

УДК 621.316.7:622.647.2

**В. Н. Прокуда**

### **СИНТЕЗ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ КОНТРОЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

**Аннотация.** Представлен анализ влияния на энергоэффективность сборных бремсберговых конвейеров угольной шахты регулирования скорости ленты предшествующих конвейерах. Доказано, что в зависимости от количества суммируемых грузопотоков при использовании регулирования скорости ленты на предшествующих конвейерах, на сборном бремсберговом конвейере уменьшение расхода электроэнергии составит 3-20 %.

**Ключевые слова:** шахтный транспорт, бремсберговый конвейер, регулирование скорости, угольная шахта, удельное энергопотребление, энергоэффективность, плотность вероятности, угольный грузопоток, сопротивление движению, масса угля

**V. N. Prokuda**

### **SYNTHESIS OF CONTROL EFFICIENCY PROBABILITY MODELS OF THE MAIN CONVEYOR TRANSPORT OF COAL MINES**

**Abstract.** The influence of conveyor belt speed control of preceding conveyors on the energy efficiency of collecting slope conveyors at a coal mine is analyzed. It is proved that depending on the number of added cargo flow, with the use of belt speed control at the preceding conveyor, the reduction of energy consumption at the collecting slope conveyor will be 3-20 %.

**Keywords:** Mining transport, slope conveyor, speed control, coal mine, specific energy consumption, energy efficiency, probability density, coal cargo, resistance to movement, mass of coal

**В. М. Прокуда**

### **СИНТЕЗ ІМОВІРНІСНИХ МОДЕЛЕЙ КОНТРОЛЮ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МАГИСТРАЛЬНОГО КОНВЕЄРНОГО ТРАНСПОРТУ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

**Анотація.** Представлено аналіз впливу на енергоефективність збірних бремсбергових конвеєрів вугільної шахти регулювання швидкості стрічки попередніх конвеєрах. Доведено, що залежно від кількості сумованих вантажопотоків при використанні регулювання швидкості стрічки на попередніх конвеєрах, на збірному бремсберговому конвеєрі зменшення витрати електроенергії складе 3-20 %.

**Ключові слова:** шахтний транспорт, бремсберговий конвеєр, регулювання швидкості, вугільна шахта, питоме енергоспоживання, енергоефективність, щільність ймовірності, вугільний вантажопотік, опір руху, маса вугілля

**Введение.** При сплошной конвейеризации доставки угля из забоев конкретные конвейеры на шахтах, в том числе и Западного Донбасса, работают при неравномерных грузопотоках и потому с завышенным в 2 – 5 раз удельным расходом электроэнергии [1]. Особый интерес представляют бремсберговые конвейеры, в связи с особенностью транспортировать уголь вниз, энергопотребление которых существенно изменяется от динамики грузопотоков. В [1] приводится диапазон потребления от 0,75 до 0,92 кВт·ч/т·км при суточном грузопотоке 2000 т/ч.

**Предмет статьи.** Выявление связей показателей энергоэффективности работы конвейерного транспорта с неравномерностью поступления угля из очистных забоев и нагрузкой магистральных конвейеров, в частности бремсберговых.

**Цель статьи.** Показать целесообразность применения математической модели электропотребления магистральных конвейеров для оценки их энергоэффективности при неравномерных грузопотоках.

**Анализ публикаций и результатов проведенных исследований.** В работах [2, 3] даны вероятностно-аналитические зависимости энергопотребления магистральных конвейеров в зависимости от их конструктивных параметров, но не учтено влияние вероятностной нагрузки на конвейер угольного потока. В работе [4] приведены удельные нормы электропотребления – 0,4 – 0,9 кВт·ч/т·км. В работе [1] приводятся регрессионные модели контроля энергоэффективности работы конвейерных установок. Однако область их применения ограничена условиями, аналогичными или близкими к тем, для которых они получены.

© Прокуда В.М., 2014

В литературных источниках не обнаружено описание зависимости удельного энергопотребления конвейерной установки от вероятностной загрузки изменяющимся во времени грузопотоком, что приводит к сложности контроля энергопотребления.

**Основной материал.** Анализ результатов экспериментов [1] показывает, что удельное энергопотребление некоторых конвейерных установок при одном и том же суточном грузопотоке может существенно отличаться.

