

ІНЖЕНЕРНА МЕХАНІКА MECHANICAL ENGINEERING

УДК 621.314.26:622.647.2

П.В. Белицкий

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА ПРИ ИНТЕНСИВНОМ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ

В статье разработана методика оценки эффективности, обоснована структура регулируемого привода ленточного конвейера для современной горной промышленности по критериям снижения энергопотребления и повышения ресурса тягового органа. Приведены оценки снижения энергопотребления на шахтном горизонтальном конвейере для реального грузопотока и повышения ресурса тягового органа по величине накопленной повреждаемости за счёт применения регулирования двухскоростными двигателями.

Ключевые слова: Относительная загруженность конвейера, коэффициент полезного действия конвейера, удельные затраты энергии, диаграмма напряжений в ленте, накопленная повреждаемость

Введение. Особенностью современной угледобычи на территории Украины является высокая себестоимость угля. Средняя себестоимость добычи 1 тонны угля в Донбассе составляет 2510 грн. при цене реализации угля 1704 грн./т. (данные на 2017 год). Одним из направлений снижения себестоимости угля является интенсификация угледобычи. Огромную роль в ней играет шахтный транспорт. Повышение эффективности ленточных конвейеров как составляющей транспорта является важной составляющей интенсификации добычи на шахтах. Около 20 % себестоимости добытого в Украине угля приходится на его транспортирование ленточными конвейерами. Повышение эффективности ленточных конвейеров в условиях интенсификации – актуальная научно-техническая задача [1; 2].

Проблема энергоэффективности регулирования скорости ленты конвейера находит своё отображение в работах Л.Г. Шахмейстера, В.Г. Дмитриева, Н.И. Стадника, В.Н. Ставицкого, В.М. Прокуды, М. Заклики, Х. Лаухоффа и др. Изучению нагрузок, действующих на ленту, посвящены работы Л.Г. Шахмейстера, В.Г. Дмитриева, В.С. Волотковского и др. Таким образом, к проблемам снижения энергопотребления на конвейерном транспорте и повышению ресурса ленточных конвейеров, как важнейших составляющих повышения их

эффективности, в условиях существующей последние 30-40 лет тенденции к повышению угледобычи, приковано внимание ведущих учёных и инженеров Украины, Российской Федерации, Польши, Германии. Однако в настоящее время отсутствует исчерпывающая информация о влиянии структуры привода и способа регулирования скорости на энергопотребление на транспортирование и ресурс ленты [2-5].

Целью работы является поиск и обоснование направлений повышения эффективности использования шахтных ленточных конвейеров с регулируемым приводом по критериям повышения надёжности машины и снижения расходов на транспортировку груза. Для достижения цели требуется решить следующие **задачи**: разработать методику обоснования рационального режима транспортирования груза ленточным конвейером; установить влияние способа регулирования скорости ленты на энергопотребление и ресурс конвейера, и обосновать рациональный способ регулирования; разработать рекомендации по повышению эффективности ленточного конвейера для интенсификации горного производства.

Изложение материала и результаты. Для решения первой задачи, - разработки методики обоснования рационального режима транспортирования, - были использованы результаты эксперимента, конечной целью которого была оценка

показателей работы конвейера с нерегулируемым приводом. Оценка производилась по результатам исследований грузопотока и мощности привода, проводимых институтом Донгипроуглемаш (Украина) для ленточного конвейера 2ЛУ120В восточной конвейерной магистрали шахты «Должанская-Капитальная» ООО ДТЭК «Свердлов-антрацит» (г. Свердловск, Украина). Длительность эксперимента – $T=17$ ч. Было установлено распределение грузопотока по логнормальному закону (математическое ожидание 134 кг/с, среднеквадратичное отклонение 66,4 кг/с) [6-8].

Известно, что критерием оценки энергетической эффективности транспортирования горной массы ленточным конвейером в различных режимах работы и грузопотоках, при различных способах регулирования скорости являются удельные энергозатраты на транспортирование 1 т горной массы на расстояние 1 км. Учитывая, что пусковые режимы работы конвейера не оказывают существенное влияние на величину общих энергозатрат (по результатам эксперимента 0,4 % от общей продолжительности функционирования), то разработанной методикой предусматривается определение средневзвешенных удельных энергозатрат на транспортирование в установившихся режимах его работы по зависимости:

$$E(T) = \frac{T}{L \cdot m_{\Sigma}} \sum_{i=0}^n \frac{M_{ci} \omega_i p_i}{\eta_i}, \text{ кВт} \cdot \text{ч} / (\text{т} \cdot \text{км}), \quad (1)$$

