

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИК РОЛИКОВОГО ЗУПИННИКА ПРИ ГАЛЬМУВАННІ ТА РОЗГАЛЬМУВАННІ УКЛОННОГО СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

О. Bobryshov¹, <https://orcid.org/0000-0002-3712-7676>

L. Shyrin¹ <https://orcid.org/0000-0002-1778-904X>

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

FORMALIZATION OF ROLLER STOPPER CHARACTERISTICS DURING BRAKING AND UNBRAKING OF THE SLOPE BELT CONVEYOR

Мета. Формалізація характеристик енергозберігаючого засобу гальмування відкритого типу, що діє замість колодкових гальм, при гальмуванні та розгальмуванні уклонного стрічкового конвеєра.

Методика. Використовується методи теоретичної механіки для розробки математичного моделювання періодів заклинювання (без проковзування та з ковзанням ролика), заклиненого стану та розклинювання зупинника; аналізу та формалізації отриманих залежностей між геометричними параметрами зупинника; аналізу, синтезу, узагальнення, аргументації для формулювання висновків і рекомендацій при обґрунтуванні раціональних параметрів роликового зупинника відкритого типу.

Результати. Створені математичні моделі періодів заклинювання (без проковзування та з ковзанням ролика), заклиненого стану та розклинювання роликового зупинника відкритого типу, які дозволяють представити процес гальмування уклонного стрічкового конвеєра зупинником, як систему, що змінюється у просторі і часі. Обґрунтовано умови роботи та раціональні геометричні параметри роликового зупинника під час гальмування та розгальмування уклонного конвеєра.

Наукова новизна. Встановлено аналітичні залежності, що визначають умови заклинювання з ковзанням ролика, заклиненого стану та розклинювання зупинника, які забезпечують сталу роботу роликового зупинника відкритого типу при гальмуванні та розгальмуванні уклонного стрічкового конвеєра. Встановлено аналітичні залежності, що визначають кут заклинювання з проковзуванням ролика та кут заклиненого стану ролика у зупиннику при гальмуванні конвеєра, а також кут розклинювання ролика у зупиннику при розгальмуванні конвеєра.

Практична значимість. Формалізація характеристик роликового зупинника відкритого типу при гальмуванні та розгальмуванні уклонного стрічкового конвеєра дозволить розробити рекомендації для забезпечення сталого і ефективного застосування цього енергозберігаючого засобу гальмування для забезпечення підвищення безпеки, надійності, терміну служби і зменшення капітальних, експлуатаційних витрат конвеєрного транспорту.

Ключові слова: уклонний стрічковий конвеєр, гальмівний пристрій, роликовий зупинник, кут розклинювання, кут заклинювання, заклинення з проковзуванням, заклинений стан, кут тертя, гумова футеровка, зворотний хід.

Вступ. На шахтах, рудниках, кар'єрах, збагачувальних фабриках, теплових електростанціях, металургійних та хімічних підприємствах для доставки, як корисних копалин так і різних матеріалів широко використовуються стрічкові конвеєри [1]. На різних виробництвах великий відсоток конвеєрів встановлено з кутами нахилів від 7° до 16° . Для запобігання зворотному ходу уклонних стрічкових конвеєрів широко застосовуються колодкові гальма [2–4], та іноді зупинники різних конструкцій [5–7].

Перспективним енергозберігаючим гальмівним пристроєм для уклонних стрічкових конвеєрів є зупинник відкритого типу з роликом, оснащеним набірним гумовим футеруванням, який застосовуються замість колодкових гальм, для запобігання зворотному ходу стрічки з вантажем під час гальмування. Зазначений зупинник відкритого типу працює у раціональній області гальмування уклонних стрічкових конвеєрів, яка знаходиться наприкінці часу вільного вибігу конвеєра. Саме в той час зменшується кінетична енергія навантаженої гілки конвеєра, приводного барабана і обертових елементів приводу. Великими перевагами цього моменту є те, що будуть відсутні екстремальні навантаження в елементах приводу, пробуксування стрічки щодо барабана та ковзання матеріалу по стрічці конвеєра. До того ж зупинник відкритого типу з роликом, оснащеним набірним гумовим футеруванням не потребує постійних витрат електричної енергії, як колодкові гальма. Роликовий зупинник відкритого типу має просту конструкцію з невеликою точністю виготовлення, порівняно, як з колодковим гальмами, так і з роликовими зупинниками закритої конструкції, які конструктивно більш складні, та потребують високу точність виготовлення [8] (1-й або 2-й клас точності).

Дослідження особливостей роботи зупинника відкритого типу з роликом, оснащеним набірним гумовим футеруванням у складі уклонного стрічкового конвеєра під час його основних етапів використання є важливим науковим завданням. В попередній роботі [1], серед іншого, була вперше побудована математична модель, що описує процес заклинювання роликового зупинника відкритого типу під час гальмування уклонного конвеєра та для сталого запобігання зворотному ходу [9] конвеєрної стрічки з вантажем. Але для розуміння цілісного діапазону застосування пристрою треба дослідити роботу зупинника відкритого типу і в інших робочих режимах на різних етапах [10–12] використання стрічкового конвеєра.

