

УДК 622.647.2

DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2019.144.169>

## ОЦЕНКА ЭНЕРГОЗАТРАТ СИСТЕМЫ КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ СКОРОСТИ ЛЕНТЫ КОНВЕЙЕРОВ

<sup>1</sup>Кирия Р.В., <sup>2</sup>Шурин Л.Н.

<sup>1</sup>Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, <sup>2</sup>Национальный технический университет «Днепровская политехника»

## ОЦІНКА ЕНЕРГОВИТРАТ СИСТЕМИ КОНВЕЄРНОГО ТРАНСПОРТУ ПРИ РЕГУЛЮВАННІ ШВИДКОСТІ СТРІЧКИ КОНВЕЄРІВ

<sup>1</sup>Кірія Р.В., <sup>2</sup>Шурін Л.Н.

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, <sup>2</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

## EVALUATION OF ENERGY CONSUMPTION OF CONVEYING TRANSPORT WHILE SPEED REGULATION OF CONVEYOR BELT

<sup>1</sup>Kiriia R.V., <sup>2</sup>Shyrin L.N.

<sup>1</sup>Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine, <sup>2</sup>National Technical University "Dnipro Polytechnic"

**Аннотация.** В статье рассмотрен актуальный вопрос снижения энергозатрат системы конвейерного транспорта горных предприятий. Определены потери энергии ленточным конвейером при транспортировании насыпных грузов. Дан сравнительный анализ потерь энергии в случаях регулирования и нерегулирования скорости ленты конвейера. Получена зависимость мощности привода ленточного конвейера от величины грузопотока, поступающего на конвейер, в случаях нерегулируемой и регулируемой скоростей ленты конвейера. При этом установлено, что с уменьшением величины грузопотока, поступающего на конвейер, при постоянной скорости ленты мощность привода конвейера, расходуемая на перемещение груза, уменьшается, а мощность привода конвейера, расходуемая на перемещение ленты и вращение роликов, не изменяется. А в случае регулируемой скорости ленты конвейера мощность привода конвейера, расходуемая на перемещение груза, а также мощность привода, расходуемая на перемещение ленты и вращение роликов, одновременно уменьшаются. Кроме того, установлено, что при регулировании скорости ленты конвейера в случае снижения величины поступающего грузопотока на конвейер в два раза потери электроэнергии на транспортирование груза уменьшаются на 30 % по сравнению с нерегулируемой скоростью ленты. Определен критерий энергетической эффективности системы конвейерного транспорта, совпадающий с удельной энергоёмкостью, равной отношению средней энергоёмкости транспортирования груза к средней пропускной способности системы транспорта. Для определения критерия энергетической эффективности системы конвейерного транспорта без бункеров и с бункерами был применён метод динамики средних для марковских процессов, позволяющий по заданным параметрам конвейера, объёмам бункеров аналитически, с помощью рекуррентных соотношений, определить среднюю пропускную способность и среднюю энергоёмкость транспортирования системы конвейерного транспорта. При этом установлено, что для систем конвейерного транспорта «конвейер – бункер – конвейер» с учётом простоя конвейерного оборудования при регулировании скорости конвейера потери энергии уменьшаются на 23 %. Результаты исследований могут быть использованы при создании системы компьютерного управления работой энергоэффективных систем конвейерного транспорта.

**Ключевые слова:** ленточный конвейер, регулируемый и нерегулируемый привод, энергозатраты, удельная энергоёмкость

В связи с удорожанием электроэнергии на горных предприятиях возникла проблема снижения энергозатрат при транспортировании насыпных грузов ленточными конвейерами. Основной причиной увеличения непроизводительных энергозатрат при транспортировании груза системой конвейерного транспорта является недогруженность конвейера, связанная с неравномерностью грузопотоков, поступающих в систему транспорта, а также с простоями конвейерного оборудования по аварийным, технологическим и организационным причинам. При этом конвейеры в системе конвейерного транспорта длительное время работают с нагрузкой, намного меньшей номинальной, или без нагрузки вовсе.

Одним из методов снижения энергозатрат при изменении величины поступающего в систему транспорта грузопотока является регулирование скорости ленты конвейеров [1, 2].

В настоящее время регулирование скорости ленты конвейера осуществляется с помощью частотно-управляемого привода. При этом методе в случае увеличения величины грузопотока, поступающего на конвейер, скорость ленты конвейера увеличивается, а с уменьшением величины грузопотока скорость ленты уменьшается.