где T – длительность функционирования ленточного конвейера во время эксперимента, ч; L – длина транспортирования, км; m_{Σ} – суммарная масса груза, перемещённого за время T , т; n – количество интервалов гистограммы распределения загруженности ленты по результатам статистической обработки экспериментальных данных [7]; M_{ci} – момент сопротивления, соответствующий средней загруженности ленты на i -м участке гистограммы распределения, Н·м; ω_i – частота вращения приводных барабанов конвейера, соответствующая i -му участку гистограммы распределения загруженности ленты при отсутствии регулирования скорости

последней, обусловленная принятым алгоритмом регулирования скорости, с^{-1} ; p_i – вероятность попадания величины загруженности ленты в i -й интервал гистограммы (функции закона) распределения; η_i – коэффициент полезного действия конвейера.

Момент сопротивления на приводе M_{ci} определяется как

$$M_{ci} = \frac{D_{\delta}}{2} \sum_{i=1}^n W_i, \quad (2)$$

где D_{δ} – диаметр начальной окружности приводного барабана, с учётом толщины футеровки, м; W_i – сила сопротивления движению ленты, соответствующая средней загруженности ленты на i -м участке гистограммы её распределения, Н. Силы сопротивления движению ленты определялись согласно общепринятой методике расчёта ленточного конвейера. Таким образом, методикой оценки эффективности использования ленточного конвейера по критерию минимизации средневзвешенных удельных энергозатрат предусматривается их определение по данным длительного времени функционирования по зависимостям (1) и (2).

Для решения второй задачи строились зависимости момента сопротивления и коэффициента полезного действия от загруженности ленты, а также определялись средневзвешенные удельные энергозатраты на транспортирование по изложенной выше методике, с учётом зависимостей, для различных режимов работы конвейера – максимальный постоянный и переменный грузопоток с логнормальным законом распределения, согласно [7], и способов регулирования скорости ленты при постоянном действующем напряжении сети – частотное регулирование, использование двухскоростных приводных двигателей.

На рисунке 1 приведена зависимость момента сопротивления M_c и коэффициента полезного действия η ленточного конвейера с нерегулируемым приводом от загруженности ленты m при постоянном (максимальном) грузопотоке $Q=Q_{\max}=\text{const}$, генерируемом выемочными машинами, работающими по соответствующей технологии с оптимальным алгоритмом

управления, а также промежуточными емкостями транспортной цепочки. Коэффициент полезного действия конвейера является произведением частных коэффициентов полезного действия: механической части $\eta_{мех}$, электрической части $\eta_{эл}$ и относительного загрузки $(M_c - M_{c0})M_c^{-1}$ где M_{c0} – момент сопротивления холостого хода конвейера. При работе конвейера момент, развиваемый приводными двигателями, изменяется в диапазоне от M_0 (момента холостого хода конвейера) до M_H (номинального момента двигателя) на участке устойчивой работы $0 \dots M_{кр}$ электрохимической характеристики двигателя $M_{об}(m)$, где $M_{кр}$ – критический момент электродвигателя. Изменение скорости вращения ротора электродвигателя $\Delta\omega$ осуществляется в пределах, обусловленных его электрохимической характеристикой.

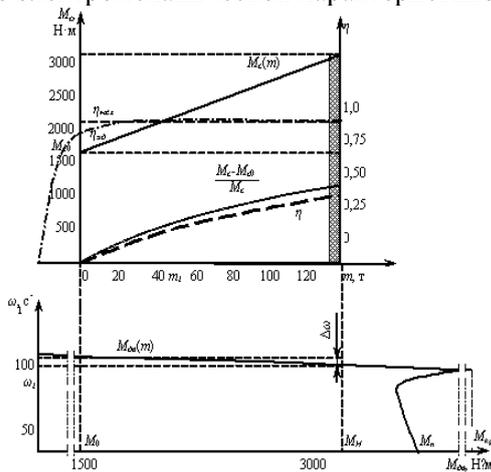


Рис. 1. Зависимость момента сопротивления M_c и коэффициента полезного действия η от загрузки ленты m при отсутствии регулирования скорости и постоянном грузопотоке

Из анализа приведенных зависимостей следует, что конвейер при постоянном максимальном грузопотоке работает с высоким коэффициентом полезного действия и низкими средневзвешенными удельными энергозатратами, определяемыми по зависимости:

$$E(T) = \frac{M_{c,max} \omega}{\eta_{max} Q_{max} L}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{т} \cdot \text{км}). \quad (3)$$

На рисунке 2 приведена зависимость коэффициента полезного действия η ленточного конвейера с нерегулируемым приводом и момента сопротивления на