Разброс уровней электропотребления конкретного конвейера чаще всего вызывается изменением сопротивления движению конвейерной ленты, переходом конвейера в рекуперативный режим при отрицательных углах установки [5] либо одновременно и тем, и другим. В литературе [5, 6, 7] называются разные предельные углы установки конвейера, при которых возможен рекуперативный режим: от  $-3^\circ$  до  $-6^\circ$ . На энергопотребление конвейера влияет коэффициент сопротивления движения конвейерной ленты, значение которого может значительно изменяться.

В [8] приводится зависимость коэффициента сопротивления движения конвейерной ленты от натяжения, имеющего сложную зависимость от многих факторов. Для конвейера с конкретными условиями установки (угол, длина, масса ленты, масса движущихся частей, условия запыленности среды) коэффициент сопротивления движению верхней ветви ленты, а значит и энергопотребление конвейера должно меняться нелинейно в зависимости от погонной нагрузки, а коэффициент сопротивления движению нижней ветви соответственно постоянен. Так же при отрицательных углах установки привод конвейера переходит в генераторный режим работы, что определяет нелинейный вид зависимости энергопотребления от погонной загрузки. Все это приводит к необходимости определения законов распределения погонной нагрузки, которая формируется потоком из очистных забоев.

Согласно [3, 9] угольный поток из очистного забоя описывается как стационарный марковский процесс со временем корре-

ляции, равным одной минуте. Принимаем, что на протяжении минуты поток неизменен. В период поступления угля поток распределен нормально с математическим ожиданием  $M_q$  (кг/мин). Случайные времена наличия и отсутствия горной массы описываются пуассоновским распределением с математическими ожиданиями  $T_n$  и  $T_o$ .

Введем параметр  $n$ , с помощью которого можно охарактеризовать вероятность степени заполнения конвейера грузом в зависимости от величины времен  $T_n$  и  $T_o$ , длины конвейера  $L$  и скорости ленты  $v$ . Чем больше произведение  $(T_n + T_o) \cdot v$ , тем больше вероятность работы конвейера в «крайних» состояниях: либо полностью пустым, либо полностью загруженным. И напротив, чем меньше произведение,  $(T_n + T_o) \cdot v$  тем больше вероятность работы конвейера со средней (или близкой к средней) загрузкой при одном и том же значении  $L$ :

$$n = L / (T_n + T_o) \cdot 60v. \quad (1)$$

Для дальнейшего решения примем упрощение, округлив  $n$  до целого. Загрузку конвейера разделяем на  $n$  частей. Тогда для конвейера длиной  $L$  и скоростью ленты  $v$ , который принимает и груз из одной лавы, вероятность его заполнения на величину  $x/n$  будет определяться согласно биномиальному распределению Ньютона (2), где  $x$  – целое число,  $x \in n$ . Отношение  $x/n$  характеризует полноту загрузки конвейера. При  $x/n=1$  конвейер загружен равномерно по всей длине на 100 % грузопотоком с параметрами, численно равным математическому ожиданию поступающего на конвейер потока угля. При  $x/n=0,5$  конвейер загружен на 50 %, при  $x/n=0,2$  конвейер загружен на 20 %.

$$p_n(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} \cdot \left( \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right)^x \left( \frac{\mu}{\lambda + \mu} \right)^{n-x}, \quad (2)$$

где  $\lambda \cdot \Delta t$  – вероятность перехода от 1 к 0;  
 $\mu \cdot \Delta t$  – вероятность перехода от 0 к 1;  
 $\Delta t$  – рассматриваемый интервал времени;  
 аналогично

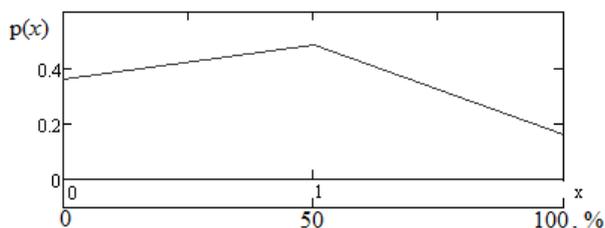
$$\lambda = 1/T_n; \mu = 1/T_o,$$

где  $T_{\Pi}$  и  $T_0$  – математические ожидания времени поступления и отсутствия грузопотока.

