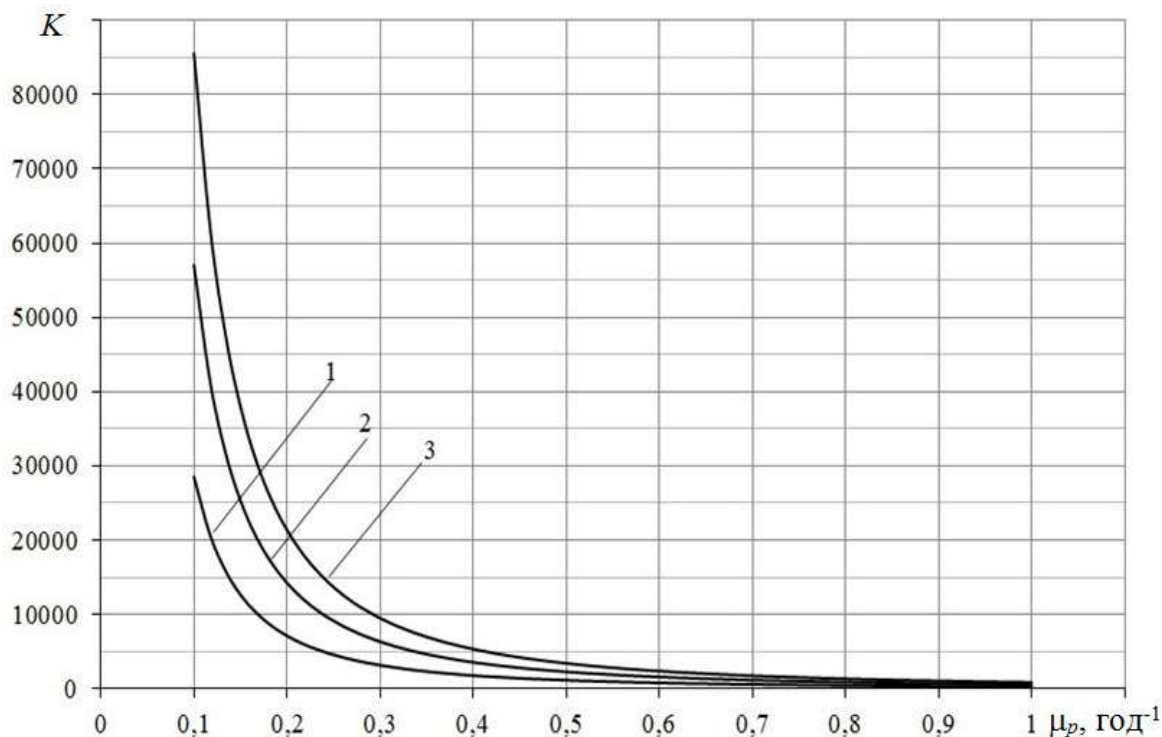
Аналогічно термін служби роликів шістьохроlikової опори трубчастого конвеєра визначається за формулами:

$$t_1 = \frac{t_{n1}}{2}; t_2 = t_6 = \frac{t_{n2}}{2}; t_3 = t_5 = \frac{t_{n3}}{2}; t_4 = \frac{t_{n4}}{2}, \quad (15)$$

де t_{n1} , t_{n2} , t_{n3} , t_{n4} – середній термін служби підшипників нижнього центрального ролика, бічного нижнього ролика, бічного верхнього ролика і верхнього центрального ролика шістьохроlikової опори трубчастого конвеєра, год.

