

гається операцією проєкції. Потім виконанням операції декартового множення  $D\_1MX \otimes D\_2MN$  і  $D\_1MN \otimes D\_2MX$  формуються два кортежі відношення  $D\_12$  з повним набором атрибутів, із яких виділяється шуканий  $D\_12$  шляхом фільтрації за умови  $x_{1\min} < x_{1\max}$ .

**Висновки.**

Уявлення елементів предикатної моделі у вигляді реляційної моделі даних дозволило описати процедури навчання, оптимізації, адаптації і мінімізації на основі єдиного математичного апарата –  $\alpha$ -алгебри. З огляду на те, що реляційні моделі даних підтримуються системами керування базами даних, зазначений підхід до визначення засобів захисту асинхронних двигунів може бути легко інтегрований в інформаційні та програмні структури діючих на підприємстві систем керування.

**Список використаних джерел**

1. Качан Ю.Г., Николенко А.В., Кузнецов В.В. О методике выбора экономически целесообразных средств защиты асинхронных двигателей, работающих в условиях некачественной электроэнергии / Качан Ю.Г., Николенко А.В., Кузнецов В.В. — Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково – виробничий журнал. — Кременчук: КДПУ, 2011. — Випуск 4/2011(16).- С.53-57.
2. Кузнецов В.В., Николенко А.В., Ивашенко В.П. Алгоритм распознавания в задачах повышения энергоэффективности асинхронных двигателей, работающих в условиях некачественной электроэнергии / Кузнецов В.В., Николенко А.В., Ивашенко В.П., Трипутень Н.М. - Вестник Национального технического университета "Харьковский политехнический институт".- Харьков: НТУ, 2017. - Выпуск 27 (1249). С.95-99.
3. Воронов В.А. Метод описания технологических ситуаций и его использование при управлении процессами // – Обогащение руд. – 1982. - №2. – С. 31-35.
4. Трипутень Н.М., Коба А.С. Методика и результаты вычислительных исследований алгоритма идентификации предикатной модели // Гірнична електромеханіка та автоматика. –2000. –№64.-с. 106-108.
5. Качан Ю.Г. Адаптация образа в алгоритме распознавания производственных ситуаций //Механизация и автоматизация управления. - 1984. - №1. – С. 15-17.
6. Качан Ю. Г., Трипутень Н. М. Минимизация описания образов в задачах распознавания производственных ситуаций // Изв. вузов. гор. журн. - 1986. - N 7. - С. 119 - 122.
7. Дрибас В. П. Реляционные модели базы данных // Минск: БГУ – 1982 – 192 С.
8. Kuznetsov V., Nikolenko A/ The algorithm of identification in context of improvement energy efficiency of induction motors operating with low-quality electric power. Proceedings IV international conference “Advanced rail technologies”.- Warsaw. Jozefow, 2015.C.67-68.

*Рекомендовано до друку к-том техн. наук, проф. Івановим О.Б.*

УДК 622.647

**В.И. Тарасов, канд. техн. наук**

*(Украина. Днепр. Национальный технический университет “Днепровская политехника”*

**МИНИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ТРАНСПОРТЕ ГРУЗОВ  
ЛЕНТОЧНЫМИ КОНВЕЙЕРАМИ**

**Анотація.** Досліджено вплив реального вантажопотоку стрічкового конвейєра на питомі витрати енергії приводом. Запропоновано для конкретного вантажопотоку заміст будови конвейєрної лінії з типових конструкцій конвейєрів проектування конвейєрів з типових елементів (стрічка, ролики, барабани, двигуни і т.і.).

**Ключові слова:** стрічковий конвейєр, асинхронний двигун, питомі витрати енергії на транспортну роботу.

**Аннотация.** Исследовано влияние реального грузопотока ленточного конвейера на удельные затраты энергии приводом. Предложено для конкретного грузопотока вместо построения конвейерной линии из типовых конструкций конвейеров применить проектирование конвейеров из типовых элементов (лента, ролики, барабаны, редукторы, двигатели и т.п.).