приводе M_c от загрузки ленты m при переменном грузопотоке $Q = \text{var}$. Поскольку конвейер работает в широком диапазоне загрузки, - от 0 (холостой ход) до m_{max} , то диапазон изменения коэффициента полезного действия технической системы колеблется от 0 до η_{max} . Диапазон изменения загрузки ленты разбивается на n участков, каждому из которых соответствует свое среднее значение загрузки m_i , момента сопротивления на приводе M_{ci} , коэффициента полезного действия η_i , а также вероятности p_i попадания загрузки m_i в интервал $\Delta m \in (m_i - 0,5\Delta m \dots m_i + 0,5\Delta m)$. Поскольку диапазон изменения частоты вращения ротора двигателя на участке устойчивой работы характеристики двигателя $M_{об}(m)$ невелик, принимается условно $\omega \approx \text{const} = \omega_H$. Значение момента сопротивления M_{ci} находятся в диапазоне $\Delta M_c \in (M_{ci} - 0,5\Delta M_c \dots M_{ci} + 0,5\Delta M_c)$.

Из анализа зависимостей рисунка 2 следует, что конвейер с нерегулируемым приводом при переменном законе с логнормальным распределением работает преимущественно в области низких значений грузопотока, загрузки ленты, коэффициентов полезного действия, и следовательно – более

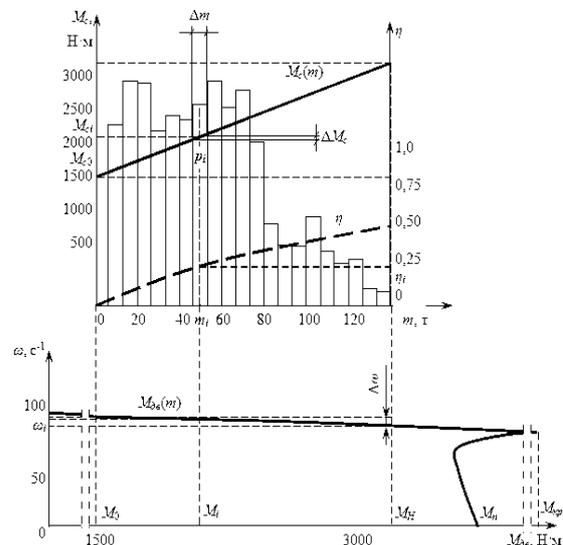


Рис. 2. Зависимость момента сопротивления M_c и коэффициента полезного действия η от загрузки ленты m при переменном грузопотоке и отсутствии регулирования скорости

высоких, нежели в предыдущем случае, средних удельных энергозатрат на транспортирование, которые будут

определяться суммой слагаемых, пропорциональных моменту сопротивления:

$$E(T) = \frac{T\omega_H}{L \cdot m_{\Sigma}} \sum_{i=0}^n \frac{M_{ci} p_i}{\eta_i}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{т} \cdot \text{км}) \quad (4)$$

На рисунке 3 приведена зависимость коэффициента полезного действия конвейера η от скорости вращения ротора двигателя ω при её частотном регулировании. В свою очередь, частота вращения ротора двигателя определяется текущим значением грузопотока Q на конвейере, изменяется пропорционально последнему, в результате чего на большой глубине регулирования $K = \omega_H / \omega = 2,5 \dots 6$ поддерживается постоянная загруженность ленты m , близкая к максимальной m_{\max} . Изменение частоты вращения осуществляется путём деформирования естественной характеристики приводного электродвигателя частотным преобразователем.

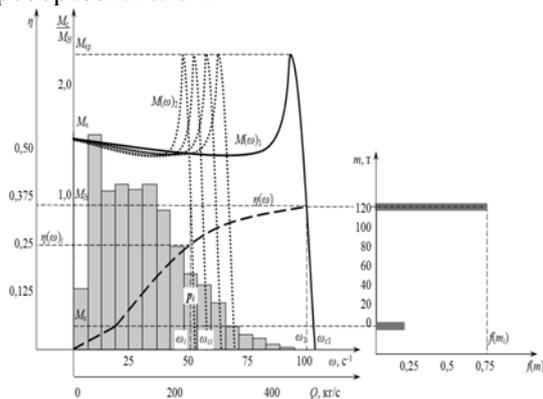


Рис. 3. Зависимость коэффициента полезного действия η от грузопотока Q и глубины регулирования $\omega_1\omega^{-1}$ при частотном регулировании скорости ленты

Общий коэффициент полезного действия η конвейера с частотно регулируемым приводом зависит от частного коэффициента полезного действия электрической системы «частотный преобразователь – двигатель» [9], который существенно снижается на высокой глубине регулирования.