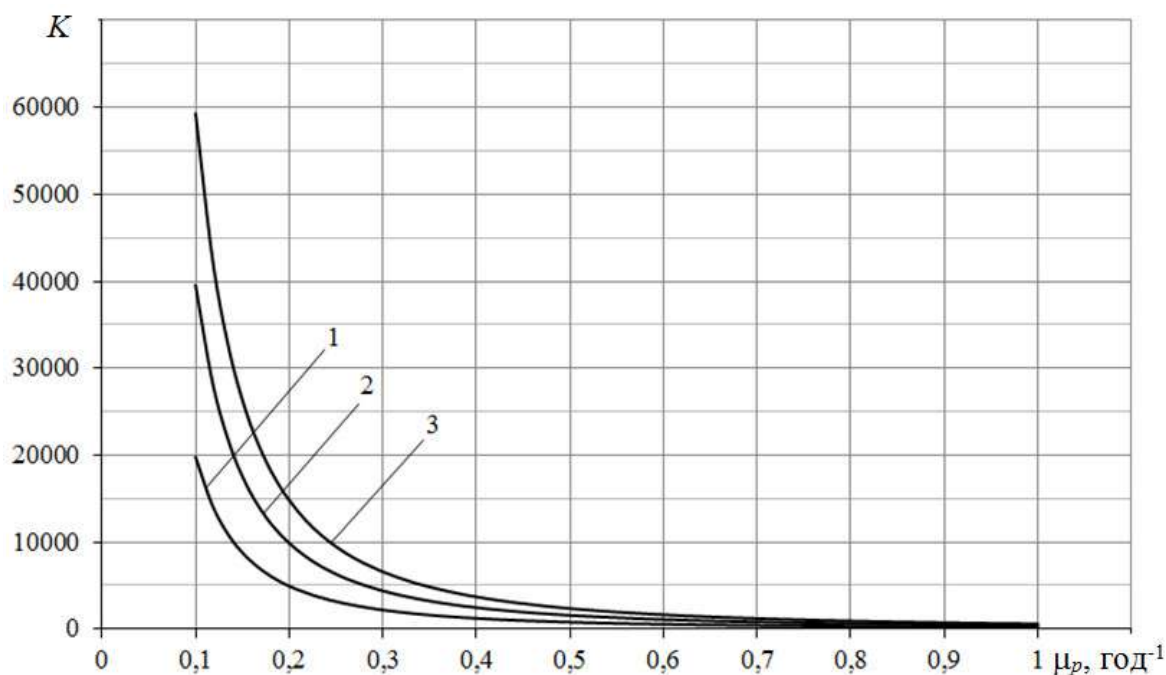
На рис. 3 – рис. 5 показано графіки залежності величини ризику K від інтенсивності відновлення роlikоопор μ_p при різних значеннях продуктивності конвеєра $Q = 1000$ т/год; 2000 т/год; 3000 т/год (відповідно криві 1, 2, 3 на рис. 3 – рис. 5) і при різних значеннях інтенсивності відмов роlikоопор $\lambda_p = 0,75 \cdot 10^{-4}$ год $^{-1}$ (див. рис. 3); $0,52 \cdot 10^{-4}$ год $^{-1}$ (див. рис. 4); $0,37 \cdot 10^{-4}$ год $^{-1}$ (див. рис. 5), що відповідає середнім термінам експлуатації роликів $t_n = 13260$ год для жорстких роlikоопор, $t_n = 19252$ год для підвісних роlikоопор на канатному ставі і $t_n = 27030$ год для амортизованих роlikоопор. При цьому вартість однієї тонни вугілля $c_v = 3800$ грн/т, вартість відновлення однієї роlikоопори $C_p = 1000$ грн.

Із графіків на рис. 3 – рис. 5 видно, що зі зменшенням інтенсивності відновлення роlikоопори μ_p величина ризику збільшується за гіперболічним законом, а при збільшенні продуктивності конвеєра збільшується за лінійним законом. При цьому зі збільшенням продуктивності конвеєра величина ризику збільшується.