**Ключевые слова:** ленточный конвейер, асинхронный двигатель, удельные затраты энергии на транспортную работу.

**Abstract.** *Researched of the influence of real cargo traffic of a belt conveyor on the specific energy consumption of drive. It is proposed for a particular cargo traffic to apply the design of conveyors based on typical elements (belts, rollers, drums, gearboxes, drive, etc.) instead of building a line of typical conveyors.*

**Keywords:** *belt conveyor, asynchronous electric drive, specific energy consumption for transportation.*

**Введение.** Конвейеры для угольных шахт выпускаются комплектно под усредненные условия их эксплуатации. Число типоразмеров конвейеров значительно меньше многообразных условий их работы. Это приводит к тому, что конвейер, спроектированный на максимальные грузопоток, длину и мощность привода, реально используется с меньшими показателями. Резерв по производительности может составлять от 2-х до 7-и. В этих условиях электродвигатель работает в режиме с нагрузкой меньшей от номинальной, что ведет к уменьшению его КПД. Такой режим работы в свою очередь провоцирует снижение показателя качества использования электроэнергии –  $\cos\varphi$  и увеличивает затраты электроэнергии на транспортирование груза.

Транспортную систему конвейерного транспорта можно представить в виде трехуровневой структуры: система – подсистемы – элементы. В настоящее время проектирование системы ведется на уровне подсистем приспособлявая типовые конвейеры к конкретным условиям их эксплуатации. Адаптационная способность конкретного конвейера к реальным условиям его работы оцениваются тремя факторами: приемной способностью ленты, прочностью ленты и мощностью двигателя. Каждый тип и типоразмер конвейера построен так, что обеспечивает номинальную загрузку двигателя при максимальной длине на заданном угле установки  $\beta$  и максимальной производительности. При меньших значениях этих параметров двигатель оказывается не догруженным по мощности до номинальной, что снижает его показатель экономического использования энергии.

Качество использования типового конвейера по приемной способности можно оценить следующим выражением

$$q = Q / 3,6 v \rightarrow q_{\text{пасп}},$$

где  $q$ ,  $q_{\text{пасп}}$  – соответственно реальная и паспортная линейная масса груза на ленте, кг/м;  $Q$  – поступающий на конвейер грузопоток, т/ч;  $v$  – скорость ленты, м/с.  $q_{\text{пасп}}$  ограничивается геометрической емкостью грузовой ветви ленты. Довести  $q$  до предела  $q_{\text{пасп}}$  можно уменьшением скорости ленты  $v$ . Уменьшение скорости при неизменном поступающем грузопотоке соответственно увеличивает необходимую силу тяги для перемещения ленты с грузом, при этом мощность не изменяется, а пробег ленты и роликов уменьшается, что продлевает их долговечность.

Оценка совершенства ленточного конвейера может быть выполнена в соответствии со следующей задачей:

$$q / (q_{\text{л}} + q_{\text{р}}) \rightarrow \max,$$

где  $q_{\text{л}}, q_{\text{р}}$  – соответственно линейные массы ленты и вращающихся частей роликов, кг/м.

