

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПОДЗЕМНОГО  
КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

*Аннотация. На основании метода динамики средних для марковских процессов разработана математическая модель функционирования систем конвейерного транспорта с последовательным и параллельным соединением конвейеров и бункеров, а также с древовидной веерной и самоподобной структурами. В результате для этих систем конвейерного транспорта получен рекуррентный алгоритм определения их пропускной способности при различных соотношениях поступающих из лав грузопотоков и производительностей питателей. Получены оценки минимальных и максимальных значений пропускной способности рассмотренных систем конвейерного транспорта, приведен пример расчета.*

*Ключевые слова: системы конвейерного транспорта, бункер, марковская модель, функционирование, пропускная способность, самоподобная структура.*

*Анотація. На підставі методу динаміки середніх для марківських процесів розроблена математична модель функціонування систем конвеєрного транспорту з послідовним і паралельним з'єднанням конвеєрів і бункерів, а також з деревовидною віяловою і самоподібною структурами. В результаті для цих систем конвеєрного транспорту отримано рекурентний алгоритм визначення їх пропускної спроможності при різних співвідношеннях вантажопотоків, що поступають із лав, і продуктивностей живильників. Одержано оцінки мінімальних і максимальних значень пропускної спроможності розглянутих систем конвеєрного транспорту, приведено приклад розрахунку.*

*Ключові слова: системи конвеєрного транспорту, бункер, марковська модель, функціонування, пропускна здатність, самоподібна структура.*

*Abstract. Based on dynamics of average method for Markov processes we developed mathematical model of functioning of conveyer transport systems with serial and parallel connection of conveyer and hoppers, and also with dendritic harp and self-similar structures. As result for these conveyer transport systems we obtained recursive algorithm to determine their carrying capacity at various ratios of incoming cargo traffic from lavas and productivity of batcher. We obtained minimum and maximum values of carrying capacity of mentioned above conveyer transport systems, also was given example of calculations.*

*Keywords: conveyer transport systems, hopper, Markov process, functioning, carrying capacity, self-similar structure.*

В настоящее время в связи удорожанием электроэнергии повысилась себестоимость добычи угля на угольных шахтах Украины.

Одним из путей повышения себестоимости угля в этих условиях является снижение энергозатрат при его добыче. В частности, снижение энергозатрат на транспортирование горной массы.

Наибольшие потери электроэнергии при транспортировании горной массы приходятся на конвейерный транспорт.

Пропускная способность систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт из-за простоев конвейеров по аварийным, технологическим и организационным причинам может существенно снижаться.

Соответственно энергоёмкость транспортирования, т.е. затраты электроэнергии, идущие на транспортирование горной массы, изменяется также в широких пределах.

При этом, если при увеличении пропускной способности системы конвейерного транспорта затраты электроэнергии на транспортирование горной массы увеличиваются, то при уменьшении – уменьшаются.

Поэтому критерием эффективности функционирования системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт является комплексный показатель

$$K=c_1m_c-c_2w_c \quad (1)$$

где  $m_c$  – средняя пропускная способность (средняя производительность) системы конвейерного транспорта, т/мин;  $w_c$  – средняя энергоёмкость (средняя электроэнергия, потребляемая системой конвейерного транспорта на транспортирование горной массы, кВт/мин;  $c_1, c_2$  – себестоимости одной тонны угля и одного кВт электроэнергии соответственно.

Для определения критерия эффективности функционирования  $K$  необходимо вычислить среднюю пропускную способность  $m_c$  и среднюю энергоёмкость транспортирования  $w_c$  системы конвейерного транспорта угольных шахт с учетом простоев конвейеров, бункеров и конвейерного оборудования.

Вопросами определения пропускной способности систем конвейерного транспорта занимались многие исследователи [1–6].

В работах [5–6] на основании метода динамики средних для марковских процессов получен алгоритм определения средней пропускной способности системы конвейерного транспорта с последовательным и параллельным соединением конвейеров с бункерами и без бункеров, а также алгоритм определения средней пропускной способности системы конвейерного транспорта для древовидной веерной и самоподобной структур соединения конвейеров с бункерами и без бункеров.