Вопросам снижения энергозатрат системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт посвящены работы [1-6].

В этих работах дано сравнение энергоэффективности конвейера с регулируемой и не регулируемой скоростью ленты. При этом за критерий энергоэффективности в этих работах принимаются различные величины. Кроме того, в этих работах недостаточно раскрыта физика потерь электроэнергии при транспортировании сыпучего груза по ставу ленточного конвейера.

В данной работе приведён анализ потерь электроэнергии при транспортировании сыпучего груза по ленточному конвейеру, а также системы «конвейер – бункер – конвейер» и на основании этого дано обоснование эффективности применения ленточного конвейера с регулируемой скоростью ленты. Кроме того, определены параметры оптимального управления скоростью ленты конвейера.

Определим сначала, насколько необходимо уменьшить скорость ленты сборного конвейера при уменьшении грузопотока, поступающего на него, чтобы существенно снизить энергозатраты на транспортирование груза.

Мощность привода ленточного конвейера  $N$  (кВт), идущая на транспортирование груза, согласно [7] определяется по формуле:

$$N = \frac{W \cdot v_l}{1000\eta}, \quad (1)$$

где  $W$  – усилие на приводном барабане конвейера, Н;  $v_l$  – скорость ленты конвейера, м/с;  $\eta$  – коэффициент полезного действия привода.

Усилие на приводном барабане состоит из составляющих сил веса груза и ленты, сил сопротивления движению груза и ленты по роликоопорам конвейера, а также местных сопротивлений при вращении барабанов и в перегрузочных узлах. Согласно [7] это усилие определяется по формуле:

$$W = k_1 (q_G + q'_p + q''_p + 2q_l) \cdot L \omega' \cos \alpha + q_G L \sin \alpha, \quad (2)$$

где  $q_G, q_l$  – погонный вес груза и ленты конвейера соответственно, Н/м;  $q'_p, q''_p$  – погонные веса вращающихся частей роликоопор верхних и нижних ветвей ленты конвейера, Н/м;  $L$  – длина конвейера, м;  $\alpha$  – угол наклона конвейера, град;  $\omega'$  – коэффициент сопротивления движению ленты с грузом по роликоопорам ленточного конвейера;  $k_1$  – коэффициент, учитывающий местные сопротивления движению ленты конвейера.

Подставляя (2) в (1), после преобразования получим

$$N = \frac{L}{1000\eta} \left[ v_l q_G (k_1 \omega' \cos \alpha + \sin \alpha) + k_1 v_l (q'_p + q''_p + 2q_l) \omega' \cos \alpha \right]. \quad (3)$$

Согласно [6] погонный вес груза на ленте конвейера

$$q_{\Gamma} = \frac{Qg}{3,6v_{\Gamma}}, \quad (4)$$

где  $Q$  – текущая производительность конвейера, т.е. величина грузопотока, поступающего на конвейер, т/ч;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>.

С учетом (4) выражение (3) имеет вид:

$$N = \frac{Lg}{1000\eta} \left[ \frac{Q}{3,6} (k_1 \omega' \cos \alpha + \sin \alpha) + k_1 v_{\Gamma} (q'_p + q''_p + 2q_{\Gamma}) \omega' \cos \alpha \right] \quad (5)$$

или

$$N = AQ + Bv_{\Gamma}, \quad (6)$$

где  $A = \frac{Lg}{3600\eta} (k_1 \omega' \cos \alpha + \sin \alpha)$ ;  $B = \frac{Lg}{1000\eta} k_1 (q'_p + q''_p + 2q_{\Gamma}) \omega' \cos \alpha$ .

При этом номинальная мощность привода конвейера определяется по формуле:

$$N_n = AQ_n + Bv_{\Gamma},$$

где  $Q_n$  – номинальная (техническая) производительность конвейера, т/ч.

Значение  $Q_n$  согласно (5.4) находим по формуле:

$$Q_n = 0,36q_{\Gamma \max} v_{\Gamma}.$$

Первое слагаемое в формуле (6) определяет мощность привода ленточного конвейера, необходимую на преодоление сил сопротивления движению груза по роlikоопорам и сил тяжести при перемещении груза ленточным конвейером. Второе слагаемое определяет мощность привода ленточного конвейера, необходимую на преодоление сил сопротивления движению ленты по роlikоопорам конвейера и на силы сопротивления вращающихся частей роликoв.

