ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ СТРІЧКИ НА ВЕРХНІЙ І НИЖНІЙ ГІЛЦІ КОНВЕЄРА ПРИ ПРАЦЮЮЧОМУ І ЗУПИНЕНОМУ ПРИВОДІ ПІД ЧАС ЗМІНИ ДОВЖИНИ ТРАНСПОРТУВАННЯ

Гаврюков О. В.

Представлені дослідження з визначення теоретичних залежностей швидкості руху стрічки на нижній гілці конвеєра при працюючому і зупиненому приводі під час зміни довжини транспортування. Встановлено, що зміни швидкості руху стрічки при подовженні конвеєра, на верхній і нижній гілки, залежать від режиму роботи конвеєра і сил опору руху стрічки. При подовженні зупиненого конвеєра швидкість руху стрічки на порожньої гілки в 2 і більше рази вище швидкості руху стрічки на навантаженої гілки. При подовженні працюючого конвеєра швидкість руху стрічки на навантаженій і порожній гілки відрізняються не значно.

Представлены исследования по определению теоретических зависимостей скорости движения ленты на верхней и нижней ветви конвейера при остановленном приводе во время изменения длины транспортирования. Установлено, что изменения скорости движения ленты при удлинении конвейера, на верхней и нижней ветви, зависит от режима работы конвейера и сил сопротивления движению ленты. При удлинении остановленного конвейера скорость движения ленты на порожней ветви в 2 и более раза выше скорости движения ленты на груженой ветви. При удлинении работающего конвейера скорость движения ленты на груженой и порожней ветви отличаются не значительно.

There has been represented the research concerning the theoretical dependences of the travel speed of the belt on the upper and lower branch of the conveyor at working and shut-down drive during the conveyance length change. There has been determined that in case of the conveyor extension the speed changes of the belt on the upper and lower branch depend on the conveyer operating regime and motion resistance forces. At shut-down conveyor extension the travel speed of the belt on empty branches is in two and more times higher than on loaded ones. At working conveyor extension the travel speed of the belt on loaded and empty branches do not differ significantly.

Гаврюков А. В. зав. каф. ПТСДМО и ААХ
ДонНАСА
gavrukoff@rambler.ru

ДонНАСА – Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Краматорск.

УДК 621.807.212.7

Гаврюков О. В.

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ СТРІЧКИ НА ВЕРХНІХ І НИЖНІХ ГІЛКИ КОНВЕЄРА ПРИ ПРАЦЮЮЧОМУ ТА ЗУПИНЕНОМУ ПРИВОДІ ПІД ЧАС ЗМІНИ ДОВЖИНИ ТРАНСПОРТУВАННЯ

Застосування у швидкісних прохідницьких забоях стрічкових конвеєрів із змінною довжиною транспортування [1] дозволяє збільшити машинний час прохідницького комбайна за рахунок скорочення технологічних операцій, пов'язаних з подовженням забійного конвеєра.

При зміні довжини транспортування на барабані пересувної станції виникає збільшення натягу стрічки, пов'язане зі зміною швидкості і прискоренням руху вантажної і порожньої гілки. Облік виникаючих змін натягу стрічки при проектуванні стрічкових конвеєрів із змінною довжиною транспортування дозволяє забезпечити безаварійну роботу транспортної установки.

У роботі [2] наведені дослідження, які дозволяють визначити виникаючі зміни натягу стрічки під час рівноприскореного подовження конвеєра з непрацюючим приводом. У роботі [3] наведені залежності для визначення швидкості порожньої і навантаженої гілки, працюючого прохідницького конвеєра при нерівноприскореній зміні довжини транспортування. Разом з тим, виконані у Донбаській національній академії будівництва та архітектури експериментальні дослідження показали, що при нерівноприскореному подовженні непрацюючого конвеєра, у порівнянні з подовжуючим працюючим конвеєром, швидкість і прискорення вантаженої і порожньої гілки суттєво відрізняється.

Аналіз останніх досліджень і публікацій вказав на необхідність виявлення залежностей, які дозволять визначати швидкість руху стрічки на верхній і нижній гілці під час зміни довжини транспортування конвеєра при працюючому і зупиненому приводі.

Мета роботи – виявити залежності, які дозволяють визначити швидкість руху стрічки на верхній і нижній гілці під час зміни довжини транспортування конвеєра при працюючому і зупиненому приводі.

Швидкість і прискорення верхньої і нижньої гілки залежить від зміни швидкості і прискорення пересувної станції.

При визначенні швидкості і прискорення пересувної станції під час зміни довжини транспортування конвеєра із зупиненим приводом скористаємося диференціальної формою теореми про зміну кінетичної енергії системи.

Повна похідна кінетичної енергії по часу дорівнює сумі потужностей всіх зовнішніх і внутрішніх сил, прикладених до системи.

$$dT / dt = N^e + N^i \text{, } (Нм/с) \tag{1}$$

Похідна від роботи по часу дорівнює потужності прикладеної сили. Сума робіт внутрішніх сил, а отже і потужностей внутрішніх сил, приймаємо рівною нулю.

Зміну кінетичної енергії механічної системи прохідницький комбайн – стрічковий конвеєр визначимо по залежності

$$T = T_{прох.ком.} + T_{ход.ред.} + T_{эл.дв.} + T_{кон.} \text{, } (Нм) \tag{2}$$

де $T_{прох.ком.}$ – зміна кінетичної енергії прохідницького комбайна, ($Нм$); $T_{ход.ред.}$ – зміна кінетичної енергії редуктора ходового механізму прохідницького комбайна, ($Нм$); $T_{эл.дв.}$ – зміна кінетичної енергії електродвигуна ходового механізму прохідницького комбайна, ($Нм$); $T_{кон.}$ – зміна кінетичної енергії елементів конвеєра, які переміщуються, ($Нм$).

