

Д-р техн. наук В. Ф. Монастырский,
канд. техн. наук В. Ю. Максютенко,
канд. техн. наук Р. В. Кирия
(ИГТМ НАН Украины)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Розглянуто питання втрати енергії при транспортуванні насипних вантажів стрічковими конвеєрами. Встановлено, що за критерій ефективності їх роботи прийнято коефіцієнт опору руху стрічки з вантажем по ставу, значення якого залежить від погонного навантаження, натягу та швидкості конвеєрної стрічки. Регулювання швидкості стрічки дозволяє знизити енерговитрати приблизно на 25 % від загальних за рахунок зменшення механічних опорів у вузлах «тарн».

THE EFFICIENCY OF BAND CONVEYERS WORK AT MINING ENTERPRISES

The questions of energy loss in the process of piled up load transportation by band conveyers are considered. It is set that as the criterion of their work efficiency the coefficient of resistance to the motion of a ribbon with a load is accepted. The value of which depends on the linear loading and «tare» of conveyer. The adjusting of ribbon speed allows to lower the energy losses 25 per cent owing to reduction of mechanical resistances in «tare» knots.

При создании ленточных конвейеров, эксплуатируемых на горных предприятиях в различных условиях, главной задачей НИИ, проектных институтов, заводов-изготовителей является адаптация ленточных конвейеров к заданным условиям. Несмотря на достаточно большой объем выполненных научных и проектных работ, в настоящее время остаются нерешенными вопросы влияния различных факторов на эффективность работы ленточных конвейеров на шахтах. Применение системного анализа, позволяющего установить тесноту связи между входными и выходными параметрами [1] часто затруднено из-за отсутствия необходимого массива исходных данных. В этом случае можно использовать комплексные критерии, связанные с типом транспортируемого груза, условиями эксплуатации и безопасностью ведения работ.

Разработанные ранее [2-5] комплексные критерии работоспособности, надежности и эффективности работы ленточных конвейеров, как правило, вскрывают вопросы прочности [2] отдельных узлов и деталей конвейера, безопасности ведения работ в условиях шахт [3], надежности конвейеров (конвейерных систем) [4], а также экономической целесообразности (эффективности) их применения [3].

Для определения влияния суммарного воздействия факторов на эффективность функционирования конвейеров, а также безопасность их работы, можно принять комплексный показатель эффективности – коэффициент сопротивления движению ленты по ставу конвейера.

В [2, 5] исследованы вопросы определения значений коэффициента сопротивления движению ленты с грузом по ставу конвейера в зависимости от погонной нагрузки, скорости, натяжения и физико-механических свойств ленты. Установлены значения каждой составляющей коэффициента сопротивления

, (),

, ,

.

.

, -

.

[2,5]

:

[2];

[5].

[2,5],

:

$$= \{ + +2<7)- ' + ? , ; \quad (1)$$

$$= + ^)+ , \quad (2)$$

$$= 5 \{ -) - = (+ + ' + \frac{F \bullet}{I-} + ^ + \frac{V \wedge 2}{I-} + \dots - , -$$

; ^ ^' ~

, / ; , - ()

(.); ' - ; \oplus -

; < -

()

, / ^ ^ - , ^ ; 1 -

, ; 1, ,8 -

$$(1) (2) , = 0$$

$$\omega'_o = k(1 + A_T)\omega'; \quad (3)$$

$$\omega'_p = A + B_1\omega_p; \quad (4)$$

где $A_T = (q'_p + q''_p + 2q_s)/q_r$ – коэффициент «тары» конвейера; $B_1 = (Actg\gamma + B)/q_r$; ω'_o – комплексный коэффициент сопротивления движению ленты с грузом по ставу конвейера, учитывающий сопротивления деформации ленты и груза, вдавливанию ролика в ленту и вращению роликов; ω'_p – комплексный коэффициент сопротивления, включающий сопротивление протягиванию ленты с грузом через роликостропу и суммарные сопротивления от вдавливания ленты при ее взаимодействии с роликостропой и вращении роликов.