В работе [6] приведен алгоритм определения средней энергоёмкости транспортирования для систем конвейерного транспорта древовидной самоподобной структуры без бункеров.

В данной работе, на основе разработанных математических моделей функционирования систем конвейерного транспорта с бункерами [7], рассмотрен вопрос определения средней энергоёмкости транспортирования системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт с бункерами и на основании этого определен критерий эффективности ее функционирования.

Системы конвейерного транспорта высокопроизводительных угольных шахт имеют разветвленную самоподобную древовидную структуру, состоящую из конвейеров, бункеров, питателей и перегрузочных узлов [7].

Согласно [6], средняя пропускная способность и средняя энергоёмкость транспортирования системы конвейерного транспорта, с учетом простоев конвейерного оборудования, определяется по формулам

$$m_c = \sum_{k=1}^s P_k m_k, \quad (2)$$

$$w_c = \sum_{k=1}^s P_k w_k, \quad (3)$$

где  $m_k$  – пропускная способность системы конвейерного транспорта, находящейся в  $k$ -ом состоянии, т/мин;  $w_k$  – мощность электроэнергии, идущей на транспортирование груза системой конвейерного транспорта, находящейся в  $k$ -ом состоянии, кВт;  $P_k$  – вероятность нахождения системы конвейерного транспорта в  $k$ -ом состоянии;  $s$  – количество состояний системы конвейерного транспорта.

Рассмотрим сначала последовательное соединение бункеров (рис. 1)

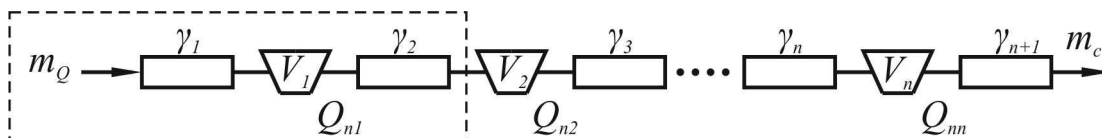


Рисунок 1. – Расчетная схема последовательного соединения бункеров

Согласно работе [8], средняя пропускная способность этой системы определяется из рекуррентного соотношения

$$m_c = m_{c_n}, \quad (4)$$

где при  $m_Q > Q_{n_i}$

$$m_{c_i} = \left[ \frac{e^{A_{1i}\gamma_{V_i}} + \frac{\bar{m}_{Q_i}}{(\bar{m}_{Q_i} - \bar{Q}_{n_i})} (e^{A_{1i}\gamma_{V_i}} - 1)}{\gamma_{a_i}} \right] \bar{Q}_{n_i}, \quad (5)$$

где  $A_{1i} = \frac{\mu_c [m_Q - (1 + \gamma_{a_i})\bar{Q}_{n_i}]}{(m_Q - \bar{Q}_{n_i})\bar{Q}_{n_i}}$ ;  $\bar{m}_{Q_i} = \frac{m_Q}{1 + \gamma_{a_i}} = m_{c_{i-1}}$ ;  $\bar{Q}_{n_i} = \frac{Q_{n_i}}{1 + \gamma_{i+1}}$ ;

$$\gamma_{a_i} = \frac{m_Q}{m_{c_{i-1}}} - 1; \quad \gamma_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}; \quad (i = 1, n; \quad m_{c_0} = \frac{m_Q}{1 + \gamma_1}; \quad \mu_c = \mu_i);$$

при  $m_Q \leq Q_{n_i}$

$$m_{c_i} = \left[ \frac{1 + \frac{(Q_{n_i} - \bar{Q}_{n_i})}{(\bar{Q}_{n_i} - \bar{m}_{Q_i})} (1 - e^{A_{2i}\gamma_{V_i}})}{1 + \gamma_{i+1} e^{A_{2i}\gamma_{V_i}} + \frac{(Q_{n_i} - \bar{Q}_{n_i})}{(\bar{Q}_{n_i} - \bar{m}_{Q_i})} (1 - e^{A_{2i}\gamma_{V_i}})} \right] \bar{m}_{Q_i}, \quad (6)$$

$$\text{где } A_{2i} = \frac{\mu_c [\bar{m}_{Q_i} (1 + \gamma_{i+1}) - Q_{n_i}]}{\bar{m}_{Q_i} (Q_{n_i} - \bar{m}_{Q_i})}; \quad \bar{m}_{Q_i} = m_{c_{i-1}}; \quad \bar{Q}_{n_i} = \frac{Q_{n_i}}{1 + \gamma_{i+1}};$$