Из (6) следует, что с уменьшением значения грузопотока  $Q$ , поступающего на конвейер, при условии постоянства скорости ленты  $v_{\Gamma}$  мощность привода конвейера, расходуемая на перемещение груза, уменьшается, а мощность привода конвейера, расходуемая на перемещение ленты и вращение роликoв, не изменяется.

С уменьшением скорости ленты  $v_{\Gamma}$  при постоянном значении грузопотока  $Q$  согласно (4) погонная нагрузка  $q_{\Gamma}$  конвейера увеличивается и достигает максимальное значение  $q_{\Gamma \max}$  при скорости ленты конвейера, равной  $v_{\min} \leq v_{\Gamma}$ . При этом  $q_{\Gamma \max}$  определяется по формуле:

$$q_{\Gamma \max} = \frac{Qg}{3,6v_{\min}}. \quad (7)$$

Из последнего равенства имеем

$$v_{\min} = \frac{Qg}{3,6q_{\Gamma \max}}. \quad (8)$$

Максимальная погонная нагрузка конвейера  $q_{\Gamma \max}$  согласно [7] определяется максимальной площадью поперечного сечения груза на ленте и зависит от ширины ленты конвейера, угла наклона роlikоопор и является для данного конвейера постоянной величиной.

Подставляя (8) в (6), получим

$$N = AQ + B \frac{Qg}{3,6q_{\Gamma\max}}. \quad (9)$$

Из (9) следует, что при изменении величины грузопотока  $Q$ , поступающего на конвейер, потери мощности привода конвейера на перемещение ленты и вращение роликов минимальны, если скорость ленты принимает минимальное значение  $v_{\min}$ , при котором погонная нагрузка принимает максимальное значение  $q_{\Gamma} = q_{\Gamma\max}$ .

Таким образом, оптимальным управлением скоростью ленты конвейера с точки зрения энергозатрат будет такое управление, при котором скорость ленты будет минимальной, а погонная нагрузка на конвейере будет поддерживаться максимальной:

$$q_{\Gamma} = q_{\Gamma\max} = \text{const}. \quad (10)$$

При этом согласно выражению (2) усилие на приводе принимает постоянное максимальное значение

$$W_m = k_1 (q_{\Gamma\max} + q'_p + q''_p + 2q_l) \cdot L\omega' \cos \alpha + q_{\Gamma\max} L \sin \alpha. \quad (11)$$

Управление скоростью ленты конвейера можно осуществить с помощью асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором при пропорциональном изменении величин частоты и напряжения на электродвигателе. При этом обеспечивается постоянный максимальный момент на электродвигателе [2].

Теперь определим удельную энергоёмкость транспортирования конвейера при нерегулируемой и регулируемой скоростях ленты конвейера согласно [5]:

$$e = \frac{N}{Q}, \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}. \quad (12)$$

Из (12), учитывая (6), получим удельную электроёмкость при нерегулируемой скорости ленты:

$$e = A + \frac{Bv_l}{Q}. \quad (13)$$

Аналогично, подставляя (9) в (12), находим удельную электроёмкость при регулируемой скорости ленты конвейера в виде:

$$e = A + \frac{Bg}{3,6q_{\Gamma\max}}. \quad (14)$$

Из формул (13) и (14) следует, что удельная энергоёмкость ленточного конвейера при нерегулируемой скорости ленты с увеличением величины грузопотока  $Q$ , поступающего на конвейер, уменьшается и асимптотически при  $Q \rightarrow \infty$  приближается к постоянному значению, а при регулируемой скорости ленты удельная энергоёмкость конвейера принимает постоянное значение независимо от  $Q$ .