На основании анализа выражений (3), (4) можно сделать следующие выводы:

- независимо от механизма определения сил сопротивления движению ленты по ставу конвейера коэффициент сопротивления состоит из двух составляющих, каждая из которых учитывает удельные затраты энергии на транспортирование насыпного груза и на преодоление механических сопротивлений при движении ленты и вращении роликов конвейера;

- как показали расчеты, количество энергии, затрачиваемой на транспортирование насыпного груза, существенно зависит от погонной нагрузки и составляет более 60-70 % от общих затрат, а на преодоление сопротивлений при движении ленты и вращении роликов изменяется в пределах 10-40 % при коэффициенте «тары» $(q'_p + q''_p + 2q_s)/q_r \geq 0,1$. При коэффициенте «тары» менее 0,1 потребление энергии приводом конвейера на преодоление сопротивления движению ленты и вращению роликов роликостропы стремится к нулю.

На втором этапе исследовалось потребление мощности приводом ленточного конвейера. Мощность привода, идущая на транспортирование насыпных грузов, определяется по формуле [2]

$$N = \frac{W \cdot v_n}{1000\eta} \text{ (кВт)}, \quad (5)$$

где v_n – скорости ленты конвейера, м/с; η – к.п.д. привода конвейера.

Скорость ленты конвейера можно определить по формуле

$$v_n = \frac{Qg}{3,6q_L}, \quad (6)$$

где Q – производительность ленточного конвейера, т/ч; g – ускорение силы тяжести, м/с².

Подставляя в выражение (5) соотношение (6) и W из (1) и (2), с учетом (3) и (4), получим мощность привода, идущую на преодоление сопротивления движению ленты с грузом по ставу конвейера,

$$N = \frac{kQgL}{3600\eta} \omega'_o, \quad (7)$$

$$N = \frac{QgL}{3600\eta} \omega'_p. \quad (8)$$

Формулы (7) и (8) при определении затрат электроэнергии учитывают комплексные значения коэффициентов сопротивления движению ленты по ставу конвейера.

Преобразуя выражение (7) с учетом (3) для горизонтального конвейера ($\alpha=0$), получим

$$N = \frac{kQgL\omega'}{3600\eta} \left[1 + \frac{q'_p + q''_p + 2q_s}{q_\Gamma} \right]. \quad (9)$$

Из выражения (9) видно, что чем меньше отношение $(q'_p + q''_p + 2q_s)/q_\Gamma$ (коэффициент «тары» конвейера), тем меньше потребляемая приводом мощность конвейера, идущая на преодоление сопротивлений в узлах «тары», и можно для практических расчетов использовать выражение

$$N = \frac{kQgL}{3600\eta} \omega'. \quad (10)$$

Для значений коэффициента «тары» более 0,1 мощность привода конвейера после преобразований формулы (5) с учетом (1) можно представить в виде

$$N = A_2Q + B_2v_\lambda, \quad (11)$$

где $A_2 = \frac{Lg}{3600\eta} (k\omega' \cos \alpha + \sin \alpha)$; $B_2 = \frac{L}{1000\eta} k(q'_p + q''_p + 2q_s)\omega' \cos \alpha$.

В этом случае к затратам энергии на транспортирование груза (A_2Q) добавляются затраты энергии на преодоление механических сопротивлений в узлах «тары» (B_2v_λ), которые зависят от скорости транспортирования насыпного груза. Если в выражении (11) при изменении производительности конвейера Q изменить скорости ленты конвейера v_λ до минимума ($v_\lambda = v_{\lambda\min}$), т.е. поддерживать погонную нагрузку максимальной:

$$q_\Gamma = q_{\Gamma\max} = \text{const}, \quad (12)$$

то мощность привода можно определить из выражения

$$N = A_2Q + B_2v_{\lambda\min}, \quad (13)$$

где $v_{\lambda\min} = Qg/3,6q_{\Gamma\max}$ – минимальная скорость ленты, при которой сохраняется условие (12).

Анализ формулы (10) показал, что при $A_T < 0,1$ потребление энергии приводом конвейера при транспортировании насыпных грузов пропорционально значению производительности и коэффициенту сопротивления движению ленты по ставу конвейера ω' ; а при $A_T > 0,1$ из (11) и (3) следует, что регулирование скорости ленты конвейера уменьшает коэффициент «тары» и потребляемую мощность приводом конвейера.