Аналіз стану питання та постановка задачі дослідження. Для роликового зупинника відкритого типу з роликом, оснащеним набірною гумовою футеровкою були визначені характерні періоди (режими) його роботи, такі як: період вільного ходу, процеси заклинювання (без проковзування та з проковзуванням ролика), період заклиненого стану та період розклинювання, які відповідають етапам гальмування та розгальмування і переходу до сталої роботи уклонного стрічкового конвеєра.

Формалізація характеристик роликового зупинника відкритого типу, що діє замість колодкових гальм, при гальмуванні та розгальмуванні та в процесі переходу до основної роботи уклонного стрічкового конвеєра, що буде сприяти забезпеченню підвищення безпеки, надійності, терміну служби і зменшенню капі-

тальних та експлуатаційних витрат конвеєрного транспорту – є **актуальною науково-технічною задачею**.

Основна частина. Аналіз наукових джерел [4–8] показав, що визначення умов заклинювання та розклинювання роликів механізмів виконано для різних конструктивних схем із використанням металевих роликів. Враховуючи вузький діапазон кутів заклинювання для таких механізмів ($6\text{--}9^\circ$), автори рекомендують застосовувати ролики з високою твердістю і великою жорсткістю елементів, що сполучаються (зірочки, обойми).

В силу відмінностей у розрахункових схемах та прийнятих положеннях, що використовуються авторами, отримано різні аналітичні вирази, що визначають умови розклинювання та заклинювання. Отже, для роликів зупинника відкритого типу умови заклинювання, розклинювання та заклинення стану потребують дослідження.

Для удосконалення гальмівної системи уклонного стрічкового конвеєра було розроблено компактний енергозберігаючий гальмівний пристрій – роликівий зупинник відкритого типу. Застосування в цьому зупиннику ролика, оснащеним набірною гумовою футеровкою дозволило збільшити в кілька разів кут заклинювання та знизити контактні навантаження. Роликівий зупинник встановлюється біля муфти швидкохідного валу редуктора привода стрічкового конвеєра [1, 9].

В основу конструкції роликівийого зупинника відкритого типу було покладено ідею комплексного використання фрикційних властивостей ролика з набірною гумовою футеровкою для забезпечення підвищення гальмівної ефективності компактного енергозберігаючого гальмівного пристрою шляхом використання ефекту сухого тертя при взаємодії гумометалевого ролика (базового елемента гальмівного пристрою) з муфтою (гальмівним шківом) швидкохідного валу редуктора привода під час гальмування уклонного стрічкового конвеєра.

В процесі досліджень роботи роликівийого зупинника відкритого типу з роликівом, оснащеним набірною гумовою футеровкою були визначені характерні періоди (режими) його роботи. Ці періоди роботи зупинника відповідають етапам гальмування та розгальмування і переходу до сталої роботи уклонного стрічкового конвеєра [11–13].

Так процес заклинювання роликівийого зупинника відкритого типу відповідає етапу гальмування конвеєра [12–14] і відбувається у раціональній області гальмування уклонних стрічкових конвеєрів, яка знаходиться наприкінці часу вільного вибігу конвеєра [12, 15]. Процес заклинювання зупинника відкритого типу без проковзування ролика на етапі гальмування конвеєра докладно досліджувався у попередній роботі [1]. Процес заклинювання зупинника відкритого типу з проковзуванням ролика відбувається на етапі гальмування конвеєра наприкінці часу вільного вибігу стрічки. Період заклиненого стану роликівийого зупинника відкритого типу відповідає етапу сталої гальмування стрічкового конвеєра, коли система знаходиться в стані рівноваги та спокою. Період розклинювання роликівийого зупинника відкритого типу відповідає етапу розгальмування системи і переходу до сталої роботи уклонного стрічкового конвеєра. Період вільного ходу в роли-

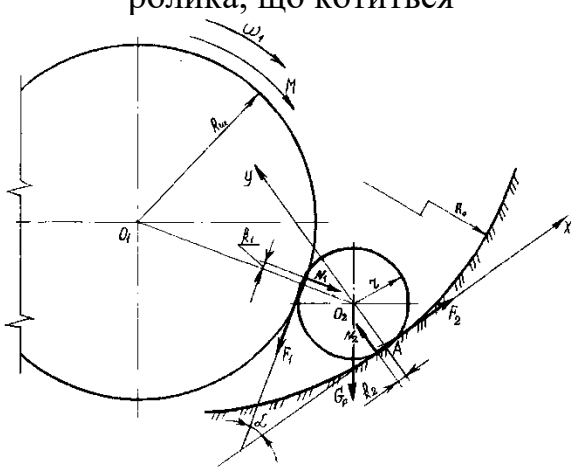
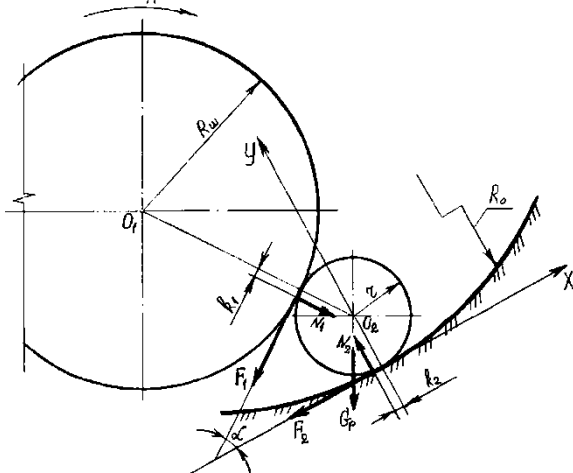
ковому зупиннику відкритого типу є найтривалішим, оскільки він відповідає робочому режиму роботи [16–18] уклонного стрічкового конвеєра.

