

The originality. For the first time, using the Ritz method, a mathematical model of the movement of bulk cargo, including large pieces, has been developed on the basis of a tubular belt conveyor with rigid roller bearings.

Practical implications. The developed method for determining the dynamic forces and the dynamic factor for the movement of the belt and the load along the roller supports of the tubular conveyor will allow determining the load on the roller bearings at the design stage of the tubular conveyors and thereby increasing the reliability of the conveyor.

Keywords: *tubular conveyor, roller bearings, tape, small-piece cargo, large piece, dynamic forces, dynamic coefficient, critical speed.*

УДК 622.647.2

© Р. В. Кирия, Т. Ф. Мищенко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА УГОЛЬНЫХ ШАХТ С УПРАВЛЯЕМЫМИ АККУМУЛИРУЮЩИМИ БУНКЕРАМИ

© R. Kiriya, T. Mishchenko

DETERMINATION OF CARRYING CAPACITY OF SYSTEM CONVEYER TRANSPORT OF COAL MINES WITH THE GUIDED HEAT-SINK BUNKERS

На основании метода динамики средних для марковских процессов определена средняя пропускная способность системы конвейерного транспорта угольных шахт с самоподобной древовидной структурой с аккумулялирующими бункерами, работающими в режиме поддержания в них объема груза в заданных пределах. При этом учитывались простои конвейерного оборудования и неравномерность грузопотоков, поступающих из лав.

На підставі методу динаміки середніх для марковських процесів визначено середню пропускну здатність системи конвеєрного транспорту вугільних шахт із самоподібною деревовидною структурою з акумулюючими бункерами, що працюють в режимі підтримки в них об'єму вантажу в заданих границях. При цьому враховувалися простои конвеєрного обладнання і нерівномірність вантажопотоків, що поступають з лав.

Введение. Система конвейерного подземного транспорта угольных шахт имеет сложную разветвленную структуру. Отказы конвейеров часто приводят к простоям лав и, как следствие, к снижению производительности системы конвейерного транспорта.

Для повышения пропускной способности системы подземного конвейерного транспорта на угольных шахтах широкое применение получили аккумулялирующие бункеры. Они позволяют за счет накопления некоторого количества груза в бункере во время простоев конвейеров увеличить пропускную способ-

ность системы подземного конвейерного транспорта (временное резервирование) [1, 2].

Однако, несмотря на применение аккумулирующих бункеров, эффективность функционирования системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт невысокая. Это связано с большими потерями производительности системы конвейерного транспорта из-за переполнения бункеров, а также потерями электроэнергии из-за недогруженности конвейеров.

Одним из методов повышения эффективности работы системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт является управление аккумулирующими бункерами с помощью контроллеров. При этом в аккумулирующем бункере с помощью изменения скорости питателя поддерживается объем груза в заданных пределах, что позволяет не отключать надбункерную конвейерную линию из-за переполнения бункера (рис. 1) [3, 4]. Причем величина этих пределов зависит от места расположения бункера в системе конвейерного транспорта.

В настоящее время разработаны методы определения средней пропускной способности систем конвейерного транспорта с аккумулирующими бункерами, работающими в неуправляемом режиме [5].

