

DOI: 10.20535/2707-2096.7.2022.267610

УДК 621.867

С. В. Зайченко*, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-8446-5408

О. О. Семінський к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-5446-6987

Н. І. Жукова, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-4215-6981

Д. Г. Дерев'янку, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-4877-5601

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

В. О. Шаленко, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-6984-0302

Київський національний університет будівництва і архітектури,
Київ, Україна*Відповідальний автор: zstefv@gmail.com

Стаття подана 20.08.2022; Стаття прийнята 28.09.2022

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ СКЛАДОВИХ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН З ВРАХУВАННЯМ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ РОЗГЕРМЕТИЗАЦІЇ УЩІЛЬНЮЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Мета та завдання. Дослідження фізико-механічних процесів, які супроводжують експлуатаційний цикл конвеєрних роликів з метою становлення основних факторів що впливають на ресурс і обґрунтування конструкції ущільнення для забезпечення максимального строку експлуатації і витрат виробництва. Для досягнення поставленої мети встановлено закономірності основних процесів, що супроводжують експлуатаційний цикл конвеєрного ролика, теплове розширення і охолодження простору ролика - "дихання", нагрів ролика від атмосферного впливу, тертя ролика по конвеєрній стрічці і у підшипниках; створено модель термодинамічної рівноваги елементів ролика, що поєднує основні процеси, що супроводжують експлуатаційний цикл; створено єдині рекомендації, які дозволять забезпечити максимального строк експлуатації і витрат виробництва конвеєрних роликів.

Результати дослідження. За результатами аналітичних досліджень основних процесів, що супроводжують експлуатаційний цикл конвеєрного ролика теплове розширення і охолодження простору ролика встановлено суттєве нагрівання простору ролика до 40°C. Нагрів ролика призводить до ряду негативних явищ, серед яких можливо відділити нагрів змазки з втратою реологічних властивостей, нагрів ущільнень з втратою герметичності, нагрів підшипників до температур близьких до критичних(90°C). Зміна середньої температури ролика може призвести до суттєвих значень зміни тиску (14600Па) за умов повної герметичності. Даний знакозмінний перепад тиску не можуть витримати жодне з відомих ущільнень які застосовуються для конвеєрних роликів. Для лабіринтних ущільнень при нагріванні відбувається повне вирівнювання тиску до рівня атмосферного, що породжує ефект "дихання". У процесі "дихання" з вологе повітря конденсує певну кількість води, що шляхом електрохімічної корозії здатна повністю зруйнувати любую конструкцію конвеєрного ролика. Доведено неможливість герметизації простору конвеєрного ролика відомими конструкціями лабіринтних ущільнень, що потребує розробки нових технічних рішень щодо модернізації.

Наукова новизна. Створено модель термодинамічної рівноваги елементів ролика, що поєднує основні процеси, що супроводжують експлуатаційний цикл. Створена модель термодинамічної рівноваги елементів ролика показує лінійну залежність зміни температури нагріву від навантаження, опорів кочення підшипника і обичайки ролика.

Висновки та практичне значення. *Рішенням, що дозволить мінізувати процес “дихання” ролика є ізоляція простору ущільнень і підшипників від внутрішнього простору ролика. Для реалізації даного рішення необхідно до кожного підшипника додати додатковий ряд ущільнень з протилежної сторони від зовнішньої. Також для зменшення ефекту “дихання” ролика через ущільнення доречно розгерметизувати простір ролика..*

Ключові слова: *конвеєр, лабіринтні ущільнення, нагрів, опір кочення, температура.*

ВСТУП

Єдиною можливістю підвищення продуктивності підприємств, зниження собівартості продукції, а також створення сприятливих умов для комплексної механізації та повної автоматизації транспортних процесів на виробничих комплексах відкриває застосування безперервних видів транспорту, в основному конвеєрного. Із існуючих типів конвеєрів найбільшого поширення набули стрічкові конвеєри традиційної конструкції з верхньою завантаженою гілкою і жолобчостями роликоопорами. Вони є основним засобом безперервного транспорту в усіх основних галузях виробництва України.