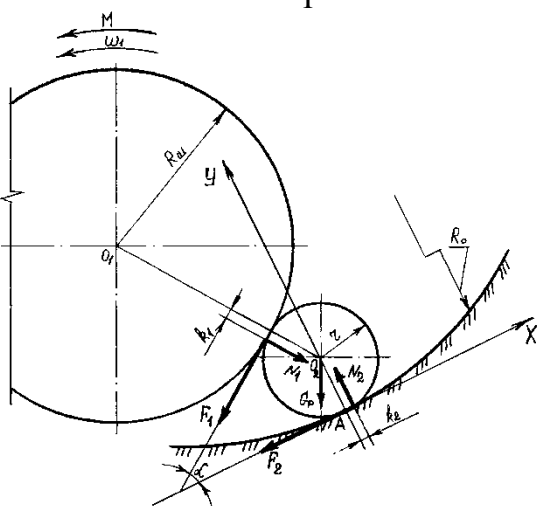
З метою оцінки теоретично та експериментально визначених режимів роботи роликового зупинника та формального представлення процесів їх утворення і протікання використано метод формалізації [19], який дозволяє за допомогою математичного описання періодів заклинювання (без проковзування та з ковзанням), заклиненого стану та розклинювання представити процес гальмування як систему, що змінюється у просторі і часі.

Розрахункові схеми роликового зупинника відкритого типу у різних режимах роботи уклонного стрічкового конвеєра та відповідні аналітичні залежності, що визначають умови роботи зупинника в ці періоди у формалізованому виді представлені в табл.1.

Таблиця 1

Формалізація характеристик роликового зупинника відкритого типу при гальмуванні та розгальмуванні (пуску) уклонного стрічкового конвеєра

| Режими роботи та розрахункові схеми | Аналітичні рівняння та умови роботи |
|--|---|
| <p>Період заклинювання з проковзуванням ролика, що котиться</p>  | $\sum X = F_2 - F_1 \cos \alpha + N_1 \sin \alpha = 0 \quad (a)$ $\sum Y = N_2 - N_1 \cos \alpha - F_1 \sin \alpha = 0 \quad (б)$ $\sum M_{(A)} = N_2 k_2 - 2r F_1 \cos \alpha + 2r N_1 \sin \alpha = 0 \quad (B)$ $N_2 = \frac{2r F_1 \cos \alpha - 2r N_1 \sin \alpha}{k_2}$ $\alpha = \rho - K$ <p>аналітична залежність, що визначає умову заклинювання ролика, коли ролик котиться з проковзуванням під час гальмування уклонного стрічкового конвеєра</p> |
| <p>Зупинник в заклиненому стані</p>  | $\sum X = -F_2 - F_1 \cos \alpha + N_1 \sin \alpha = 0 \quad (Г)$ $\sum Y = N_2 - N_1 \cos \alpha - F_1 \sin \alpha = 0 \quad (Д)$ $N_2 = N_1 \cos \alpha + F_1 \sin \alpha$ $\alpha \leq 2\rho$ <p>аналітична залежність, що визначає умову заклиненого стану ролика у зупиннику для сталого запобігання зворотному ходу конвеєрної стрічки з вантажем</p> |

| | |
|--|--|
| <p>Період розклинювання під час розгальмування та пуску уклонного конвеєра</p>  | $\sum X = -F_1 \cos \alpha + N_1 \sin \alpha - F_2 = 0 \quad (e)$ $\sum Y = N_2 - N_1 \cos \alpha - F_1 \sin \alpha = 0 \quad (ж)$ $\sum M_{(A)} = -N_2 k_2 + 2r N_1 \sin \alpha - 2r F_1 \cos \alpha = 0 \quad (з)$ $N_2 = \frac{2r N_1 \sin \alpha - 2r F_1 \cos \alpha}{k_2}$ $\alpha = \rho + K$ <p>аналітична залежність, що визначає умову розклинювання ролика під час розгальмування та пуску уклонного конвеєра</p> |
| <p>Позначення:</p> <p>M – момент на гальмівному шківі; ω_1 – кутова швидкість гальмівного шківі; $R_{ш}$ – радіус гальмівного шківі; R_0 – радіус робочою поверхнею зупинника; G_p – вага ролика; N_1 та N_2 – нормальні зусилля, що діють на ролик відповідно з боку гальмівного шківі та робочої поверхні зупинника; F_1 та F_2 – сили тертя, відповідно між гальмівним шківом та роликом і між робочою поверхнею зупинника та роликом; k_1 та k_2 – відповідно коефіцієнт тертя кочення на поверхні ролика та гальмівного шківі і на поверхні ролика та робочої поверхні зупинника; α – кут заклинювання; r – радіус ролика</p> | |

Вищезазначені режими, процеси та періоди роботи роликового зупинника відкритого типу більш детально будуть розглянуті нижче. Розглянемо процес заклинювання ролика в зупиннику, **коли ролик котиться з проковзуванням**. При відключенні приводу конвеєра, ролик під дією власної ваги переміщується у вузьку частину клиноподібного зазору. При цьому відбувається його заклинювання між муфтою та криволінійною робочою поверхнею корпусу, що перешкоджає зворотному ходу уклонного стрічкового конвеєра.