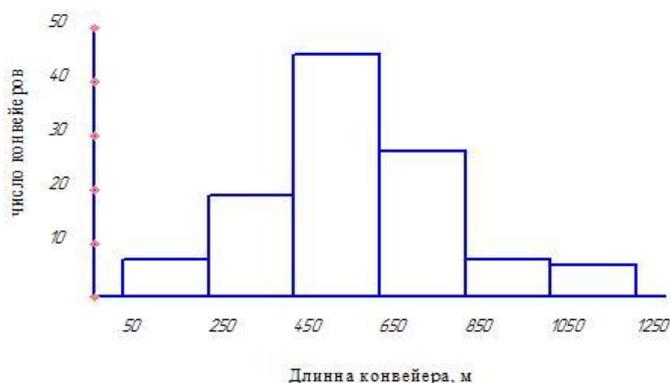
Конвейерные ленты выпускаются с тканевым и тросовым каркасом. Последние имеют в несколько раз большее разрывное усилие, в 1,5 раза большую линейную массу и в полтора раза дороже тканевых. Степень адаптации их к конкретным условиям нагружения минимальна, т. к. они имеют один предел прочности на разрыв. В некоторых конкретных условиях их работы запас прочности такой ленты неоправданно высокий и составляет 30-70 при нормативе 8-10. Ленты с тканевым каркасом имеют от 3-х до 8-ми слоев ткани и соответственно шесть пределов прочности на разрыв и шесть значений линейной массы. Это позволяет адаптировать ленту к реальным условиям нагружения изменением числа прокладок каркаса. С точки зрения обеспечения минимальной линейной массы ленты конвейера следует отдавать предпочтение лентам с тканевым каркасом. Тросовые ленты следует применять там, где ленты с тканевым каркасом малоэффективны (крутые и длинные уклоны).

В конкретных условиях длина конвейера определяется результатом кусочно-линейной аппроксимации извилистой выработки и отличается от паспортной в меньшую сторону. При меньшей длине конвейера двигателя его недогружены, что ведет к увеличению реактивного сопротивления в электрической сети и снижает  $\cos\varphi$ .

**Цель работы.** Обоснование направлений минимизации удельных затрат электроэнергии на транспортирование сыпучих грузов при проектировании систем конвейерного транспорта.

**Результаты исследований.** Для изучения возможности минимизации энергозатрат на транспортирование угля, нами проведены статистические исследования длин горизонтально и слабо наклонных конвейеров на 10-ти шахтах Павлоградского района. Распределение случайной величины определено

на дискетном просторанстве выборки объемом 111 значений. Гистограмма распределения длины конвейеров с шириной ленты в 1 метр приведена на рис.1, из которой следует, что реальные длины конвейеров 1Л100К, 2Л100У, 2Л100У-01, 3Л100У существенно меньше, чем имеют в состоянии поставки изготовителем.



**Рис.1. Гистограмма распределения длин конвейеров с шириной ленты В=1 м**

При этом соотношение между линейными массами груза ленты и роликов не изменяются, а необходимая мощность привода уменьшается. Установленная же мощность двигателя остается неизменной, определенной для предельных условий работы конвейера. По этой причине двигатель не догружен, т.е. имеет резерв по мощности. Ленточный конвейер перемещает груз на несущем органе под действием силы тяги, которая ему передается посредством трения от приводного барабана. Энергия приводного блока расходуется на работу сил трения перемещения полезного груза, ленты, вращения поддерживающих ленту роликов. [ 1 ].

Тяговое усилие приводного блока будет

$$F_{н-с} = F_T + F_L + F_P,$$

где  $F_T, F_L, F_P$  - соответственно сила тяги для перемещения груза, ленты, вращения роликов. Необходимый момент на приводном барабане будет

$$M_B = (F_T + F_L + F_P) r,$$

где  $r$  - радиус приводного барабана, м.

Силы тяги в этом выражении являются линейными функциями длины. При зафиксированной длине конвейера изменение грузопотока влияет только на силу тяги для перемещения груза  $F_T$ , а силы  $F_L$  и  $F_P$  остаются неизменными. При  $F_T = 0$  получают момент на приводном барабане для холостого хода конвейера. Потребляемая мощность привода при холостом режиме конвейера весьма существенна и составляет от 14 до 25 % его мощности при номинальной загрузке конвейера (табл. 1).

Таблица 1

**Потребляемая мощность приводом конвейера**

Конвейер	Длина, м	Угол наклона, град	Скорость ленты м/с,	Мощность, кВт	
				номинальная	холостого хода
2Л80	800	0	2,0	110	28
2Л100	1000	0	2,5	220	55
2Л120	750	12	3.15	1000	134

Представляет интерес для экономии энергии ограничение работы электродвигателей привода конвейера путем установки ограничителей холостого хода. Экономия электроэнергии в этом случае представляет собой разность между расходом энергии электродвигателем за время холостого хода и расходом

## Энергобережения та енергоефективність

ее при нагруженном конвейере. Внедрение ограничителей имеет назначение снизить до минимума холостую работу конвейера и производить автоматическую остановку его при снятии полезной нагрузки.