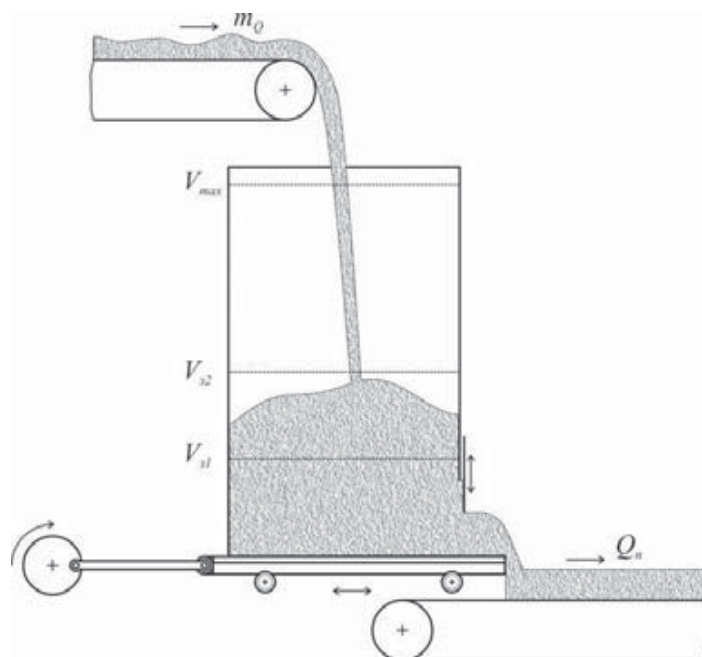


Рис. 1. Схема работы аккумулирующего бункера в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах

В статье на основе математической модели функционирования системы «конвейер – бункер – конвейер» определена средняя пропускная способность систем подземного конвейерного транспорта с последовательным и параллельным соединением бункеров, а также самоподобной древовидной структуры с аккумулирующими бункерами, работающими в режиме поддержания в них объемов груза в заданных пределах.

Как и в работах [5], в этом случае для определения средней пропускной способности также применялся метод динамики средних для марковских процессов.

Рассмотрим сначала последовательное соединение конвейеров и аккумулирующих бункеров, работающих в режиме поддержания в них объемов груза в заданных пределах (рис. 2).

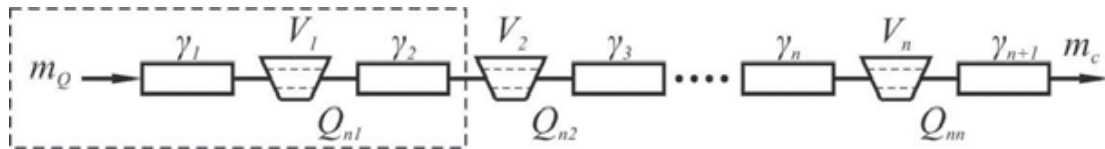


Рис. 2. Расчетная схема последовательного соединения бункеров

Для определения средней пропускной способности (средней производительности) системы конвейерного транспорта с последовательным соединением бункеров воспользуемся свойством самоподобия ее структуры.

Выделим в этой схеме с левого края простейшую подсистему «конвейер – бункер – конвейер», обведенную пунктирной линией (см. рис. 2).

При функционировании аккумулирующих бункеров в системе конвейерного транспорта в режиме поддержания в них объема груза в заданных пределах если объемы груза в бункерах достигнут максимального заданного значения V_{32} , то питатели отключаются, а при достижении минимальных заданных объемов груза в бункерах V_{31} питатели включаются. При этом надбункерная конвейерная линия не отключается (см. рис. 1).

Рассмотрим случай, когда величина среднего грузопотока \bar{m}_{Q_1} , поступающего в бункер, меньше среднего грузопотока \bar{Q}_{n_1} , разгружаемого из бункера, т.е. $\bar{m}_{Q_1} < \bar{Q}_{n_1}$.

Предположим, что средняя величина грузопотока, поступающего на вход первого надбункерного конвейера, равна m_Q (т/мин), коэффициенты интенсивностей простоев и восстановлений надбункерного и подбункерного конвейеров первого бункера равны λ_1, μ_1 (мин⁻¹) и λ_2, μ_2 (мин⁻¹) соответственно; производительность питателя первого бункера равна Q_{n_1} (т/мин), объем груза в первом бункере равен $V_{\max} = V_1$ (м³), а максимальный и минимальный заданные его объемы равны соответственно $V_{32} = V_{12}$ (м³) и $V_{31} = V_{11}$ (м³).

При этом средние грузопотоки, поступающий в первый бункер и разгружаемый из него, определяются по формулам

$$\bar{m}_{Q_1} = \frac{\mu_1}{\lambda_1 + \mu_1} \cdot m_Q; \quad \bar{Q}_{n_1} = \frac{\mu_2}{\lambda_2 + \mu_2} \cdot Q_n. \quad (1)$$

Если первый аккумулирующий бункер работает в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах и бункер не переполняется, т.е. объем груза в бункере не превышает объема бункера V_1 и при этом надбункерная кон-

вейерная линия не отключена, то средняя пропускная способность системы равна \bar{m}_{Q1} .