Заочування ролика (у вузьку частину клинового зазору між гальмовим шківом і корпусом зупинника) без пробуксовки здійснюється за рахунок достатніх фрикційних зусиль між шківом, роликом і корпусом при визначеному значенні кута заклинювання.

При недостатніх фрикційних зусиллях і малому значенні кута заклинювання ролик проковзуватиме щодо поверхні гальмівного шківі і зупинника, і заклинювання не відбудеться.

У такий момент часу при проковзуванні ролика в зонах контакту з гальмівним шківом та робочою поверхнею зупинника, ролик під дією пружних сил деформації гумового футерування змінює напрямок моменту обертання.

Розглянемо рівновагу ролика в даний період часу, нехтуючи його вагою (рис. 1).

$$\sum X = F_2 - F_1 \cos \alpha + N_1 \sin \alpha = 0 \quad (1)$$

$$\sum Y = N_2 - N_1 \cos \alpha - F_1 \sin \alpha = 0 \quad (2)$$

$$\sum M_{(A)} = N_2 k_2 - 2rF_1 \cos \alpha + 2rN_1 \sin \alpha = 0, \quad (3)$$

де α – кут заклинювання; k_2 – коефіцієнт тертя кочення на поверхні ролика та робочої поверхні зупинника; r – радіус ролика.

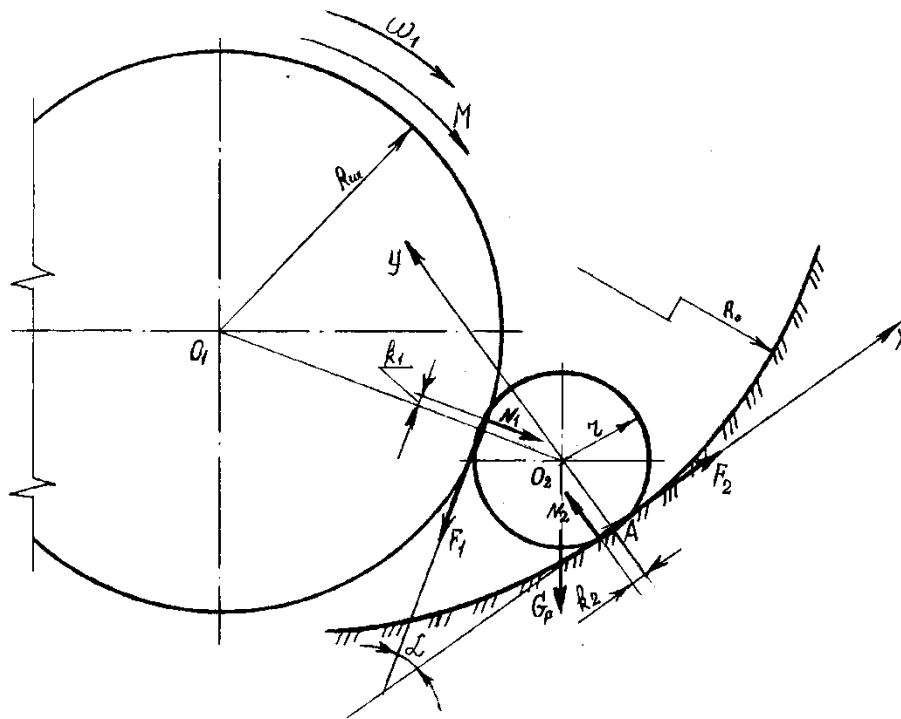


Рис. 1. Розрахункова схема зупинника в період заклинювання, коли ролик котиться з проковзуванням (миттєвий центр швидкості у т. A)

Визначаємо умову заклинювання ролика з ковзанням. Для чого із рівняння (3) знаходимо N_2 :

$$N_2 = \frac{2rF_1 \cos \alpha - 2rN_1 \sin \alpha}{k_2},$$

отриманий вираз підставляємо в рівняння (2):

$$\frac{2rF_1 \cos \alpha - 2rN_1 \sin \alpha}{k_2} - N_1 \cos \alpha - F_1 \sin \alpha = 0.$$

Перетворимо отримане рівняння щодо F_1 , підставляючи значення $F_1 = N_1 f_1$, знайдемо f_1 (питомий коефіцієнт тертя ковзання на поверхні ролика та гальмівного шківа) та спростуємо отриманий вираз, в результаті чого отримаємо

$$f_1 = \frac{\operatorname{tg} \alpha + \frac{k_2}{2r}}{1 - \frac{k_2}{2r} \operatorname{tg} \alpha}.$$

Перетворимо відносно $\operatorname{tg} \alpha$, прийнявши $f_1 = \operatorname{tg} \rho_1$, а $\frac{k_2}{2r} = \operatorname{tg} K_2$ отримаємо:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \rho_1 - \operatorname{tg} K_2}{1 + \operatorname{tg} \rho_1 \operatorname{tg} K_2},$$

в результаті наступних перетворень рівняння отримаємо:

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} (\rho_1 - K_2);$$

спостивши, отримаємо умови **заклинювання ролика з проковзуванням**

$$\alpha = \rho_1 - K_2, \quad (4)$$

де $\rho_1 = \operatorname{arctg} f_1$ – наведений кут тертя ковзання в зоні контакту «ролик - гальмівний шків», який залежить від фрикційних властивостей гумового покриття;

$K_2 = \operatorname{arctg} \frac{k_2}{2r}$ – кут тертя кочення, в зоні контакту «ролик - робоча поверхня зупинника», який залежить від розмірів ролика, фізико-механічних характеристик гумового покриття, твердості та жорсткості елементів, що сполучаються.

