

*А.В. Рухлов, канд. техн. наук, Е.Д. Герман*  
(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГИСТРАЛЬНОГО КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА УГОЛЬНЫХ ШАХТ

**Введение.** Ленточные конвейеры – основной вид подземного магистрального транспорта на угольных шахтах с пологим и наклонным залеганием пластов. Преимущества его очевидны: высокая технологическая готовность к приему груза, значительная производительность по сравнению с локомотивной откаткой, полная конвейеризация от очистного забоя и до загрузочного устройства главного ствола. Поэтому и важность такого транспорта велика: выход из строя даже одного конвейера в магистральной линии при отсутствии аккумулирующих бункеров приводит к необходимости останавливать электрооборудование очистных забоев, снижать добычу угля и соответственно нести убытки.

С технологической точки зрения одной из основных составных частей конвейера является его электропривод, поскольку он должен обеспечивать безударный пуск, небольшие динамические натяжения ленты, малую длительность процесса пуска, возможность реверсирования и пониженную скорость движения ленты во время ревизии конвейера.

Сегодня, наряду с механическими (сложное устройство, наличие большого количества вращающихся частей, частые обрывы ленты и др.), основной проблемой остается работа мощных конвейеров в неэффективных режимах малой загрузки или холостого хода. Причины – значительное снижение производительности шахт по сравнению с проектной, неравномерность грузопотока из очистных забоев, отсутствие аккумулирующих бункеров, сложные условия пуска. Поэтому режим работы конвейера характеризуется малым значением его коэффициента загрузки и большим удельным расходом электроэнергии на транспортирование угля. Однако существует возможность регулирования скорости ленты конвейера в зависимости от количества находящегося на ней груза, что позволяет экономить энергию, уменьшить износ механических частей и, таким образом, увеличить срок их службы, снизить эксплуатационные расходы при применении преобразователя частоты и устройства плавного пуска.

**Цель статьи** – установить характер зависимостей удельного и полного расходов электроэнергии магистральным ленточным конвейером от его загрузки и определить способы ее повышения до номинального значения.

**Изложение основного материала.** Общая протяженность всех ленточных конвейеров на шахтах Украины достигает 1500 км, а для одной шахты – десятков километров [1]. Суммарная мощность электродвигателей участковых конвейеров достигает 300–500 кВт, а магистральных – нескольких тысяч киловатт, поэтому можно сказать, что подземная транспортная система – один из основных потребителей электроэнергии. Затраты на конвейерный транспорт шахты составляют более 20 % от общей себестоимости добычи угля [2].

В качестве привода ленточных конвейеров на угольных шахтах применяются взрывозащищенные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым и фазным ротором [3]. Для обеспечения плавности пуска электродвигатели с короткозамкнутым ротором применяются вместе с турбомуфтами. Пуск и регулирование частоты вращения электродвигателей с фазным ротором осуществляется с помощью взрывозащищенных жидкостных реостатов или ящиков металлических сопротивлений.

Магистральный конвейерный транспорт шахт работает в режиме неполной загрузки со значительным непроизводительным расходом электроэнергии. Это связано с отсутствием аккумулирующих бункеров, значительной неравномерностью участковых грузопотоков и завышенной производительностью конвейерных линий из-за снижения количества лав и суммарной добычи угля.

Цена на электроэнергию постоянно растет, а поэтому повышается интерес к разработке мероприятий, направленных на снижение ее непроизводительного расхода. Рассмотрим конвейер как потребитель электроэнергии.

Согласно работе [4], технологический расход электроэнергии ленточным конвейерным транспортом рассчитывается как

$$W_{\kappa} = 0,013L_{\kappa}w \left[ C_{v_{л}}t_p + 0,28Q_p \left( 1 \pm \frac{\sin \beta}{w} \right) \right], \quad (1.1)$$

где  $L_{\kappa}$  – длина конвейера, м;  $w$  – коэффициент сопротивления движению, принимается 0,02–0,03 для стационарных конвейеров;  $C$  – масса 1 м движущихся частей конвейера, кг/м;  $t_p$  – время работы конвейера за расчетный период, ч;  $\beta$  – угол установки конвейера, °;  $Q_p$  – расчетная производительность конвейера за время  $t_p$ , т;  $v_{л}$  – скорость ленты конвейера, м/с.

Связать общий расход электроэнергии с производительностью конвейера позволяет такой показатель, как ее удельный расход

$$w_{\kappa} = \frac{W_{\kappa}}{L_{\kappa}Q_p}, \quad (1.2)$$

где  $W_{\kappa}$  – потребляемая электроэнергия конвейером, кВт·ч;  $L_{\kappa}$  – длина конвейера, км;  $Q_p$  – производительность конвейера (грузопоток), т.

Одна из особенностей ленточного конвейера – значительное по величине различие между коэффициентом загрузки приводного двигателя и непосредственно коэффициентом загрузки конвейера, который определяется как

$$K_3 = \frac{Q_p}{Q_n}, \quad (1.3)$$

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

Удельный расход указывает, сколько было затрачено электроэнергии для перемещения  $Q_p$  тонн угля на расстояние  $L_k$ . Функциональное назначение конвейера – транспортирование груза. При этом номинальным режимом работы будет тот, при котором  $Q_p \rightarrow Q_n$ . Рассмотрим режимы работы конвейера.

