

# АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

УДК 621.316.7:622.647.2

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ КОНВЕЄРНОЇ СТРІЧКИ В РОЗГАЛУЖЕНИХ ТРАНСПОРТНИХ СХЕМАХ

В.М. Прокуда<sup>1</sup>, Е.Ю. Прокуда<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Україна, м. Дніпро, НТУ «Дніпровська політехніка»

## EFFICIENCY OF USING MEANS OF CONVEYOR BELT MOVEMENT CONTROL IN BRANCHED SCHEMES

V. Prokuda<sup>1</sup>, E. Prokuda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ukraine, Dnipro, Dnipro university of technology

**Мета.** Аналіз додаткового ефекту зниження енергоспоживання конвеєрних установок шахтної транспортної мережі при регулюванні швидкості руху стрічки.

**Методика дослідження** полягає у аналізі часу роботи конвеєра з мінімальною швидкістю і швидкістю, що відповідає середньому вантажопотоку, для двох послідовно встановлених конвеєрів з регульованою швидкістю руху стрічки.

**Результати дослідження.** Показано, що під час проходження вантажем декількох конвеєрів має місце додаткове зниження витрати електроенергії за рахунок роботи кожного наступного конвеєра більш тривалий час на низькій швидкості.

**Наукова новизна.** Доведено суттєве підвищення енергоефективності для бремсбергових конвеєрів, які працюють більш тривалий час з повним завантаженням за рахунок усереднення вантажопотоку, який надходить з конвеєрів з регульованою швидкістю руху стрічки.

**Практичне значення.** Використання засобів підвищення енергоефективності шахтного конвеєрного транспорту, а саме: регулювання швидкості руху конвеєрної стрічки, дає додаткове зниження витрати електричної енергії не тільки на конвеєрах, де вони встановлені, але і на конвеєрах, що встановлені далі по ходу переміщення вугільної маси за рахунок зміни характеристик самого потоку. Величина додаткового зниження витрат електроенергії досягає 3–20% залежно від технічних і технологічних умов.

**Ключові слова:** енергоефективність, стрічковий конвеєр, індукційний датчик, регульований привод.

**Постановка задачі** Конвеєри на шахтах, у тому числі і Західного Донбасу, працюють при істотно нерівномірних вантажопотоках і, як наслідок, із завищеною в 2–5 разів питомою витратою електроенергії, тобто, неефективно [1, 2]. Усунути цей недолік можливо за допомогою регульованого приводу, однак його використання на цих установках, як і на інших, спрямованих на підвищення рівня енергоефективності, знаходиться поки що на рівні пілотних проєктів і є недостатньо дослідженим [3,4]

**Мета роботи** Проаналізувати додатковий ефект зниження енергоспоживання конвеєрних установок шахтної транспортної мережі при регулюванні швидкості руху стрічки.

**Завданням роботи** є розробка аналітичних моделей для визначення енергоспоживання системи конвеєрного транспорту з регульованим приводом для умов вугільної шахти .

**Основний матеріал.** Пропорційний закон регулювання швидкості руху конвеєрної стрічки є найбільш простим і ефективним для зменшення витрат електроенергії: швидкість руху, = конвеєра регулюється пропорційно вхідному вантажопотоку, тобто  $v \sim Q$  (рис. 1). При цьому конвеєр за час роботи працює на швидкостях, нижчих за номінальну

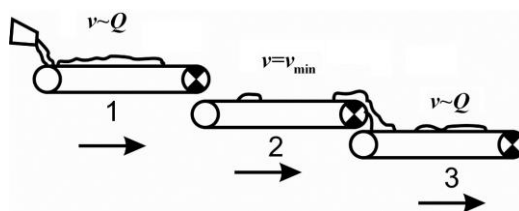


Рис. 1. Схема зменшення швидкості руху стрічки конвеєрів транспортного ланцюга пропорційно вхідному вантажопотоку

Величина зменшення витрат електроенергії при використанні регульованого приводу і пропорційного закону регулювання розраховуються за виразом [3]

$$\Delta W = W_{xx} \left( 1 - \frac{Q}{Q_{\max}} \right), \quad (1)$$

де  $W_{xx}$  – енергія холостого ходу, що витрачається конвеєром на переміщення його рухомих частин, кВт • год,  $Q$  – обсяг (маса) вугілля, що транспортується конвеєром за час його роботи, т;  $Q_{\max}$  – максимальний обсяг (маса) вугілля, яке може транспортувати конвеєр за той самий час з номінальною швидкістю руху стрічки, т.