Отриманий вираз (4) визначає **умову заклинювання ролика при коченні з проковзуванням**, важливу тим, що цього режиму варто запобігти.

Розглянемо умови роботи роликового зупинника в момент часу, коли система "гальмівний шків - ролик" прийшла в рівновагу і ролик перебуває в **заклиненому стані**. У цей період відсутня сила тертя кочення і ролик утримується у клиноподібному зазорі між гальмівним шківом і криволінійною робочою поверхнею зупинника силами тертя ковзання F_1 та F_2 спрямованими у протилежний бік можливого переміщення ролика (рис. 2).

Складемо рівняння рівноваги ролика у цей період (рис. 3):

$$\sum X = -F_2 - F_1 \cos \alpha + N_1 \sin \alpha = 0 \quad (5)$$

$$\sum Y = N_2 - N_1 \cos \alpha - F_1 \sin \alpha = 0 \quad (6)$$

З рівняння (5) знаходимо N_2 :

$$N_2 = N_1 \cos \alpha + F_1 \sin \alpha.$$

Підставляючи отриманий вираз у рівняння (6) перший член рівняння якого $F_2 = N_2 f_2$, отримаємо:

$$-N_1 f_2 \cos \alpha + F_1 f_2 \sin \alpha - F_1 \cos \alpha + N_1 \sin \alpha = 0$$

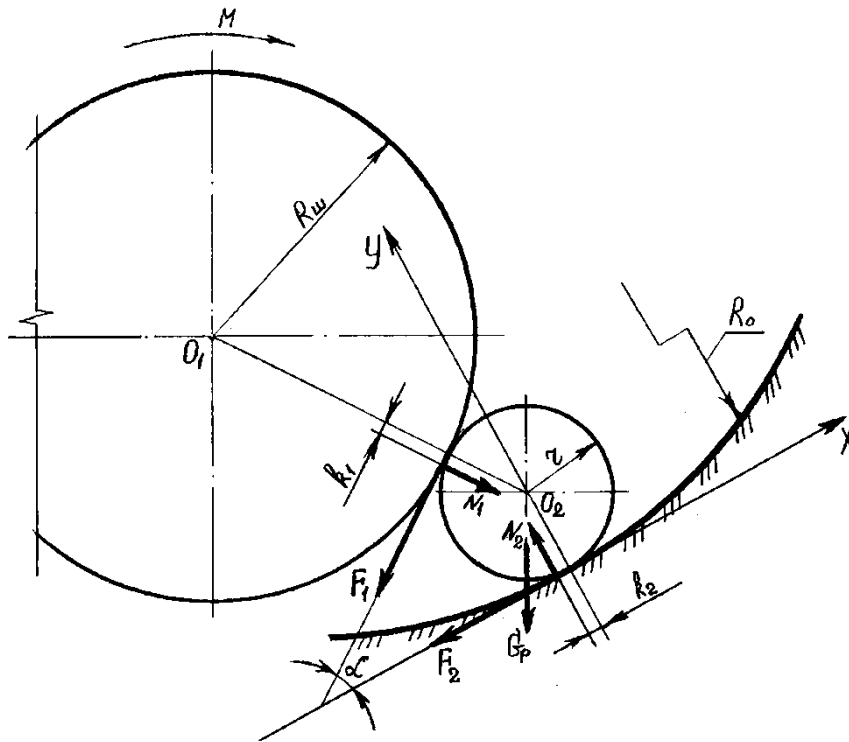


Рис. 2. Розрахункова схема зупинника в заклиненому стані

Перетворимо відносно F_1 та знаходимо f_1 :

$$f_1 = \frac{\operatorname{tg} \alpha - f_2}{1 + f_2 \operatorname{tg} \alpha}.$$

Використовуючи вираз $f_1 = \rho_1$ та скоротивши його, отримаємо:

$$\rho_1 \geq \alpha - \rho_2,$$

де ρ_1 та ρ_2 – наведені кути тертя ковзання в зоні контакту «ролик - гальмівний шків» та в зоні контакту «ролик – робоча поверхня роликів відкритого типу», які залежить від фрикційних властивостей гумового покриття.

Приймаючи $\rho_1 = \rho_2$ отримуємо відомий вираз, що відповідає заклиненому стану ролика у зупиннику:

$$\alpha \leq 2\rho. \quad (7)$$

Розглянемо умови роботи роликів відкритого типу у **період розклинювання** під час розгальмування та пуску уклонного стрічкового конвеєра. При пуску конвеєра гальмівний шків (швидкохідна муфта) обертається у робочому напрямку, у бік, протилежний напрямку сили тяжіння ролика, оснащеного набірною гумовою футеровкою, який виштовхується силами тертя в найбільш широкій частині клинового зазору між гальмівним шківом і робочою поверхнею корпусу зупинника [1]. Процес розклинювання роликів супроводжується падінням навантаження до нуля. При цьому звільняється частина потенційної енергії деформації футерування ролика, зменшуються сили нормального тиску та сили тертя зчеплення на контактних поверхнях. Під дією

сил пружності, ролик прагне переміститися в ширшу частину клинового зазору, між робочою поверхнею зупинника та гальмівним шківом. Розрахункова схема наведена на рис. 3.

