

УДК 621.316.7:622.647.2

Анализ влияния регулирования скорости конвейерной ленты на энергоэффективность транспортных систем

Проанализировано влияние регулирования скорости ленты единичных конвейеров на энергоэффективность системы шахтного конвейерного транспорта в целом. Влияние происходит в результате изменения статистических характеристик грузопотоков при прохождении конвейеров с регулируемой скоростью ленты.

Ключевые слова: магистральный конвейер, асинхронный регулируемый привод, удельные энергозатраты, расход электроэнергии.

Контактная информация: prokudav@gmail.com

Конвейерный транспорт на шахтах, в том числе и Западного Донбасса, работает при существенно неравномерных грузопотоках и потому с завышенным в 2–5 раз удельным расходом электроэнергии. Повысить эффективность работы транспорта можно с помощью регулируемого привода. Однако его использование на конвейерных установках, как и других мер, направленных на повышение уровня энергоэффективности, находится пока на уровне пилотных проектов и недостаточно изучено.

Цель исследований заключалась в анализе дополнительного эффекта снижения энергопотребления конвейерных установок шахтной сети при использовании регулирования скорости ленты.

В работах [1–5] рассмотрено влияние на энергоэффективность регулирования скорости движения ленты отдельно установленных конвейеров. Однако работы, исследующие влияние такого регулирования на энергоэффективность шахтного транспорта отсутствуют.

Пропорциональный закон регулирования скорости движения конвейерной ленты – наиболее простой и эффективный для уменьшения расхода электроэнергии. Скорость конвейера регулируется пропорционально входному грузопотоку Q . При этом лента конвейера во время работы движется на скоростях ниже номинальной. На рис. 1 показано, как уменьшается скорость движения ленты конвейеров пропорционально поступающему грузопотоку.

Расход электроэнергии при использовании регулируемого привода и пропорционального закона регулирования снижается и определяется по выражению [2]

$$\Delta W = W_{x,x} [1 - (Q/Q_{\max})], \quad (1)$$

где $W_{x,x}$ – энергия холостого хода, затрачиваемая конвейером на перемещение его подвижных частей, кВт·ч;



Ю. Т. РАЗУМНЫЙ,
доктор техн. наук
(Национальный горный университет)



В. Н. ПРОКУДА,
инж.
(Национальный горный университет)

Q – объем (масса) угля, который транспортирован конвейером за время его работы, т;

$Q_{\max}$ – максимальный объем (масса) угля, транспортируемый конвейером с номинальной скоростью движения ленты, т.

По формуле (1) можно определить уменьшение расходов электроэнергии конвейером с регулируемым приводом, если считать, что его лента останавливается при отсутствии входного грузопотока. На практике скорость движения ленты уменьшается до определенного значения, как правило до 1/10 номинальной, что обусловлено резким увеличением активных потерь в двигателе при большем уменьшении скорости. Конвейер не останавливается полностью, по-

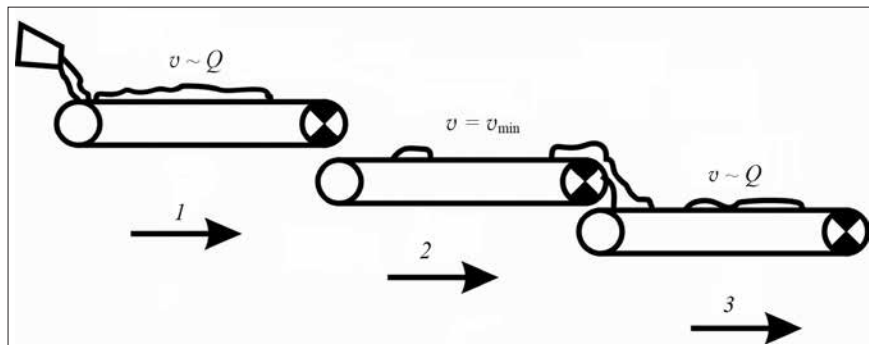


Рис. 1. Процесс регулирования скорости ленты конвейеров транспортной цепи пропорционально входному грузопотоку; 1, 2, 3 – последовательно установленные магистральные конвейеры.