Если диапазон изменения грузопотока разбить на n интервалов шириной ΔQ , а p_i – вероятность попадания значения грузопотока Q_i в интервал $\Delta Q \in (Q_i - 0,5 \cdot \Delta Q, Q_i + 0,5 \cdot \Delta Q)$, то средневзвешенные удельные

энергозатраты при частотном регулировании определяются:

$$E(T) = \frac{T\omega_H M_c}{L \cdot m_{\Sigma}} \sum_{i=1}^n \frac{p_i}{K_i \eta_i}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{т} \cdot \text{км}), \quad (5)$$

где ω_H – номинальная скорость, с^{-1} ; K_i – глубина регулирования на i -м участке гистограммы распределения грузопотока.

Из рисунка 3 следует: поскольку при логнормальном законе распределения грузопотока на конвейер поступает преимущественно малый грузопоток, то электрический $\eta_{эл}$, а с ним – и общий η коэффициенты полезного действия также будут преимущественно низкими. Значение средневзвешенных удельных энергозатрат на транспортирование, определяемых по зависимости (5), при логнормальном распределении грузопотока, установленном экспериментом [7], напротив, будет сравнительно высоким.

На рисунке 4 приведена зависимость момента сопротивления M_c и коэффициента полезного действия конвейера η с приводом, оснащённым двухскоростными двигателями с соотношением низкой и высокой скоростей 1:2, от исходной загруженности ленты m . Изменение скорости вращения роторов двигателей может производиться изменением количества пар полюсов обмоток статора и/или переключением схемы их соединения со «звезды» на «треугольник». В результате, электромеханическая характеристика приводного двигателя представлена двумя зависимостями частоты вращения от развиваемого момента: на низкой $M_{0e}(m)_n$ и на высокой $M_{0e}(m)_e$ скоростях. Таким образом, на низкой скорости имеем диапазон изменения скорости вращения ротора $\Delta\omega_n$, момента двигателя – $[M_0 \dots M_{Hn}]$, где M_{Hn} – момент двигателя, соответствующий переключению с высокой скорости на низкую, и наоборот, на высокой – соответственно, $\Delta\omega_e$ и $(M_{He} \dots M_H)$. Зависимость коэффициента полезного действия конвейера, определяемого по приведенной выше методике, от загруженности ленты на высокой скорости – $\eta(m)_e$, на низкой – $\eta(m)_n$. Средневзвешенные удельные энергозатраты на транспортирование груза конвейерами, оснащёнными двухскоростными

приводными двигателями определяются по зависимости:

$$E(T) = \frac{\omega_H}{L \cdot m_{\Sigma}} \left[T_1 K^{-1} \sum_{i=1}^{n_1} \frac{M_{ci} P_i}{\eta_i} + T_2 \sum_{i=n_1+1}^n \frac{M_{ci} P_i}{\eta_i} \right], \quad (6)$$

где T_1, T_2 – продолжительность работы конвейера на низкой и высокой скорости, соответственно, ч.; n_1 – количество интервалов гистограммы распределения, приходящиеся на работу конвейера на низкой скорости; K – глубина регулирования на низкой скорости.

Из рисунка 4 следует, что при регулировании скорости ленты двухскоростными приводными двигателями будет наблюдаться некоторое увеличение электрического $\eta_{эл}$ и общего $\eta(m)_H$ коэффициентов полезного действия конвейера на низкой скорости, в сравнении с режимом отсутствия регулирования скорости. Средние удельные энергозатраты при таком регулировании скорости, определяемые по зависимости (6), будут снижаться, в сравнении с режимом отсутствия регулирования скорости (при переменном грузопотоке с логнормальном распределением). Площадь фигуры на рисунке, ограниченная кривыми $\eta(m)_в, \eta(m)_H$, прямой $m=0,5m_{max}$, и определяет экономию электроэнергии ΔW от регулирования скорости двухскоростными двигателями:

$$\Delta W = \left[\frac{E(T)_1}{E(T)_2} - 1 \right] \times 100\%, \quad (7)$$

где $E(T)_1$ – средние удельные энергозатраты при переменном грузопотоке с логнормальным распределением без регулирования скорости ленты, определяемые по зависимости (4), кВт·ч/(т·км); $E(T)_2$ – средние удельные энергозатраты на транспортирование сыпучего груза конвейером с регулированием скорости ленты двухскоростными двигателями, определяемые по зависимости (6), кВт·ч/(т·км).

В таблице 1 приведены значения абсолютного W и относительного E энергопотребления при транспортировании при отсутствии регулирования скорости ленты (с постоянным и переменным грузопотоком, подчиняющимся логарифмическому нормальному закону распределения) и при различных способах регулирования. Также приводятся соответствующие параметрам

энергопотребления время эксперимента T , усреднённые значения загруженности ленты m_{cp} , скорости вращения ротора двигателя ω_{cp} , момента сопротивления $M_{c,cp}$, относительной загруженности ленты $(M_{c,cp}-M_{c0})M_{c,cp}^{-1}$ и коэффициента полезного действия электрической части указанной технической системы $\eta_{эл,cp}$.