Если при неизменном грузопотоке уменьшить длину конвейера, то соответственно уменьшаются все три составляющие  $F_T, F_n, F_p$ . Момент на быстроходном валу редуктора, с которым соединен двигатель, находят из выражения

$$M = M_E / i \eta_p ,$$

где  $i$  - передаточное число редуктора;  $\eta_p$  - КПД редуктора.

Номинальный момент двигателя установленного в приводе будет

$$M_n = 9750 N_n / n_n , \text{ Нм,}$$

где  $N_n$  - номинальная мощность, кВт;  $n_n$  - номинальная частота вращения вала двигателя, об/мин.

Очевидно, что в установившемся режиме работы конвейера необходимо соблюдать условие

$$M_n \geq M.$$

Соотношение между  $M_n$  и  $M$  дает информацию о степени загрузки двигателя, которую можно оценить коэффициентом загрузки

$$K_z = M / M_n .$$

Повышенная мощность установленного в приводе двигателя ведет к увеличению реактивного сопротивления двигателя и электрической сети, что снижает  $\cos \varphi$ . Активная мощность двигателя будет

$$N_a = U I \cos \varphi ,$$

где  $U$  - напряжение;  $I$  - сила тока;  $\varphi$  - угол сдвига по фазе между векторами  $U$  и  $I$ .

При заданном  $U$  для получения одной и той же мощности  $N_a$  требуется тем большая сила тока, чем меньше  $\cos \varphi$ . Увеличение силы тока приводит к потерям энергии на нагрев в двигателе и соединяющей его с генератором линии (электрической сети). Зависимости  $\cos \varphi$  и КПД двигателя от коэффициента его загрузки приведены на рис. 2.

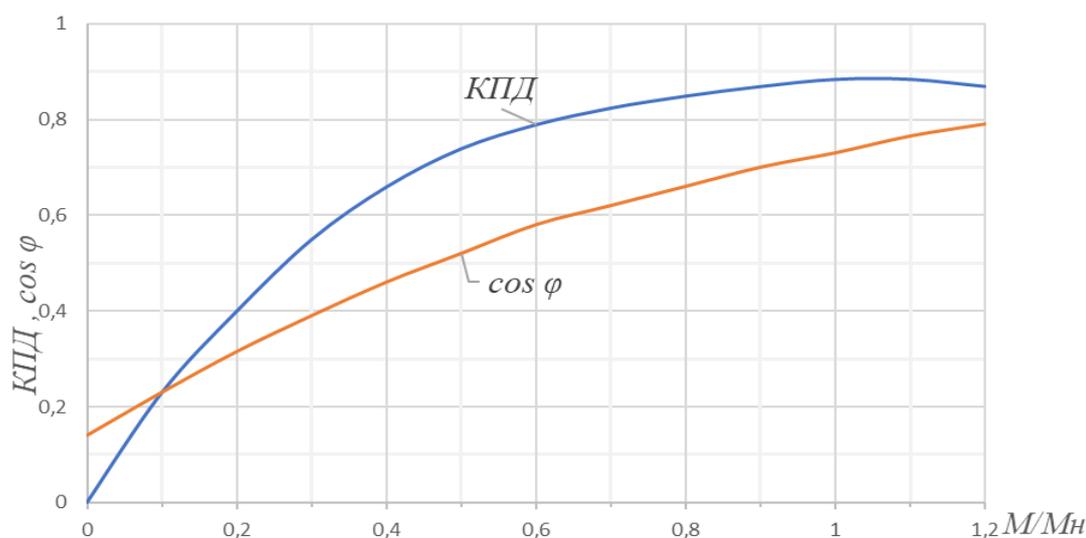


Рис.2. Зависимости КПД и  $\cos \varphi$  асинхронного двигателя от коэффициента его загрузки