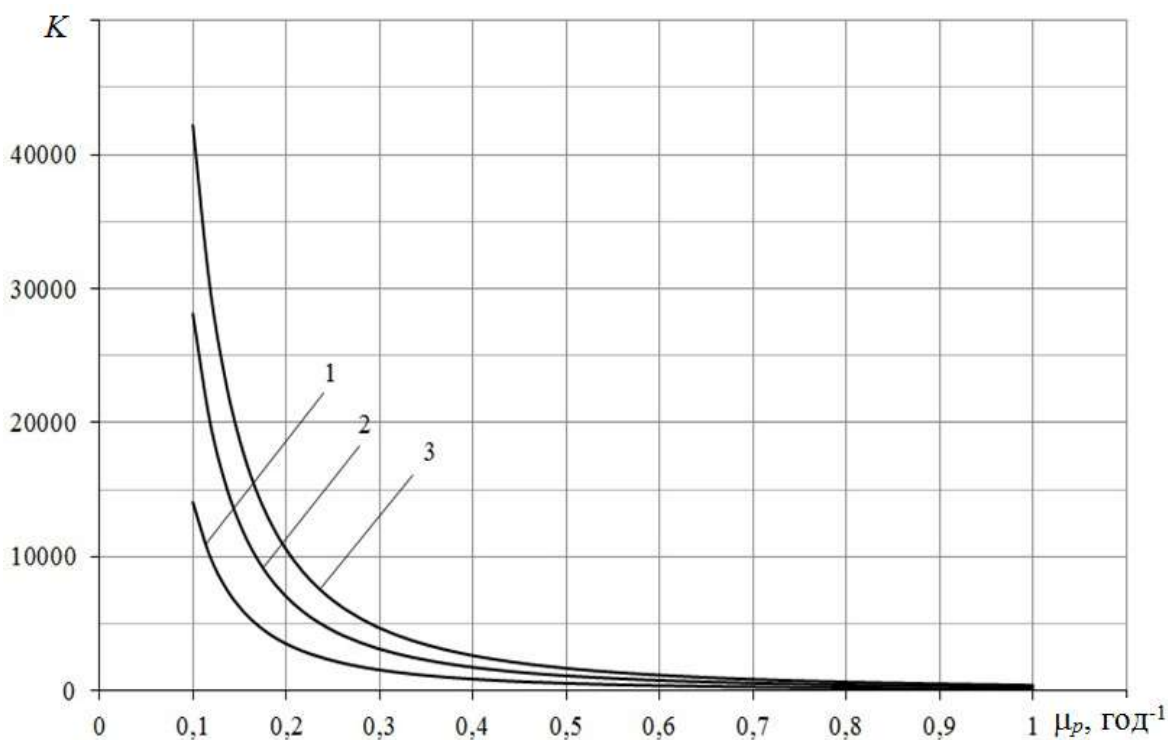
1 – $Q = 1000$ т/год; 2 – $Q = 2000$ т/год; 3 – $Q = 3000$ т/год

Рисунок 3 – Залежність величини ризику K від інтенсивності відновлення роlikоопор μ_p при різних значеннях продуктивності Q та інтенсивності відмов роlikоопор $\lambda_p = 0,75 \cdot 10^{-4}$ год $^{-1}$



1 – $Q = 1000$ т/год; 2 – $Q = 2000$ т/год; 3 – $Q = 3000$ т/год

Рисунок 4 – Залежність величини ризику K від інтенсивності відновлення роликкоопор μ_p при різних значеннях продуктивності Q та інтенсивності відмов роликкоопор $\lambda_p = 0,52 \cdot 10^{-4}$ год $^{-1}$



1 – $Q = 1000$ т/год; 2 – $Q = 2000$ т/год; 3 – $Q = 3000$ т/год

Рисунок 5 – Залежність величини ризику K від інтенсивності відновлення роликкоопор μ_p при різних значеннях продуктивності Q та інтенсивності відмов роликкоопор $\lambda_p = 0,37 \cdot 10^{-4}$ год $^{-1}$

Крім того, із порівняння рис. 3 – рис. 5 видно, що величина ризику става стрічкового конвеєра з жорсткими роликкоопорами (див. рис. 3) в 1,4 рази більше, ніж

величина ризику відмови става з підвісними роликоопорами (див. рис. 4), і в два рази більше, ніж з амортизованими роликоопорами (див. рис. 5).

Висновки.

1. На підставі теорії випадкових марківських процесів загибелі та розмноження визначено величину ризику при відмові става стрічкового конвеєра за фактором виходу з ладу роликів роликоопор.

2. Встановлено, що при збільшенні продуктивності конвеєра величина ризику відмови става стрічкового конвеєра збільшується за лінійним законом, а із зменшенням інтенсивності відновлення роликоопори величина ризику збільшується за гіперболічним законом. При цьому із збільшенням інтенсивності відмов роликів роликоопор величина ризику збільшується.