Для определения значения ω' была решена следующая задача [6]: лента – гибкая упругая желобчатая пластина шириной B и толщиной h , растянутая силой S и взаимодействующая с роlikоопорой, перекатывающейся по ней. На роlikоопору действуют силы тяжести, которые уравниваются реакциями центрального и боковых роликoв, направленными перпендикулярно к поверхности ленты. Касательными составляющими реакций боковых роликoв пренебрегаем. Ниже приведены в сокращенном виде результаты решения этой задачи [6]. Установлено, что значение коэффициента сопротивления движению ленты по роlikоопорам (роlikоопор по ленте) можно представить в следующем виде

$$\omega' = (k_1 + k_2)K_\delta K_\beta, \quad (14)$$

где k_1 – коэффициент сопротивления качению ролика по ленте конвейера; $k_2 = 0,004 \div 0,005$ – коэффициент сопротивления вращению роликoв; $K_\delta = 1 + \frac{q}{gS} v_n^2$ –

коэффициент динамичности, учитывающий влияние на ω' инерционной силы при прохождении ленты и груза через роlikоопору; $K_\beta = \frac{1 + 2a_1 \cos \beta}{1 + 2a_1 \cos^2 \beta}$ – коэф-

фициент, учитывающий влияние на ω' неравномерность распределения нагрузки между центральным и боковыми роликoв; $q = (q_T + q_n) \cos \alpha$ – погонная нагрузка от груза и ленты конвейера, Н/м; $a_1 = l_1 / l_2$; β – угол наклона боковых роликoв, град; l_1, l_2 – длина среднего и бокового ролика, м.

Анализ формулы (14) показал, что:

1. При $S < 10000$ Н сила сопротивления движению ленты по роlikоопорам обусловлена в основном деформацией ленты и груза. В этом случае коэффициент сопротивления качению ролика по ленте конвейера k_1 определяется по формуле

$$k_1 = q_1 l_p / 2S. \quad (15)$$

где $q_1 = qK_\delta$ – погонная нагрузка на роlikоопору с учетом сил инерции, Н/м.

Так как $k_1 \gg k_2$, то из формулы (14) следует, что коэффициент сопротивления ω' прямо пропорционален погонной нагрузке и обратно пропорционален натяжению ленты, что аналогично выражениям (3), (4); при уменьшении скорости ленты погонная нагрузка и натяжение ленты увеличиваются, а коэффициент сопротивления ω' не изменяется. Расчеты показали [7], что в этом случае регулирование скорости ленты при уменьшении производительности конвейера в два раза уменьшает потребляемую мощность привода на 30 %.

2. При $S \geq 10000$ Н коэффициент сопротивления k_1 характеризует гистерезисные потери энергии при сжатии ленты в процессе качения ролика по ней и определяется по формуле [8]

$$k_1 = 0,21 \left(\frac{q_1 l_p}{bR^2} \cdot \frac{h}{K} \right)^{1/3} \cdot \varphi(v_n), \quad (16)$$

где $\varphi(v_n) = \begin{cases} v_n/v_k, & \text{если } v_n \leq v_k; \\ v_k/v_n, & \text{если } v_n > v_k, \end{cases}$ – функция, зависящая от скорости ленты конвейера;

$v_k = a/T$ – критическая скорость ленты, при которой сила сопротивления качению ролика по ленте максимальная, м/с; b – приведенная длина ролика, м; R – радиус ролика, м; K – модуль упругости ленты при сжатии, Н/м²; a – длины контакта ролика с лентой, м; $T = \mu/K$ – время релаксации ленты при ее сжатии в процессе качения ролика по ней, с; μ – коэффициент вязкости ленты, Н·с/м².

Из формул (14) и (16) следует, что при неизменной скорости ленты с уменьшением погонной нагрузки q_l коэффициент сопротивления ω' уменьшается. При постоянной погонной нагрузке при увеличении скорости ленты конвейера от 0 до v_k коэффициент сопротивления ω' увеличивается до максимального значения и при $v > v_k$ уменьшается до нуля.

На рис. 1 показаны зависимости мощности привода конвейера N мощного горизонтального конвейера ($S \geq 10000$ Н) от производительности Q соответственно в случае $v_n = \text{const}$ (формула (11), кривая 1) и в случае изменения скорости ленты (формула (13), кривая 2). Расчет кривых 1 и 2 выполнялся при следующих исходных данных: вязкости ленты $\mu = 10^5$ Н·с/м² ($T \approx 0,01$ с), $L = 1000$ м; $\alpha = 0^\circ$; $v_n = 1,6$ м/с; $k = 1,08$; $\eta = 0,85$; $q_n = 157$ Н/м; $q'_p = 250$ Н/м; $q''_p = 90$ Н/м; $q_{\Gamma\text{max}} = 712$ Н/м; $Q_{\text{max}} = 410$ т/ч; $S = 20$ кН; $l_p = 1$ м; $l_1 = l_2 = 0,456$ м; $R = 0,06$ м; $b = 0,456$ м; $h = 0,02$ м; $K = 3 \cdot 10^6$ Н/м².