З умови рівноважного стану виникаючих натяжінь у стрічці, очевидно, що кінетичну енергію переміщающих елементів конвеєра, пов'язаних з пересувною станцією, можна визначити з умови, при якій швидкість стрічки навантаженої гілки $V_{г.ост.} = 0$.

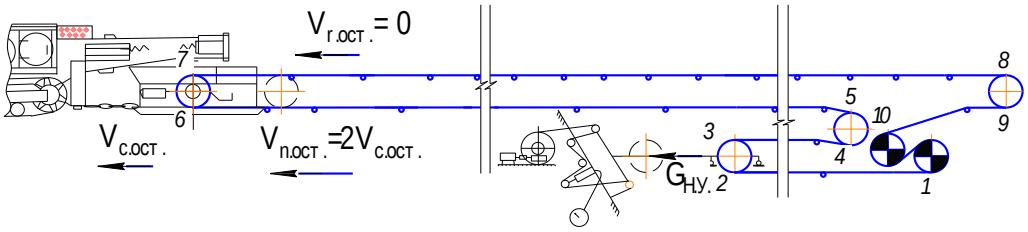

Рис. 1. Схема змінюючого довжину зупиненого конвеєра з урахуванням прийнятої умови

З урахуванням прийнятої умови коли $V'_{п.ост.} = 2V_c$

$$T_{кон.ост.} = T'_{п.ост.} + T'_{под.бар.ост.} + T'_{непод.бар.ост.} + T'_{бар.ст.ост.} + T^{ост.}_{под.кар.ост.} + T_{ст.ост.}, (Нм) \quad (3)$$

де $T'_{п.ост.}$, $T'_{под.бар.ост.}$, $T'_{непод.бар.ост.}$, $T'_{бар.ст.ост}$, $T^{ост.}_{под.кар.ост.}$, $T_{ст.ост.}$ – зміни кінетичної енергії, з урахуванням прийнятої умови: порожньої гілки, рухомого і нерухомого барабанів телескопічного пристрою, барабана пересувної станції, рухомої каретки телескопічного пристрою, пересувної станції зупиненого конвеєра відповідно, (*Нм*).

Зміни кінетичної енергії порожньої гілки з урахуванням прийнятої умови

$$T'_{п.ост.} = 0{,}5\left(V^2_{п.ост.} m_{3-6}\right)/ g, (Нм)$$

З урахуванням кута установки конвеєра, напрямком і коефіцієнтом опору руху стрічки по роликам, маса стрічки в розрахунках дорівнює

$$m_{(3-6)} = \Omega_n l_{(3-6)} / g \ \ (кГ)$$

де Ω_n – питомий статичний опір руху порожньої гілки ($Н/м$); l_{3-6} – відстань від барабана пересувної станції до барабана натягача, (*м*).

$$\Omega_n = g\left[\left(q_л + q''_p\right)\omega' \cdot \cos\beta \pm q_л \sin\beta\right], (Н/м)$$

де $q_л$ – погонна маса стрічки, (*кГ*); $q''_{д}$ – погонна маса нижніх роликоопор, (*кГ*); ω' – коефіцієнт питомого опору руху стрічки; β – кут установки конвеєра, (*град.*)

$$T'_{п.ост.} = \left(2V^2_{с.ост.} \Omega_n l_{3-6}\right)/ g, (Нм) \quad (4)$$

де $V_{с.ост.}$ – швидкість пересувної станції зупиненого конвеєра, (*м/с*); Ω_n – питомий опір руху порожньої гілки, (*Н/м*).

Зміни кінетичної енергії барабана рухомої каретки телескопічного пристрою з урахуванням прийнятої умови

$$T'_{под.бар.ост.} = 0{,}5 J_{бар.} \omega^2_{под.бар.ост}, (Нм); \qquad \omega_{под.бар.ост.} = V_{п.ост.} / R_{бар.}, (об/с);$$

$$J_{вын.бар.} = 0{,}5 m_{бар.} R^2_{бар.}, (кГм^2); \qquad T'_{под.бар.ост.} = V^2_{п.ост.} m_{бар.} / 4, \ (Нм).$$

$$T'_{под.бар.ост.} = V^2_{с.ост.} m_{бар.}, (Нм) \quad (5)$$

де $m_{бар.}$ – маса барабана, (*кГ*); $R_{бар.}$ – радіус барабана, (*м*); $J_{бар.}$ – момент інерції барабана, ($кГ \cdot м^2$).

Як правило, барабани прохідницьких конвеєрів за масою і розмірами однакові.

Зміни кінетичної енергії нерухомого барабана телескопічного пристрою барабана з урахуванням прийнятої умови

$$T'_{непод.бар.ост.} = V^2_{с.ост.} m_{бар.} \ (Нм) \quad (6)$$

Зміни кінетичної енергії барабана пересувної станції з урахуванням прийнятої умови

$$T'_{бар.ст.ост.} = V^2_{с.ост.} m_{бар.}\ (Нм) \qquad (7)$$

Зміни кінетичної енергії рухомої каретки телескопічного пристрою з урахуванням прийнятої умови. Швидкість рухомої каретки телескопічного пристрою завжди дорівнює швидкості пересувної станції.

$$T^{ост.}_{под.кар.ост.} = m_{Н.У.} V^2_{с.ост.} / 2\ ,\ (Нм); \qquad m_{Н.У.} = G_{Н.У.} / g\ ,\ (кГ);$$

$$T^{ост.}_{под.кар.ост.} = 0{,}5 G_{Н.У.} V^2_{с.ост.} / g\ ,\ (Нм) \qquad (8)$$

де $m_{Н.У.}$ – маса рухомої каретки телескопічного пристрою, ототожнювана із зусиллям натягача, (*кГ*).