( $i = 1, n$ ;  $m_{c_0} = \frac{m_Q}{1 + \gamma_1}$ ;  $\mu_c = \mu_i$ );  $n$  – количество бункеров в системе;

$\gamma_i = \lambda_i / \mu_i$  – коэффициенты аварийности конвейеров системы конвейерного транспорта;  $\lambda_i$ ,  $\mu_i$  – параметры потоков отказов и восстановлений конвейеров системы конвейерного транспорта соответственно, 1/мин;  $V_i$  – объемы бункеров, м<sup>3</sup>.

Выделим в схеме (см. рис. 1) простейшую элементную систему «конвейер – бункер – конвейер», обведенную пунктирной линией.

Для этой элементарной схемы определим затраты электроэнергии (мощности привода), идущей на транспортирование груза с учетом простоя конвейеров, в результате имеем:

$$w_1^{(s)} = \frac{w_0^{(s)}}{1 + \gamma_{c_0}} + w_2^{(c)}, \quad (7)$$

$$\text{где } \gamma_{c_0} = \frac{m_{c_0}}{m_{c_1}} - 1; \quad m_{c_0} = \frac{m_Q}{1 + \gamma_1}.$$

Здесь  $w_1^{(s)}$  – мощность, потребляемая системой «бункер – конвейер – бункер», обведенной пунктирной линией, кВт;  $w_0^{(s)} = w_1^{(c)}$  – мощность, потребляемая первым конвейером (кВт);  $w_2^{(c)}$  – мощность, потребляемая вторым конвейером (кВт).

Продолжая этот итерационный процесс  $n$  раз, в результате получим среднюю энергоемкость транспортирования всей системой последовательного соединенных конвейеров и бункеров, равную

$$w_c = w_n^{(s)}, \quad (8)$$

где

$$w_i^{(s)} = \frac{w_{i-1}^{(s)}}{1 + \gamma_{c_{i-1}}} + w_{i+1}^{(c)}; \quad \gamma_{c_{i-1}} = \frac{m_{c_{i-1}}}{m_{c_i}} - 1 \quad (i = 1 \dots n). \quad (9)$$

Здесь  $w_{i-1}^{(s)}$  – мощность энергии, потребляемой системой последовательно соединенных конвейеров и бункеров, расположенных до  $i$ -го бункера;  $w_{i+1}^{(c)}$  – мощность энергии, потребляемая  $(i+1)$ -ым конвейером;  $m_{c_{i-1}}$  – пропускная способность системы последовательно соединенных конвейеров и бункеров, расположенных до  $i$ -го бункера.

Согласно [6], мощность  $i$ -го конвейера системы конвейерного транспорта определяется по формуле

$$w_i^{(c)} = N_i, \quad (10)$$

где

$$N_i = \frac{L_i}{1000\eta_i} \left[ k_{1i} v_{li} (q'_{pi} + q''_{pi} + 2q_{li}) \omega'_i \cos \alpha_i + v_{li} q_{\Gamma_i} (k_{1i} \omega'_i \cos \alpha_i + \sin \alpha_i) \right] \quad (11)$$

Здесь  $N_i$  – мощность потребляемого приводом  $i$ -го конвейера, кВт;  $L_i$  – длина  $i$ -го конвейера, м;  $\eta_i$  – коэффициент полезного действия привода  $i$ -го конвейера;  $v_{li}$  – скорость ленты  $i$ -го конвейера, м/с;  $q_{\Gamma_i}$ ,  $q_{li}$  – соответственно погонные веса насыпного груза и ленты  $i$ -го конвейера, Н/м;  $q'_{pi}$ ,  $q''_{pi}$  – соответственно погонные веса вращающихся частей роlikоопор верхних и нижних ветвей ленты  $i$ -го конвейера, Н/м;  $\alpha_i$  – угол наклона  $i$ -го конвейера, град;  $k_{1i}$  – коэффициент, учитывающий местное сопротивление  $i$ -го конвейера;  $\omega'_i$  – коэффициент сопротивления движению ленты с грузом по роlikоопорам  $i$ -го конвейера.