ствующая поступлению среднего грузопотока v_{cp} , а для доли времени $1 - K_{t1}$ – скорость

$$v_{min} = K_{CK} v_{ном},$$

где $v_{ном}$ – номинальная скорость движения конвейерной ленты; K_{CK} – коэффициент скорости или глубина регулирования, т. е. отношение минимально возможной скорости движения конвейерной ленты к номинальной,

$$K_{CK} = v_{min} / v_{ном}.$$

В результате получим такие режимы:

сколько транспортная цепь всегда должна быть готова к принятию груза. В таком случае уменьшение расхода электроэнергии следует определять с учетом движения конвейерной ленты на минимальной скорости за время отсутствия входного грузопотока. Для этого вычисляют долю времени $1 - K_t$ работы конвейера на минимальной скорости v_{min} и долю времени K_t скорости, которая соответствует среднему грузопотоку v_{cp} , где K_t – коэффициент времени поступления угля, представляющий собой математическое ожидание в относительных единицах периода поступления угля как доли от времени работы конвейера.

Проанализируем время работы конвейера с минимальной скоростью и скоростью, соответствующей среднему грузопотоку, для двух последовательно установленных конвейеров с регулируемой скоростью ленты. При таком варианте на втором конвейере дополнительно уменьшится расход электроэнергии.

Для доли времени K_{t1} работы первого конвейера устанавливается скорость движения, соответ-

1) на входе и выходе первого конвейера присутствует грузопоток – лента второго конвейера движется в соответствии со скоростью ленты первого (со скоростью, соответствующей среднему грузопотоку);

2) на входе первого конвейера отсутствует грузопоток, а на выходе присутствует – второй конвейер движется с минимальной скоростью, устанавливаемой по пропорциональному закону регулирования (уголь пересыпается медленно);

3) на входе и выходе первого конвейера грузопоток отсутствует – второй конвейер движется с минимальной скоростью;

4) на входе первого конвейера есть грузопоток, а на выходе нет – второй конвейер движется с минимальной скоростью.

Таким образом, система управления скоростью ленты второго конвейера в трех из четырех перечисленных случаев устанавливает минимальную скорость в отличие от первого конвейера, скорость движения ленты которого минимальна только в двух из четырех случаев.

При использовании пропорционального закона

регулирования скорости движения ленты на последовательно установленных конвейерах для второго конвейера характерно дополнительное уменьшение расхода электроэнергии. Авторы статьи предлагают коэффициент машинного времени второго конвейера определять через K_{t1} первого:

$$K_{t2} = K_{t1} \{K_{t1} / [K_{t1} + (1 - K_{t1}) K_{CK}]\}. \quad (2)$$

Такое соотношение получено с учетом грузопотока, поступаю-

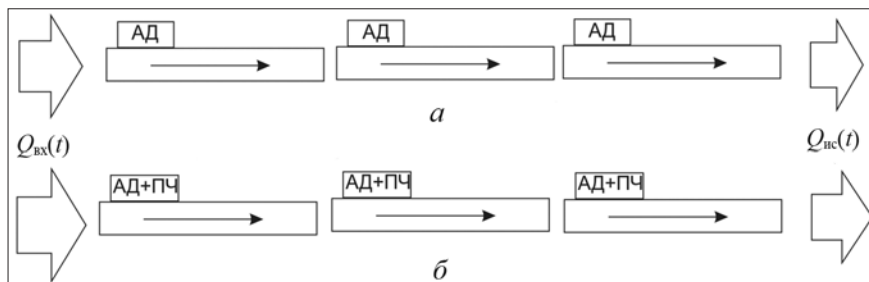


Рис. 2. Схемы расположения конвейеров для расчета электропотребления: а и б – скорость ленты нерегулируемая и регулируемая; АД – асинхронный двигатель; АД+ПЧ – асинхронный двигатель с преобразователем частоты; $Q_{вх}(t)$ и $Q_{ис}(t)$ – входящий и исходящий угольный поток, зависящий от времени.

щего с первого конвейера с регулируемой скоростью. Далее определяют долю времени работы второго конвейера на минимальной скорости и скорости, соответствующей среднему грузопотоку (соответственно $1 - K_{t2}$ и K_{t2}).

Формула (2) демонстрирует увеличение времени работы второго конвейера на минимальной скорости при регулируемом электроприводе (с пропорциональным законом регулирования в зависимости от входного грузопотока для обоих), что приводит к дополнительному уменьшению расхода электроэнергии. Этот эффект проявляется тем сильнее, чем больше отношение длины конвейера к среднему времени поступления грузопотока: при этом увеличивается вероятность второго режима конвейерной линии.