Зміни кінетичної енергії пересувної станції конвеєра з урахуванням прийнятої умови

$$T_{ст.ост.} = m_{ст.} V^2_{с.ост.} / 2\ ,\ (Нм) \qquad (9)$$

де $m_{ст.} = m_{перед.ст.}\left(f_{тр.} \cos\beta \pm \sin\beta\right)$ – маса пересувної станції ковзної по підошві виробки, (*кГ*); $m_{перед.ст.}$ – маса пересувної станції, (*кГ*); $f_{тр.}$ – коефіцієнт тертя пересувної станції по грунту виробітки; β – кут нахилу виробки (може збігатися з кутом установки конвеєра), (*град*.).

Підставивши значення параметрів в рівняння (3) отримаємо

$$T_{кон.ост.} = V^2_{с.ост.}\left[2\Omega_n l_{3-6} / g + \left(m_{Н.У.} + m_{ст.}\right)/ 2 + 3 m_{бар.}\right],(Нм) \qquad (10)$$

Зміни кінетичної енергії прохідницького комбайна

$$T^{ост.}_{прох.ком.} = m_{прох.ком.} V^2_{с.ост.} / 2\ ,\ (Нм) \qquad (11)$$

де $m_{прох.ком.} = m_{комб.}\left(f_{движ.} \cos\beta \pm \sin\beta\right)$ – маса прохідницького комбайна що переміщається по виробітки, (*кГ*); $m_{комб.}$ – маса прохідницького комбайна, (*кГ*); $f_{движ.}$ – коефіцієнт опору руху (для гусеничних рушіїв $f_{движ.}$ = 0,1-0,2).

Зміни кінетичної енергії редуктора ходового механізму прохідницького комбайна. Для простоти розрахунку припустимо, що редуктор двоступінчастий

$$T_{1кол.ред.} = J_{1кол.ред.} \omega^2_{ход.эл.дв.} / 2\ ,\ (Нм); \quad J_{1кол.ред.} = m_{1кол.ред.} R^2_{1кол.ред.} / 2\ ,\ (кГм^2);$$

$$\omega_{ход.эл.дв.} = \omega_{1кол.ред.}\ ,\ (1/с);$$

$$T_{1кол.ред.} = m_{1.кол.ред.} R^2_{1кол.ред.} \omega^2_{1кол.} / 4\ ,\ (Нм); \qquad T_{2кол.ред.} = J_{2.кол.ред.} \omega^2_{2кол.ред.} / 2\ ,\ (Нм).$$

$$\omega_{2кол.ред.} = \omega_{ход.эл.дв.} \cdot R_{1кол.ред.} / R_{2кол.ред.} = i_{ход.ред.} \omega_{ход.эл.дв.}\ ,\ (1/об.) \qquad (12)$$

$$J_{2кол.ред.} = m_{2кол.ред.} R^2_{2кол.ред.} / 2\ ,\ (кГ \cdot м^2);$$

$$T_{2кол.ред.} = m_{2кол.ред.} R^2_{2кол.ред.} i_{ход.ред.} \omega_{ход.эл.дв.} / 4\ ,\ (Нм)$$

$$T_{ход.ред.} = T_{1кол.ред.} + T_{2кол.ред.}\ ,\ (Нм).$$

$$T_{ход.ред.} = \omega^2_{ход.эл.дв.} R^2_{1кол.ред.}\left(m_{1.кол.ред.} + m_{2кол.ред.} / i_{ход.ред.}\right)/ 4\ ,\ (Нм) \qquad (13)$$

де $\omega_{ход.эл.дв.}$, $\omega_{1.кол.ред.}$, $\omega_{2.кол.ред.}$ – частота обертання відповідно ходового електродвигуна, першого і другого зубчастого колеса редуктора, (*1/об*); $T_{1кол.ред.}$, $T_{2кол.ред.}$ – зміна кінетичної енергії відповідно першого і другого зубчастого колеса редуктора, (*Нм*); $J_{1кол.ред.}$, $J_{2кол.ред.}$ – момент інерції відповідно першого і другого зубчастого колеса редук-

тора ($кГм^2$); $m_{1кол.ред.}$, $m_{2кол.ред.}$ – маса відповідно першого і другого зубчастого колеса редуктора, ($кГ$); $R_{1кол.ред.}$, $R_{2кол.ред.}$ – радіус відповідно першого і другого зубчастого колеса редуктора, ($м$); $i_{ход.ред.}$ – передавальне число ходового редуктора.

Зміни кінетичної енергії електродвигуна ходового механізму прохідницького комбайна

$$T_{ход.эл.дв.} = J_{р.ход.эл.дв.}\omega^2_{ход.эл.дв.}/2,\ (Нм); \qquad J_{ход.эл.дв.} = m_{р.ход.эл.дв.}R^2_{р.ход.эл.дв.}/2,\ (кГм^2).$$

$$T_{ход.эл.дв.} = m_{р.эл.дв.}R^2_{р.эл.дв.}\omega^2_{ход.эл.дв.}/4,\ (Нм) \tag{14}$$

де $J_{р.ход.эл.дв.}$ – момент інерції ротора ходового електродвигуна прохідницького комбайна ($кГм^2$); $m_{р.ход.эл.дв.}$ – маса ротора ходового електродвигуна прохідницького комбайна, ($кГ$); $R_{р.ход.эл.дв.}$ – радіус ротора ходового електродвигуна прохідницького комбайна, ($м$).