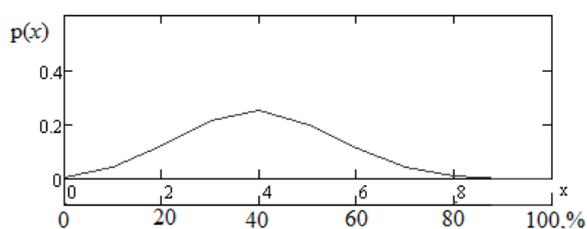
Логично предположить, что если груз транспортируется конвейером за время, близкое к одной минуте или меньшее, то при допущении о минутной корреляции грузопотока [2, 3] работа конвейера возможна лишь в двух дискретных состояниях: загруженном на величину минутного математического ожидания грузопотока при его наличии и полностью пустым при его отсутствии. Вероятности пребывания конвейера в таких состояниях соответственно определяются вероятностями наличия/отсутствия грузопотока за интервал одной минуты.

На рис. 1 показана плотность вероятности частичной загрузки конвейера в зависимости от его конструктивных параметров и среднего времени наличия/отсутствия грузопотока, рассчитанная по формулам (1) и (2). На нём приведены два случая:

а)  $n = 2$ ; б)  $n = 10$ , демонстрирующие как параметр  $n$  влияет на вероятности заполнения конвейера на определенный уровень.



а



б

Рис. 1. Плотность вероятности частичной загрузки конвейера в зависимости от параметров его установки и среднего времени наличия/отсутствия грузопотока:

а)  $n = 2$ ; б)  $n = 10$

К примеру, если  $n = 2$ : случай среднего по длине конвейера 600 м, скорость движе-

ния ленты – 1 м/с, математические ожидания периодов поступления и отсутствия груза соответственно  $T_n = 4$  мин и  $T_0 = 6$  мин;  $n = 10$ : случай длинного конвейера 1500 м, скорость движения ленты – 0,5 м/с, математические ожидания периодов поступления и отсутствия груза соответственно  $T_n = 2$  мин и  $T_0 = 3$  мин.

Анализируя рис. 1, можно сделать вывод, что чем больше  $n$ , тем ближе математическое ожидание загрузки конвейера по массе к значению коэффициента машинного времени лавы, с которой поступает уголь, а при малых  $n$  ( $n = 1, 2$ ) более вероятны режимы работы либо вхолостую, либо близким к полному заполнению конвейера.

Параметр  $n$  влияет на расход электроэнергии, особенно для бремсберговых конвейеров с углами установки менее  $6^\circ$  – конвейеров, привод которых может переходить в генераторный режим работы.

Для нахождения энергопотребления конвейерной установки используем выражения тягового расчета конвейера, что приведены в литературе [6, 8]:

$$\begin{aligned}
 F_{\text{полн}} = F_{1-2} + F_{3-4} = & l \cdot g \cdot (q_{\text{сп}} + q_{\text{л}}) \cdot \\
 & \cdot (c' \cdot \omega[q_{\text{сп}}] \cdot \cos \beta + \sin \beta) + \\
 & + l \cdot g \cdot q'_p \cdot \omega[q_{\text{сп}}] + \\
 & + l \cdot g \cdot q_{\text{л}} \cdot (c' \cdot \omega[q_{\text{сп}}] \cdot \cos \beta - \sin \beta) + \\
 & + l \cdot g \cdot q''_p \cdot \omega[q_{\text{сп}}],
 \end{aligned} \quad (3)$$

где  $q''_p, q'_p, q_{\text{л}}$  – погонная масса нижних, верхних опор и ленты, т/км;  $c'$  – коэффициент, учитывающий дополнительные сопротивления;  $\omega[q_{\text{сп}}]$  – коэффициент сопротивления продольному движению конвейера, зависящий от погонной нагрузки;  $\beta$  – угол установки конвейера,  $F_{\text{полн}}$  – сила, необходимая для перемещения конвейера с грузом,  $F_{3-4}$  – сила, необходимая для перемещения верхней ветви,  $F_{1-2}$  – сила, необходимая для перемещения нижней ветви,  $F_{\text{сп}}$  – сила, необходимая для транспорти-

ровки груза на ленте,  $F_{xx}$  – сила, необходимая для перемещения частей самого конвейера, Н.