Однако в случае достижения заданного максимального объема груза в бункере V_{12} при неработающем подбункерном конвейере возможно переполнение бункера, т.е. достижение объема груза в бункере, равного объему бункера V_1 .

Обозначим вероятность этого события через P_c . Тогда средняя пропускная способности системы «конвейер – бункер – конвейер» будет равна

$$m_{c1} = P_c \cdot \bar{m}_{Q1}. \quad (2)$$

Определим вероятность переполнения аккумулирующего бункера P_c . Эта вероятность равна вероятности произведения двух независимых событий: вероятности простоя подбункерного конвейера \bar{P}_2 и вероятности того, что за время заполнения бункера надбункерным конвейером подбункерный конвейер не начнет работать.

Вероятность простоя подбункерного конвейера равна

$$\bar{P}_2 = 1 - P_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2}. \quad (3)$$

где $P_2 = \frac{\mu_2}{\lambda_2 + \mu_2}$.

Вероятность того, что за время T_1 (мин) подбункерный конвейер не начнет работать, согласно экспоненциальному закону распределения времени его простоя равна

$$P'_2 = e^{-\mu_2 T_1}. \quad (4)$$

Время T_1 заполнения бункера грузом до объема $\Delta V_2 = V_1 - V_{12}$ надбункерным конвейером при неработающем подбункерным конвейером определяется по формуле

$$T_1 = \frac{\rho \Delta V_2}{\bar{m}_{Q1}}. \quad (5)$$

Согласно теореме о вероятности произведений двух независимых событий вероятность переполнения бункера \bar{P}_c равна

$$\bar{P}_c = \bar{P}_2 P'_2. \quad (6)$$

Подставляя (3) и (4) в (6), в результате получим вероятность переполнения бункера

$$\bar{P}_c = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} e^{-\mu_2 T_1}, \quad (7)$$

где $T_1 = \frac{\rho \Delta V_2}{\bar{m}_{Q1}}$.

Вероятность непереполнения бункера P_c определим по формуле

$$P_c = 1 - \bar{P}_c = 1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} e^{-\mu_2 T_1}$$

или с учетом (5) имеем:

$$P_c = 1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} e^{\frac{\rho \Delta V_2}{\bar{m}_{Q1}} \mu_2}. \quad (8)$$

Подставляя (8) в (2), окончательно получим пропускную способность системы «конвейер – бункер – конвейер» в случае работы аккумулирующего бункера в режиме поддержания заданного объема груза в бункере, то есть в третьем режиме его работы:

$$m_{c1} = \left[1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} e^{-\frac{\rho \Delta V_2}{\bar{m}_{Q1}} \mu_2} \right] \bar{m}_{Q1}. \quad (9)$$

Формула (7) совпадает с формулой работы Хенли Е.Ж., полученной для пустого бункера и постоянно работающего надбункерного конвейера.

Следовательно, среднюю пропускную способность подсистемы, состоящей из последовательно соединенных первого конвейера, бункера и второго конвейера, являющейся частью системы n последовательно соединенных бункеров и конвейеров, можно определить по формуле (см. рис. 2):

$$m_{c1} = \left(1 - \frac{\gamma_2}{1 + \gamma_2} e^{-\frac{\rho \Delta V_2}{\bar{m}_{Q1}} \mu_2} \right) \bar{m}_{Q1}, \quad (10)$$

где $\bar{m}_{Q1} = \frac{m_Q}{1 + \gamma_1}$; $\gamma_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}$; $\gamma_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2}$; $\Delta V_2 = V_1 - V_{12}$.

Здесь γ_1 и γ_2 – коэффициенты простоев надбункерного и подбункерного конвейеров первого бункера соответственно.

Теперь рассмотрим случай $\bar{m}_{Q1} \geq \bar{Q}_{m1}$.

Проведя аналогичные выкладки для этого случая, получим среднюю пропускную способность простейшей системы «конвейер – бункер – конвейер», равную

$$m_{c1} = \left(1 - \frac{\gamma_1}{1 + \gamma_1} e^{-\frac{\rho \Delta V_1}{\bar{Q}_{m1}} \mu_1} \right) \bar{Q}_{m1}, \quad (11)$$

где $\Delta V_1 = V_1 - V_{11}$.