В формуле (11) погонная нагрузка  $q_{\Gamma_i}$  зависит от текущей производительности конвейера  $Q_i$  (т/ч) и определяется по формуле

$$q_{\Gamma_i} = \frac{Q_i}{0,36v_{li}}. \quad (12)$$

Текущая производительность  $i$ -го конвейера системы конвейерного транспорта определяется по формуле

$$Q_i = 60m_{c_{i-1}} \quad (i = 1, n+1). \quad (13)$$

Рассмотрим систему конвейерного транспорта дрововидной самоподобной структуры с бункерами (рис. 2).

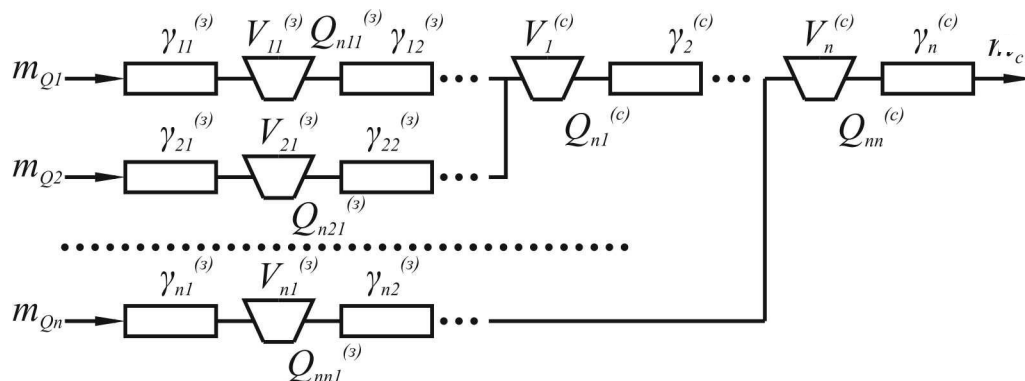


Рисунок 2. – Расчетная схема самоподобной дрововидной структуры соединения бункеров

Обозначим через  $\gamma_i^{(c)}, \gamma_{ij}^{(s)}$  – коэффициенты аварийности стволовых и забойных конвейеров соответственно;  $V_i^{(c)}, V_{ij}^{(s)}$  – объемы бункеров стволовых и забойных путей;  $Q_{ni}^{(c)}, Q_{n_j}^{(s)}$  – производительности питателей стволовых и забойных путей, где  $i = 1, n; j = 1, k_i; k_i$  – количество бункеров в  $i$ -ой забойной линии.

Согласно работы [8], пропускная способность этой системы определяется по рекуррентным формулам:

при  $m_{Q_i} > Q_{n_i}$

$$m_{c_i} = \left[ \frac{e^{A_{1i}\gamma_{\partial_i}^{(c)}} + \frac{m_i^{(s)}}{(m_i^{(s)} - \bar{Q}_{n_i}^{(c)})} (e^{A_{1i}\gamma_{\partial_i}^{(c)}} - 1)}{1 + \frac{e^{A_{1i}\gamma_{\partial_i}^{(c)}}}{\gamma_{\partial_i}^{(c)}} + \frac{m_i^{(s)}}{(m_i^{(s)} - \bar{Q}_{n_i}^{(c)})} (e^{A_{1i}\gamma_{\partial_i}^{(c)}} - 1)} \right] \bar{Q}_{n_i}^{(c)}, \quad (14)$$