Рассмотрим на примере как уменьшается энергопотребление в случае использования нескольких конвейеров с регулируемым приводом. Применив упрощенный тяговый расчет [6], рассчитаем электропотребление ленточных конвейеров, расположенных по схеме на рис. 2, зная параметры их установки и погонной загрузки.

Параметры установки конвейеров приняты одинаковыми: удельная масса нижних и верхних роликоопор, а также ленты – $q_p'' = 9,2 \text{ кг/м}$; $q_p' = 20 \text{ кг/м}$; $q_d = 15 \text{ кг/м}$; коэффициент, учитывающий сосредоточенные сопротивления, $c' = 1,1$; угол установки $\beta = 0^\circ$; скорость движения ленты $v = 2 \text{ м/с}$; длина конвейера $L = 1 \text{ км}$; коэффициент сопротивления движению конвейерной ленты $\omega = 0,06$.

Неравномерность грузопотока также влияет и на коэффициент сопротивления движению конвейерной ленты ω , но, исходя из экспериментальных данных, приведенных в работе [2], с ростом погонной нагрузки ω уменьшается, следовательно, если скорость движения ленты падает, удельное энергопотребление снижается. Параметры грузопотока из очистного забоя следующие: вероятность отсутствия потока $\lambda = 0,25$, вероятность наличия потока $\mu = 0,164$, математическое ожидание грузопотока при его поступлении $M(Q) = 3420 \text{ кг/мин}$, дисперсия грузопотока $D(Q) = 202500 (\text{кг/мин})^2$. Характеристики потока в узлах цепочки конвейеров с регулируемой скоростью ленты рассчитаем по схеме, представленной на рис. 2.

Потребление электроэнергии магистральным конвейером в зависимости от количества работающих на него лав приведено на рис. 3. Уменьшение расхода электроэнергии в этом случае достигается за счет увеличения времени работы на минималь-

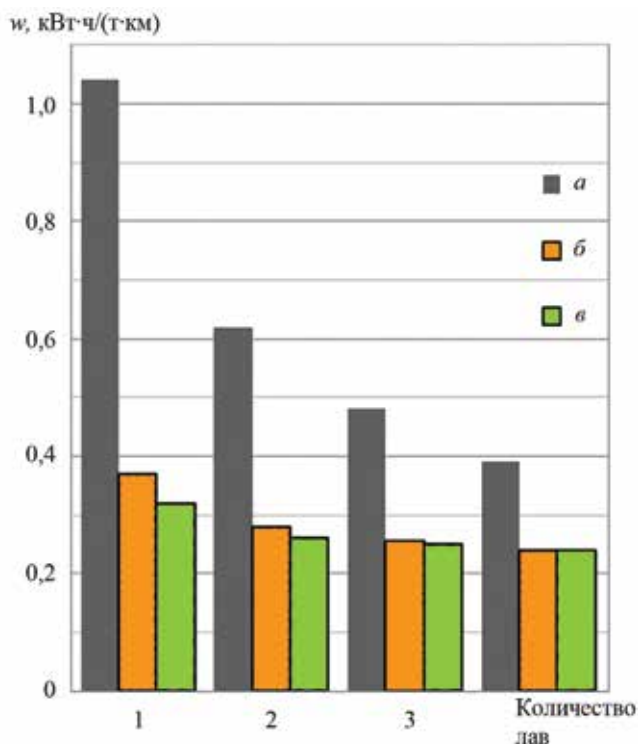


Рис 3. Гистограмма энергоэффективности транспортирования угля: а – электропотребление конвейера при отсутствии регулирования скорости движения ленты; б – то же, с регулированием скорости движения ленты; в – то же, с регулированием скорости движения ленты, на которую поступает грузопоток после конвейера с аналогичным регулированием.

ной скорости последующего в цепочке конвейера. Снижение потребления электроэнергии магистральными конвейерами при регулировании скорости ленты пропорционально поступающему грузопотоку, причем на каждом последующем конвейере в цепочке получаем дополнительное снижение расходов электроэнергии.

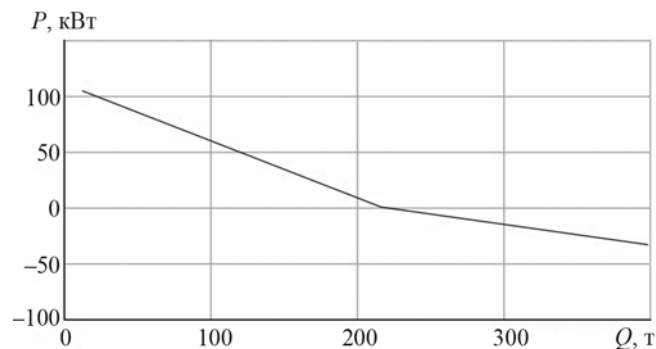


Рис 4. Зависимость мощности P потребления бремсбергового конвейера длиной 1 км и с углом установки -6° от массы Q угля на нем.