Підставивши рівняння (10 - 14) в рівняння (2) визначимо зміна кінетичної енергії механічної системи прохідницький комбайна - зупинений стрічковий конвеєр

$$\begin{aligned} T_{ост.} &= m_{прох.ком.}V^2_{с.ост.}/2 + m_{р.эл.дв.}R^2_{р.эл.дв.}\omega^2_{ход.эл.дв.}/4 + \\ &+ \omega^2_{ход.эл.дв.}R^2_{1кол.ред.}\left(m_{1.кол.ред.} + m_{2кол.ред.}/i_{ход.ред.}\right)/4 + \\ &+ V^2_c\left[2\Omega_n l_{3-6}/g + \left(m_{Н.У.} + m_{ст.}\right)/2 + 3m_{бар.}\right],\ (Нм) \end{aligned} \tag{15}$$

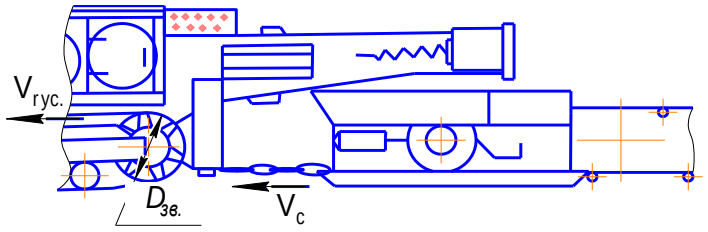

Рис. 2. Схема до розрахунку швидкості пересувної станції

$$V_c = V_{гус.}/2 = \omega_{2кол.ред.}D_{зв.}/4 = R_{зв.}i_{ход.ред.}\omega_{ход.эл.дв.}/2,\ (м/с) \tag{16}$$

де $R_{зв.}$ – радіус тракові приводної зірочки ходового редуктора прохідницького комбайна, ($м$).

Підставивши рівняння (16) в рівняння (15) і виконавши перетворення, отримаємо

$$\begin{aligned} T_{ост.} = V^2_{с.ост.}\Big[4\left(J_{р.эл.дв.} + J_{1.кол.ред.} + J_{2кол.ред.}i_{ход.ред.}\right)/\left(R^2_{зв.}i^2_{ход.ред.}\right) + m_{прох.ком.} + m_{Н.У.} + m_{ст.} + \\ + 6m_{бар.} + 4\Omega_n l_{3-6}/g\Big]/2,\ (Нм) \end{aligned} \tag{17}$$

Перейдемо до обчислення потужностей. Вважаємо, що вага ходового редуктора врахована у вазі прохідницького комбайна

Сума потужностей всіх зовнішніх сил із зупиненим конвеєром дорівнює

$$N^e_{ост.} = N_{эл.дв.} + N^{ост.}_{сопр.},(Нм/с) \tag{18}$$

$$N^{ост.}_{сопр.} = \left(N^{ост.}_{прох.ком.} + N^{ост.}_{кон.}\right)\cos 180^0,(Нм/с) \tag{19}$$

Потужність сил опорів під час переміщення прохідницького комбайна

$$N^{ост.}_{прох.ком.} = m_{прох.ком.}gV_{с.ост.},(Нм/с) \tag{20}$$

З рівняння (10) визначимо силу опору рухомих елементів конвеєра, ($Нм$) $F_{эл.кон.}$

$$T_{кон.ост.} = 0{,}5V^2_{с.ост.}F_{эл.кон.}/g\ ,\ (Нм) \tag{21}$$

$$F_{эл.кон.} = m_{пр.эл.кон.}g\ ,\ (Н) \tag{22}$$

де $m_{пр.эл.кон.}$ – приведена маса рухомих елементів конвеєра, ($кГ$)

Підставивши рівняння (21), (22) в рівняння (10), отримаємо

$$F_{эл.кон.} = 4\Omega_n l_{3-6}/g + m_{Н.У.} + m_{ст.} + 6m_{бар.}\ ,\ (Н) \tag{23}$$

З урахуванням рівняння (23), потужність сил опорів при русі елементів зупиненого конвеєра

$$N^{ост.}_{кон.} = V_{с.ост.}\left[4\Omega_n l_{3-6} + g\left(m_{Н.У.} + m_{ст.} + 6m_{бар.}\right)\right],\ (Нм/с) \tag{24}$$

Підставивши рівняння (4), (20) в рівняння (19), отримаємо

$$N_{сопр.} = -V_{с.ост.}\left[4\Omega_n l_{3-6} + g\left(m_{прох.ком.} + m_{Н.У.} + m_{ст.} + 6m_{бар.}\right)\right],\ (Нм/с) \tag{25}$$