Головною тенденцією сучасного розвитку стрічкових конвеєрів в Україні і світі є значне збільшення їхньої продуктивності, довжини та потужності. В основному це досягається за рахунок збільшення швидкості конвеєрної стрічки, яка вже на деяких конвеєрах більше ніж 5м/с. Так для забезпечення сучасних шахтних та кар'єрних вантажопотоків вітчизняною промисловістю випускаються конвеєри продуктивністю до 5000-6000 м³/год. На гірських підприємствах України експлуатуються конвеєрні лінії довжиною 3 км і більше, а світовій практиці відомі конвеєрні лінії довжиною понад 100 км при довжині одного конвеєра 8-10 км[1-4].

Актуальність теми. Основним розхідним елементом при амортизації стрічкових конвеєрів є конвеєрний ролик. Так потреба в даному елементі тільки для України на початку нашого другого десятиріччя складала в середньому складала 3 млн. шт.

Серед кар'єрних (забійних, складальних, передаточних, підйомних, магістральних, отвальних) і підземних (забойних, штрекових, уклонних, бремсбергових) стрічкових конвеєрів можливо виділити традиційно прийнятну конструкцію ДСТУ 25722-83 (СТ СЭВ 1331-78), в якій застосовуються уніфіковані елементи.

Особливістю уніфікованих стрічкових конвеєрів є те, що елементи, з яких вони складаються прийняті єдиними для одного типорозміру однієї ширини стрічки незалежно від сумарної потужності приводів. Так головні параметри роликоопор визначаються в залежності від ширини стрічки і стандартизовані за ДСТУ 22645-77 “Конвеєри стрічкові. Роликоопори. Типи та основні розміри”. Даний стандарт розповсюджується на всі типи жорстких роликоопор крім гірляндних роликоопор, які за своєю конструкцією підшипникових корпусів роликів подібні жорстким.

Для встановлення значень головних параметрів конвеєрів гірничої промисловості, розглянемо основні типи конвеєрів, які випускаються на пострадянській території.

До основних параметрів конвеєрів, які суттєво впливають на конструкцію і ресурс ролика, відносять: вагову продуктивність; швидкість руху стрічки; ширину і тип стрічки; діаметр, вагу і довжину роликів; умови роботи.

Характеристикою, яка особливо впливає на роботу, як конвеєра в цілому, так і окремих його складових частин є умови роботи, які визначаються: кліматом; температурними умовами; умовами роботи в залежності від характеру установки; завантаженістю; кусковатістю матеріалу, що транспортується; вологістю; запиленістю.

Серед конвеєрів, що випускаються серійно найбільшого застосування знайшли наступні: 1Л80У (1Л80У, 1Л80У-2), 2Л80У(2Л80У, 22Л80У-01, 2Л80У-10, 2Л80У-11), 1ЛТ80У(2ЛТ80У, 2ЛТ80У-01), 1ЛТП80У, 2ЛТП80У, 1Л100У, 1Л100У-01, 3Л100У, 3Л100У-02, 1ЛТ100У, 2ЛТ100У, 2ЛТ100У-01, 2ЛН100, 2ЛН100-01, Л120(1Л120, 1Л120-01, 2Л120Б, 2Л120В), 2ЛБ120(2ЛБ120М, 1ЛБ120М-01, 2ЛБ120М-02), КЛ-600, КЛ-600М, КЛШ1-1000,

КЛШ2-1000, МКЛ2-1200 і т.д. Серед великої кількості типів конвеєрів слід відзначити обмежену кількість виконання конвеєрних роликів за способом ущільнення підшипників: закритим і відкритим корпусом.

Досвід експлуатації конвеєрних роликів за різною конструкцією ущільнення показує суттєві, іноді протилежні данні про термін експлуатації, від декількох місяців до 5 років, що є характерною ознакою інтенсивного зношування елементів в наслідок тертя в підшипниках і обичайки ролика. Серед виробників і споживачів, не зважаючи на достатньо довгий термін існування конвеєрів досі не створена загальна концепція, що до вимог і правил виконання ущільнень підшипників роликів. Причиною даного становища є відсутність досліджень фізико механічних процесів, які супроводжують експлуатаційний цикл конвеєрних роликів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Роботи, які представляють інтерес, направленні на дослідження фізико механічних процесів, які супроводжують експлуатаційний цикл конвеєрних роликів пов'язані з розглядом процесу накопичення вологи и твердих часток у смазі підшипника[5, 6]. Автори цих робіт розглядають як основний механізму проходження частинок через ущільнення «дихання» ролика, як наслідок добового перепаду температури зовнішнього середовища. При цьому вважається, що надходження пилу в підшипники починається відразу, без попереднього накопичення їх у лабіринтному ущільненні, і зазначається, що за рік експлуатації роликів з лабіринтними ущільненнями на буровугільному кар'єрі (в умовах запиленості доквілля до 15 г/м³) у мастилi підшипників накопичується від 12,5 до 27 % механічних домішок та 5–7% вологи.