Для привода бремсберговых конвейеров различают двигательный и рекуперативный режим – второй появляется, когда сила  $F_{полн}$  становится отрицательной. Энергия, необходимая для перемещения соответственно движущихся частей конвейера и груза в двигательном  $W_{двиг}$  и рекуперативном  $W_{рек}$  режимах [5, 8]:

$$W_{двиг} = \frac{F_{полн} \cdot v \cdot t}{\eta}, \quad (4)$$

$$W_{рек} = F_{полн} \cdot v \cdot t \cdot \eta, \quad (5)$$

К примеру, зависимость энергопотребления конвейера 1л100к со следующими параметрами:  $q''_p = 9,2$  кг/м;  $q'_p = 20$  кг/м;  $q_l = 15$  кг/м;  $\omega[q_{сп}] = 0,06$ ;  $c' = 1,1$ ;  $L = 1000$  м;  $\beta = -6^\circ$ ;  $v = 2$  м/с. Вид зависимости от массы угля на нем имеет вид (рис. 2).

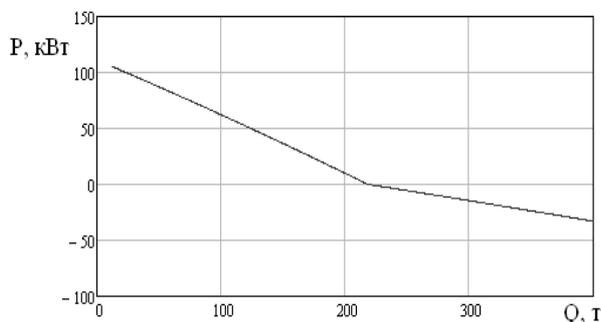


Рис. 2. Зависимость мощности потребления бремсбергового конвейера длиной 1 км и углом установки -  $6^\circ$  от массы угля на нем

Рассчитаем расход электроэнергии при одном и том же объеме перемещенного угля но разных  $n$  ( $n = 1, 2, 3, 5, 6$ ). Примем  $D = 2400$  т/смена (смена длится 6 часов). Результаты расчетов сведем в таблицу:

1. Расход энергии бремсберговым конвейером за смену в зависимости от  $n$

$n$	1	2	3	4	5	6
$W, \text{кВт} \cdot \text{ч}$	319,2	246,6	234,6	218	213,7	210,6

Так как вид кривой на рис. 2 сохраняется для всех конвейеров с углами установки менее  $-6^\circ$ , можно утверждать, что при увеличении  $n$  энергоэффективность конвейера увеличивается. Так же можно утверждать, что величина случайного сменного (или суточного) энергопотребления бремсбергового конвейера может изменяться в широких пределах (для приведенного случая от 210 до 319 кВт·ч/смена) при одном и том же объеме перевозимой горной массы. Это объясняется уходом величины фактических интервалов поступления и отсутствия грузопотока за конкретную смену от значений их математического ожидания.

Приведем пример возможного коридора и математического ожидания удельного энергопотребления бремсбергового конвейера от нагрузки.

Удельное энергопотребление определяется [5, 8]:

$$w_{уд} = \frac{W_{полн}}{l \cdot q_{сп} \cdot t \cdot v}, \quad (6)$$

где  $W_{двиг} = W_{двиг} + W_{рек}$ .

Построим зависимость математического ожидания суточного удельного энергопотребления от грузопотока для конвейера 1л100к№1 со следующими параметрами:  $q''_p = 9,2$  кг/м;  $q'_p = 20$  кг/м;  $q_l = 15$  кг/м;  $c' = 1,1$ ;  $L = 640$  м;  $\beta = -6^\circ$ ;  $v = 2$  м/с. В той же координатной плоскости построим предельно возможные (в меньшую и большую стороны) расчетные значения удельного энергопотребления (рис. 3). В данном случае большая разбежность между зависимостями для наибольшего и наименьшего потребления конвейера при одном и том же потоке происходит из-за перехода конвейера, что работает под уклон, в рекуперативный режим при определенной погонной нагрузки на нем и снижения при рекуперации КПД процесса, что обусловлено дополнительными силами трения.