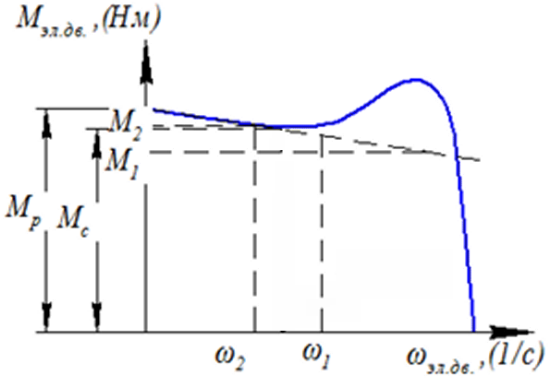

Рис. 3. Моментно-частотна характеристика електродвигуна

Потужність сил, які створює обертаючий момент ходового асинхронного електродвигуна при зупиненому конвеєрі, визначимо за формулою

$$N_{ход.эл.дв.} = M_{ход.эл.дв.}\omega_{ход.эл.дв.} = \left(M_p - \beta_{эл.дв.}\omega_{ход.эл.дв.}\right)\omega_{ход.эл.дв.},\ (Нм/с) \tag{26}$$

де M_p – пусковий момент ходового електродвигуна, ($Нм$); $\beta_{эл.дв.} = (M_1 - M_2)/(\omega_1 - \omega_2)$ – коефіцієнт, що характеризує нахил механічної характеристики двигуна ходового механізму прохідницького комбайна, ($Нм/с$) (мал. 3).

З урахуванням рівняння (16)

$$N^{ост.}_{ход.эл.дв.} = 2V_{с.ост.}\left[M_p - 2V_{с.ост.}\beta_{эл.дв.}/\left(R_{зв.}i_{ход.ред.}\right)\right]/\left(R_{зв.}i_{ход.ред.}\right),\ (Нм/с) \tag{27}$$

Підставивши рівняння (25), (26) в рівняння (18), отримаємо

$$N^e = V_{с.ост.}\left[2\left(M_p - \frac{2V_{с.ост.}\beta_{эл.дв.}}{R_{зв.}i_{ход.ред.}}\right)/\left(R_{зв.}i_{ход.ред.}\right) - 4\Omega_n l_{3-6} - g\left(m_{прох.ком.} + m_{Н.У.} + m_{ст.} + 6m_{бар.}\right)\right],(Нм/с) \tag{28}$$

Підставивши рівняння (28) і продиференціювавши по t рівняння (17) в рівняння (1), отримаємо

$$\frac{dV_{с.ост.}}{dt}\left[\frac{2\left(J_{р.эл.дв.} + J_{1.кол.ред.} + J_{2кол.ред.}i_{ход.ред.}\right)}{R_{зв.}i_{ход.ред.}} + \frac{R_{зв.}i_{ход.ред.}}{2}\left(\frac{4\Omega_n l_{3-6}}{g} + m_{прох.ком.} + m_{Н.У.} + m_{ст.} + 6m_{бар.}\right)\right] =$$

$$= M_p - 2\beta_{эл.дв.}V_{с.ост.}/\left(R_{зв.}i_{ход.ред.}\right) - R_{зв.}i_{ход.ред.}\left[2\Omega_n l_{3-6} + g\left(m_{прох.ком.} + m_{Н.У.} + m_{ст.} + 6m_{бар.}\right)/2\right]\ (Нм) \tag{29}$$

$$\Im_{ост.}dV_{с.ост.}/dt = M_p - \aleph_{ост.} - \Re V_{с.ост.},\ (Нм) \tag{30}$$

$$\Re = 2\beta_{эл.дв.}/\left(R_{зв.}i_{ход.ред.}\right),(Н/с) \tag{31}$$

$$\Im_{ост.} = 2\left(J_{р.эл.дв.} + J_{1.кол.ред.} + J_{2кол.ред.}i_{ход.ред.}\right)/\left(R_{зв.}i_{ход.ред.}\right) + R_{зв.}i_{ход.ред.}\left(4\Omega_n l_{3-6}/g + m_{прох.ком.} +\right.$$

$$+ m_{Н.У.} + m_{ст.} + 6m_{бар.}\big)/2\,,\ (кГм) \tag{32}$$

$$\aleph_{ост.} = R_{зв.} i_{ход.ред.} \left[2\Omega_n l_{3-6} + g\left(m_{прох.ком.} + m_{Н.У.} + m_{ст.} + 6m_{бар.}\right)/2\right],\ (Нм) \tag{33}$$

Визначимо закон зміни швидкості пересувної станції зупиненого конвеєра, для чого вирішимо рівняння (30). Для цього розділимо змінні

$$\frac{\Im_{ост.} dV_{с.ост.}}{M_р - \aleph_{ост.} - \Re V_{с.ост.}} = dt\ ,\ (Нм) \tag{34}$$

Проінтегруємо обидві частини рівності

$$-\frac{\Im_{ост.}}{\Re} \ln\left|M_р - \aleph_{ост.} - \Re V_{с.ост.}\right| = t + C\ ,\ (с) \tag{35}$$

На початку трогання двигуна при $t = 0$ $V_{с.трог.}^{ост.} = 0$. Підставимо цю умову в рівняння (35)

$$C = -\frac{\Im_{ост.}}{\Re} \ln\left(M_р - \aleph_{ост.}\right),\ (с) \tag{36}$$

Підставимо рівняння (36) в рівняння (35)

$$-\frac{\Im_{ост.}}{\Re} \ln\left|M_р - \aleph_{ост.} - \Re V_{с.трог.}^{ост.}\right| = t - \frac{\Im_{ост.}}{\Re} \ln\left|M_р - \aleph_{ост.}\right|,\ (с) \tag{37}$$

Групуючи члени з логарифмами, отримаємо

$$\ln \frac{M_р - \aleph_{ост.} - \Re V_{с.ост.}}{M_р - \aleph_{ост.}} = -\frac{\Re}{\Im_{ост.}} t\ ,\ (с) \tag{38}$$