На рисунках 1 и 2 показаны зависимости мощности привода конвейера  $N$  от величины грузопотока  $Q$ , поступающего на конвейер, для горизонтального ( $\alpha = 0^\circ$ ) и наклонного ( $\alpha = 5^\circ$ ) конвейеров соответственно в случае постоянства

скорости ленты конвейера, построенной согласно формуле (6) (прямая 1), и в случае изменения скорости ленты, соответствующей максимальной погонной нагрузке, построенной согласно формуле (9) (прямая 2). При этом исходные данные принимали значения:  $L = 1000$  м;  $\alpha = 0^\circ$ ;  $\alpha = 5^\circ$ ;  $v_l = 1,6$  м/с;  $k_1 = 1,08$ ;  $\eta = 0,85$ ;  $\omega' = 0,03$ ;  $q'_p = 245$  Н/м;  $q''_p = 88,3$  Н/м;  $q_l = 157$  Н/м;  $q_{\Gamma_{\max}} = 698,5$  Н/м;  $Q_n = 410$  т/ч (номинальная производительность конвейера).

Из графиков видно, что при холостом ходу мощность привода горизонтального ленточного конвейера составляет около 40 % от мощности привода при номинальной нагрузке конвейера (см. рис. 1).

Кроме того, для горизонтального конвейера ( $\alpha = 0^\circ$ ) мощность привода, идущая на перемещение груза и ленты, в случае неизменной скорости ленты (прямая 1) больше мощности привода, идущей на перемещение груза и ленты в случае регулирования скорости ленты конвейера при  $q_{\Gamma} = q_{\Gamma_{\max}}$ .

Для наклонного конвейера ( $\alpha = 5^\circ$ ) (см. рис. 2) разница между прямыми 1 и 2 небольшая. Поэтому для наклонных конвейеров мощность привода конвейера, расходуемая на перемещение груза, в случае регулирования скорости ленты существенно не отличается от случая нерегулируемой скорости ленты. Это связано с тем, что для наклонных конвейеров мощность привода конвейера идёт в основном на подъем груза, а в то же время мощность привода конвейера, идущая на сопротивление движению ленты и груза и потери в приводе конвейера, незначительна.

Если регулирование скорости ленты для горизонтального и наклонного конвейеров осуществляется с помощью асинхронного электродвигателя с частотным управлением, то индукционные потери в электродвигателях, связанные с отклонением нагрузки от номинальной, существенно снижаются [2].

Как показали расчёты, в случае уменьшения в два раза величины грузопотока, поступающего на конвейер, потери электроэнергии

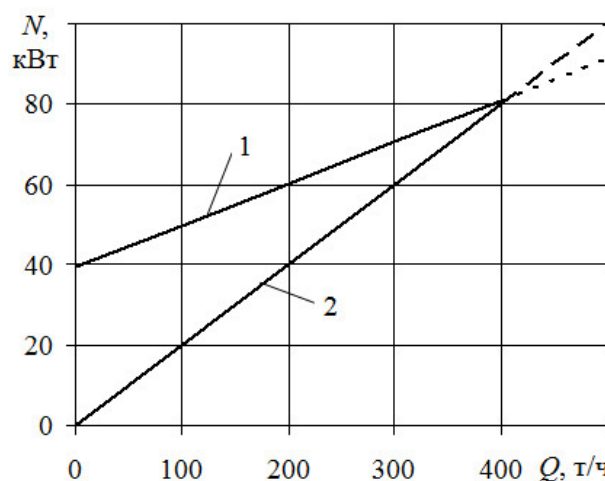


Рисунок 1 – Графики зависимости мощности привода ленточного конвейера без регулирования и с регулированием скорости ленты при  $\alpha = 0^\circ$

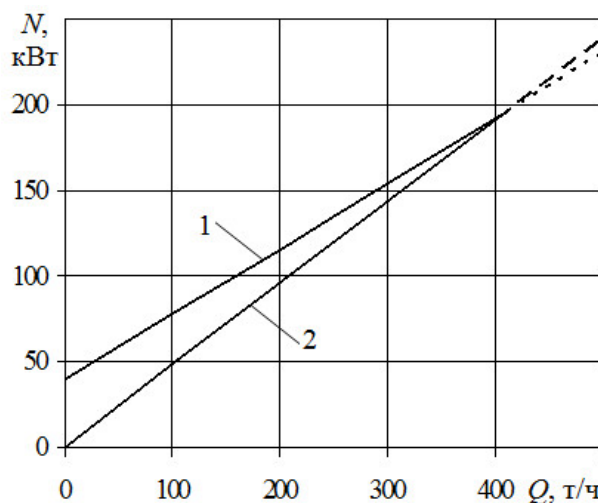


Рисунок 2 – Графики зависимости мощности привода ленточного конвейера без регулирования и с регулированием скорости ленты при  $\alpha = 5^\circ$

при частотном регулировании скорости ленты конвейера снижаются на 30 % по сравнению с нерегулируемой скоростью ленты конвейера.