#### *Режим холостого хода*

Режим, при котором конвейер находится в работе (потребляет из сети электроэнергию) и при этом перемещает лишь несущее полотно (конвейерную ленту) и/или незначительное количество груза, называется холостым ходом конвейера. Такой режим характеризуется значительным непроизводительным расходом электроэнергии. Время работы на холостом ходу или близком к нему согласно работе [5], может достигать 20–40 % от общего времени работы конвейера.

#### *Режим неполной загрузки конвейера*

Такой режим работы характерен для большинства ленточных конвейеров угольных шахт Украины, потому что 95 % из них работают с загрузкой менее 60 %. Это указывает на низкую энергоэффективность работы магистрального конвейерного транспорта. Известно, что на угольных шахтах Германии конвейеры в режиме холостого хода или близком к нему работали около 40 % времени, с загрузкой 0,25–0,8 от  $Q_n$  – 50 % и с номинальной загрузкой – только 10 %.

#### *Режим работы конвейера с номинальной загрузкой*

Такой режим работы конвейера является конечным результатом большинства мероприятий и разработок, направленных на повышение эффективности использования электроэнергии. С одной стороны, при этом режиме потребляется максимальная электрическая мощность из сети, с другой – удельный расход электроэнергии стремиться к минимуму. При таком режиме некое постоянное количество груза будет доставлено за меньший промежуток времени и с меньшими энергозатратами, нежели при режиме неполной загрузки конвейера.

Нормативные документы предписывают следующие основные мероприятия по повышению эффективности использования электроэнергии на ленточном конвейерном транспорте:

- увеличение загрузки конвейеров до номинального значения;
- поддержание максимального коэффициента трения между лентой и приводными барабанами;
- замена лент систематически незагруженных конвейеров на ленты меньшей ширины;
- поддержание высокого технического состояния конвейера;
- исключение длительной работы конвейеров вхолостую.

Более эффективно использовать электроэнергию на конвейерном транспорте позволяет также применение ограничителей холостого хода и замена незагруженных электродвигателей на двигатели меньшей мощности. Однако это не решает проблемы неполной загрузки конвейерных линий.

На примере ленточного конвейера 1ЛТ100 выполним расчеты энергетических характеристик для следующих исходных данных:

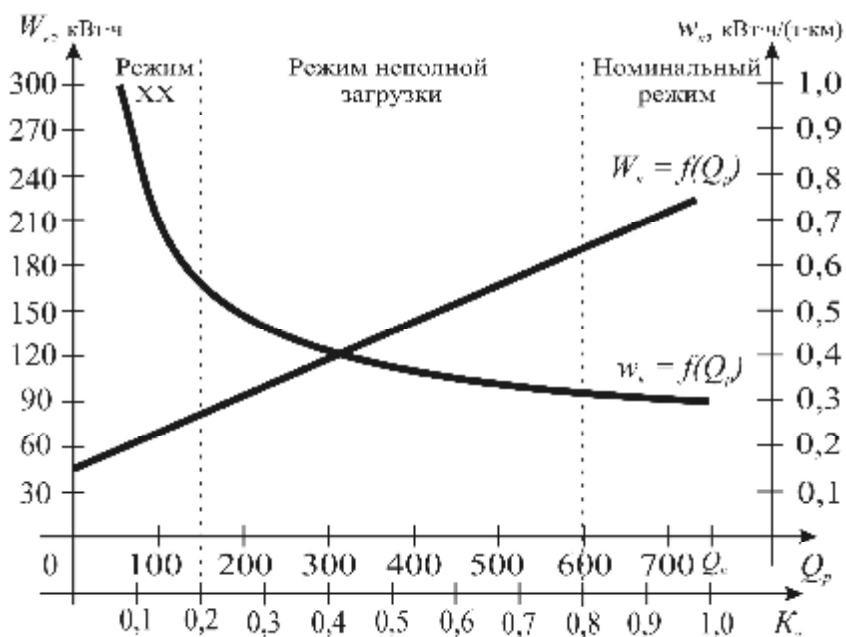
- номинальная производительность  $Q_n = 750$  т/ч;

- масса 1 м движущихся частей конвейера  $C = 72,2$  кг/м;
- скорость движения ленты  $v_l = 1,6$  м/с;
- угол установки конвейера  $\beta = 2^\circ$ ;
- время работы конвейера за расчетный период  $t_p = 1$  ч;
- длина конвейера  $L_k = 1$  км;
- мощность привода  $P_k = 220$  кВт.

Расчеты выполняем по зависимостям (1.1) – (1.3), а результаты сведем в таблицу и отобразим графически на рисунке.