Продолжая этот процесс n раз, определим среднюю пропускную способность системы с последовательным соединением бункеров в режиме поддержания в них объема груза в заданных пределах груза по рекуррентной формуле:

$$m_c = m_{c_n}. \quad (12)$$

Здесь m_{c_i} определяется из рекуррентных соотношений:

при $\bar{m}_{Q_i} \geq \bar{Q}_{n_i}$

$$m_{c_i} = \left(1 - \frac{\gamma_{\partial i}}{1 + \gamma_{\partial i}} e^{-\frac{\rho \Delta V_{1i}}{\bar{Q}_{n_i}} \mu_{c_i}} \right) \bar{Q}_{n_i}; \quad (13)$$

при $\bar{m}_{Q_i} < \bar{Q}_{n_i}$

$$m_{c_i} = \left(1 - \frac{\gamma_{i+1}}{1 + \gamma_{i+1}} e^{-\frac{\rho \Delta V_{2i}}{\bar{m}_{Q_i}} \mu_{i+1}} \right) \bar{m}_{Q_i}, \quad (14)$$

где $\bar{m}_{Q_i} = \frac{m_Q}{1 + \gamma_{\partial i}} = m_{c_{i-1}}$; $\bar{Q}_{n_i} = \frac{Q_{n_i}}{1 + \gamma_{i+1}}$; $\gamma_{\partial i} = \frac{m_Q}{m_{c_{i-1}}} - 1$; $m_{c_0} = \frac{m_Q}{1 + \gamma_1}$; $\gamma_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}$;

$$\Delta V_{1i} = V_i - V_{1i}; \quad \Delta V_{2i} = V_i - V_{2i}; \quad \mu_{c_i} = i \left(\sum_{k=1}^i \frac{1}{\mu_k} \right)^{-1} \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

Здесь λ_i, μ_i – интенсивности простоев и восстановлений надбункерного конвейера i -го бункера, мин^{-1} ; λ_{i+1}, μ_{i+1} – интенсивности простоев и восстановлений подбункерного конвейера i -го бункера, мин^{-1} ; γ_i, γ_{i+1} – коэффициенты простоев надбункерного и подбункерного конвейеров i -го бункера; $\gamma_{\partial i}$ – эквивалентный коэффициент простоев системы, состоящей из i первых последовательно соединенных бункеров и конвейеров системы; μ_{c_i} – средняя интенсивность восстановлений системы конвейерного транспорта до i -го бункера, мин^{-1} , определяемая как обратная величина среднего арифметического от средних времен простоев всех конвейеров системы конвейерного транспорта до i -го бункера; V_i – объем i -го бункера, м^3 ; V_{1i} – минимальный заданный объем груза в i -ом бункере, м^3 ; V_{2i} – максимальный заданный объем груза в i -ом бункере, м^3 ; n – количество бункеров в системе.

Рассмотрим систему конвейерного транспорта с полным параллельным соединением конвейеров и бункеров, работающих в режиме поддержания заданного уровня груза в бункере (рис. 3).

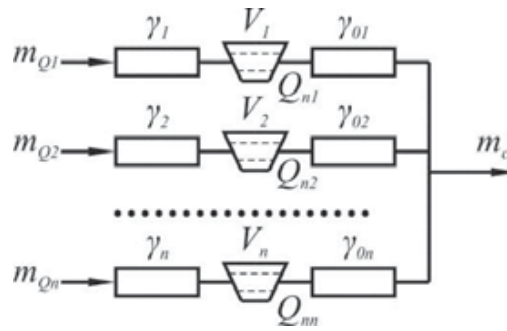


Рис. 3. Расчетная схема с полным параллельным соединением бункеров

Для этой системы так же, как и в предыдущем случае, используя самоподобие ее структуры, в результате получим

$$m_c = \sum_{i=1}^n m_{c_i} . \quad (15)$$

Здесь m_{c_i} определяются по формулам:

при $\bar{m}_{Q_i} \geq \bar{Q}_{n_i}$

$$m_{c_i} = \left(1 - \frac{\gamma_i}{1 + \gamma_i} e^{-\frac{\rho \Delta V_{1i}}{\bar{Q}_{n_i}} \mu_i} \right) \bar{Q}_{n_i} ; \quad (16)$$