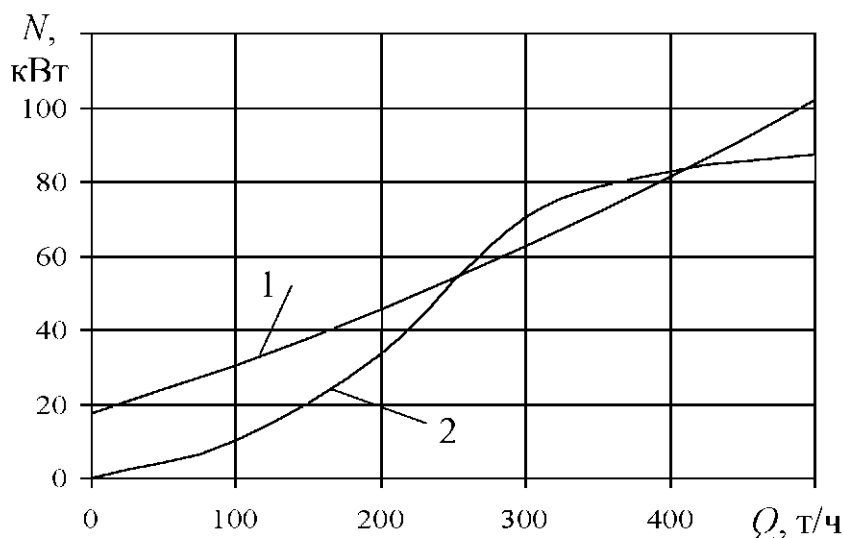


Рис. 1 – График зависимости мощности привода ленточного конвейера без регулирования (1) и с регулированием (2) скорости ленты при $\mu = 10^5$ Н·с/м² ($T \approx 0,01$ с)

Из графиков (рис. 1) видно, что при регулировании скорости ленты в случае уменьшения производительности конвейера в 2 раза потребляемая приводом мощность уменьшается примерно на 26 %

Таким образом, при транспортировании насыпных грузов ленточными конвейерами потери потребляемой приводом электроэнергии существенно зависят от производительности конвейера, погонной нагрузки, натяжения и скорости ленты, а также от времени ее релаксации. Регулирование скорости ленты конвейера в случае изменения производительности конвейера позволит снизить энергозатраты привода ленточного конвейера в среднем на 30 % за счет уменьшения механических сопротивлений в узлах «тары».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа / Н. Н. Моисеев. – М. : Наука. 1981. – 488 с.
2. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий / В. И. Галкин, В. Г. Дмитриев, В. П. Дьяченко [и др.] – М. : Изд-во МГГУ, 2005. – 543 с.
3. Гольберг А. Е. Перспективное направление развития эксплуатационных возможностей ленточных конвейеров / А. Е. Гольберг // Уголь Украины. – 1994. – №11. – С. 26 – 27.
4. Монастырский В. Ф. Разработка методов и средств управления надежностью горных машин / В. Ф. Монастырский // Наука и образование. – Якутск: из-во СО РАН. – 2001. – №3. – С. 144 – 151.
5. Монастырский В. Ф. Оптимизации энергосмкости транспортирования насыпных грузов ленточными конвейерами / В. Ф. Монастырский, С. В. Монастырский, Р. В. Кирия // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М. : МГГУ. – 2008. – №11. – С. 304 – 309.
6. Кирия Р. В. Об определении коэффициента сопротивления движению ленты конвейера по роликоопорам / Р. В. Кирия, Т. Ф. Мищенко, Р. Г. Павленко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск. – 2003. – Вып. № 47. – С. 98 – 107.
7. Снижение энергозатрат при транспортировании насыпных грузов с помощью управления скоростью ленты конвейера / В. Ф. Монастырский, В. Ю. Максютенко, Р. В. Кирия, И. А. Бужинский // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ. – 2007. – №10. – С. 35 – 37.
8. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – М. : Мир. 1989. – 510 с.