За формулою (1) можна визначити зменшення витрат електроенергії конвеєром з регульованим приводом, якщо вважати, що його стрічка зупиняється уразі відсутності вхідного вантажопотоку. На практиці ж швидкість руху стрічки зменшується до визначеної величини, як правило 1/10 номінальної, що обумовлено різким збільшенням активних витрат у двигуні при більшому зменшенні швидкості руху. Конвеєр не зупиняється повністю, тому що транспортний ланцюг має повинний бути готовий до прийняття вантажу. Тоді зменшення витрат електроенергії має визначатися з урахуванням руху конвеєрної стрічки на мінімальній швидкості за час відсутності вхідного вантажопотоку. Для цього визначають частку часу  $(1 - K_t)$  роботи конвеєра на мінімальній швидкості  $v_{\min}$  і частку часу  $K_t$  для швидкості, яка відповідає середньому вантажопотоку  $v_{\text{сеп}}$ , де  $K_t$  – коефіцієнт часу надходження вугілля: фізично є математичне сподівання (у відносних одиницях) частки часу, коли вугілля надходить з очисного вибою.

Проаналізуємо час роботи конвеєра з мінімальною швидкістю і швидкістю, що відповідає середньому вантажопотоку, для двох послідовно встановлених конвеєрів з регульованою швидкістю руху стрічки. Покажемо, що при такому варіанті на другому конвеєрі є додаткове зменшення витрат електроенергії. Для частки часу  $K_{t1}$  роботи першого конвеєра встановлюється швидкість руху  $v_{\text{сеп}}$ , що відповідає надходженню середнього вантажопотоку, а для частки часу  $(1 - K_{t1})$  – швидкість  $v_{\min} = K_{\text{шв}} v_{\text{ном}}$ , де  $v_{\text{ном}}$  – номінальна швидкість руху конвеєрної стрічки;  $K_{\text{шв}}$  – коефіцієнт швидкості або глибина регулювання, тобто відношення мінімально можливої швидкості руху конвеєрної стрічки до номінальної:  $K_{\text{шв}} = v_{\min}/v_{\text{ном}}$ . Тоді матимемо режими, коли:

1. На вході і виході першого конвеєра присутній вантажопотік: стрічка другого конвеєра рухається відповідно до швидкості стрічки першого (зі швидкістю, що відповідає середньому вантажопотоку);

2. На вході першого конвеєра вантажопотік відсутній, а на виході з'являється: другий конвеєр, який рухається з мінімальною швидкістю, що встановлюється за пропорційним законом регулювання (вугілля пересипається повільно);

3. На вході і виході першого конвеєра вантажопотік відсутній: другий конвеєр рухається з мінімальною швидкістю;

4. На вході першого конвеєра є вантажопотік, а на виході – немає: другий конвеєр рухається з мінімальною швидкістю.

З цього простого аналізу видно, що система керування швидкістю руху стрічки другого конвеєра в трьох з чотирьох перелічених випадків встановлює мінімальну швидкість руху, коли, на відміну від першого конвеєра, швидкість руху стрічки якого встановлюється мінімальною тільки в двох з чотирьох випадків.

При пропорційному законі регулювання швидкості руху стрічки на послідовно встановлених конвеєрах для другого конвеєра матимемо додаткове зменшення витрат електроенергії, що визначається за таким алгоритмом. Знаходимо коефіцієнт машинного часу другого конвеєра через  $K_{t1}$  першого:

$$K_{t2} = K_{t1} \frac{K_{t1}}{K_{t1} + (1 - K_{t1}) K_{\text{шв}}}. \quad (2)$$

Таке співвідношення отримано з урахуванням вантажопотоку, що надходить з першого конвеєра з регульованою швидкістю руху. Далі визначають частку часу роботи другого конвеєра на мінімальній швидкості і швидкості, що відповідає середньому вантажопотоку (відповідно  $(1 - K_{t2})$  і  $K_{t2}$ ).