при $\bar{m}_{Q_i} < \bar{Q}_{n_i}$

$$m_{c_i} = \left(1 - \frac{\gamma_{0i}}{1 + \gamma_{0i}} e^{-\frac{\rho \Delta V_{2i}}{\bar{m}_{Q_i}} \mu_{0i}} \right) \bar{m}_{Q_i} , \quad (17)$$

где $\bar{m}_{Q_i} = \frac{m_{Q_i}}{1 + \gamma_i}$; $\bar{Q}_{n_i} = \frac{Q_{n_i}}{1 + \gamma_{0i}}$; $\Delta V_{1i} = V_i - V_{1i}$; $\Delta V_{2i} = V_i - V_{2i}$ ($i =$

1, 2, ..., n).

Здесь λ_i, μ_i – интенсивности простоев и восстановления надбункерного конвейера i -го бункера, мин^{-1} ; λ_{0i}, μ_{0i} – интенсивности простоев и восстановления подбункерного конвейера i -го бункера, мин^{-1} ; γ_i, γ_{0i} – коэффициенты простоев надбункерного и подбункерного конвейеров; n – количество ветвей (бункеров) в системе.

Для неполного параллельного соединения бункеров (рис. 4) среднее значение пропускной способности системы конвейерного транспорта определяется также по формулам (15) и (17), в которых значения коэффициентов аварийности γ_{0i} и параметров потока восстановлений μ_{0i} надбункерных конвейеров заменяются значениями коэффициента аварийности γ_0 и параметра потока восстановления μ_0 сборного конвейера ($\gamma_{0i} = \gamma_0, \mu_{0i} = \mu_0, i = 1, 2, \dots, n$).

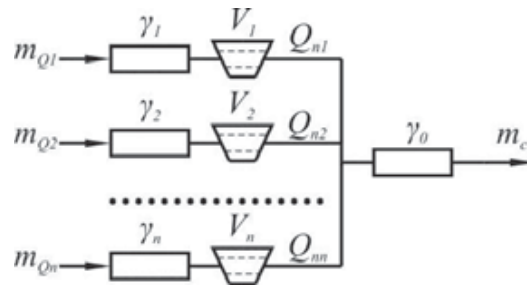


Рис. 4. Расчетная схема с неполным параллельным соединением бункеров

Рассмотрим систему конвейерного транспорта древовидной самоподобной структуры с бункерами, работающими в режиме поддержания заданного уровня груза (рис. 5).

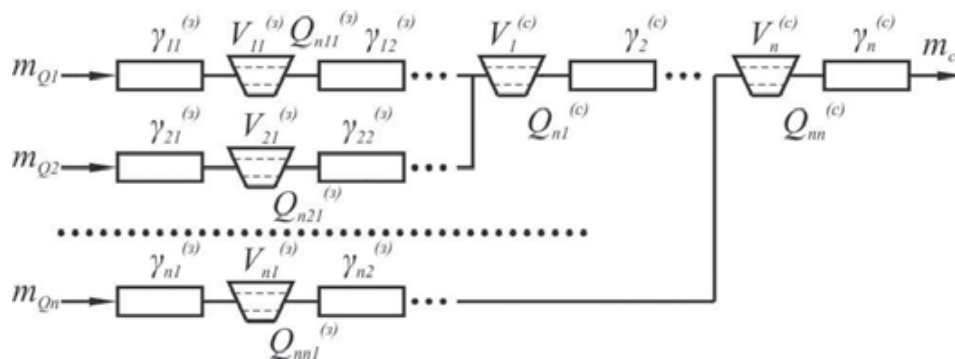


Рис. 5. Расчетная схема самоподобной древовидной структуры соединения бункеров

Используя самоподобие [5], среднюю пропускную способность этой системы можно определить по рекуррентной формуле

$$m_c = m_{c_n}. \quad (18)$$

Здесь m_{c_i} определяются из рекуррентных соотношений:

при $\bar{m}_{Q_i} \geq \bar{Q}_{n_i}$

$$m_{c_i} = \left(1 - \frac{\gamma_{\partial i}^{(c)}}{1 + \gamma_{\partial i}^{(c)}} e^{-\frac{\rho \Delta V_{1i}^{(c)}}{\bar{Q}_{n_i}^{(c)}} \mu_{c_i}^{(c)}} \right) \bar{Q}_{n_i}^{(c)}; \quad (19)$$

при $\bar{m}_{Q_i} < \bar{Q}_{n_i}$

$$m_{c_i} = \left(1 - \frac{\gamma_{i+1}^{(c)}}{1 + \gamma_{i+1}^{(c)}} e^{-\frac{\rho \Delta V_{2i}^{(c)}}{m_i^{(s)}} \mu_{i+1}^{(c)}} \right) m_i^{(s)}, \quad (20)$$

$$\text{где } \gamma_{\text{э}i}^{(c)} = \frac{\sum_{k=1}^i m_{Q_k}}{m_i^{(s)}} - 1; \quad m_i^{(s)} = m_{c_{i-1}} + \frac{m_{Q_i}}{1 + \gamma_{\text{э}i}^{(3)}}; \quad \bar{Q}_{n_i}^{(c)} = \frac{Q_{n_i}^{(c)}}{1 + \gamma_{i+1}^{(c)}}; \quad m_{c_0} = 0;$$

$$\Delta V_{1i}^{(c)} = V_i^{(c)} - V_{1i}^{(c)}; \quad \Delta V_{2i}^{(c)} = V_i^{(c)} - V_{2i}^{(c)}; \quad \gamma_i^{(c)} = \frac{\lambda_i^{(c)}}{\mu_i^{(c)}}; \quad \mu_{c_i}^{(c)} = i \left(\sum_{k=1}^i \frac{1}{\mu_k^{(c)}} \right)^{-1}$$

($i = 1, 2, \dots, n$).

Здесь $\lambda_i^{(c)}, \mu_i^{(c)}$ – интенсивности простоев и восстановлений конвейеров стволового пути (мин^{-1}); $\gamma_i^{(c)}$ – коэффициенты простоев конвейеров стволового пути; $\mu_{c_i}^{(c)}$ – средняя интенсивность восстановлений системы конвейерного транспорта до i -го бункера, мин^{-1} стволового пути, определяемая как обратная величина среднего арифметического от средних времен простоев всех конвейеров стволового пути системы конвейерного транспорта до i -го бункера стволового пути; $V_i^{(c)}$ – объемы бункеров стволового пути, м^3 ; $V_{1i}^{(c)}$ – минимальные заданные объемы груза в бункерах стволового пути, м^3 ; $V_{2i}^{(c)}$ – максимальные заданные объемы груза в бункерах стволового пути, м^3 ; $\gamma_{\text{э}i}^{(3)}$ – эквивалентные коэффициенты аварийности забойных путей; $Q_{n_i}^{(c)}$ – производительность питателей стволового пути, т/мин ; n – количество забойных путей (лав).

Эффективные коэффициенты простоев забойных путей определяются по формулам:

$$\gamma_{\text{э}i}^{(3)} = \frac{m_{Q_i}}{m_{c_i}^{(3)}} - 1 \quad (\gamma_{\text{э}1}^{(c)} = \gamma_{\text{э}1}^{(3)}, i = 1, 2, \dots, n), \quad (21)$$

где $m_{c_i}^{(3)}$ – средняя пропускная способность i -го забойного пути (т/мин), которая определяется аналогично, как и для системы с последовательным соединением бункеров и конвейеров, по формулам:

$$m_{c_i}^{(3)} = m_{c_{ij}}^{(3)} \quad \text{при } j = k_i^{(3)}. \quad (22)$$

Здесь $m_{c_{ij}}^{(3)}$ определяется по формулам:

при $\bar{m}_{Q_i} \geq \bar{Q}_{n_i}$

$$m_{cij}^{(3)} = \left(1 - \frac{\gamma_{\text{э}ij}^{(3)}}{1 + \gamma_{\text{э}ij}^{(3)}} e^{-\frac{\rho \Delta V_{1ij}^{(3)}}{\bar{Q}_{nij}} \mu_{cij}} \right) \bar{Q}_{nij}; \quad (23)$$