На рис. 3 показаны графики зависимости удельной энергоёмкости ленточного конвейера при нерегулируемой (кривая 1) и регулируемой (кривая 2) скоростях ленты конвейера от грузопотока  $Q$ . При этом исходные данные принимали те же значения, что и для графиков на рис. 2.

Из графиков (см. рис. 3) видно, что при нерегулируемой скорости ленты конвейера удельная энергоёмкость конвейера с увеличением грузопотока  $Q$ , поступающего на конвейер, уменьшается по гиперболическому закону и изменяется от бесконечности при  $Q = 0$  до постоянного значения  $e = A$  при  $Q \rightarrow \infty$ . При регулируемой скорости ленты удельная энергоёмкость ленточного конвейера принимает постоянное значение  $e = A + Bg/3,6q_{Г\max}$  и не зависит от производительности конвейера  $Q$ .

Следовательно, регулирование скорости ленты конвейера с помощью асинхронного электродвигателя с частотным управлением при условии постоянной максимальной погонной нагрузки  $q_{Г} = q_{Г\max} = \text{const}$  для горизонтального конвейера существенно уменьшает потери мощности привода при движении груза и ленты конвейера, а для наклонного конвейера существенно уменьшает индукционные потери электродвигателей при высоком коэффициенте мощности  $\cos\varphi$ .

Для системы конвейерного транспорта со сложной разветвлённой структурой и с большим количеством конвейеров и бункеров за критерий энергетической эффективности принимается средняя удельная энергоёмкость  $E$  (кВт·ч/т), равная отношению средней пропускной способности к средней энергоёмкости транспортирования системы транспорта, которая согласно [8, 9] определяется по формуле:

$$E = \frac{w_c}{60m_c},$$

где  $w_c$  – средняя энергоёмкость транспортирования системы конвейерного транспорта, кВт;  $m_c$  – средняя пропускная способность системы конвейерного транспорта, т/мин.

На рис. 4 показаны графики зависимости удельной энергоёмкости транспортирования  $E$  системы «конвейер – бункер – конвейер» от средней величины грузопотока  $m_Q$ , поступающего на надбункерный конвейер, в случае неуправляемого бункера при постоянной скорости ленты надбункерного конвейера (кривая 1) и при регулировании скорости ленты надбункерного конвейера при различных

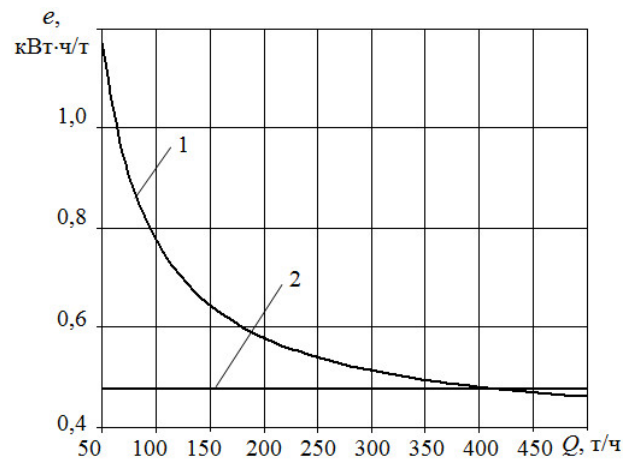


Рисунок 3 – Графики зависимости удельной энергоёмкости ленточного конвейера от его производительности

номинальных производительностях надбункерного конвейера  $Q_{m1}$ , равных соответственно  $Q_{m1} = 5; 6; 7$  т/мин (кривые 2, 3, 4).

Кроме того, в случае регулирования скорости ленты надбункерного конвейера его погонная нагрузка  $q_{Г1}$  (Н/м) принимала максимальное значение и согласно (7) определялась по формуле

$$q_{Г1} = q_{Г1\max} = \frac{60Q_{m1}g}{3,6v_{лm1}},$$

где  $v_{лm1}$  – максимальная допустимая скорость ленты надбункерного конвейера, м/с.