Після потенціювання рівняння (38) і перетворень

$$1 - \Re V_{с.ост.} / \left(M_р - \aleph_{ост.}\right) = \exp\left(-\Re t / \Im_{ост.}\right),\ (кГ/мс^2) \tag{39}$$

$$V_{с.ост.} = \frac{M_р - \aleph_{ост.}}{\Re}\left(1 - e^{-\frac{\Re}{\Im_{ост.}} t}\right),\ (м/с) \tag{40}$$

Продиференціювавши по t рівняння (40), визначимо прискорення пересувної станції зупиненого конвеєра

$$j_{с.ост.} = \frac{dV_{с.ост.}}{dt} = \frac{M_р - \aleph_{ост.}}{\Im_{ост.}} \exp\left(-\frac{\Re}{\Im_{ост.}} t\right),\ (м/с^2) \tag{41}$$

Визначимо швидкість і прискорення вантажної і порожньої гілки під час зміни довжини транспортування конвеєра із зупиненим приводом.

Якщо сили опору руху стрічки на верхній гілці більше сил опору руху стрічки на нижній, очевидно, що швидкість руху стрічки на нижній гілці буде більше швидкості руху стрічки на верхній гілці.

Для непрацюючого конвеєра швидкість зміни довжини транспортування дорівнює подвоєній сумі швидкостей навантаженої і порожньої гілок

$$2V_{с.ост} = V_{г.ост.} + V_{п.ост.}\ (м/с) \tag{42}$$

Звідси

$$V_{г.ост.} = 2V_{с.ост.} - V_{п.ост.}\ (м/с) \tag{43}$$

Для визначення швидкості руху навантаженої і порожньої гілки конвеєра під час зміни довжини транспортування (мал. 4) прирівняємо зміну кінетичної енергії зупиненого конвеєра до зміни кінетичної енергії зупиненого конвеєра за прийнятої умови (рівняння (10)).

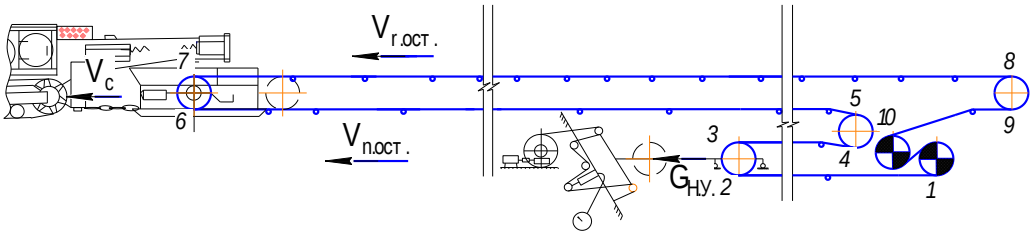

Рис. 4. Схема змінюючого довжину зупиненого конвеєра

Зміни кінетичної енергії зупиненого конвеєра без прийнятої умови дорівнює

$$T_{кон.ост.} = T_{г.ост.} + T_{п.ост.} + T_{вын.бар.ост.} + T_{пр.кон.ост.} + T_{под.бар.ост.} + T_{непод.бар.ост.} +$$

$$+ T_{бар.ст.ост.} + T^{ост.}_{под.кар.ост.} + T_{ст.ост.}, (Нм) \quad (44)$$

Зміни кінетичної енергії вантаженої гілки без прийнятої умови

$$T_{г.ост.} = V^2_{г.ост.}\Omega_г l_{7-8}/(2g), (Нм) \quad (45)$$

де $\Omega_г$ – питомий статичний опір руху завантаженої гілки, (*Н/м*)

$$\Omega_г = g\left[(q_{гр} + q_л + q'_р)\omega' \cdot \cos\beta \pm (q_{гр} + q_л)\sin\beta\right], (Н/м) \quad (46)$$

де $q_{гр}$ – погонна маса вантажу, (*кГ/м*); $q'_р$ – погонна маса верхніх роликоопор, (*кГ/м*).

Зміни кінетичної енергії порожньої гілки без прийнятої умови

$$T_{п.ост.} = \Omega'_n l_{(9-10)} V^2_{г.ост.}/2g + \Omega_n l_{(1-2)} V^2_{г.ост.}/2g + \Omega''_n l_{(3-4)} V^2_{п.ост.}/2g + \Omega_n l_{(5-6)} V^2_{п.ост.}/2g, (Нм)$$

Прийнявши допущення, що значення $\Omega_n = \Omega'_n = \Omega''_n$, отримаємо

$$T_{п.ост.} = \Omega_n \left(V^2_{г.ост.} l_{9-2} + V^2_{п.ост.} l_{3-6}\right)/(2g), (Нм) \quad (47)$$

Зміни кінетичної енергії виносного барабану без прийнятої умови

$$T_{вын.бар.ост.} = V^2_{г.ост.} m_{бар.}/4, (Нм) \quad (48)$$

Зміни кінетичної енергії приводу конвеєра, до складу якого увійшли приводні барабани, редуктор і електродвигун конвеєра без прийнятої умови

$$T_{пр.кон.ост.} = m_{пр.пр.кон.} V^2_{г.ост.}/2, (Нм) \quad (49)$$

де $m_{пр.пр.кон.} = k(GD)^2_р i^2_р / \left(gD^2_{бар.}\right)$ – приведена маса приводу конвеєра, (*кГ*) [4]; k – коефіцієнт, що враховує інерцію редуктора приводу, який переміщує станцію, рівний 1,2–1,3; $(GD)^2_р$ – маховий момент ротора двигуна, ($Н^2м^2$); $i_р$ – передавальне число редуктора приводу конвеєра; $D_{бар.}$ – діаметр приводного барабану.