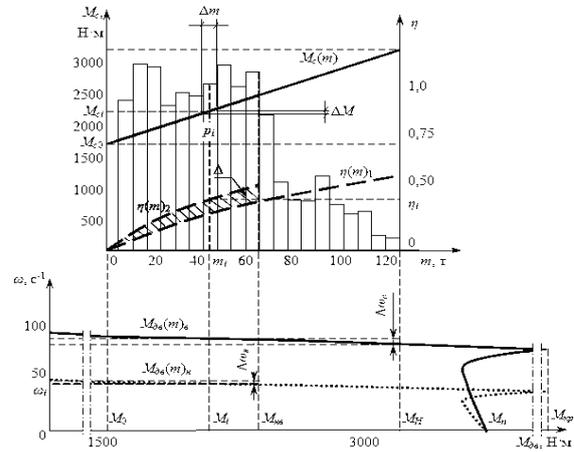


Рис. 4 – Зависимость момента сопротивления M и коэффициента полезного действия конвейера η от загруженности ленты m при ее регулировании двухскоростными двигателями

Рис. 4. Зависимость момента сопротивления M_C и коэффициента полезного действия η от загруженности ленты m при ее регулировании двухскоростными двигателями

Таблица 1 – Удельные энергозатраты на транспортирование груза конвейером с нерегулируемым приводом и при различных способах регулирования

Тип привода	Способ регулирования	T , ч.	m_{cp} , т	ω_{cp} , с ⁻¹	$M_{c,cp}$, кВт·м	$(M_{c,cp}-M_{c0}) \times M_{c,cp}^{-1}$	$\eta_{эл,cp}$	W , кВт·ч	E , кВт·ч/(т·км)
Нерегулируемый привод, постоянный грузопоток		17	122	104	2,80	0,45	0,94	12320	2,06
			49,1	104	2,01	0,24	0,93	23210	3,88
Регулируемый привод	Частотное, переменное	17	91,9	40,5	2,49	0,39	0,25	66430	11,1
			89,9	64,8	2,28	0,34	0,88	17590	2,94

Из таблицы 1 видно, что при частотном регулировании скорости ленты средние удельные энергозатраты на транспортирование угля конвейером, в сравнении с использованием нерегулируемого привода, могут резко (в 2,86 раз) возрастать. Причиной этому

является малый коэффициент полезного действия электрической части системы «частотный преобразователь – двигатель», который при данном режиме регулирования и законе распределения грузопотока составляет 0,25 (в 3,72 раза меньше, чем при отсутствии регулирования). Коэффициент полезного действия электрической части системы «частотный преобразователь – двигатель» зависит от глубины регулирования скорости по текущему значению грузопотока на конвейере, и может снижаться вплоть до нуля. Но данный способ позволяет выдерживать максимальную загруженность ленты m_{cp} и момент на приводе $M_{c,cp}$. В случае регулирования скорости ленты двухскоростными приводными двигателями средние удельные энергозатраты на транспортирование снижаются на $\Delta W=24,2\%$, в сравнении с режимом отсутствия регулирования скорости при переменном грузопотоке (логнормальное распределение). При этом средний коэффициент полезного действия электрической части привода снижается на 5,4 %, в сравнении с использованием нерегулируемого привода. Но за счёт увеличения средней относительной загруженности конвейера $(M_{c,cp}-M_{c0})M_{c,cp}^{-1}$ при использовании регулирования двухскоростными двигателями на 41,7 %, в сравнении с данным режимом отсутствия регулирования, имеет место эффект по энергосбережению.

Итак, при регулировании скорости ленты конвейера двухскоростным двигателем на отдельных длительных участках реализации грузопотока и мощности, развиваемой двигателями, экономия электроэнергии ΔW может превышать 24 %. В то же время, регулирование скорости ленты частотно регулируемым приводом экономии электроэнергии не даёт, а приводит к повышению удельного энергопотребления в 2,86 раза. Общий коэффициент полезного действия конвейера, включающий в себя коэффициенты полезного действия электрической, механической частей данной технической системы, а также относительное нагружение конвейера, при регулировании скорости ленты двухскоростными двигателями повышается на 35,0 % (с 0,2 до 0,27), в то время как при

частотном регулировании скорости он снижается на 61,5 % (с 0,20 до 0,08) за счёт работы преимущественно в зоне малых грузопотоков. Следовательно, на энергопотребление на ленточных конвейерах горных предприятий интенсивной угледобычи существенно влияет структура привода и способ регулирования скорости ленты.