При количестве грузопотоков более одного вероятностную нагрузку на конвейер можно определить, рассчитав вероятно-

сти загрузки от каждого грузопотока, а потом найти вероятности соответствующих суммарных состояний по известным законам теории вероятности.

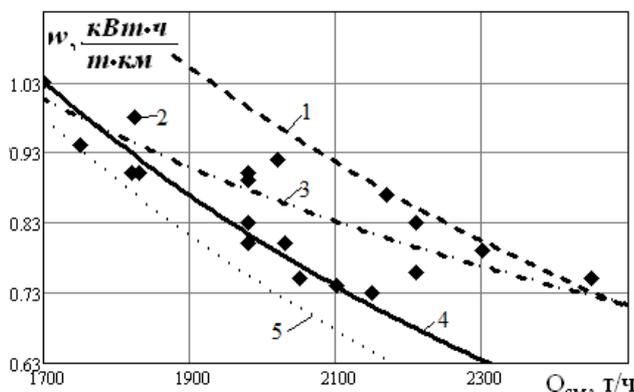


Рис 3. Аналитически-статистическая модель зависимости удельного энергопотребления конвейера 1л 100к от грузопотока:  
 1 – максимально возможное энергопотребление; 2 – экспериментальные точки;  
 3 – регрессионная зависимость  $w_{\text{рег}}(Q) = 0,093 + 1551,9/Q$ , построенная по экспериментальным данным [1];  
 4 – математическое ожидание суточного энергопотребления при данном грузопотоке;  
 5 – минимальное возможное энергопотребление

К примеру, если на конвейер сходятся 2 потока с  $n = 3$  и временами отсутствия и наличия груза  $T_n = 4$  мин и  $T_0 = 6$  мин, то вероятности загрузки конвейера от одного потока будут:

2. Вероятность загрузки конвейера на определенный уровень

$x$ (% загрузки)	1(0)	2 (25)	3 (50)	4 (75)	5 (100)
$p(x)$	0,13	0,346	0,346	0,154	0,026

По таблице 2 можем сделать вывод, что при увеличении количества грузопотоков вероятность появления максимального минутного грузопотока снижается.

Рассмотрим вопрос влияния регулирования скорости ленты на энергоэффективность системы конвейерного транспорта [11, 12, 13]. При регулировании скорости конвейерной ленты по входящему грузопотоку (при наличии грузопотока система регулирования устанавливает скорость минимально возможной для приема текущего минутного

объема, а при отсутствии грузопотока устанавливается минимально возможная по условиям безопасности скорость) статистические характеристики грузопотоков изменяются. Это происходит из-за перераспределения интервалов отсутствия и наличия груза на конвейере при сходе груза с конвейера с регулируемой скоростью.

Со стороны загрузки конвейера с регулируемой скоростью плотность вероятности распределения грузопотока имеет вид:

$$p(Q) = \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \delta(0) + \frac{\mu}{\mu + \lambda} \times \frac{1}{Q' \sigma_{Q'} \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(Q' - M_{Q'})^2}{2\sigma_{Q'}^2} \right]^2, \quad (7)$$

где  $\delta(0)$  – дельта-функция, описывающая вероятность отсутствия грузопотока;  $M_{Q'}$  – математическое ожидание;  $\sigma_{Q'} = \sqrt{D_{Q'}}$  – среднее квадратичное отклонение,  $D_{Q'}$  – дисперсия.

Со стороны разгрузки конвейера плотность вероятности соответственно:

$$p(Q_{\text{вых}}) = \frac{\lambda \cdot K_{\text{ск}}}{\lambda \cdot K_{\text{ск}} + \mu} \cdot \delta(0) + \frac{\mu}{\mu + \lambda \cdot K_{\text{ск}}} \cdot \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \cdot (K_{\text{ск}} \cdot M_{Q'}) + \frac{\mu}{\mu + \lambda \cdot K_{\text{ск}}} \cdot \frac{\mu}{\mu + \lambda} \times \frac{1}{Q' \sigma_{Q'} \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(Q' - M_{Q'})^2}{2\sigma_{Q'}^2} \right]^2. \quad (8)$$