Зміни кінетичної енергії барабану рухомої каретки телескопічного пристрою без прийнятої умови

$$T_{под.бар.ост.} = (V_{п.ост.} - V_{г.ост.})^2 m_{бар.}/4, (Нм). \quad (50)$$

Зміни кінетичної енергії рухомої каретки телескопічного пристрою без прийнятої умови

$$T^{ост.}_{под.кар.} = G_{Н.У.} V^2_{с.ост.}/(2g), (Нм). \quad (51)$$

Зміни кінетичної енергії нерухомого барабану телескопічного пристрою без прийнятої умови

$$T_{непод.бар.ост.} = V^2_{п.ост.} m_{бар.}/4, (Нм). \quad (52)$$

Зміни кінетичної енергії барабану пересувної станції без прийнятої умови

$$T_{бар.ст.ост.} = (V_{п.ост.} - V_{г.ост.})^2 m_{бар.} / 4 \ ,(Нм). \quad (53)$$

Зміни кінетичної енергії пересувної станції конвеєра без прийнятої умови

$$T_{ст.ост.} = m_{ст.} V_{с.ост}^2 / 2 \, , (Н{\cdot}м). \quad (54)$$

З урахуванням рівняння (43), підставивши рівняння (45–54) в рівняння (44), отримаємо

$$T_{кон.ост.} = \frac{V_{п.ост.}^2}{2}\left[(\Omega_г l_{7-8} + \Omega_п l_{9-6})/ g + 5 m_{бар.} + m_{пр.пр.кон.}\right] - 2V_{с.ост.} V_{п.ост.}\left[(\Omega_г l_{7-8} + \Omega_п l_{9-6})/ g + 2{,}5 m_{бар.} + \right.$$

$$\left. + m_{пр.пр.кон.}\right] + V_{с.ост.}^2 \left[2(\Omega_г l_{7-8} + \Omega_п l_{9-2})/ g + (m_{Н.У.} + m_{ст.})/ 2 + 3 m_{бар.} + 2 m_{пр.пр.кон.}\right], (Нм) \quad (55)$$

Прирівнявши рівняння (10) до рівняння (55), виконаємо перетворення і визначимо швидкість руху стрічки на порожній гілці під час зміни довжини зупиненого конвеєра

$$V_{п.ост}^2 \left[(\Omega_п l_{9-6} + \Omega_г l_{7-8})/ g + 5_{.} m_{бар.} + m_{пр.пр.кон.}\right]/ 2 - 2V_{с.ост} V_{п.ост} \left[(\Omega_г l_{7-8} + \Omega_п l_{9-2})/ g + 2{,}5 m_{бар.} + \right.$$

$$\left. + m_{пр.пр.кон.}\right] + 2V_{с.ост}^2 \left[(\Omega_г l_{7-8} + \Omega_п l_{9-2} - \Omega_п l_{3-6})/ g + m_{пр.пр.кон.}\right] = 0 \, , (Нм) \quad (56)$$

$$V_{п.ост.} = V_{с.ост.}\left(\Lambda \pm \sqrt{\Lambda^2 - \Phi}\right)/ \mathrm{P} \, , (м/с) \quad (57)$$

$$\Lambda = (\Omega_г l_{7-8} + \Omega_п l_{9-2})/ g + 2{,}5 m_{бар.} + m_{пр.пр.кон.} \, , (кГ) \quad (58)$$

$$\Phi = \left[(\Omega_п l_{9-2} + l_{3-6}\Omega_п + \Omega_г l_{7-8})/ g + 5_{.} m_{бар.} + m_{пр.пр.кон.}\right] \mathrm{x} \left[(\Omega_г l_{7-8} + \Omega_п l_{9-2} - \Omega_п l_{3-6})/ g + m_{пр.пр.кон.}\right] , (кГ^2) \quad (59)$$

$$\mathrm{P} = \left[(\Omega_п l_{9-6} + \Omega_г l_{7-8})/ g + 5_{.} m_{бар.} + m_{пр.пр.кон.}\right]/ 2 \, , (кГ). \quad (60)$$

Підставивши рівняння (57) в рівняння (43), визначимо швидкість зміни навантаженої гілки під час зміни довжини зупиненого конвеєра

$$V_{г.ост.} = V_{с.ост.}\left[2 - \left(\Lambda \pm \sqrt{\Lambda^2 - \Phi}\right)/ \mathrm{P}\right] \ (м/с) \quad (61)$$

Так як зміна швидкості порожньої гілки змінюється пропорційно швидкості пересувної станції, то прискорення порожньої гілки визначимо із залежності

$$j_{п.ост.} = j_{с.ост.}\left(\Lambda \pm \sqrt{\Lambda^2 - \Phi}\right)/ \mathrm{P} \, , (м/с^2) \quad (62)$$

Відповідно, прискорення вантажної гілки дорівнює

$$j_{г.ост.} = j_{с.ост.}\left[2 - \left(\Lambda \pm \sqrt{\Lambda^2 - \Phi}\right)/ \mathrm{P}\right], (м/с^2) \quad (63)$$