Ресурс ленты конвейера оценивался по накопленной повреждаемости её каркаса. Эквивалентные напряжения σ в каркасе определялись по упрощённой методике, в которой тросы рассматривались как стержни с сечением, равным доле заполнения металлом сечения троса. Амплитуды напряжений $A_{\sigma k}$ в каркасе ленты определялись по «методу дождя» [10]; в расчёт брались лишь те амплитуды нагружения, которые превышают предел выносливости материала каркаса σ_{-1} . Накопленная повреждаемость каркаса ленты определится по формуле:

$$НП_i = \sum_{k=1}^p A_{\sigma k}^9 N, \text{ МПа}^9, \quad (8)$$

где N – количество циклов нагружения каркаса ленты с амплитудой $A_{\sigma k}$.

Накопленная повреждаемость определялась для периода работы конвейера $T=1000$ ч. При этом, в случае использования структурной схемы с вариантом заводки ленты для конвейера 2ЛУ120В каждая амплитуда нагружения при отсутствии регулирования скорости возникала $N=4911$ раз. При регулировании скорости ленты частота возникновения амплитуды уменьшалась пропорционально глубине регулирования $\omega_H \omega^{-1}$. Для базовой конструкции и структуры привода рассматриваемого конвейера значение коэффициента накопленной повреждаемости при максимальной загруженности ленты и наработке $T=1000$ ч. составило $2,8 \cdot 10^{28}$, для аналогичных условий при глубине регулирования $\omega_H \omega^{-1}=2$ – $1,4 \cdot 10^{28}$, при глубине регулирования $\omega_H \omega^{-1}=6$ – $4,7 \cdot 10^{27}$. Снижение скорости ленты положительно сказывается на её ресурсе. Способ регулирования скорости ленты конвейера на величину накопленной повреждаемости её каркаса существенно не влияет.

Следовательно, на энергопотребление на ленточных конвейерах горных предприятий интенсивной добычи и их

ресурс существенно влияет структура приводных блоков и способ регулирования скорости ленты. Для снижения энергопотребления при транспортировании и повышения ресурса ленты конвейера при условиях, соответствующих таковым при проведении эксперимента, при логарифмическом нормальном распределении грузопотока, целесообразно регулирование скорости ленты двух- и многоскоростными приводными двигателями. Предложенная методика обоснования структуры привода ленточного конвейера для интенсивной угледобычи может быть использована при концептуальной разработке инновационных структур, а также высокоэффективных ресурсосберегающих транспортных машин повышенного технического уровня и мехатронных транспортных систем для интенсивной угледобычи; в системах САПР конвейерного транспорта горных предприятий с интенсивной добычей полезных ископаемых.

Выводы и направления дальнейших исследований.

1) Разработанная методика определения средневзвешенных удельных энергозатрат на транспортирование позволяет оценить эффективность перемещения груза ленточными конвейерами в различных режимах работы, при различных способах регулирования скорости, с учётом реального коэффициента полезного действия конвейера и закона распределения грузопотока;

2) Экспериментально и теоретически для горизонтального конвейера 2ЛУ120В (730 м), при интенсивной добыче, постоянном действующем напряжении шахтной сети и с логнормальным распределением грузопотока **установлены** следующие средневзвешенные удельные энергозатраты на транспортирование груза:

- в режиме с постоянными максимальными грузопотоком, загруженностью ленты и скоростью – 2,06 кВт·ч/(т·км), - на 46,9 % меньше, чем при переменном грузопотоке без регулирования скорости ленты;

- при частотном регулировании скорости ленты без использования аккумулирующих и усредняющих бункерных емкостей – 11,1 кВт·ч/(т·км), - в 2,89 раз больше, в сравнении с

нерегулируемым приводом и переменным грузопотоком при указанном законе распределения грузопотока;

- при регулировании скорости ленты двухскоростными приводными электродвигателями – 2,94 кВт·ч/(т·км), - на 24,2 % меньше, в сравнении с нерегулируемым приводом и переменным грузопотоком;

- снижение скорости ленты положительно сказывается на её ресурсе;

3) Повышение эффективности использования ленточных конвейеров в указанных условиях интенсивной добычи по критериям снижения удельного энергопотребления и повышения ресурса ленты достигается путём регулирования скорости двухскоростными двигателями, а также работой транспортного и технологического оборудования шахты с поддержанием максимальной загруженности ленты по длине и приёмной способности, с постоянным максимальным грузопотоком.