При этом скорость ленты надбункерного конвейера в зависимости от грузопотока  $m_Q$ , поступающего на него, равна

$$v_{л1} = \frac{m_Q}{Q_{m1}} v_{лm1}.$$

Графики на рис. 4 построены при следующих исходных данных: интенсивности простоев и восстановлений надбункерного конвейера равны  $\lambda_1 = 0,025 \text{ мин}^{-1}$ ;  $\mu_1 = 0,0614 \text{ мин}^{-1}$ , а подбункерного –  $\lambda_2 = 0,017 \text{ мин}^{-1}$ ;  $\mu_2 = 0,069 \text{ мин}^{-1}$ , объём бункера  $V = 100 \text{ м}^3$ , скорость питателя  $Q_n = 6 \text{ т/мин}$ ; параметры надбункерного и подбункерного конвейеров равны  $L_1 = L_2 = 300 \text{ м}$ ;  $\alpha_1 = \alpha_2 = 2^\circ$ ;  $q_{Г1\max} = q_{Г2\max} = 712 \text{ Н/м}$ ;  $q'_{p1} = q'_{p2} = 250 \text{ Н/м}$ ;  $q''_{p1} = q''_{p2} = 90 \text{ Н/м}$ ;  $q_{л1} = q_{л2} = 160 \text{ Н/м}$ ;  $\omega'_1 = \omega'_2 = 0,03$ ;  $k_1 = k_2 = 1,3$ ;  $\eta_1 = \eta_2 = 0,85$ . При этом номинальные скорости надбункерного и подбункерного конвейеров  $v_{лm1} = v_{лm2} = 1,6 \text{ м/с}$ .

Из рис. 4 видно, что при  $m_Q < 6,8 \text{ т/мин}$  удельная энергоёмкость системы «конвейер – бункер – конвейер»  $E$  в случае регулируемой скорости ленты меньше на 23 %, чем в случае нерегулируемой скорости конвейера. Если величина грузопотока, поступающего на надбункерный конвейер,  $m_Q \geq 6,8 \text{ т/мин}$ , то удельная энергоёмкость системы «конвейер – бункер – конвейер»  $E$  при нерегулируемой и регулируемой скорости ленты надбункерного конвейера принимает постоянное значение независимо от грузопотока  $m_Q$ , поступающего на надбункерный конвейер, и не зависит от номинального значения производительности надбункерного конвейера  $Q_{m1}$ .

## Выводы

1. При регулировании скорости ленты конвейера при постоянной максимальной погонной нагрузке на ленте в случае уменьшения в два раза величины грузопотока, поступающего на конвейер, потери электроэнергии при регулировании скорости ленты конвейера уменьшаются на 30 % по сравнению с потерями

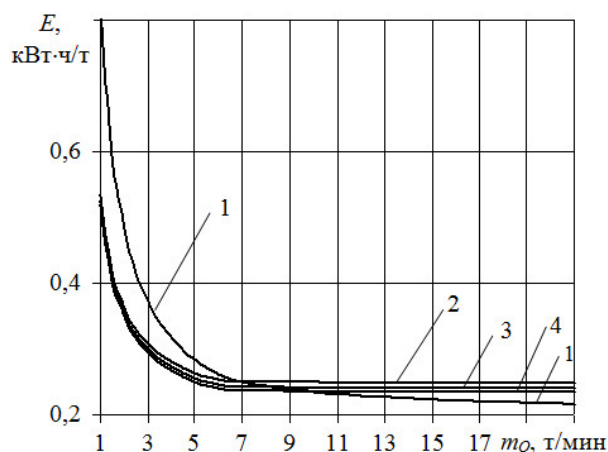


Рисунок 4 – Графики зависимости удельной энергоёмкости  $E$  системы «конвейер – бункер – конвейер» от средней величины грузопотока  $m_Q$

при нерегулируемой скорости ленты. В случае регулирования скорости ленты конвейера удельная энергоёмкость ленточного конвейера принимает постоянное минимальное значение, не зависящее от величины грузопотока, поступающего на конвейер.