Також частина робіт вказує на суттєві опори які виникають у підшипниках кочення, і суттєву залежність моменту обертання від складу і ступені заповнення змазки[7, 8]. Так ступінь заповнення підшипника з 10 до 45% призводить до 25% зростання моменту опору обертання.

В роботі [9] шляхом термографічного аналізу відзначено суттєве зростання до (42-62°C) нагрівання частин ролика при його експлуатації.

Загальною характеристикою наведених робіт є визначення локальних проблем при експлуатації ролика з відсутністю загальної моделі, яка повинна поєднати процес роботи ролика з фізичними явищами, які призводять до втрати працездатності. Слід визначити, що серед основних процесів, які відзначені в наведених публікаціях є теплове розширення повітря і охолодження простору ролика - «дихання», нагрів ролика від атмосферного впливу, тертя ролика по конвеєрній стрічці і у підшипниках з виділенням теплоти.

Постановка завдання. Для аналізу впливів факторів, що впливають на процес роботи ущільнень підшипників конвеєрних роликів необхідно поєднати окремі фізичні процеси в одну математичну модель. Основним фактором, що супроводжує процес розгерметизації є процес тепловиділення і нагрівання простору ролика. Саме тому для створення єдиної моделі необхідно використати умови термодинамічної рівноваги елементів ролика, що поєднає процеси «дихання», нагрів і охолодження ролика від атмосферного впливу, тертя ролика по конвеєрній стрічці і підшипників.

Мета. Метою роботи є дослідження фізико-механічних процесів які супроводжують експлуатаційний цикл конвеєрних роликів з встановленням основних факторів які впливають на ресурс і обґрунтування конструкції ущільнення для забезпечення максимального строку експлуатації і витрат виробництв.

Завдання досліджень:

- встановлення закономірностей основних процесів, що супроводжують експлуатаційний цикл конвеєрного ролика теплове розширення і охолодження простору ролика - «дихання», нагрів ролика від атмосферного впливу, тертя ролика по конвеєрній стрічці і у підшипниках;
- створення моделі термодинамічної рівноваги елементів ролика, що поєднає основні процеси, що супроводжують експлуатаційний цикл;
- створення єдиних рекомендацій, які дозволять забезпечити максимального строк експлуатації і витрат виробництва конвеєрних роликів.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

При встановленні закономірностей основних процесів, що супроводжують експлуатаційний цикл конвеєрного ролика розглянемо основні конструкції флагманів вітчизняного конвеєробудування ВП Трансвугілля і НКЦП Прес (рис. 1). Як видно з перетинів, ролики мають суттєві конструкційні ознаки, які пов'язані з положенням корпусу підшипника (закритий і відкритий корпус). Спільною ознакою для двох конструкцій є наявність лабіринтних ущільнень. Для випадку закритого корпусу лабіринт виконано однорядним, а для відкритого корпусу двохранний. Відкритий корпус також має додатковий ущільнення у вигляді пильника на якому може бути встановлено пружний гумовий елемент у формі літери "V" - вірінг. Сумарна довжина лабіринту для відкритого корпусу підшипника №306 складає близько 75м, а закритого 30 мм. Ряд елементів ущільнення мають особливі форми, які призначені для зміни напрямку потоку забруднюючих частинок і спрямування їх на периферію корпусу.

Розглянемо головні джерела випромінювання теплової енергії. З аналізу конструкції елементів які є джерелами теплового впливу, необхідно визначити наступні:

- тертя підшипників;
- тертя ущільнень;
- тертя обичайки ролика по стрічці.