Направления дальнейших исследований: проведение исследований по установлению влияния неравномерности грузопотока и распределения массы груза на ленте конвейера на динамическую нагруженность и ресурс элементов его конструкции; обоснование структуры, параметров и алгоритма адаптивного управления ленточным конвейером как мехатронным объектом и конвейерными линиями, содержащими устройства стабилизации грузопотоков.

Список литературы

1. Украина: Себестоимость добычи тонны угля госшахтами составляет 2,5 тыс. грн., - Минэнергоугля / Металл в Украине и мире // Металл Украины. – 03.04.2017. – [Эл. ресурс]. – Режим доступа: <http://ukrmet.dp.ua/2017/04/03/ukraina-sebestoimost-dobychi-tonny-uglya-gosshaxtami-sostavlyayet-25-tys-grn-minenergouglya.html>.

2. Рухлов А.В., Герман Е.Д. Энергетические характеристики магистрального конвейерного транспорта угольных шахт [Эл. ресурс]. – Режим доступа: \www/ URL: <http://vde.nmu.org.ua/ua/science/ntz/archive/84/7.pdf>.

3. Заклика М., Колек М., Тытко С. Ленточные конвейеры с регулируемой скоростью. - [Эл. ресурс] – Режим доступа: \www/ URL: <http://www.bartec-russia.ru/files/mining/for-conveyance.pdf>

4. Прокуда В.М. Исследование и оценка грузопотоков на магистральном конвейерном транспорте ПСП «Шахта «Павлоградская» ПАО ДТЭК «Павлоградуголь» [Текст] / В.М.Прокуда, Ю.А.Мишанский, С.Н.Проценко // Гірнич

електромеханіка, № 88. – Днепропетровск, 2012. – с. 107-111.

5. Стадник Н.И. Частотно регулируемый электропривод ленточных конвейеров на базе самовентилируемых двигателей [Текст] // Наукові праці ДонНТУ, серія електромеханічна, № 2 (24)'2012. – Донецьк, 2012. – с. 226-232.

6. Кондрахин В.П. Измерение грузопотока на ленточном конвейере с помощью съёмного тензоизмерительного устройства с учётом натяжения ленты [Текст] / В.П.Кондрахин, Н.И.Стадник, П.В.Белицкий // Наукові праці ДонНТУ, серія електромеханічна, № 1 (25)'2013. – Донецьк, 2013. – с. 79-87.

7. Кондрахин В.П. Статистический анализ эксплуатационных параметров шахтного ленточного конвейера [Текст] / В.П.Кондрахин, Н.И.Стадник, П.В.Белицкий // Наукові праці ДонНТУ / Серія електромеханічна, № 2 (26)'2013. – Донецьк, 2013. – с. 140-150.

8. A.Semenchenko, M.Stadnik, P.Belitsky, D.Semenchenko, O.Stepanenko. The impact of an uneven loading of a belt conveyor on the loading of drive motors and energy consumption in transportation / Восточно-Европейский журнал передовых технологий, т. 4, № 1 (82) (2016). – [Эл. ресурс]. – Режим доступа: \www/URL: <http://journals.urau.ua/eejet/article/download/75936/72366>.

9. Петрушкин В.С., Таньков А.А. Энергетические показатели асинхронного двигателя в частотном электроприводе при различных законах управления [Эл. ресурс]. – Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2015/etf/hohlov/library/2.htm>.

10. ГОСТ 25.101-83. Расчёты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов [Эл. ресурс] – Режим доступа: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/27/27312.

References

1. “Ukraine: The mining cost price a ton of coal by state mines is 2.5 thousand UAH., - Mineenergougol” (2017), [“Ukraine: Sebestoimost' dobychi tonny uglya gosshakhtami sostavlyayet 2,5 tys. грн., - Mineenergouglya”], Ukrainian metal, 2017-04-03, available at: <http://ukrmet.dp.ua/2017/04/03/Ukraina-sebestoimost-dobychi-tonny-uglya-gosshakhtami-sostavlyayet-25-tys-grn-minenergouglya.html>, (in Russian).

2. Rukhlov A. and German E. (2010) “Energy characteristics of the main conveyor transport in coal mines” [Energeticheskije kharakteristiki magistral'nogo konveyernogo transporta ugol'nykh shakht], available at:

http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/natural/Geta/2010_84/7.pdf, (in Russian).

3. Zaklika M., Kolek M. and Tytko S. “Belt conveyors with adjustable speed” [Lentochnyje konveyery s regulirujemoy skorostiju], available at: <http://www.bartec-russia.ru/files/mining/for-conveyance.pdf>, (in Russian).