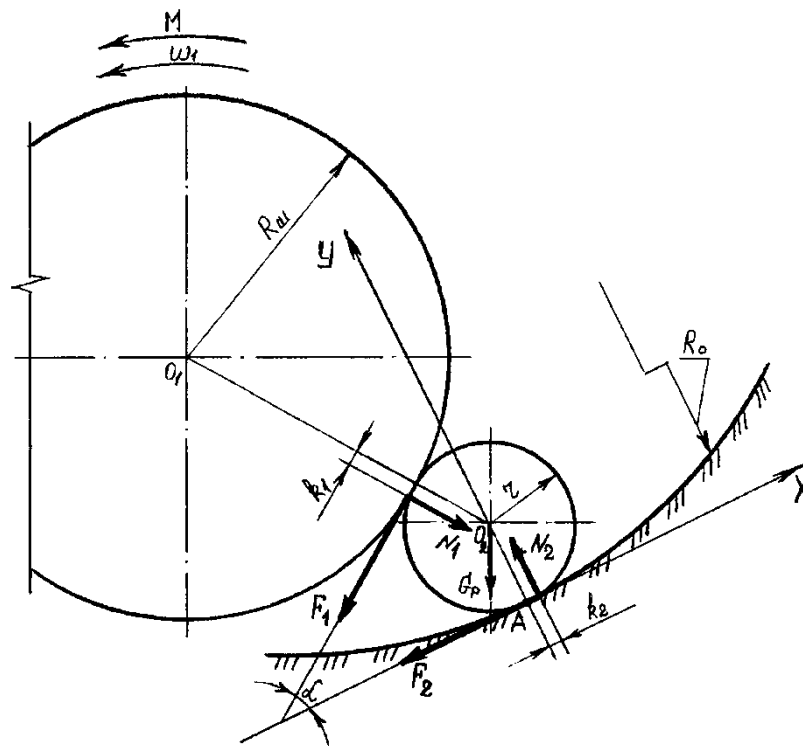


Рис. 3. Розрахункова схема роликового зупинника у період розклинювання (миттєвий центр швидкості у т. *A*)

Вважаємо, що енергія деформації гумового покриття витрачається на подолання тертя кочення при розклинюванні, а ролик перебуває у заклиненому стані.

Визначення умов розклинювання ролика, оснащеного набірним гумовим футеруванням є одним із завдань, що забезпечують функціональність зупинника відкритого типу та сталу роботу уклонного стрічкового конвеєра. Проведемо систему прямокутних координат із початком у т. *A* (миттєвий центр швидкості), вісь абсцис направлена по дотичній до т. *A* (рис. 3).

У період розклинювання на ролик впливатимуть такі сили: N_1 та N_2 – нормальні складові, що діють з боку шківа та робочої поверхні зупинника; F_1 та F_2 – сили тертя на поверхнях зіткнення ролика; G – вага ролика.

Запишемо рівняння рівноваги ролика при розклинюванні, нехтуючи його вагою:

$$\sum X = -F_1 \cos \alpha + N_1 \sin \alpha - F_2 = 0 \quad (8)$$

$$\sum Y = N_2 - N_1 \cos \alpha - F_1 \sin \alpha = 0 \quad (9)$$

$$\sum M_{(A)} = -N_2 k_2 + 2r N_1 \sin \alpha - 2r F_1 \cos \alpha = 0, \quad (10)$$

де α – кут заклинювання; k_2 – коефіцієнт тертя кочення на поверхні ролика та робочої поверхні зупинника; r – радіус ролика.

Визначаємо умову розклинювання ролика, оснащеного набірним гумовим футеруванням у зупиннику відкритого типу для уклонних стрічкових конвеєрів. З рівняння (10) знаходимо N_2 :

$$N_2 = \frac{2rN_1 \sin\alpha - 2rF_1 \cos\alpha}{k_2},$$

підставляючи отриманий вираз у рівняння (9):

$$2rN_1 \sin\alpha - 2rF_1 \cos\alpha - N_1 k_2 \cos\alpha - F_1 k_2 \sin\alpha = 0.$$

Змінимо рівняння щодо F_1 та підставляючи в рівняння $F_1 = N_1 f_1$, знайдемо f_1 (питомий коефіцієнт тертя ковзання на поверхні ролика та гальмівного шківів):

$$f_1 = \frac{\operatorname{tg}\alpha - \frac{k_2}{2r}}{1 + \frac{k_2}{2r} \operatorname{tg}\alpha}.$$

Перетворимо відносно $\operatorname{tg}\alpha$, прийнявши $f_1 = \operatorname{tg}\rho_1$, а $\frac{k_2}{2r} = \operatorname{tg}K_2$ отримаємо:

$$\operatorname{tg}\alpha = \operatorname{tg}(\rho_1 + K_2);$$

перетворюючи, отримуємо вираз, що визначає умову розклинювання ролика:

$$\alpha \leq \rho_1 + K_2 \quad (11)$$

де $\rho_1 = \operatorname{arctg} f_1$ – наведений кут тертя ковзання в зоні контакту «ролик - гальмівний шків», який залежить від фрикційних властивостей гумового покриття;

$K_2 = \operatorname{arctg} \frac{k_2}{2r}$ – кут тертя кочення, в зоні контакту «ролик - робоча поверхня зупинника», який залежить від розмірів ролика, фізико-механічних характеристик гумового покриття, твердості та жорсткості елементів, що сполучаються.