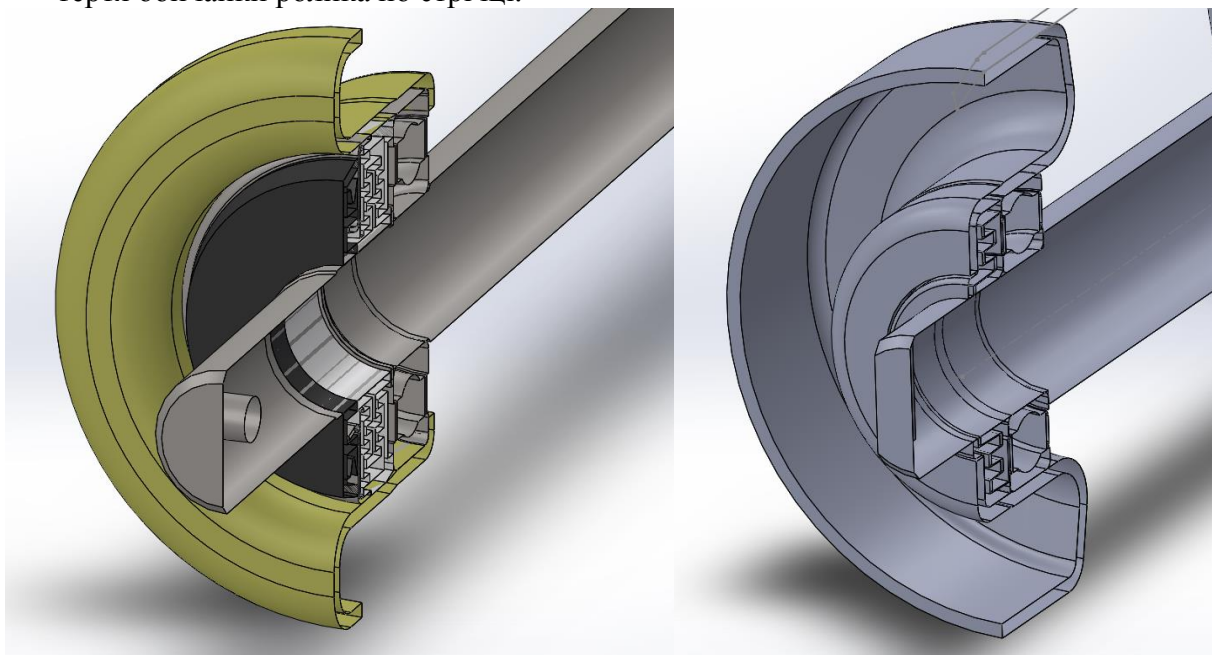


Рисунок 1 – Типові схеми конструкцій ущільнень підшипників конвеєрних роликів:
а) відкритий корпус; б) закритий корпус

Потужність теплового випромінювання підшипників для випадку радіального навантаження [10]:

$$Q_b = (T_0 + kF_r \frac{D_m}{D_w}) \omega \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

де T_0 - власний момент у ненавантаженому підшипнику; F - радіальне навантаження; D_m - діаметр кола, що проходить через центри тіл кочення; D_w - діаметр тіла кочення; k - коефіцієнт тертя кочення у підшипнику, який може бути прийнятий (0,003...0,007 мм); ω - швидкість обертання підшипника.

Власний момент T_0 , розраховують за формулою:

$$T_0 = 0,02 (D + d), \quad (2)$$

де D і d - зовнішній і внутрішній діаметр підшипника.

Потужність теплового випромінювання ущільнень залежить від площі контакту лабіринтів S і міцності на зсув змазки μ :

$$Q_s = S \mu r_0 \omega, \quad (3)$$

де r_0 - середній радіус площі контакту; k_1 - коефіцієнт заповнення змазкою ущільнень; μ - міцність змазки на зсув.

Потужність теплового випромінювання від тертя стрічки по обичайці ролика за умови рівного розподілу енергії між роликом і стрічкою:

$$Q_r = \frac{k_r F_r \omega}{2}, \quad (4)$$

де k_r - коефіцієнт кочення сталі по гумі(0,01-0,008); F_r - сила дії на ролик.

Енергія яка випромінюється корпусом оболонки ролика за умовою припущення рівномірного розігріву поверхні ролика:

$$Q = K(\pi D_r B + (\pi D_r^2) / 2)(t - t_0), \quad (5)$$

де K – коефіцієнт теплопередачі системи ролик-оточуюче середовище (5-20 $Вт / (м^2 \text{ } ^\circ\text{C})$);

D_r – діаметр ролика;

B – ширина ролика;

t – температура ролика;

t_0 – температура оточуючого середовища (20-40 $^\circ\text{C}$).