4. Prokuda V., Mishansky Yu., Protsenko S. (2012) “Research and evaluation of freight traffic on the main conveyor transport the CAP “Mine “Pavlogradskaya” Public company DTEK “Pavlogradugol” [Issledovaniye i otsenka gruzopotokov na magistrallnom konveyernom transporte PSP “Shakhta “Pavlogradskaya” PAO DTEK “Pavlogradugol”], Mining electrician, No. 88. 2012, Dnepropetrovsk, pp. 107-111, (in Russian).

5. Stadnik M. (2013). “Frequency-controlled electric drive of belt conveyors based on self-ventilated engines” [Chastotno regulirujemyj elektroprivod lentochnykh konveyerov na baze samoventilirujemykh dvigateley], Optimization of vibration processes, No. 14, pp. 22-26, (in Russian).

6. V.Kondrakhin, N.Stadnik, P.Belitsky (2013), “Traffic measurement on the belt conveyor through removable tensor device with belt tension accounting” [Izmerenie gruzopotoka s pomoshchju sjomnogo tenzoizmeritelnogo ustroystva], DonNTU scientific works, electromechanical series No. 1 (25) '2013, Donetsk, pp. 79-87, (in Russian).

7. V.Kondrahin, N.Stadnik, P.Belitskii (2013) “Operating parameters statistical analysis for the belt conveyor in mine” [Statistichesky analiz ekspluatatsionnykh parametrov shakhtnogo lentochnogo konveyera], DonNTU scientific works, electromechanical series, No. 2, pp. 140-150, (in Russian).

8. Semenchenko A., M.Stadnik, P.Belitsky, D.Semenchenko and O.Stepanenko (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, No. 82, pp. 42-51.

9. Braslavsky I., Ishmatov Z. (2004) “Energy saving asynchronous electric drive” [Energoberegajushchiy asinkhronnyi elektroprivod], available at: http://www.en-res.ru/wp-content/uploads/2012/12/asinhr_electroprivod_brasl.pdf, (in Russian).

10. GOST 25.101-83 (1983) “Calculations and strength tests. Schematization methods of random processes by loading of machine elements and structures and statistical representation of results” [GOST 25.101-83. Raschoty i ispytaniya na prochnost'. Metody skhematizatsii sluchaynykh protsessov nagruzheniya elementov mashin i konstruktivnykh i statisticheskogo predstavleniya rezul'tatov], available at: http://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/27/27312, (in Russian).

Надійшла до редакції 05.05.2017

Рецензент д-р. техн. наук, проф. В.В. Левіт.

Белицкий Павел Владимирович – магистр, старший преподаватель, кафедра горных машин и мехатронных систем машиностроения, Донецкий национальный технический университет (пл. Шибанкова, 2, г. Покровск Донецкая обл., 85300).

E-mail: pabel30.04.1980@gmail.com

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ ПРИ ІНТЕНСИВНОМУ ВЕДЕННІ ГІРНИЧИХ РОБІТ

Анотація. У статті наведено методику обґрунтування структури регульованого приводу стрічкового конвеєра для сучасної гірничої промисловості за критеріями зниження енергоспоживання і підвищення ресурсу тягового органу. Наведено оцінки зниження енергоспоживання на шахтному горизонтальному конвеєрі для реального вантажопотоку і підвищення ресурсу тягового органу за величиною накопиченої пошкоджуваності за рахунок застосування регулювання двошвидкісними приводними двигунами.

Ключові слова: відносна завантаженість конвеєра, коефіцієнт корисної дії конвеєра, питомі витрати енергії, діаграма напруг в стрічці, коефіцієнт накопиченої пошкоджуваності

Белицкий Павло Володимирович – магістр, старший викладач, кафедра гірничих машин і мехатронних систем машинобудування, Донецький національний технічний університет (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ Донецька обл., 85300).

E-mail: pabel30.04.1980@gmail.com

THE IMPROVEMENT OF BELT CONVEYOR EFFICIENCY IN MINING INTENSIVE MANAGEMENT

Abstract. Object of investigation: belt conveyor with an adjustable drive for the mining industry. The subject of study: energy consumption process during the transportation of loose goods by a belt conveyor with various methods of speed control. The article substantiates the structure of an adjustable belt conveyor for a modern mining industry, based on the criteria for reducing energy consumption and increasing the life of the traction organ. Estimates are provided of the reduction of energy consumption on the mine horizontal conveyor for the real cargo flow and the increase in traction body lifetime by the amount of accumulated damage due to the application of the two-speed drive motors regulation.

Key words: relative congestion of the conveyor, the efficiency of the conveyor, the specific energy consumption, the stress diagram in the tape, the coefficient of accumulated damage

Belytsky Pavlo – MS, teacher, department of mining machines and mechatronic systems in machinery, Donetsk national technical university (Shibankov sq., 2, Pokrovsk, Donetsk reg., 85300).

E-mail: pabel30.04.1980@gmail.com