Анализ этих зависимостей показывает, что недогрузка двигателя ведет к значительным потерям электрической энергии в приводе. Необходимая мощность на выходном валу редуктора привода будет

$$N_n = F_{н-с} \nu / 1000 \eta_p , \text{ кВт.}$$

## Энергобережения та энергоефективність

Мощность потребляемая приводом из сети

$$N = N_{\pi} / \eta_{д} \cos\varphi, \text{ кВт},$$

где  $\eta_{д} \cos\varphi$  – соответственно КПД двигателя и коэффициент мощности (рис.2);  $\varphi$  – угол сдвига фаз между током и напряжением. Значения этих параметров зависят от коэффициента загрузки электродвигателя  $K_z$ .

Эффективность транспортной машины оценивают затратами энергии на единицу транспортной работы. Удельный расход энергии конвейером, отнесенный к одной тонне перевезенного груза

$$\mathcal{E}_r = N / Q, \text{ кВт.ч/т.}$$

Удельный расход энергии конвейером, отнесенный к одному тонно-километру транспортной работы

$$\mathcal{E} = N / Q l, \text{ кВт.ч/т.км},$$

где  $Q$  – грузопоток, поступающий на конвейер, т/ч;  $l$  – длина конвейера, км.

Расчетные параметры адаптации типовых конвейеров к конкретным условиям работы приведены в таблице 2, из которой следует, что большие удельные расходы энергии обусловлены низкими значениями КПД и  $\cos\varphi$  вызванных недогрузкой приводных двигателей до их номинальной мощности.

Таблица 2

Расчетные параметры адаптации типовых конвейеров к конкретным условиям работы											
Выработка			Конвейер				Результаты расчета				
$l$ , м	$\beta$ , град	$Q$ , т/ч	Тип	Ширина ленты, м	Производительность, т/ч	Мощность привода, кВт	$K_z$	кпд	$\cos\varphi$	$\mathcal{E}$ , кВт.ч/т.км	
800	0	300	2Л180	0,8	420	110	0,51	0,77	0,56	0,186	
1000	0	700	2Л100	1,0	850	220	0,62	0,82	0,61	0,322	
750	12	1000	2Л120	1,2	1500	1000	0,65	0,84	0,63	1,632	

При проектировании ленточных конвейеров из типовых элементов мощность привода определяется длиной конкретной выработки и грузопотоком в ней, отклонение от которой будет определяться только шагом линейки мощностей стандартных двигателей. В этом случае двигатель окажется максимально нагруженным и потери энергии в нем и электрической сети на нагрев, оцениваемые с помощью КПД и  $\cos\varphi$ , будут минимальными.

Налицо техническое противоречие, когда заводам для поднятия серийности выпускаемых конвейеров выгодно максимально сужать номенклатуру, а горным предприятиям нужна как можно более широкая номенклатура конвейеров соответствующая каждому набору горно-технических условий работы, и что бы каждый конвейер обеспечивал минимальные удельные затраты энергии на транспортирование. Разрешить это противоречие позволит переход от проектирования конвейеров под усредненные горно-технические условия к проектированию конвейера из типовых элементов для конкретных горно-технических условий каждой транспортной выработки.

Последняя проблема может быть решена заводами путем изготовления конвейеров под заказ горного предприятия для конкретных горных выработок. Однако, эта проблема более оперативна может быть решена на уровне ремонтно-механических служб производственного объединения. Для этого нужно создать банк покупных типовых элементов (ролики, барабаны, редукторы, муфты, двигатели и т.п.) и организовать на базе собственной ремонтно-механической службы производство недостающих элементов (рамы, ограждения и т.п.). Проектирование конвейера из типовых элементов под конкретные горно-технические условия может выполнять технический отдел объединения или соответствующая сторонняя организация.