2. При регулировании скорости ленты надбункерного конвейера системы «конвейер – бункер – конвейер» средняя и удельная энергоёмкости этой системы снижаются в среднем на 23 %, чем при постоянной скорости ленты надбункерного конвейера.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабокин Г.И. Энергосбережение в электроприводе конвейера. *Изв. ВУЗов. Горный журнал*. 2002. №1. С. 122-125.
2. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод / под ред. И.Я. Браславского. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 256 с.
3. Лаухофф Х. Действительно ли регулирование скорости ленточных конвейеров способствует экономии энергии? *Глюкауф*. 2006. №1. С. 9-16.
4. Кучерявенко В.Ф., Семченко А.А. Регулируемый конвейер – основа повышения эффективности транспортирования горной массы. *Глюкауф*. 2008. №1. С. 58-63.
5. Козарь А.В. Повышение энергетической эффективности ленточных конвейеров угольных шахт. *Форум гірників – 2011: матеріали міжнарод. конф. (Дніпропетровськ, 12-15 жовтня 2011 р.)*. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2011. С. 182-186.
6. Тарасов В.И. Оценка совершенства ленточного конвейера по энергетическому показателю. *Розробка родовищ*. Дніпропетровськ: Літограф, 2015. С. 155-161.
7. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров. М.: Машиностроение, 1987. 336 с.
8. Кирия Р.В. Определение критерия эффективности функционирования систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт. *Наукові вісті. Сучасні проблеми металургії*. Днепропетровск, 2013. №16. С. 13-21.
9. Кирия Р.В., Мищенко Т.Ф. Определение пропускной способности и энергоёмкости транспортирования горной массы конвейерным транспортом угольных шахт. *Збірник наукових праць НГУ*. Дніпропетровськ: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2015. №46. С. 96-104.

#### REFERENCES

1. Babokin, G.I. (2002), "Energy saving in the electric drive of the conveyor", *Mining Journal*, no. 1, pp. 122-125.
2. Braslavsky, I.Ya., Ishmatov, Z.Sh. and Polyakov, V.N. (2004), *Energoberegayushchiy asinkhronnyy elektropriwod* [Energy saving asynchronous electric drive], in Braslavsky I.Ya. (ed.), *Isdatelskiy tsentr "Akademiya"*, Moscow, Russia.
3. Lauhoff, H. (2006), "Do regulating the speed of belt conveyors really help save energy?", *Glukauf*, no. 1, pp. 9-16.
4. Kucheryavenko, V.F. and Semchenko, A.A. (2008), "The regulated conveyor is the basis for increasing the efficiency of transportation of the rock mass", *Glukauf*, no. 1, pp. 58-63.
5. Kozar, A.V. (2011), "Increasing the energy efficiency of belt conveyors of coal mines", *Proc. of the International scientific conference "Forum of Mining Engineers"*, National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine, pp. 182-186.
6. Tarasov, V.I. (2015), "Evaluation of belt conveyor perfection by an energy indicator", *Rozrobka rodovishch*, pp. 155-161.
7. Shachmeister, L.G. and Dmitriev, V.G. (1987), *Teoriya i raschet lentochnykh konveyerov* [Theory and calculation of belt conveyors], Mashinostroenie, Moscow, USSR.
8. Kiriya, R.V. (2013), "Definition of the criterion of the efficiency of functioning of the systems of underground conveyor transport of coal mines", *Naukovi visti. Suchasni problemy metalurgii*, no. 16, pp. 13-21.
9. Kiriya, R.V. and Mishchenko, T.F. (2015), "Definition of the carrying capacity and energy intensity of transportation of the rock mass by conveyor transport of coal mines", *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnogo girnychogo universytetu*, no. 46, pp. 96-104.

#### Об авторах

**Кирия Руслан Виссарионович**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела Геомеханических основ технологии открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, [kiriya\\_igtm@ukr.net](mailto:kiriya_igtm@ukr.net).

**Ширин Леонид Никифорович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой транспортных систем и технологий, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», Днепр, Украина, [leonid.nmu@gmail.com](mailto:leonid.nmu@gmail.com)

#### About the authors

**Kiriya Ruslan Vissarionovich**, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, [kiriya\\_igtm@ukr.net](mailto:kiriya_igtm@ukr.net).