при $\bar{m}_{Q_i} < \bar{Q}_{n_i}$

$$m_{cij}^{(3)} = \left(1 - \frac{\gamma_{i,j+1}^{(3)}}{1 + \gamma_{i,j+1}^{(3)}} e^{-\frac{\rho \Delta V_{2ij}^{(3)}}{\bar{m}_{Q_{ij}}} \mu_{i,j+1}} \right) \bar{m}_{Q_{ij}}, \quad (24)$$

где $\bar{m}_{Q_{ij}} = \frac{m_{Q_i}}{1 + \gamma_{\text{э}ij}^{(3)}}$; $\bar{Q}_{nij} = \frac{Q_{nij}}{1 + \gamma_{i,j+1}^{(3)}}$; $\gamma_{\text{э}ij}^{(3)} = \frac{m_{Q_i}}{m_{c_{i,j-1}}^{(3)}} - 1$; $\Delta V_{1ij}^{(3)} = V_{ij}^{(3)} - V_{1ij}^{(3)}$;

$\Delta V_{2ij}^{(3)} = V_{ij}^{(3)} - V_{2ij}^{(3)}$; $m_{c_{i0}}^{(3)} = \frac{m_{Q_i}}{1 + \gamma_{i1}^{(3)}}$ ($i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, k_i^{(3)}$).

Здесь $m_{cij}^{(3)}$ и $m_{c_{i,j-1}}^{(3)}$ – соответственно средние пропускные способности системы, состоящей из j первых и $(j-1)$ первых последовательно соединенных бункеров и конвейеров i -го забойного пути, т/мин; $\lambda_{ij}^{(3)}, \mu_{ij}^{(3)}$ – интенсивности простоев и восстановлений конвейеров забойных путей, мин^{-1} ; $\gamma_{ij}^{(3)}$ – коэффициенты простоев конвейеров забойных путей; $\gamma_{\text{э}ij}^{(3)}$ – эквивалентные коэффициенты простоев системы, состоящей из j первых последовательно соединенных бункеров и конвейеров i -го забойного пути; $V_{ij}^{(3)}$ – объем j -го бункера i -го забойного пути, м^3 ; $V_{1ij}^{(3)}, V_{2ij}^{(3)}$ – минимальный и максимальный заданные объемы груза в j -ом бункере i -го забойного пути, м^3 ; $k_i^{(3)}$ – количество бункеров в i -ом забойном пути; n – количество забойных путей.

В таблице 1 представлены исходные данные и результаты расчета пропускной способности системы конвейерного транспорта самоподобной древовидной структуры с аккумулирующими бункерами, работающими в режиме поддержания в них объемов груза в заданных пределах.

Расчеты показали, что для системы подземного конвейерного транспорта самоподобной древовидной структуры с аккумулирующими бункерами стволового пути, работающими в режиме поддержания в них объема груза в заданных пределах, увеличение объемов бункеров стволового пути мало сказывается на величине пропускной способности. При этом с уменьшением максимальных за-

данных объемов грузов в бункерах пропускная способность системы конвейерного транспорта увеличивается.

Таблица 1

Исходные данные и результаты расчета пропускной способности системы конвейерного транспорта самоподобной древовидной структуры с аккумулялирующими бункерами стволового пути, работающими в управляемом режиме ($n=5; i 1,2,\dots,n; j= 1,2,\dots,n$)

| m_{Q_i} , Т/МИН | $Q_{n_i}^{(c)}$, Т/МИН | $Q_{n_{ij}}^{(z)}$, Т/МИН | $\gamma_i^{(c)}$ | $\gamma_{ij}^{(z)}$ | μ_i , МИН ⁻¹ | $V_i^{(c)}$, М ³ | $V_{2i}^{(c)}$, М ³ | $V_{ij}^{(z)}$, Т/МИН | m_c , Т/МИН |
|----------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------|------------------|
| 5,6 | 6,0 | 6,0 | 0,037 | 0,193 | 0,054 | 300,0 | 100,0 | 100,0 | 23,8 |
| 5,6 | 6,0 | 6,0 | 0,037 | 0,193 | 0,054 | 300,0 | 100,0 | 100,0 | |
| 5,6 | 6,0 | 6,0 | 0,037 | 0,193 | 0,054 | 300,0 | 100,0 | 100,0 | |
| 5,6 | 6,0 | 6,0 | 0,037 | 0,193 | 0,054 | 300,0 | 100,0 | 100,0 | |
| 5,6 | 6,0 | 6,0 | 0,037 | 0,193 | 0,054 | 300,0 | 100,0 | 100,0 | |