#### Энергетические характеристики конвейера при различных режимах его работы

Режим работы	$K_3$ , о.е.	$Q_p$ , т/ч	$W_k$ , кВт·ч	$w_k$ , кВт·ч/(т·км)
Холостой ход или близкий к нему	0–0,2	0	45	$\infty$
		100	69	0,69
Неполной загрузки	0,2–0,8	200	92	0,46
		300	116	0,39
		400	139	0,35
		500	163	0,33
Номинальный или близкий к нему	0,8–1,0	600	186	0,31
		750	221,9	0,296



Зависимости удельного и полного расхода электроэнергии от загрузки конвейера

Из анализа полученных данных следует, что в режиме холостого хода кривая удельного расхода электроэнергии стремится в бесконечность, значение потребляемой мощности минимально, а непроизводительного расхода максимально – конвейер не выполняет полезной работы. Однако основной вывод – в режиме номинальной загрузки удельный расход электроэнергии минимален, что говорит о целесообразности такого режима работы конвейера. Кроме того установлено, что характер кривых на рисунке сохраняется и для конвейеров других типов, изменяются только численные значения.

Все методы, направленные на увеличение загрузки конвейерного транспорта шахты, условно можно разделить на два направления: одни реализуются

за счет регулирования грузопотока под параметры магистрального транспорта, другие - за счет регулирования технических характеристик конвейеров под грузопоток.

Для первого направления характерно использование аккумулирующих бункеров на магистральном транспорте, когда необходимо следить за работой и исправностью загрузочных устройств и перегрузочных пунктов, а также бункеры емкостью более 100 м<sup>3</sup> оборудовать датчиками нижнего и верхнего уровня, блокировать со схемой автоматизации конвейера с целью отключения его при отсутствии угля в бункере и включения при его заполнении.

Для второго направления характерно использование частотного преобразователя в приводе ленточного конвейера, благодаря чему достигается следующий технический эффект:

- высокая работоспособность конвейера (97,5 %);
- выравнивание моментов приводных двигателей конвейера;
- меньшее раздробление груза на местах пересыпки;
- простота автоматизации и работа без привлечения персонала;
- минимизация динамических нагрузок во всей системе привода, а также во время пуска и непосредственно движения;
- уменьшение количества выделяемого приводом тепла;
- большая гибкость системы управления;
- предохранение электрических двигателей приводов от возможных перегрузок и повреждений;
- оптимальное по нагрузке использование конвейера.

Исследованиями польских и немецких ученых установлено, что удельное потребление электроэнергии двигателем конвейера с питанием от частотного преобразователя составляет 0,324 кВт·ч/т, а при питании без частотного преобразователя в идентичных условиях – 0,528 кВт·ч/т. Экономия энергии на каждую транспортированную тонну груза составляет около 0,2 кВт·ч/т, что дает значительный эквивалент в деньгах, учитывая стоимость электроэнергии и объем грузопотоков.

В последнее время ученые и производственники Украины обратили внимание на проблемы использования частотно-регулируемого привода на конвейерном транспорте угольных шахт. Специалисты УкрНИИВЭ разработали и запустили в производство взрывозащищенный преобразователь частоты типа ПЧВ-К У5, который кроме основных функций позволит обеспечить плавный пуск и регулирование частоты вращения приводного двигателя, а также автоматически поддерживать заданную производительность конвейера путем снижения его скорости с целью экономии электроэнергии.

Возможный результат использования преобразователя частоты типа ПЧВ-К У5 – работа конвейера с постоянной номинальной нагрузкой в зоне минимального удельного расхода электроэнергии (см. рис.).

**Выводы.** Режимы работы мощных магистральных конвейеров характеризуются низкой энергоэффективностью из-за высоких непроизводительных и удельных расходов электроэнергии. Основными причинами являются значительное снижение производительности шахт по сравнению с проектной, нерав-

номерность грузопотока из очистных забоев, отсутствие аккумулирующих бункеров и др. Анализ полученных зависимостей энергетических характеристик ленточного конвейера от его загрузки позволил установить, что наиболее экономичным является режим работы с номинальной производительностью ( $K_3$  составляет 0,8 и выше), когда удельные расходы электроэнергии минимальны. Для обеспечения такого режима необходимо регулировать скорость ленты конвейера в зависимости от количества находящегося на ней груза, что возможно в результате применения взрывозащищенного преобразователя частоты типа ПЧВ-К У5, выпускаемого в Украине.

### Список литературы

1. Грудачев А.Я., Ихно С.А. Влияние параметров ленты на технико-экономические показатели конвейера // Уголь Украины. – 2004. – №1. – С. 27–28.
2. Васильев К.А., Вдовиченко А.М., Хачатрян С.А., Сизякин Д.А. Обоснование необходимости управления затратами на конвейерном транспорте в условиях ОАО "Воркутауголь" // Горные машины и автоматика. – 2001. – №8. – С. 35–37.
3. Дзюбан В.С., Риман Я.С., Маслий А.К. Справочник энергетика угольной шахты. – М.: Недра, 1983. – 542 с.
4. Разумний Ю.Т., Заїка В.Т., Степаненко Ю.В. Енергозбереження: Навч. посібник. – Д.: Національний гірничий університет, 2008. – 166 с.
5. Бабокин Г.И. Энергосбережение в электроприводе конвейера // Изв. вузов. Горн. журн. – 2002. – №1. – С. 122–125.