Анализируя выражения (7, 8), можно утверждать, что со стороны разгрузки конвейера с регулируемой скоростью вероятность появления минутного значения, отсутствия или близкого к максимальному грузопотока снижается. К примеру, если исходный грузопоток имеет параметры  $T_n = 4$  мин и  $T_0 = 6$  мин, а математическое ожидание во время поступления 3,7 т/мин, то после прохождения конвейера с регулируемой скоростью поток имеет параметры  $T_n = 12$  мин и  $T_0 = 2, 3$  мин, а математическое ожидание во время поступления 2,8 т/мин. Если этот поток в дальнейшем будет транспортироваться

бремсберговым конвейером, имеющим зависимость энергопотребления от загрузки как показано на рис. 2, то его энергопотребление будет снижено на 9 % по сравнению с транспортировкой исходного грузопотока.

Если имеются грузопотоки с одинаковыми параметрами ( $T_n = 4$  мин и  $T_0 = 6$  мин, а математическое ожидание во время поступления 3,7 т/мин), минимально возможное энергопотребления бремсбергового конвейера с вероятностью 90 % достигается при слиянии более 4-х грузопотоков. При изменении характеристик грузопотоков регулированием скорости ленты потребуется лишь 2 грузопотока.

Для определения вероятности наличия грузопотока на определенном уровне необходимо найти произведения вероятностей всех потоков и суммировать их уровни, которые соответствуют их вероятностям.

В таблице 3 приведено изменение времени отсутствия суммарного грузопотока на приемном конвейере, если грузопотоки поступают с конвейера с регулированием скорости ленты

3. Среднее время отсутствия груза на сборном конвейере при поступлении  $k$  грузопотоков

Условия режима работы конвейеров для поступления груза на сборный конвейер	Время отсутствия суммарного грузопотока на сборном конвейере, мин, при количестве грузопотоков, $k$			
	1	2	3	4
Нерегулируемая скорость ленты	6	3,6	2,16	0,13
Регулируемая скорость ленты	2,3	0,5	0,1	0,03

Анализируя значения, приведенные в таблице 3, можно сформулировать вывод: суммирование грузопотоков, поступающих с конвейеров с регулируемой скоростью ленты на сборный конвейер уменьшает математическое ожидание времени отсутствия поступления в большей степени, чем с нерегулируемым, и зависит от поступающих  $k$  грузопотоков.

Рассмотрим энергопотребление конвейера с параметрами, принятыми к рисунку 2, а также полученными режимами работы кон-

вейеров, что представлены в таблице 3. Результаты расчетов удельного электропотребления приведены в таблице 4 при скорости сборного конвейера пропорциональной количеству грузопотоков.

4. Удельный расход электроэнергии бремсберговым конвейером при слиянии  $k$  грузопотоков

Условия режима работы конвейеров для поступления груза на сборный конвейер	Удельный расход электроэнергии 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

В таблице 4 расчетные показатели удельного энергопотребления оказались довольно низкими, так как расчет выполнен для бремсбергового конвейера, у которого большая загрузка соответствует меньшим энергозатратам. Анализируя приведенные в таблице 4 значения, можно утверждать, что удельное энергопотребление при  $k = 2$  после прохождения ленты с регулируемой скоростью с вероятностью 90 % будет минимальным. Удельное энергопотребление при абсолютно постоянном равномерном потоке для рассматриваемого конвейера составит 0,518 кВт·ч/т·км.

При транспортировке груза конвейером с нулевым или положительным углом установки зависимость его энергопотребления от массы груза на нем имеет практически характер прямой и не имеет излома характерной зависимости энергопотребления бремсбергового конвейера (рис. 2). Поэтому изменение динамики грузопотока, поступающего на такой конвейер при сохранении сменного (суточного) объема перевезенного угля, не влияет на энергопотребление.

**Выводы.** Математическое ожидание энергопотребления конвейера за смену зависит не только от объема сменного грузопотока, но и от динамики его изменения. Для конвейеров, работающих с отрицательными углами установки, увеличение равномерности поступления грузопотока при одном и

том же сменном его значении уменьшает удельное энергопотребление в данный период времени. Диапазон изменения суточных значений удельного энергопотребления конвейеров с отрицательными углами их установки в несколько раз шире, чем у конвейеров с нулевым или положительным углом установки при прочих равных условиях.