Таким чином, кут розклинювання знаходиться в прямій залежності від наведеного кута тертя ковзання та кута тертя кочення.

Отже умову розклинювання ролика в зупиннику можна записати як

$$\alpha = \rho + K \quad (12)$$

Вираз (12) дозволяє визначити кут розклинювання в зупиннику при розгальмування та пуску уклонного конвеєра.

Як видно з [1, ф-ла 30] та (12) кут розклинювання у зупиннику дорівнює куту заклинювання.

Отримані вирази (12), [1, ф-ла 30], (4) та (7) визначають умови роботи роликів зупинника, як при розклинюванні, під час розгальмування та пуску уклонного стрічкового конвеєра, так і при заклинюванні, під час гальмування конвеєра, а також в заклиненому стані, для сталого запобігання зворотному ходу конвеєрної стрічки з вантажем.

Висновки. Вперше побудовані математичні моделі, що описують: 1) процес розклинювання енергозберігаючого роликів зупинника відкритого типу з роликом, оснащеним набірним гумовим футеруванням під час розгальмування та пуску уклонного стрічкового конвеєра; 2) процес заклинювання з проковзуванням зупинника відкритого типу під час гальмування уклонного конвеєра; 3) заклинений стан зупинника відкритого типу для сталого запобігання зворотному ходу конвеєрної стрічки з вантажем. Дістали подальшого розвитку методи розрахунку роликів зупинників для уклонних стрічкових конвеєрів.

Теоретично обґрунтовано вплив: 1) кута розклинювання, наведеного кута тертя ковзання та кута тертя кочення на умову розклинювання ролика з гумовим футеруванням в зупиннику відкритого типу; 2) кута заклинювання, наведеного кута тертя ковзання та кута тертя кочення на умову заклинювання ролика з гумовим футеруванням з проковзуванням в зупиннику відкритого типу; 3) кута заклинювання, подвійного наведеного кута тертя ковзання на умову стабільного заклиненого стану роликів зупинника відкритого типу.

Умова розклинювання ролика в зоні контакту ролика з гальмівним шківом і корпусом зупинника визначається кутом розклинювання. Кут розклинювання ролика ($15^\circ \dots 60^\circ$) з гумовим футеруванням у зупиннику відкритого типу при розгальмуванні та пуску уклонного стрічкового конвеєра знаходиться в прямій залежності від суми наведеного кута тертя ковзання і кута тертя кочення.

Умова заклинювання ролика з проковзуванням в зоні контакту ролика з гальмівним шківом і корпусом зупинника визначається кутом заклинювання. Кут заклинювання ролика з гумовим футеруванням з проковзуванням у зупиннику відкритого типу при гальмуванні уклонного конвеєра знаходиться в прямій залежності від різниці наведеного кута тертя ковзання і кута тертя кочення.

Умова стабільного заклиненого стану ролика в зоні контакту ролика з гальмівним шківом і корпусом зупинника визначається кутом заклинювання. Кут заклинювання обгумованого ролика, забезпечуючий стабільний заклинений стан у зупиннику відкритого типу при гальмуванні уклонного конвеєра, знаходиться в прямій залежності від подвійного наведеного кута тертя ковзання.

Вперше здійснена формалізація характеристик енергозберігаючого роликів зупинника відкритого типу, що діє замість колодкових гальм, при гальмуванні та розгальмуванні уклонного стрічкового конвеєра, що обґрунтовує частину раціональних параметрів зупинника, сприяє розробленню методики розрахунків та рекомендаціям до сталого і ефективного застосування цього способу гальмування, за для підвищення безпеки, надійності, терміну служби і зменшення капітальних, експлуатаційних витрат конвеєрного транспорту.