**Shyrin Leonid Nikiforovich**, Doctor of Technical Science (D.Sc.), Professor, Head of the Department of Transport Systems and Technologies, National Technical University "Dnipro Polytechnic", Dnipro, Ukraine, [leonid.nmu@gmail.com](mailto:leonid.nmu@gmail.com)



**Анотація.** В статті розглянуто актуальне питання зниження енерговитрат системи конвеєрного транспорту гірничих підприємств. Визначено втрати енергії стрічковим конвеєром при транспортуванні насипних вантажів. Дано порівняльний аналіз втрат енергії у випадках регулювання і нерегулювання швидкості стрічки конвеєра. Отримана залежність потужності приводу стрічкового конвеєра від величини вантажопотоку, що поступає на конвеєр, у випадках нерегульованої і регульованої швидкостей стрічки конвеєра. При цьому встановлено, що із зменшенням величини вантажопотоку, що поступає на конвеєр, при постійній швидкості стрічки потужність приводу конвеєра, що витрачається на переміщення вантажу, зменшується, а потужність приводу конвеєра, що витрачається на переміщення стрічки і обертання роликів, не змінюється. А у разі регульованої швидкості стрічки конвеєра потужність приводу конвеєра, що витрачається на переміщення вантажу, а також потужність приводу, що витрачається на переміщення стрічки і обертання роликів, одночасно зменшуються. Крім того, встановлено, що при регулюванні швидкості стрічки конвеєра у разі зниження величини вантажопотоку, що поступає на конвеєр, в два рази втрати електроенергії на транспортування вантажу зменшуються на 30 % в порівнянні з нерегульованою швидкістю стрічки. Визначено критерій енергетичної ефективності системи конвеєрного транспорту, співпадаючий з питомою енергоємністю, що дорівнює відношенню середньої енергоємності транспортування вантажу до середньої пропускної здатності системи транспорту. Для визначення критерію енергетичної ефективності системи конвеєрного транспорту без бункерів і з бункерами був застосований метод динаміки середніх для марківських процесів, який дозволяє по заданих параметрах конвеєра, об'ємах бункерів визначити аналітично за допомогою рекурентних співвідношень середню пропускну здатність і середню енергоємність транспортування системи конвеєрного транспорту. При цьому встановлено, що для систем конвеєрного транспорту «конвеєр – бункер – конвеєр» з урахуванням простою конвеєрного обладнання при регулюванні швидкості конвеєра втрати енергії зменшуються на 23 %. Результати досліджень можуть бути використані при створенні системи комп'ютерного управління роботою енергоефективних систем конвеєрного транспорту.

**Ключові слова:** стрічковий конвеєр, регульований і нерегульований привід, енерговитрати, питома енергоємність

**Abstract.** The article deals with the actual issue of reducing the energy consumption of the mining enterprises conveyor transport system. The energy loss by conveyor belt during transportation of bulk load is given. A comparative analysis of energy losses in the cases of regulation and non-regulation of the speed of the conveyor belt is given. Dependence of power of the belt conveyer drive from the size of the value of the load flow entering to the conveyor is obtained, in the cases of regulation and non-regulation of the speed of the conveyor belt. It is set thus, that with reduction of the value of the load flow entering to the conveyor, at permanent speed of belt the power of conveyer drive, expended on moving of load, are reduced, and the power of drive of conveyer, expended on moving of the belt and rotation of the rollers, does not change. And in the case of the regulation speed of the conveyer belt the power of the conveyer drive, expended on moving of the load, and also power of drive, expended on moving of the belt and rotation of rollers, decreasing simultaneously. It was found that when regulating the speed of conveyor belt in the case of reducing the value of the load flow entering to the conveyor by half the loss of electricity for the transportation of load is reduced by 30 % compared to the unregulated speed of the belt. The energy efficiency criterion of the conveyor transport system is determined, which coincides with the specific energy capacity equal to the ratio of the average energy capacity of the transportation of load to the transport system average carrying capacity. For determination of criterion of power efficiency of the conveyer transport system without bunkers and with bunkers the average dynamics methods for March processes was applied, allowing for the specified parameters of the conveyer and the bunkers volume to determine analytically using specified recurrent relations average carrying capacity and of the average energy capacity of the transportation of the conveyer transport system. It has been established that for conveyor transport systems conveyor–bunker–conveyor, taking into account the downtime of conveyor equipment while regulating the speed of conveyor, energy losses are reduced by 23 %. The research results can be used to create a computer control system for the operation of the energy efficient conveyor transport systems.

**Keywords:** belt conveyer, regulation and non-regulation drive, energy consumption, specific energy capacity

*Статья поступила в редакцию 05.02.2019*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.Г. Шевченко*