Вероятностные модели определения массы груза на конвейерной установке и аналитический расчет его минутного энергопотребления представляют возможность определить наиболее вероятное значение удельного энергопотребления в зависимости от суточного грузопотока, а также возможные границы удельного энергопотребления.

Использование регулирования скорости ленты в шахтной конвейерной сети дает дополнительный эффект снижения расхода электроэнергии на сборных бремсберговых конвейерах, на которых не установлены преобразователи частоты.

#### Список использованной литературы

1. Заика В. Т. Модели для контроля энергетической эффективности шахтных магистральных конвейерных установок [Текст] / В. Т. Заика // Науковий вісник НГА України. – Дніпропетровськ : РВК НГА України. – 2000. – № 2. – С. 72 – 77.

2. Шахмейстер Л. Г. Динамика грузопотоков и регулирование скорости конвейеров, [Текст] / Л. Г. Шахмейстер, В. Г. Дмитриев, А. К. Лобачева, – М., 1972. – 106 с.

3. Шахмейстер Л. Г. Вероятностные методы расчета транспортирующих машин, [Текст] / Л. Г. Шахмейстер, М., 1983. – 312 с

4. Дегтярёв В. В. Нормирование топливно энергетических ресурсов и регулирование режимов электропотребления. [Текст] / В. В. Дегтярёв // Сборник инструкций. – М. : Недра, 1983. – 224 с.

5. Транспорт на горных предприятиях [Текст] / Б. А. Кузнецов, А. А. Ренгевич и др. : под общ. ред. проф. Б. А. Кузнецова. – М. : Недра, 1969. – 656 с.

6. Основные положения по проектированию подземного транспорта новых и действующих шахт – М. : ИГД им. А. А. Скочинского, 1977. – 174 с.

7. ОСТ 12.14.130-79. Конвейеры ленточные шахтные. Методика расчета / Минуглепром СССР; введ. 1981.01.01. – М., 1980. – 70 с.

8. Шахмейстер Л. Г. Тяговые расчеты ленточных конвейеров [Текст]/ Л. Г. Шахмейстер, В. Г. Дмитриев. – М. : МГИ, – 1969. – 108 с.

9. Кариман С. А. Моделирование и оптимизация производственных процессов при добыче угля [Текст] / С. А. Кариман, А. В. Брайцев, В. М. Шрамко, М. : Изд-во Наука, – 1975. – 135 с.

10. Монастырский В. Ф. Снижение энергозатрат при транспортировании насыпных грузов с помощью управления скоростью ленты конвейера / В. Ф., Монастырский В. Ю. Максютенко., Кирия Р. В., Бужинский И. А. // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ : – 2007. – № 10. – С. 35 – 37.

11. Lauhoff H., (2005), Speed Control on Belt Conveyors – Does it Really Save Energy? *Bulk Solids Handling Publ.*; 25(6), pp. 368 – 377.

12. Shirong Zhang, and Xiaohua Xia, (2010), Optimal Control of Operation Efficiency of Belt Conveyor Systems, *Applied Energy Publ.*, Vol. 87, pp. 1929 – 1937, url: <http://www2.ee.up.ac.za/~xxia/APEN2010.pdf> (accessed 5.11.2014).

13. Lodewijks G., Schott D.L., and Pang Y., (2011), Energy Saving at belt Conveyors by Speed Control). In s.n. (Ed.), *Proceedings of the 16th Beltcon Conference* (pp. 1 – 10). Fourways: Imhac. <http://www.beltcon.org.za/docs/B16-12.pdf> (accessed 5.11.2014)

Получено 06.11.2014

#### References

1. Zaika V.T. Modeli dlya kontrolya energeticheskoy effektivnosti shahtnyih magistralnyih konveyernyih ustanovok [Models for the Control of the Energy Efficiency of main mine Conveyor Installations], (2000), *Naukovyi Visnyk NHA Ukrainy Publ.* Dnipropetrovsk, Ukraine, Vol 2. pp. 72 – 77 (In Russian).