3. Крім того, із збільшенням ресурсу роликів роликоопор стрічкового конвеєра величина ризику відмов става зменшується. При цьому максимальну величину ризику має став стрічкового конвеєра з жорсткими роликоопорами, а мінімальну – став стрічкового конвеєра з амортизованими роликоопорами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Хенли Э.Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. М.: Машиностроение, 1984. 528 с.
2. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. СПб.: БХВ-Петербург, 2008. 704 с.
3. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности: Основные характеристики надежности и их статистический анализ. М.: ЛИБРОКОМ, 2013. 584 с.
4. Смирнов А.Н., Манашкин А.Л. Применение процесса гибели и размножения в оценке надежности и живучести конвейерного става / Геотехническая механика. 1998. Вып. 6. С. 132-138.
5. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем. М.: Энергоатомиздат, 1986. 420 с.
6. Фихтенгольц Г.М. Основы математического анализа: учебник. Санкт-Петербург: Лань, 2020. Ч. 2. 464 с.
7. Эндрени Дж. Моделирование при расчетах надежности в электро-энергетических системах. М.: Энергоатомиздат, 1983. 336 с.

REFERENCES

1. Khenli, E.J. and Kumamoto, Kh. (1984), Nadezhnost tekhnicheskikh sistem i otsenka riska [Reliability of technical systems and risk assessment], Mashinosrtoenie, Moscow, USSR.
2. Polovko, A.M. and Gurov, S.V. (2008), Osnovy teorii nadezhnosti [Fundamentals of the theory of reliability], BXV-Petersburg, St. Peterburg, Russia.
3. Gnedenko, B.V., Belyayev, Yu.K. and Solovyev, A.D. (2013), Matematicheskiye metody v teorii nadezhnosti: Osnovnyye kharakteristiki nadezhnosti i ikh statisticheskii analiz [Mathematical methods in reliability theory: Basic characteristics of reliability and their statistical analysis], LIBROKOM, Moscow, Russia.
4. Smirnov, A.N. and Manashkin, A.L. (1998), "Application of the process of death and reproduction in assessing the reliability and survivability of a conveyor frame", Geo-Technical Mechanics, no. 6, pp. 132-138.
5. Druzhinin, G.V. (1986), Nadezhnost avtomatizirovannykh proizvodstvennykh system [Reliability of automated production systems], Energoatomizdat, Moscow, USSR.
6. Fikhtengolts, G.M. (2020), Osnovy matematicheskogo analiza: uchebnik. Ch. 2 [Fundamentals of mathematical analysis: textbook. Part 2], Lan, St. Peterburg, Russia.
7. Endreni, J. (1983), Modelirovaniye pri raschetakh nadezhnosti v elektro-energeticheskikh sistemakh [Modeling for reliability calculations in electric power systems], Energoatomizdat, Moscow, USSR.

Про авторів

Кірія Руслан Вісаріонович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу геомеханічних основ технологій відкритої розробки родовищ, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), м. Дніпро, Україна, kiriya.igtm@gmail.com

Смірнов Андрій Миколайович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу геомеханічних основ технологій відкритої розробки родовищ, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), м. Дніпро, Україна, sm.contur24@gmail.com

Новіков Леонід Андрійович, кандидат технічних наук, науковий співробітник відділу геомеханічних основ технологій відкритої розробки родовищ, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), м. Дніпро, Україна, lnov710@gmail.com

Мищенко Тамара Федорівна, магістр, головний технолог відділу геомеханічних основ технологій відкритої розробки родовищ, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), м. Дніпро,

About the authors

Kiriia Ruslan Visarionovych, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Senior Researcher, Leading Researcher in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine, kiriya.igtm@gmail.com

Smirnov Andrii Mykolaiovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine, sm.contur24@gmail.com

Novikov Leonid Andriiovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Researcher in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine, lnov710@gmail.com

Mishchenko Tamara Fedorivna, Master of Science, Senior Specialist in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine, mishenkotamaraf@gmail.com