Використовуючи отримані залежності 1 і 5 можливо записати рівняння термодинамічної рівноваги елементів ролика, що поєднує основні процеси, що супроводжують експлуатаційний цикл:

$$Q_b + Q_r + Q_s = K(\pi D_r B + (\pi D_r^2) / 2)(t - t_0). \quad (6)$$

Рівняння термодинамічної рівноваги конвеєрного ролика дозволяє встановити температуру нагріву ролика:

$$\Delta T = t - t_0 = \frac{Q_b + Q_r + Q_s}{K(\pi D_r B + (\pi D_r^2) / 2)}. \quad (7)$$

На рис. 2 показано зміну температури нагрівання роликів за певних несприятливих умов для різних діаметрів роликів. Температура ролика з більшим діаметром менша з причин менших втрат на тертя кочення і більшої поверхні тепловіддачі. Підвищення температури призводить до цілого ряду негативних явищ, серед яких можливо відділити нагрів змазки з втратою реологічних властивостей, нагрів ущільнень з втратою герметичністю, нагрів підшипників до температур близьких до критичних(90 $^\circ\text{C}$).

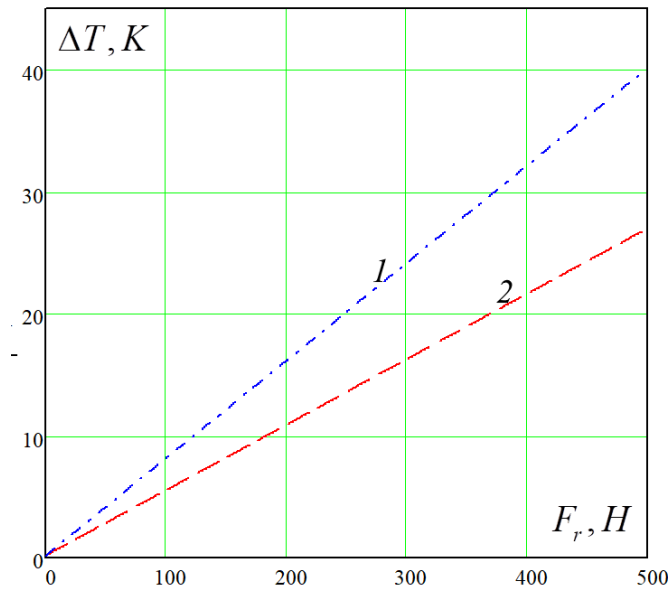


Рисунок 2 – Графік зміни середньої температури ролика для різних діаметрів роликів:

1) $D_r = 0,127 м$; 2))

Коефіцієнт збільшення тиску за умови ізохорного процесу:

$$k_p = \frac{T_0 + \Delta T}{T_0}. \quad (8)$$

За умов розрахунку для графіку зміни середньої температури ролика для різних діаметрів роликів(рис. 2) тиск повітря може зрости до $14600 Pa$ за умов повної герметичності. Даний знакозмінний перепад тиску не можуть витримати жодне з відомих ущільнень які застосовуються для конвеєрних роликів. Для лабіринтних ущільнень при нагріванні відбувається повне вирівнювання тиску до рівня атмосферного, що породжує ефект “дихання” ролика.

Коефіцієнт розширення повітря за умови ізобарного процесу:

$$k_v = \frac{T_0 + \Delta T}{T_0}, \quad (8)$$

Для ролика $D_r = 0,152 м$ дихання ролика при максимальному нагріві складає $0,003 м^3$. При умовах високої вологості гірничих підприємств (90%) кількість води, яка потрапляє у середину ролика складає $0,0006 кг$, що за рік експлуатації дорівнює $0,1 кг$. Цілком зрозуміло, що така кількість води шляхом електрохімічної корозії здатна повністю зруйнувати любую конструкцію конвеєрного ролика. Також ситуація ускладнена, тим що разом з вологою до корпусу потрапляють абразивні частки, які більшою частиною накопичуються у змазці підшипників.

Справедливо зазначити, що при дотриманні вимог експлуатації конвеєрного обладнання вказані високі значення шкідливих факторів будуть незначними. Саме виконання умов експлуатації призводить до протиріч у реальних термінах експлуатації роликів. Однак при умовах високої вологості, а іноді зрошення частин обладнання у пульпою вказані значення будуть значно більшими.

Єдиним виходом рішенням, що дозволить мінізувати процес “дихання” ролика є ізоляція простору ущільнень і підшипників від внутрішнього простору ролика. Для реалізації даного рішення необхідно до кожного підшипника додати додатковий ряд ущільнень з протилежної

сторони від зовнішньої. Також для зменшення ефекту “дихання” ролика через ущільнення доречно розгерметизувати простір ролика.