2. Shahmeyster L.G., Dmitriev V.G., and Lobacheva A.K. *Dinamika gruzopotokov i regulirovanie skorosti konveyerov* [Dynamics of Traffic and Speed Control of Conveyors] (1972), Moscow, Russian Federation, 106 p. (In Russian).

3. Shahmeyster L.G. *Veroyatnostnyie metodyi rascheta transportiruyuschih mashin*, [Probability Methods of Calculation Transporting Machines], (1983), Moscow, Russian Federation, 312 p. (In Russian).

4. Degtyaryov V.V. *Normirovanie toplivno energeticheskikh resursov i regulirovanie rezhimov elektropotrebleniya*. [Rationing of Fuel and Energy Resources and the Regulation of Energy Consumption], (1983), *Collection of Instructions. Nedra Publ.*, Moscow, Russian Federation, 224 p. (In Russian).

5. Kuznetsov. B.A., and Rengevich A.A. *Transport na gorniyh predpriyatiyah* [Transport in Mining Enterprises], (1969), *Nedra Publ.*, Moscow, Russian Federation, 656 p. (In Russian).

6. *Osnovnyie polozheniya po proektirovaniyu podzemnogo transporta novyih i deystvuyuschih shaht* [The Main Provisions for the Design of Underground Transport new and Existing Mines], (1977), Moscow, Russian Federation, *IGD im. A.A. Skochinskogo Publ.*, 174 p. (In Russian).

7. OST 12.14.130-79. *Konveyeryi lentochnyie shahtnyie. Metodika rascheta* [Technical Standard 12.14.130-79. Belt Conveyors for mines. Method of Calculation], (1980), *Minugleprom of the USSR Publ.*; Entered 1981.01.01, Moscow, Russian Federation, 70 p. (In Russian).

8. Shahmeyster L.G., and Dmitriev V.G. *Tyagovyye raschetyi lentochnyih konveyerov* [Traction Calculation of Belt Conveyors], (1969), Moscow, Russian Federation, *MHI Publ.*, 108 p. (In Russian).

9. Kariman S.A., Braytsev A.V. and Shramko V.M. *Modelirovanie i optimizatsiya proizvodstvennyih protsessov pri dobyiche uglya* [Modelling and Optimization of Production Processes in Coal Mining], (1975), Moscow, Russian Federation, *Nauka Publ.*, 135 p. (In Russian).

10. Monastyirskiy V.F., Maksyutenko V.Yu., Kiriya R.V., and Buzhinskiy. I.A. *Snizhenie energozatrat pri transportirovani nasyipnyih gruzov s pomoschyu upravleniya skorostyu lenty konveyera* [Reduction of Energy Consumption During Transportation Bulk Cargo by Controlling the Speed of the Conveyor Belt], (2007), Dnipropetrovsk, Ukraine, *Naukovyy Visnyk NHU Publ.*, Vol 10, pp. 35 – 37 (In Russian).

11. Lauhoff H., (2005), *Speed Control on Belt Conveyors – Does it Really Save Energy?* *Bulk Solids Handling Publ.*; 25(6), pp. 368 – 377.

12. Shirong Zhang, and Xiaohua Xia, (2010), *Optimal Control of Operation Efficiency of Belt Conveyor Systems*, *Applied Energy Publ.*, Vol. 87, pp. 1929 – 1937.

url:  
<http://www2.ee.up.ac.za/~xxia/APEN2010.pdf>

13. Lodewijks G., Schott D.L., and Pang Y., (2011), *Energy Saving at Belt Conveyors by Speed Control*, In s.n. (Ed.), *Proceedings of the 16th beltcon conference* (pp. 1 – 10). Fourways: Imhc. <http://www.beltcon.org.za/docs/B16-12.pdf>



Прокуда  
Владимир Николаевич,  
ассистент каф. систем  
электроснабжения,  
Государственного  
высшего учебного  
заведения «Нацио-  
нальный горный уни-  
верситет».  
Карла Маркса 19,  
г. Днепропетровск,  
Украина, 0999825842.  
Тел.: (099) 982-58-42.  
E-mail:  
[prokudav@gmail.com](mailto:prokudav@gmail.com)