Аннотация. В настоящее время в связи со сложностью технических систем промышленное производство становится источником возникновения аварий, катастроф, приводящих к большим людским и материальным потерям, а также к загрязнению окружающей среды. В частности, это относится к системам конвейерного транспорта горных предприятий. Основными причинами аварий и катастроф на конвейерном транспорте горных предприятий являются влияние внешней среды, надёжность оборудования, а также уровень эксплуатации. Опыт эксплуатации конвейерного транспорта на горных предприятиях показал, что большое количество аварий на ленточных конвейерах связано с отказами става. Это объясняется тем, что при движении ленты с грузом по ставу конвейера возникают динамические нагрузки на роlikоопоры, приводящие к выходу из строя подшипников роlikов. При этом, как показал анализ данных эксплуатации ленточных конвейеров, аварии, возникающие при выходе из строя роlikов, часто приводят к большим материальным потерям. Эти материальные потери связаны с разрушением роlikов роlikоопор, а также с порывом ленты конвейера. Кроме того, устранения аварий на ставе ленточных конвейеров часто приводят к длительному простоя всего конвейерного транспорта и, как следствие, к потере его производительности. В данной статье на основании теории случайных марковских процессов гибели и размножения определена величина риска при отказе става ленточного конвейера по фактору выхода из строя роlikов роlikоопор. Величина риска определялась как математическое ожидание произведения вероятности отказов роlikов на величину материальных потерь от простоя конвейера и ремонта роlikоопор. В результате получена зависимость величины риска отказа става ленточных конвейеров от производительности конвейера, интенсивностей отказов и восстановлений роlikов роlikоопор, а также от среднего ресурса роlikов. Установлено, что при увеличении производительности конвейера величина риска отказа става ленточного конвейера увеличивается по линейному закону, а с уменьшением интенсивности восстановления роlikоопоры величина риска увеличивается по гиперболическому закону. При этом с увеличением интенсивности отказов роlikов роlikоопор величина риска увеличивается. Кроме того, с увеличением ресурса роlikов роlikоопор ленточного конвейера величина риска отказов става уменьшается. Установлено, что максимальную величину риска имеет став ленточного конвейера с жёсткими роlikоопорами, а минимальную – став ленточного конвейера с амортизированными роlikоопорами.

Ключевые слова: ленточные конвейеры, став, роlikоопоры, величина риска

Abstract. At present, due to the complexity of technical systems, industrial production is becoming a source of accidents, disasters, leading to large human and material losses, as well as to environmental pollution. In particular, this applies to conveyor systems for mining enterprises. The main causes of accidents and disasters in the conveyor transport of mining enterprises are the influence of the external environment, the reliability of equipment, as well as the level of operation. The experience of conveyor transport operating at mining enterprises has shown that a large number of accidents on conveyor belts is associated with failures of the frame. This is due to the fact that when the belt with a load moves along the conveyor frame, dynamic loads arise on the roller bearings leading to the failure of the pillow-blocks. At the same time, as the analysis of the data on operation of the belt conveyors shows, accidents that occur because of the rollers failure often lead to large material losses. These material losses are associated with the destruction of the rollers of the roller supports, as well as with the rupture of the conveyor belt. In addition, the elimination of accidents at the line of belt conveyors often lead to long downtime of the entire conveyor transport and, as a result, to a loss of its productivity. In this paper, on the basis of the theory of random Markov processes of death and reproduction, the risk rate in case of failure of the belt conveyor frame is determined by the factor of the rollers failure of the roller supports. The risk rate was determined as a mathematical expectation of the product of the probability of failures of rollers by the value of material losses caused by downtime of the conveyor and repair of roller supports. As a result, the dependence of the risk rate of failure of the belt conveyor frame on the conveyor productivity, the intensity of failures and recovery of the rollers of the roller supports, as

well as on the average resource of the rollers, was obtained. It is established that with an increase in the conveyor productivity, the risk of failure of the belt conveyor becomes linear, and with a decrease in the recovery rate of the roller support, the risk increases according to the hyperbolic law. At the same time, with an increase in the failure rate of rollers, the rate of risk increases. In addition, with an increase in the resource of the rollers of the belt conveyor rollers bearings, the rate of the risk of failures of the frame decreases. It is established that the maximum rate of risk has the frame of a belt conveyor with rigid roller supports, and the minimum – the frame of a belt conveyor with shock-absorbed roller supports.

Keywords: belt conveyors, frame, roller supports, risk rate

Стаття надійшла до редакції 26.01.2021