где  $A_{1i} = \frac{\mu_c [m_i^{(s)}(1 + \gamma_{\partial_i}^{(c)}) - (1 + \gamma_{\partial_i}^{(c)})\bar{Q}_{n_i}^{(c)}]}{[m_i^{(s)}(1 + \gamma_{\partial_i}^{(c)}) - \bar{Q}_{n_i}^{(c)}] \bar{Q}_{n_i}^{(c)}}$ ;  $\gamma_{\partial_i}^{(c)} = \frac{\sum_{k=1}^i m_{Q_k}}{m_i^{(s)}} - 1$ ;  $m_i^{(s)} = m_{c_{i-1}} + \frac{m_{Q_i}}{1 + \gamma_{\partial_i}^{(s)}}$ ;

$\bar{Q}_{n_i}^{(c)} = \frac{Q_{n_i}^{(c)}}{1 + \gamma_{i+1}^{(c)}}$ ;  $m_{c0} = 0$ ;  $\mu_c = \mu_i$ ;  $i = 1, n$ ;  $\gamma_i^{(c)}$  – коэффициенты аварийности

конвейеров стволового пути;  $\gamma_{\partial_i}^{(c)}$  – эквивалентные коэффициенты аварийности стволовых путей с бункерами;  $\gamma_{\partial_i}^{(s)}$  – эквивалентные коэффициенты аварийности забойных путей с бункерами;

при  $m_{Q_i} \leq Q_{n_i}$

$$m_{c_i} = \left[ \frac{1 + \frac{(Q_{n_i}^{(c)} - \bar{Q}_{n_i}^{(c)})}{(\bar{Q}_{n_i}^{(c)} - m_i^{(s)})} (1 - e^{A_{2i}\gamma_{\partial_i}^{(c)}})}{1 + \gamma_{i+1}^{(c)} e^{A_{2i}\gamma_{\partial_i}^{(c)}} + \frac{(Q_{n_i}^{(c)} - \bar{Q}_{n_i}^{(c)})}{(\bar{Q}_{n_i}^{(c)} - m_i^{(s)})} (1 - e^{A_{1i}\gamma_{\partial_i}^{(c)}})} \right] m_i^{(s)}, \quad (15)$$

где  $A_{2i} = \frac{\mu_c [m_i^{(s)}(1 + \gamma_{i+1}^{(c)}) - Q_{n_i}^{(c)}]}{m_i^{(s)} (Q_{n_i}^{(c)} - m_i^{(s)})}$ , ( $\mu_c = \mu_i$ ;  $i = 1, n$ ).

Здесь эффективные коэффициенты аварийности забойных путей с бункерами определяются по формулам:

$$\gamma_{\partial_i}^{(s)} = \frac{m_{Q_i}}{m_{c_i}^{(s)}} - 1, \quad (\gamma_{\partial_i}^{(c)} = \gamma_{\partial_i}^{(s)}, \quad i = 1, n), \quad (16)$$

где  $m_{c_i}^{(s)}$  – средняя пропускная способность  $i$ -го забойного пути системы конвейерного транспорта с бункерами, определяемая аналогично по формулам (5) и (6).

Аналогично, как и при последовательном соединении конвейеров и бункеров, учитывая самоподобие древовидной системы конвейерного транспорта, получим рекуррентные формулы для определения средней энергоемкости транспортирования  $w_c$  системы конвейерного транспорта самоподобной древовидной структуры с бункерами (см. рис. 2) в виде:

$$w_c = w_n^{(s)}, \quad (17)$$

где

$$w_i^{(s)} = \frac{w_{i-1}^{(s)}}{1 + \gamma_{\partial_{i-1}}^{(c)}} + w_{i+1}^{(c)} + w_{i+1}^{(s)}, \quad (i=1, n), \quad (18)$$

$$\gamma_{\partial_{i-1}}^{(c)} = \frac{m_i^{(s)}}{m_{c_i}} - 1; \quad m_i^{(s)} = m_{c_{i-1}} + \frac{m_{Q_i}}{1 + \gamma_{\partial_i}^{(s)}}; \quad \gamma_{\partial_i}^{(s)} = \frac{m_{Q_i}}{m_{c_i}} - 1 \quad (w_0^{(s)} = w_1^{(s)}, \quad w_i^{(c)} = N_i^{(c)}).$$