ВИСНОВКИ та практичне значення

Результати теоретичних досліджень фізико-механічних процесів, які супроводжують експлуатаційний цикл конвеєрних роликів, з встановленням основних факторів які впливають на ресурс дозволили визначити:

- закономірності основних процесів, що супроводжують експлуатаційний цикл конвеєрного ролика теплове розширення і охолодження простору ролика - “дихання”, нагрів ролика від атмосферного впливу, тертя ролика по конвеєрній стрічці і у підшипниках;

- модель термодинамічної рівноваги елементів ролика, що поєднує основні процеси, що супроводжують експлуатаційний цикл;

- єдині рекомендації, які дозволять забезпечити максимального строк експлуатації і витрат виробництва конвеєрних роликів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] А. В. Данілін, С. В. Зайченко, С. П. Шевчук, Н. І. Жукова, І. М. Пасічнюк, "Визначення впливу зміни проектного положення профілю стрічкового конвеєра на навантаження роликкоопор", *Геоінженерія : науково-технічний журнал*, вип. 3, с. 20–25, 2020.
<https://doi.org/10.20535/2707-2096.3.2020.219324>
- [2] С. П. Шевчук, С. В. Зайченко, В. В. Вапничная, "Обоснование массогабаритных параметров роликов ленточных конвейеров по критерию надежности", *Перспективы развития восточного Донбасса*, с. 221-228, 2016
- [3] Г. М. Волошин, "Обґрунтування параметрів конструкції елементів конвеєрних роликів за критерієм енергоефективності", *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*, № 88, с. 40-46, 2016.
- [4] С. В. Зайченко, О. О. Вовк, Н. А. Шевчук, "Обґрунтування параметрів конструкції елементів конвеєрних роликів за критеріями довговічності", *Вісник національного технічного університету України кийський політехнічний інститут. Серія: Гірництво*, №. 31, с. 65-73, 2016.
- [5] В. И. Галкин, "Определение надежности уплотнений подшипников конвейерных роликов", *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, №. 4, с. 220-223, 2021.
- [6] НПАОП 10.0-1.01-10 Правила безпеки у вугільних шахтах: затв. Наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду 22.03.2010 № 62. Київ: 2020, с. 2154 (Нормативний документ Мінвуглепрому України), 2020.
- [7] В. А. Малахов, "Анализ показателей эксплуатационных свойств пластичных смазок роликкоопор ленточных конвейеров горных предприятий", *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, №. S6., с. 78-90, 2014.
- [8] В. Б. Надобко, Ю. В. Приліпко, "Аналіз шляхів визначення впливу геометричних параметрів роликкоопор на характеристики їх підшипників", *Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка*, вип. 192, с. 74 – 82, 2018.
- [9] М. В. Лунегов, Е. Г. Кузин, "Возможности инфракрасной термографии при оценке технического состояния элементов ленточных конвейеров", *Сборник материалов IX Научно-практической конференции молодых ученых с международным участием*, с. 14006-14006, 2017.
- [10] Б. М. Уваров, В. А. Бойко, В. Б. Подаревский, Л. И. Власенко, *Детали и механизмы приборов*, Навчальний посібник. Київ: ВМУРОЛ „УКРАЇНА”, 2016.

S. Zaichenko*, Doct. Eng. Sc., Prof.

ORCID: 0000-0002-8446-5408

O. Seminskyi, Ph.D., Assoc.

ORCID: 0000-0002-5446-6987

N. Zhukova, Ph.D., Assoc.

ORCID: 0000-0002-4215-6981

D. Derevianko, Ph.D., Assoc.

ORCID: 0000-0002-4877-5601

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

V. Shalenko, Ph.D., Assoc.

ORCID: 0000-0002-6984-0302

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

**Corresponding author: zstefv@gmail.net*

Received 20.08.2022; Accepted 29.09.2022

SPECIFICS OF DIAGNOSTICS OF TECHNICAL CONDITION OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL SYSTEM “MINING GAS PIPELINE – MINE WORKING”

The purpose. Study of the physical and mechanical processes that accompany the operational cycle of conveyor rollers with the aim of establishing the main factors that affect the resource and justifying the design of the seal to ensure the maximum period of operation and production costs.