Залежність (2) "демонструє" збільшення часу роботи другого конвеєра на мінімальній швидкості руху при регульованому електроприводі (з пропорційним законом регулювання залежно від вхідного вантажопотоку для двох конвеєрів), що призводить до додаткового зменшення витрат електроенергії. Цей ефект спостерігається тим сильніше, чим більше відношення довжини конвеєра до середнього часу надходження вантажопотоку: при цьому збільшується ймовірність другого режиму конвеєрної лінії.

Покажемо, як зменшується енергоспоживання при використанні декількох конвеєрів з регульованим приводом. Використовуючи спрощений тяговий розрахунок конвеєра, визначимо електроспоживання стрічкових конвеєрів при відомих параметрах їх установки і погонного завантаження (рис. 2). Вважаємо,

що параметри установки конвеєрів однакові:  $q''_p = 9,2$  кг/м;  $q'_p = 20$  кг/м;  $q_l = 15$  кг/м;  $c' = 1,1$ ;  $\omega = 0,06$ ;  $\beta = 0^\circ$ ;  $v = 2$  м/с;  $L = 1$  км. Зауважимо, що нерівномірність вантажопотоку так само впливає і на коефіцієнт опору руху конвеєрної стрічки, але за експериментальними даними, наведеними в літературі [2], з ростом погонного навантаження він зменшується, а значить, цей факт може тільки підсилити наведені далі докази ефективності зниження швидкості руху конвеєрної стрічки. Параметри вантажопотоку, що надходить з очисного вибою, приймаємо такі:  $\lambda = 0,25$ ;  $\mu = 0,164$ ;  $M(Q) = 3420$  кг/хв;  $D(Q) = 202500$  (кг/хв)<sup>2</sup>. Розрахунок характеристик потоку у вузлах ланцюга конвеєрів з регульованою швидкістю руху стрічки виконуємо за виразом (2).

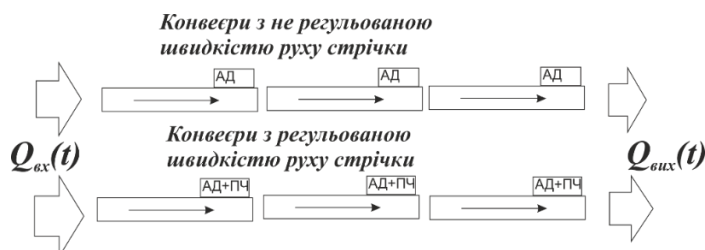


Рис 2. Схема розташування конвеєрів для розрахунку їх електроспоживання: АД – асинхронний двигун; АД + ПЧ – асинхронний двигун з перетворювачем частоти;  $Q_{вх}(t)$  і  $Q_{вих}(t)$  – вхідний і вихідний вугільні потоки, залежні від часу

На рис. 3 наведена діаграма споживання електроенергії магістральним конвеєром залежно від кількості працюючих на нього очисних вибоїв. Столпці показують: а) електроспоживання конвеєра у разі відсутності регулювання швидкості руху стрічки; б) те саме, але з регулюванням швидкості; в) те саме, що і випадок б), але при регулюванні швидкості руху стрічки за вантажопотоком подальшого в лінії конвеєра. Зменшення витрат електроенергії в разі випадку досягається за рахунок збільшення часу роботи на мінімальній швидкості наступного в ланцюзі конвеєра.