Условия режима работы конвейеров для поступления груза на сборный конвейер	Удельный расход электроэнергии w бремсберговым конвейером, кВт·ч/(т·км), при количестве грузопотоков k			
	1	2	3	4
Нерегулируемая скорость ленты	0,8	0,69	0,61	0,58
Регулируемая скорость ленты	0,61	0,536	0,527	0,522

Грузопотоки после конвейеров с регулируемой скоростью конвейерной ленты влияют на расход электроэнергии, особенно для бремсберговых конвейеров (конвейеры, привод которых может переходить в генераторный режим работы) с углами установки менее -6° .

Например, зависимость энергопотребления от загрузки конвейера типа 1Л100К с параметрами $q_p'' = 9,2$ кг/м; $q_p' = 20$ кг/м; $q_{\text{л}} = 15$ кг/м; $\omega = 0,06$; $c' = 1,1$; $L = 1000$ м; $\beta = -6^\circ$; $v = 2$ м/с (рис. 4). Излом кривой объясняется переходом привода конвейера в рекуперативный режим работы при наличии определенной горной массы на конвейере. Исследуя зависимость (см. рис. 4), можно сделать вывод: меньший расход электроэнергии при одном и том же сменном (суточном) грузопотоке будет при равномерном потоке. Если же минутное значение потока увеличится, то появятся интервалы его отсутствия, что повлечет увеличение энергопотребления.

Для приведенной на рис. 4 характеристики сборного конвейера найдем удельное энергопотребление при суммировании на нем k грузопотоков, которые поступают с конвейеров с регулируемой и нерегулируемой скоростью ленты. Принимаем, что скорость сборного конвейера повышается в k раз, тогда непроизводительные затраты вырастают пропорционально производительным (k – количество суммируемых грузопотоков) и на удельное энергопотребление влияет только перераспределение горной массы. Результаты расчета удельного электропотребления бремсберговым конвейером приведены в таблице.

В таблице расчетные показатели удельного энергопотребления довольно низкие, так как расчет выполнен для бремсбергового конвейера, у которого большая загрузка соответствует меньшим энергозатратам. Можно утверждать, что удельное энергопотребление при $k = 2$ после прохождения ленты с регулируемой скоростью с вероятностью 90 % минимальное. Удельное энергопотребление при абсолютно равномерном потоке для этого конвейера составит 0,518 кВт·ч/(т·км).

Выводы. Использование средств повышения энергоэффективности шахтного конвейерного транспорта, в частности регулирования скорости конвейерной ленты, дополнительно снижает расход электроэнергии не только на конвейерах, на которых они установлены, но и на конвейерах, размещенных по ходу перемещения угольной массы за счет изменения характеристик угольного потока. В зависимости от технических и технологических условий расход электроэнергии дополнительно снижается на 3–20 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малиновский А. К. Автоматизированный электропривод машин и установок шахт и рудников: [учебник для вузов] / А. К. Малиновский. – М.: Недра, 1987. – 277 с.
2. Шахмейстер Л. Г. Динамика грузопотоков и регулирование скорости ленточных конвейеров / Л. Г. Шахмейстер, В. Г. Дмитриев, А. К. Лобочева. – М.: Машиностроение, 1972. – 160 с.
3. Полунин В. Т. Эффективность регулирования скорости шахтных конвейеров / В. Т. Полунин // Научные труды МГИ. – 1968. – № 53. – С. 87 – 95.
4. Дмитриева В. В. Разработка и исследование системы автоматической стабилизации погонной нагрузки магистрального конвейера: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.13.06 «Информационные технологии» / В. В. Дмитриева. – М., 2005. – 162 с.
5. Смирнова Н. В. Динамічні характеристики стрічкового конвеєра та методи їх оцінки: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.06 «Гірничі машини» / Н. В. Смирнова. – Дніпропетровськ, 2000. – 17 с.
6. Транспорт на горных предприятиях: учебник / Б. А. Кузнецов, А. А. Ренгевич, В. Г. Шорин; под общ. ред. Б. А. Кузнецова. – М.: Недра, 1969. – 655 с.