Перелік посилань

1. Бобришов, О.О., & Ширін, Л.Н. (2024). Дослідження процесу заклинювання роликів зупинника уклонного стрічкового конвеєра. *Збірник наукових праць НГУ*, 79, 187–199. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/79.187>
2. Ловейкін, В.С., Ромасевич, Ю.О., Човнюк, Ю.В., & Кадикало, І.О. (2019). *Динаміка й оптимізація підйомно-транспортних машин: монографія*. Київ: ЦП КОМПРІНТ.
3. Hilberink, A. (2005). *Generating knowledge with a software model: A knowledge-based expert system for condition monitoring of a hydraulic brake system*. (M.Sc. Thesis, Report no. 2005.TT.6959). Department of Transport Engineering and Logistics, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
4. Ловейкін, В.С., & Коробко, М.М. (2017). *Проектування та розрахунок механізмів підйомно-транспортних машин: монографія*. Київ: ЦП КОМПРІНТ.
5. Малащенко, В.О., Гащук, П.М., Сороківський, О.І., & Малащенко, В.В. (2012). *Кулькові механізми вільного ходу: монографія*. Львів: Новий Світ.
6. Малащенко, В.В. (2009). *Підвищення ефективності роботи механізмів вільного ходу застосуванням кулькових муфт*. (Дис. канд. наук). Львів.
7. Protsenko, V., Malashchenko, V., Kłysz, S., Nastasenko, V., Babiy, M., & Avramenko, O. (2022). Load capacity and design parameters of ball-type safety-overrunning clutch with inclined grooves sides. *Diagnostyka*, 23(4), 1–8. <https://doi.org/10.29354/diag/155837>
8. Кириченко, І.Г., Малащенко, В.О., Проценко, В.О., & Сологуб, Б.В. (2025). Покращення роботи приводів із кульковими обгінними муфтами. *Вісник ХНАДУ*, 109, 29–33. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2025.109.0.29>
9. EN 620:2021 Continuous handling equipment and systems - Safety requirements for fixed belt conveyors for bulk materials.
10. Ловейкін, В., Ромасевич, Ю., Шалатовська, К., & Науменко, П. (2017). Оптиміальне керування рухом стрічкового конвеєра у перехідних режимах. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*, (89), 16–23. <https://gbdmm.knuba.edu.ua/article/view/112140>
11. Ромасевич, Ю.О. (2018) Аналіз перехідних режимів руху стрічкових конвеєрів. *Підйомно-транспортна техніка*, 1 (57), 66–75. www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&image_file_name=PDF/Pidtt_2018_1_10.pdf
12. Біліченко, М.Я., & Денищенко, О.В. (2010). *Зниження енергоспоживання на шахтному транспорті: монографія*. Дніпро: Національний гірничий університет.
13. Разумний, Ю.Т., & Прокуда, В.М. (2018). *Енергоефективність магістрального конвеєрного транспорту вугільних шахт: монографія*. Дніпро: НГУ.
14. Li, G., Li, D., & Li, R. (2010). Simulation and Analysis during Conveyor Stop Process Based on AMESim. *Advanced Materials Research*, 97, 570–573. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.97-101.570>
15. Ziegler, M. (2019). Digital twin based method to monitor and optimize belt conveyor maintenance and operation. *Proceedings of the 2019 Coal Operators Conference*, 125–132. <https://hdl.handle.net/10779/uow.27685032>
16. Suchorab, N. (2019). Specific energy consumption – the comparison of belt conveyors. *Mining Science*, 26, 263–274. <https://doi.org/10.37190/msc192619>
17. Semenchenko, A., Stadnik, M., Belitsky, P., Semenchenko, D. & Stepanenko, O. (2016). The impact of an uneven loading of a belt conveyor on the loading of drive motors and energy consumption in transportation. *Eastern European Journal of advanced technologies*, 4, (1)(82), 42–51. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.75936>
18. Suchorab-Matuszewska, N., Kawalec, W., & Król, R. (2025). Study of Long-Distance Belt Conveying for Underground Copper Mines. *Energies*, 18, 48–72. <https://doi.org/10.3390/en18184872>
19. Малигіна, В.Д., Холодова, О.Ю., & Акімова, Л.М. (2016) *Методологія наукових досліджень: монографія*. Рівне: НУВГП.

ABSTRACT

Purpose. Formalization of the characteristics of an energy-saving open-type braking device that acts instead of shoe brakes when braking and unbraking an slope belt conveyor.

The methods. The are the methods of theoretical mechanics for the development of mathematical modeling of wedging periods (without slipping and with roller slipping), wedged state and unwedging of the stopper; analysis and formalization of the obtained dependencies between the geometric parameters of the stopper; analysis, synthesis, generalization, argumentation for the formulating of conclusions and recommendations in substantiating the rational parameters of the open-type roller stopper is used.

Findings. The mathematical models of wedging periods (without slipping and with roller slipping), wedged state and unwedging of an open-type roller stopper have been created, which allow us to present the process of braking an slope belt conveyor by the stopper as a system that changes in space and time. The operating conditions and rational geometric parameters of the roller stopper during braking and unbraking of an slope conveyor are substantiated.

The originality. Analytical dependencies have been established that determine the conditions for wedging a roller with slipping, wedged state and unwedging of the stopper, which ensure stable operation of the open-type roller stopper during braking and unbraking of the slope belt conveyor. Analytical dependencies have been established that determine the angle of roller wedging with sliding and the angle of the wedged state of the roller in the stopper during conveyor braking, as well as the angle of unwedging of the roller in the stopper during conveyor unbraking.

Practical implementation. Formalization of the characteristics of an open-type roller stopper when braking and disbraking an slope belt conveyor will allow developing recommendations for ensure sustainable and effective use of this energy-saving braking device to ensure increased safety, reliability, service life, and reduction of capital and operating costs of conveyor transport.

Keywords: *slope belt conveyor, braking device, roller stopper, unwedging angle, wedging angle, wedging with slipping, wedged state, friction angle, rubber coating, reverse.*

| | |
|---|------------|
| дата першого надходження статті до видання | 11.01.2026 |
| дата прийняття до друку статті після рецензування | 22.02.2026 |
| дата публікації (оприлюднення) | 30.03.2026 |