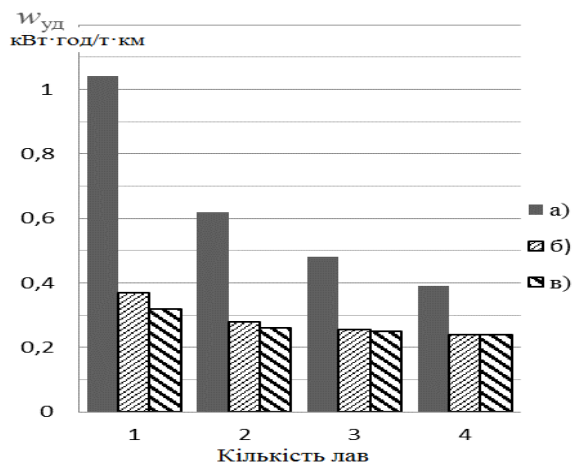


Рис. 3. Діаграма енергоефективності транспортування гірничої маси від кількості лав і регулювання роботи конвеєрів: а) - електроспоживання конвеєра при відсутності регулювання швидкості руху стрічки; б) - електроспоживання конвеєра з регулюванням швидкості руху стрічки; в) - електроспоживання конвеєра з регулюванням швидкості руху стрічки, але також при регулюванні швидкості руху стрічки наступного в лінії конвеєра

Розглянута на рис. 3 діаграма демонструє зниження споживання електроенергії магістральними конвеєрами при регулюванні швидкості руху стрічки пропорційно вантажопотоку, причому на кожному наступному конвеєрі в ланцюзі маємо додаткове зниження витрати електроенергії.

Далі покажемо, як вантажопотоки після конвеєрів з регульованою швидкістю руху стрічки впливають на витрату електроенергії, особливо для бремсбергових конвеєрів з кутами установки менш  $-6^\circ$  – конвеєрів, привід яких може переходити в генераторний режим роботи. Наприклад, дана залежність (рис. 4) енергоспоживання від завантаження конвеєра 1л100к з такими параметрами:  $q''_p = 9,2$  кг/м;  $q'_p = 20$  кг/м;  $q_l = 15$  кг/м;  $\omega = 0,06$   $c' = 1,1$ ;  $L = 1000$  м;  $\beta = -6^\circ$ ;  $v = 2$  м/с.

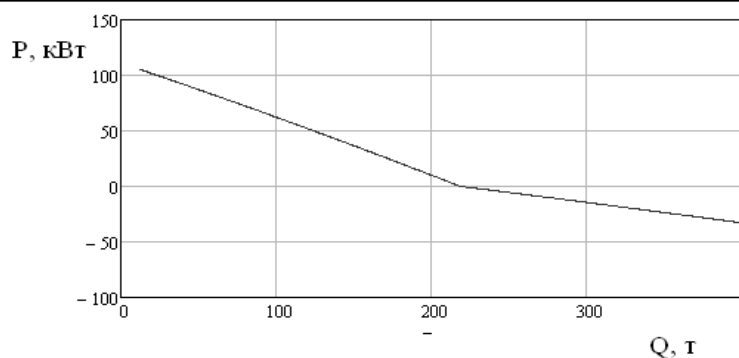


Рис. 4. Вигляд залежності потужності споживання бремсбергового конвеєра довжиною 1 км і кутом установки  $-6^\circ$  від маси вугілля на ньому

Досліджуючи залежність на (рис. 4), можна зробити висновок, що менша витрата електроенергії при одному і тому самому змінному (добовому) вантажопотоці буде при рівномірному потоці. Якщо ж хвилинне значення потоку збільшиться, але з'являться інтервали його відсутності, то це спричинить збільшення величини енергоспоживання. Отже, щоб продемонструвати тільки вплив перерозподілу гірської маси, вважаємо, що швидкість конвеєра підвищується в  $k$  раз – тоді непродуктивні витрати зростають пропорційно продуктивним ( $k$  – кількість вантажопотоків).

Питома витрата електроенергії бремсбергового конвеєром при об'єднанні  $k$  вантажопотоків

Питома витрата електроенергії бремсберговим конвеєром при об'єднанні потоків з:	Кількість вантажопотоків $k$			
	1	2	3	4
конвеєрів з нерегульованою швидкістю руху стрічки, кВт·год/т·км	0,8	0,69	0,61	0,58
конвеєрів з регульованою швидкістю руху стрічки, кВт·год/т·км	0,61	0,536	0,527	0,522

Як бачимо із таблиці, отримані показники питомого енергоспоживання виявилися досить низькими, оскільки розрахунок виконувався для бремсбергового конвеєра, у якого більше завантаження відповідає меншим енерговитратам. Аналізуючи наведені в таблиці дані, можна стверджувати, що питома енергоспоживання при  $k = 2$  після проходження стрічки з регульованою швидкістю з імовірністю 90% буде мінімальним. Питома електроспоживання при абсолютно рівномірному потоці для цього конвеєра становить 0,518 кВт·год/т·км.