Здесь  $w_i^{(s)}$  – мощность электроэнергии, потребляемой системой конвейерного транспорта на транспортирование горной массы на участке до  $i+1$  бункера стволовой линии;  $w_i^{(c)}$  – мощность электроэнергии, потребляемая  $i$ -м конвейером стволовой линии на транспортирование горной массы;  $w_i^{(s)}$  – мощность электроэнергии, потребляемая  $i$ -м конвейером забойной линии на транспортирование горной массы;  $\gamma_{\partial_i}^{(s)}$  – эквивалентный коэффициент аварийности  $i$ -ой забойной конвейерной линии;  $N_i^{(c)}$  – мощность привода  $i$ -го конвейера стволовой конвейерной линии, идущая на транспортирование горной массы, кВт;  $m_{Q_i}$  – средняя производительность  $i$ -го забоя, т/мин.

Кроме того,  $w_i^{(s)}$  для каждой забойной конвейерной линии определяется согласно рекуррентным соотношениям (9), полученным для последовательного соединения конвейеров и бункера.

На основании полученных рекуррентных соотношений для систем конвейерного транспорта самоподобной древовидной системы были получены средние значения пропускной способности, энергоемкости транспортирования, а также критерий эффективности по формуле (1).

В таблицах 1 и 2 представлены исходные данные и результаты расчета указанных показателей для случаев  $m_{Q_i} > Q_{n_i}$  и  $m_{Q_i} \leq Q_{n_i}$  соответственно.

При этом в расчетах принимались стоимость 1 т угля  $C_1 = 1200$  грн., стоимость 1 кВт электроэнергии  $C_2 = 0,75$  грн.

Таблица 1

Исходные данные и результаты расчета показателей эффективности системы конвейерного транспорта случае  $m_{Q_i} > Q_{n_i}$  ( $n=5; k_i = 5$ )

$m_{Q_i}$ , Т/МИН	$Q_{n_i}^{(c)}$ , Т/МИН	$Q_{n_i}^{(s)}$ , Т/МИН	$\gamma_i^{(c)}$	$\gamma_{ij}^{(s)}$	$\mu_i$ , 1/МИН	$V_i^{(c)}$ , М <sup>3</sup>	$V_{ij}^{(s)}$ , Т/МИН	$m_c$ , Т/МИН	$w_c$ , кВт	$K$ , тыс. грн./мин
5,6	5,0	5,0	0,037	0,193	0,054	300,0	100,0	4,42	99,0	0,85
5,6	5,0	5,0	0,037	0,193	0,054	300,0	100,0			
5,6	5,0	5,0	0,037	0,193	0,054	300,0	100,0			
5,6	5,0	5,0	0,037	0,193	0,054	300,0	100,0			
5,6	5,0	5,0	0,037	0,193	0,054	300,0	100,0			

Таблица 2

Исходные данные и результаты расчета показателей эффективности системы конвейерного транспорта случае  $m_{Q_i} \leq Q_{n_i}$  ( $n=5; k_i = 5$ )

$m_{Q_i}$ , Т/МИН	$Q_{n_i}^{(c)}$ , Т/МИН	$Q_{n_i}^{(s)}$ , Т/МИН	$\gamma_i^{(c)}$	$\gamma_{ij}^{(s)}$	$\mu_i$ , 1/МИН	$V_i^{(c)}$ , М <sup>3</sup>	$V_{ij}^{(s)}$ , Т/МИН	$m_c$ , Т/МИН	$w_c$ , кВт	$K$ , тыс. грн./МИН
5,6	6,0	6,0	0,037	0,193	0,054	300,0	100,0	20,69	525,5	1,18
5,6	6,0	6,0	0,037	0,193	0,054	300,0	100,0			
5,6	6,0	6,0	0,037	0,193	0,054	300,0	100,0			
5,6	6,0	6,0	0,037	0,193	0,054	300,0	100,0			
5,6	6,0	6,0	0,037	0,193	0,054	300,0	100,0			

Из таблиц 1 и 2 видно, что если производительность питателей больше грузопотоков, поступающих из лав ( $m_{Q_i} \leq Q_{n_i}$ ), то средняя пропускная способность  $m_c$  и средняя энергоёмкость  $w_c$  увеличиваются примерно в 5 раз, а критерий эффективности  $K$  увеличивается в 1,4 раза по сравнению со случаем, когда производительность питателей меньше поступающих из лав грузопотоков ( $m_{Q_i} > Q_{n_i}$ ).