Methodology. To achieve the goal, the regularities of the main processes accompanying the operational cycle of the conveyor roller, thermal expansion and cooling of the roller space - "breathing", heating of the roller from atmospheric effects, friction of the roller on the conveyor belt and in the bearings, have been established; a model of thermodynamic equilibrium of roller elements was created, which combines the main processes accompanying the operational cycle; uniform recommendations have been created that will allow to ensure the maximum period of operation and production costs of conveyor rollers.

Findings. According to the results of analytical studies of the main processes accompanying the operational cycle of the conveyor roller, thermal expansion and cooling of the roller space, significant heating of the roller space to 40°C was established. The heating of the roller leads to a number of negative phenomena, among which it is possible to separate heating of the lubricant with loss of rheological properties, heating of seals with loss of tightness, heating of bearings to temperatures close to critical (90°C). A change in the average temperature of the roller can lead to a significant change in pressure (14600 Pa) under conditions of complete tightness. None of the known seals that are used for conveyor rollers can withstand this sign-changing pressure drop. For labyrinth seals, when heated, the pressure is completely equalized to the atmospheric level, which creates a "breathing" effect. In the process of "breathing" a certain amount of water condenses from moist air, which can completely destroy any structure of the conveyor roller through electrochemical corrosion. The impossibility of sealing the space of the conveyor roller with known structures of labyrinth seals has been proven, which requires the development of new technical solutions for modernization.

Originality. A model of the thermodynamic equilibrium of roller elements has been created, which will combine the main processes accompanying the operational cycle. Which shows the linear dependence of the heating temperature change on the load, the rolling resistance of the bearing and the roller bearing.

Practical implications. The solution that will minimize the process of "breathing" of the roller is to isolate the space of seals and bearings from the inner space of the roller. To implement this solution, it is necessary to add an additional row of seals to each bearing on the opposite side from the outer one. Also, to reduce the effect of "breathing" of the roller due to sealing, it is appropriate to depressurize the space of the roller.

Keywords: conveyor, labyrinth seals, heating, rolling resistance, temperature.

REFERENCES

- [1] A. V. Danilin, S. V. Zaichenko, S. P. Shevchuk, N. I. Zhukova, I. M. Pasichniuk, "Determination of the change of the design position of the profile of the belt conveyor on the load of the roller bearings", *Geoengineering*, №. 3, pp. 20–25, 2020.
<https://doi.org/10.20535/2707-2096.3.2020.219324>
- [2] S. P. Shevchuk, S. V. Zaichenko, V. V. Vapnychnaia, "Substantiation of weight and size parameters of belt conveyor rollers according to reliability criterion", *Prospects for the development of a similar Donbas*, pp. 221-228, 2016
- [3] H. M. Voloshyn, "Study design parameter elements of conveyor rollers for energy efficiency criteria" , *Girnichy, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini*, №. 88, pp. 40-46, 2016.
- [4] S. V. Zaichenko, O. O. Vovk, N. A. Shevchuk, "Backgrounding of parameters of conveyor rollers design elements by durability criteria", *Bulletin of the National Technical University of Ukraine Kiev Polytechnic Institute. Series: Girnitsvo.*, №. 31, pp. 65-73, 2016.
- [5] V. I. Galkin, "Determining the reliability of conveyor roller bearing seals", *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, no. 4, pp. 220-223, 2021.
- [6] NPAOP 10.0-1.01-10 Safety rules for coal mines: zatv. By order of the Sovereign Committee of Ukraine on industrial security, protect the work of the garnish at a glance 03/22/2010, no. 62. Kiev: 2020, pp. 2154 (Regulatory document to the Minvugleprom of Ukraine), 2020.
- [7] V. A. Malakhov, "Analysis of performance properties of greases for roller bearings of belt conveyors of mining enterprises", *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, no. S6., pp. 78-90, 2014.
- [8] V.B. Nadobko, Yu.V. Prylipko, "Analysis of ways of determining the effect of geometric parameters of the rollers on the characteristics of their bearings", *Herald of KhNTUSG named after Peter Vasylenko*, vol. 192, pp. 74 – 82, 2018.
- [9] M. V. Lunegov, E. G. Kuzin, "Possibilities of infrared thermography in assessing the technical condition of belt conveyor elements", *Proceedings of the IX Scientific and Practical Conference of Young Scientists with International Participation*, pp. 14006-14006, 2017.
- [10] B. M. Uvarov, V. A. Boyko, V. B. Podarevsky, L. I. Vlasenko, *Detali i mehanizmyi priborov*, Manual. Kiev: VMUROL "UKRAINE", 2016.