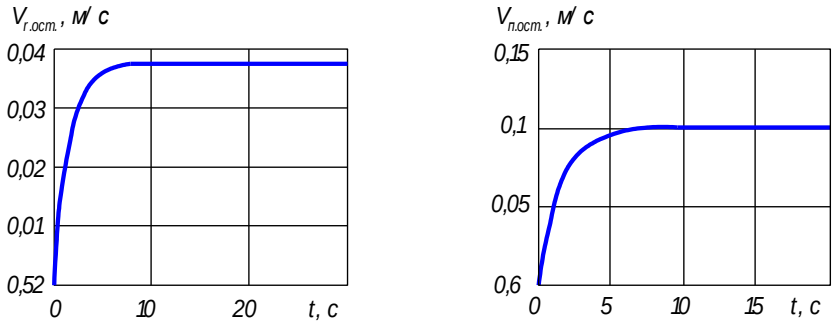

Рис. 5. Графіки зміни швидкості нижньої (порожньої) і верхньої (завантаженої) гілки під час зміни довжини зупиненого конвеєра

На рис. 5 наведено графіки зміни швидкості нижньої (порожньої) і верхньої (завантаженої) гілки під час зміни довжини зупиненого конвеєра при наступних параметрах: $l_{9-6} = 915 м$; $l_{3-6} = 835 м$; $l_{7-8} = 800 м$; $l_{9-2} = 65 м$; $J_{1кол.ред.} = 0{,}01 кГм^2$; $J_{2кол.ред.} = 25$

$кГм^2$; $J_{р.ход.эл.дв.} = 3\ кГм^2$; $R_{зв.} = 0{,}5\ м$; $M_P = 700\ Нм$; $f = 0{,}8$; $m_{Н.У.} = 150\ НкГ$; $i_p = 0{,}0064$; $m_{прох.ком.} = 3500\ кГ$; $\Omega_n = 5{,}33\ Н/м$; $\Omega_r = 12{,}5\ Н/м$; $\beta_{эл.дв.} = 2\ (Нм/с)$; $m_{бар.} = 100\ (кГ)$; $m_{пр.пр.кон.} = 1250 кГ$; $m_{ст.} = 1000 кГ$; $E_{0.дин.} = 2600000\ (Н)$; $q_л = 10\ кГ$.

Швидкість руху стрічки під час подовження конвеєра із зупиненим приводом на нижній гілці в 2,6 рази більше швидкості руху стрічки на верхній гілці.

Порівняємо швидкість зміни руху стрічки на нижній і верхній гілці змінюючого довжину працюючого конвеєра з конвеєром із зупиненим приводом. Для визначення швидкості зміни руху стрічки на нижній і верхній гілці працюючого конвеєра, скористаємося отриманими в роботі [3] залежностями, прийнявши одні й ті ж показники.

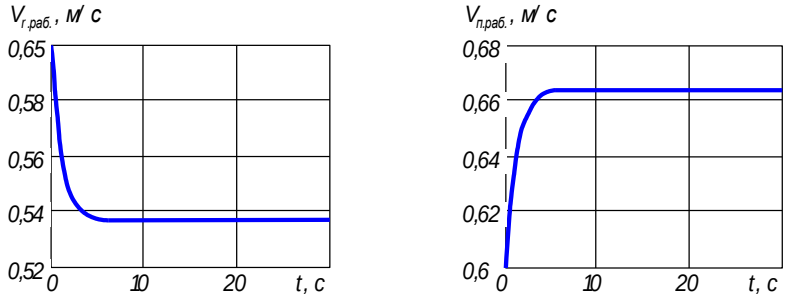

Рис. 6. Графіки зміни швидкості нижньої (порожньої) і верхньої (завантаженої) гілки під час зміни довжини працюючого конвеєра, $V_{Нл} = 0{,}6\ м/с$.

При швидкості руху стрічки, створюваної приводом $V_{Нл} = 0{,}6\ м/с$, швидкість на порожньої гілки в 1,2 рази більше швидкості на навантаженій гілці, при $V_{Нл} = 2 м/с$ – в 1,1 раза.

ВИСНОВКИ

1. Зміна швидкості і прискорення пересувної станції залежить від параметрів конвеєра і прохідницького комбайна, а також умов роботи.

2. При подовженні зупиненого конвеєра швидкість руху стрічки на порожній гілці в 2 і більше рази вище швидкості руху стрічки на навантаженій гілці.

3. При подовженні працюючого конвеєра швидкість руху стрічки на навантаженій і порожній гілці відрізняються незначно.

4. Швидкість руху стрічки при подовженні конвеєра на верхній і нижній гілці залежить від режиму роботи конвеєра і сил опору руху стрічки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гаврюков А. В. Теория и практика использования ленточных конвейеров, работающих при изменяющейся длине / А. В. Гаврюков. – Макеевка : ДонНАСА, 2007. – 119 с.

2. Гаврюков А. В. Математическая модель процесса распространения упругих деформаций, в ленте конвейера с изменяющейся длиной транспортирования / А. В. Гаврюков, А. В. Третьяк А.В. // Наукові праці ДНТУ. Серія «Гірничо-електромеханічна». – 2014. – Вип. 1(27). – С. 40–76.

3. Гаврюков А. В. Определение скорости и ускорения передвижной станции во время изменения длины транспортирования работающего проходческого конвейера / А. В. Гаврюков // Научный вестник ДГМА. – 2015.– №1 (16Е). – С. 37–43.

4. Шахмейстер Л. Г. Теория и расчет ленточных конвейеров. – 2-е изд., перераб. и доп. / Л. Г. Шахмейстер. – М. : Машиностроение, 1987. – 336 с.

Стаття надійшла до редакції 10.11.2015 р.