Параметры адаптации конвейеров из типовых элементов к тем же что и в табл.2 условиям работы приведены в таблице 3. Анализ результатов показывает, что удельные затраты энергии в этом случае на 20-34% ниже, чем в таблице 2.

Это объясняется тем, что мощности двигателей максимально приближены к необходимым и следовательно двигатели и сеть работают с высокими значениями КПД и  $\cos\varphi$ .

**Расчетные параметры адаптации ленточных конвейеров из типовых элементов**

Характеристики выработки			Конвейер из типовых элементов			Результаты расчета				
$l$ , м	$\beta$ , град	$Q$ , т/ч	Ширина ленты, м	Линейная масса груза, кг/м	Скорость ленты, м/с	Мощность привода, кВт	Кз	КПД	$\cos\varphi$	Э, кВт.ч/т.км
800	0	300	0,8	41,6	2,0	85	1	0,89	0,74	0,120
1000	0	700	1,0	77,8	2,5	140	1	0,89	0,74	0,250
750	12	1000	1,2	88	3,15	650	1	0,89	0,74	1,316

**Выводы.** В расчетах затрат энергии на транспортирование груза ленточным конвейером следует учитывать степень загрузки двигателя по моменту на его валу в соответствии с которой устанавливать его КПД и коэффициент мощности электрической сети –  $\cos\varphi$ .

Построение конвейерных линий шахт из типовых конвейеров приводит к существенной их недогрузке из-за того, что их длины, мощности приводов, установленные заводами изготовителями максимально возможными, в реальных условиях имеют меньшие значения. Уменьшение длины или производительности поступающего грузопотока влечет за собой снижение КПД двигателя и коэффициента мощности электрической сети –  $\cos\varphi$ , что увеличивает на 20-30% удельные затраты энергии на транспортирование груза.

При переходе к проектированию ленточных конвейеров из типовых элементов конвейер будет максимально приближен к реальным условиям эксплуатации, КПД двигателя и коэффициент мощности –  $\cos\varphi$  будут иметь максимально возможные значения. Отклонение мощности двигателя в большую сторону от необходимой будет определяться шагом ряда мощностей стандартных двигателей.

При холостом режиме работы конвейер потребляет от 14 до 25 % энергии от режима его работы с полной нагрузкой в зависимости от горнотехнических условий. Сократить до минимума эти потери энергии можно с помощью ограничителя холостого хода, которые отключает привод автоматически при отсутствии груза на ленте.

**Список использованных источников**

1. В.И. Тарасов Оценка совершенства ленточноконвейера по энергетическому показателю /В.И.Тарасов // Розробка родовищ -2015:щорічний наук.-техн.зб.- Д: Літограф, 2015.с.155-161.

*Рекомендовано до друку: д-ром техн.наук, проф. Заболотним К. С.*

УДК 662.767.2:621.317.42

**В. Л. Коваленко, канд. техн. наук О. І. Лапікова**  
(Україна, Запоріжжя, Запорізький Національний Університет)

**Є. В. Кузнецова**  
(Україна, Дніпро, Національна металургійна академія України)

**А.В. Кузнецова, Д.В. Галушко**  
(Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара)

**ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ  
ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ УТВОРЕННЯ БІОГАЗУ  
ПРИ МЕЗОФІЛЬНОМУ ТЕМПЕРАТУРНОМУ РЕЖИМІ**

**Анотація.** У статті приведено результати експериментальних досліджень щодо визначення можливості інтенсифікації біометаногенезу і встановлення кількісних показників роботи біореактора за умови оптимальних величин напруженості електричного поля. Проведено серію експериментальних циклів біометаногенезу при різних напруженостях електричного поля, що діє на субстрат. Встановлено діапазон значень напруженості для максимізації виходу біогазу шляхом застосування поля в умовах мезофільного режиму роботи біореактору. Наведено лабораторну установку, розроблену для проведення значених дослідів щодо впливу електричного поля на субстрат та роботу біореактору. Представлено