Кроме того, из таблиц видно, что если величины грузопотоков, поступающих из лав, больше производительностей питателей ( $m_{Q_i} > Q_{n_i}$ ), то коэффициент эффективности  $K$  системы подземного конвейерного транспорта близок к нулю ( $K = 0,85$ ), т.е. работа системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт не эффективна.

Расчеты показали, что при увеличении стоимости 1 кВт электроэнергии до 1 грн. ( $C_2 = 1$  грн.), не зависимо от соотношения величин поступающих грузопотоков из лав и производительностей питателей коэффициент эффективности  $K < 0$ , т.е. работа системы подземного конвейерного транспорта не эффективна.

**Выводы.** На основании математических моделей функционирования систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт получен алгоритм определения средней энергоёмкости транспортирования горной массы. При этом учитывались простои конвейеров и бункеров, а также структура системы конвейерного транспорта.

Определен критерий эффективности функционирования системы подземного конвейерного транспорта при различных соотношениях поступающих из лав грузопотоков и производительностей питателей бункеров.

При этом установлено, если производительность питателей системы конвейерного транспорта больше грузопотоков поступающих из лав, то средняя пропускная способность и средняя энергоёмкость транспортирования и критерий эффективности существенно увеличиваются по сравнению со случаем, когда производительность бункеров меньше грузопотоков поступающих из лав.



Наиболее существенными параметрами, влияющими на эффективность функционирования систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт, являются величины грузопотоков, поступающих из лав, производительности питателей, объемы бункеров и стоимость 1 кВт электроэнергии.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Системы подземного транспорта на угольных шахтах / В. А. Пономаренко, Е. Л. Креймер, Г. А. Дунаев [и др.]. – М.: Недра, 1975. – 309 с.
2. Спиваковский А.О. Карьерный конвейерный транспорт / А.О. Спиваковский, М.Г. Потапов, Г.В. Приседский. – М.: Недра, 1979. – 264 с.
3. Степанов П. Б. Надежность многобункерных конвейерных линий / П. Б. Степанов, Л. М. Алотин // Изв. ВУЗов. Горный журнал. – 1978. – №1. – С. 94-99.
4. Климов Б. Г. Оценка эффективности функционирования шахтных транспортных систем с бункерами / Б. Г. Климов, В. Я. Богуславский // Изв. ВУЗов. Горный журнал. – 1976. – № 5. – С. 93–96.
5. Кирия Р. В. Применение фракталов к определению пропускной способности систем конвейерного транспорта горных предприятий / Р. В. Кирия // Системні технології: Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2010. – Випуск 2(67). – С. 167–174.
6. Кирия Р. В. Адаптивное управление конвейерными линиями горных предприятий / Р. В. Кирия, В. Ф. Монастырский, В. Ю. Максютенко // Форум гірників–2011: Матеріали міжнарод. конф., 12–15 жовтня 2011 р. – Днепропетровск: Національний гірничий університет, 2011. – С. 87–95.
7. Кирия Р. В. Математические модели функционирования систем конвейерного транспорта угольных шахт / Р. В. Кирия, Т. Ф. Мищенко, Ю. В. Бабенко // Системні технології: Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2014. – Випуск 1. – С. 146–158.
8. Кирия Р. В. Разработка быстрого алгоритма определения пропускной способности системы «конвейер – бункер – конвейер» / Р. В. Кирия, Т. Ф. Мищенко, Ю. В. Бабенко // Системні технології: Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2013. – Випуск 1. – С. 146–158.