Выводы. На основе теории марковских процессов разработаны математические модели, описывающие процесс функционирования системы «конвейер – бункер – конвейер» с аккумулялирующим бункером, работающим в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах. При этом учитывались простои конвейеров по аварийным, технологическим и организационным причинам.

На основании метода динамики средних для марковских процессов и полученных зависимостей средней пропускной способности простейшей системы «конвейер – бункер – конвейер» определена средняя пропускная способность систем подземного конвейерного транспорта с последовательным и параллельным соединением бункеров, а также с самоподобной древовидной структурой с аккумулялирующими бункерами, работающими в режиме поддержания в них объемов груза в заданных пределах.

При этом установлено, что для систем подземного конвейерного транспорта самоподобной древовидной структуры с аккумулялирующими бункерами стволового пути, работающими в режиме поддержания в них объемов груза в заданных пределах, увеличение объемов бункеров стволового пути мало сказывается на величине пропускной способности, а с уменьшением максимальных заданных объемов грузов в бункерах пропускная способность системы конвейерного транспорта увеличивается.

Кроме того, установлено, что средняя пропускная способность системы конвейерного транспорта с бункерами, работающими в режиме поддержания в них объемов груза в заданных пределах, больше на 15 % средней пропускной способности системы конвейерного транспорта с неуправляемыми бункерами.

Перечень ссылок

1. Черкесов Г. Н. Надежность технических систем с временной избыточностью / Г. Н. Черкесов. – М.: Советское радио, 1974. – 296 с.
2. Системы подземного транспорта на угольных шахтах / В. А. Пономаренко, Е. Л. Креймер, Г. А. Дунаев [и др.]. – М.: Недра, 1975. – 309 с.
3. Брагинец Д. Д. Способы и средства поддержания защитного слоя груза в бункерах систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт / Д. Д. Брагинец // Форум гірників – 2011: Матеріали міжнарод. конф., 12–15 жовтня 2011 р. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2011. – С. 240–245.
4. Кирия Р. В. Управление бункерами, работающими в системах конвейерного транспорта угольных шахт / Р. В. Кирия, В. Ю. Максютенко, Д. Д. Брагинец // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2012. – № 37. – С. 230–236.
5. 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. – Випуск 2'(91). – Дніпропетровськ, 2014. – С. 74–86.

ABSTRACT

Purpose. Determination of the capacity of the conveyor transport system of coal mines with a complex branched structure and managed storage bunkers, taking into account the downtime of conveyor equipment for emergency, technological and organizational reasons.

The methodology. To solve the problem, we used the method of the dynamics of the media for Markov processes, which makes it possible to determine its average transmission capacity. At the same time, on the basis of the theory of Markov processes with a two-phase state, a mathematical model of the process of functioning of the simplest conveyor belt system "conveyor-bunker-conveyor" was developed and, based on it, the average throughput of this system was determined.

Findings. As a result of solving the problem, algorithms for determining the average capacity of conveyor transport systems with serial and parallel connection of conveyors and a bunker working in the mode of maintaining the cargo volume within the specified limits have been obtained, as well as for a conveyor transport system with a self-similar tree structure.

The originality. For the first time, based on the method of average dynamics for Markov processes taking into account the self-similarity of the structure, a method was developed for determining the average capacity of a conveyor transport system with consecutive and parallel connection of bins, as well as with a self-similar tree structure.

Practical implications. The developed method of determining the average carrying capacity of conveyor transport systems with a complex branched structure will allow to determine and forecast the performance indicators of the functioning of conveyor transport systems of coal mines.

Keywords: *conveyor transport system, process of functioning, self-similar structure, accumulating bunker, preset volume of cargo in bunker, average throughput, efficiency criterion*