**Висновки.** Використання засобів підвищення енергоефективності шахтного конвеєрного транспорту, а саме: регулювання швидкості руху конвеєрної стрічки, дає додаткове зниження витрати електричної енергії не тільки на конвеєрах, де вони встановлені, але і на конвеєрах, що встановлені далі по ходу переміщення вугільної маси за рахунок зміни характеристик самого потоку. Величина додаткового зниження витрат електроенергії досягає 3–20% залежно від технічних і технологічних умов.

#### Список літератури

1. Пивняк, Г.Г. (1999). *Новые способы и проекты повышения эффективности электроэнергетического комплекса угольной шахты*. Науковий вісник НГА України. № 6. 95–104.
2. Прокуда, В.Н. (2012). *Исследование и оценка грузопотоков на магистральном конвейерном транспорте ПСП «Шахта «Павлоградская» ПАО ДТЭК «Павлоградуголь»*. Гірнична електромеханіка та автоматика. № 88. 107–111.
3. Заика, В.Т. (2015). *Влияние регулируемого привода на грузопотоки и энергоэффективность системы шахтного конвейерного транспорта*. Науковий вісник Національного гірничого університету. №3. 82–88.
4. Прокуда, В.Н. (2014). *Синтез вероятностных моделей контроля энергоэффективности магистрального конвейерного транспорта угольных шахт*. Електротехнічні та комп'ютерні системи. № 16. 40–47.

**Рекомендовано до друку к-том техн. наук, доц. Ципленковим Д.В.**

## АННОТАЦИЯ

**Цель.** Анализ дополнительного эффекта снижения энергопотребления конвейерных установок шахтной транспортной сети при регулировании скорости движения ленты.

**Методика исследования** заключается в анализе времени работы конвейера с минимальной скоростью и скоростью, соответствующей среднему грузопотоку, для двух последовательно установленных конвейеров с регулируемой скоростью движения ленты.

**Результаты исследования.** Показано, что при прохождении грузом нескольких конвейеров имеет место дополнительное снижение расхода электроэнергии за счет работы каждого последующего конвейера более длительное время на низкой скорости.

**Научная новизна.** Доказано существенное повышение энергоэффективности для бремсберговых конвейеров, работающих более длительное время с полной загрузкой за счет усреднения грузопотока, поступающего с конвейеров с регулируемой скоростью движения ленты.

**Практическое значение.** Использование средств повышения энергоэффективности шахтного конвейерного транспорта, а именно: регулирование скорости движения конвейерной ленты, дает дополнительное снижение расхода электрической энергии не только на конвейерах, где они установлены, но и на конвейерах, установленных далее по ходу перемещения угольной массы за счет изменения характеристик самого потока. Величина дополнительного снижения расходов электроэнергии достигает 3-20% в зависимости от технических и технологических условий.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, ленточный конвейер, индукционный датчик, регулируемый привод.

## ABSTRACT

**Objective.** Analysis of the additional effect of reducing the energy consumption of the conveyor units of the mine transport network when adjusting the speed of the belt.

**The research methodology** consists in the analysis of the conveyor operating time with the minimum speed and the speed corresponding to the average load flow for two series-mounted conveyors with adjustable belt speed.

**Research results.** It is shown that when several conveyors pass through a load, there is an additional reduction in electricity consumption due to the operation of each subsequent conveyor for a longer time at low speed.

**Scientific novelty** A significant increase in energy efficiency has been proven for brahmsberg conveyors operating for a longer time at full load due to the averaging of the load flow coming from the conveyors with adjustable belt speed.

**Practical meaning.** The use of means to increase the energy efficiency of the mine conveyor transport, namely: regulation of the speed of the conveyor belt, gives an additional reduction in electricity consumption not only on the conveyors where they are installed, but also on the conveyors installed further in the movement of coal mass by changing the characteristics of the flow itself. The amount of additional reduction in electricity costs reaches 3-20% depending on the technical and technological conditions.

**Keywords:** energy efficiency, belt conveyor, induction sensor, adjustable drive.