

Р.В. Кирия, Ю.В. Бабенко

**АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ
ПОДЗЕМНОГО КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА
УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

Аннотация. Система управления конвейерным транспортом представлена как двухуровневая иерархическая система, на первом уровне которой оператор задает определенные параметры для нижнего уровня управления. Глобальным критерием эффективности этой системы является комплексная величина, характеризующая энергоэффективность транспортирования горной массы, а локальными критериями являются минимальные значения средних объемов груза в аккумулирующих бункерах системы подземного конвейерного транспорта. Разработан алгоритм адаптивного управления аккумулирующими бункерами и системой подземного конвейерного транспорта.

Ключевые слова: системы подземного конвейерного транспорта, адаптивное управление, иерархическая система, критерий эффективности, аккумулирующие бункеры, алгоритм управления.

Основной задачей управления конвейерным транспортом угольных шахт является обеспечение ее максимальной пропускной способности при минимальных энергозатратах на транспортирование горной массы.

Система подземного конвейерного транспорта угольных шахт имеет сложную разветвленную структуру, состоящую из конвейеров и бункеров, связанных между собой с помощью питателей и перегрузочных узлов.

Отказы конвейеров 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 аккумулирующие бункера (временное резервирование) [1, 2].

Аккумулярующие бункеры позволяют за счет накопления некоторого количества груза в бункере во время простоя конвейеров увеличить пропускную способность системы подземного конвейерного транспорта.

Однако, эффективность функционирования системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт с бункерами невысокая. Это связано с частыми простоями конвейерных линий из-за переполнения бункеров, а также с потерями электроэнергии из-за недогрузки конвейеров.

Одним из методов повышения эффективности работы системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт является управление аккумуляющими бункерами с помощью контроллеров и регулирования скорости ленты конвейеров с помощью частотно-управляемых электродвигателей.

При этом в аккумуляющих бункерах с помощью управления скоростью питателей поддерживается заданное количество груза в бункере, в частности, включение питателей при достижении заданных максимальных объемов груза в бункерах V_{2i} и отключение питателей при достижении минимальных объемов груза в бункерах V_{1i} (рис. 1). В этом случае поступающие в бункеры грузопотоки не выключаются и их величины должны быть меньше производительностей питателей. Этот режим работы бункеров позволяет не отключать надбункерные конвейерные линии из-за переполнения бункеров, что существенно снижает простои конвейеров из-за их недогрузки [3, 4].

На рис. 1 V_1 и V_2 – объемы минимального и максимального уровней груза в аккумуляющем бункере; V_{\max} – максимальный объем бункера; Q_3 – производительность поступающего в бункер грузопотока; Q_n – производительность питателя; h – высота щели выпускного отверстия бункера.

Однако локальное управление каждым аккумуляющим бункером еще недостаточно для существенного повышения эффективности работы системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт. Для этого необходимо согласовать управление каждым бункером с управлением всей системой конвейерного транспорта. При этом должна обеспечиваться максимальная эффективность работы системы конвейерного транспорта. Т.е. эта система управления должна обес-

печивать максимальную пропускную способность и минимальные затраты на транспортирование горной массы.

Поэтому создание алгоритма управления системой подземного конвейерного транспорта угольных шахт является актуальной задачей.

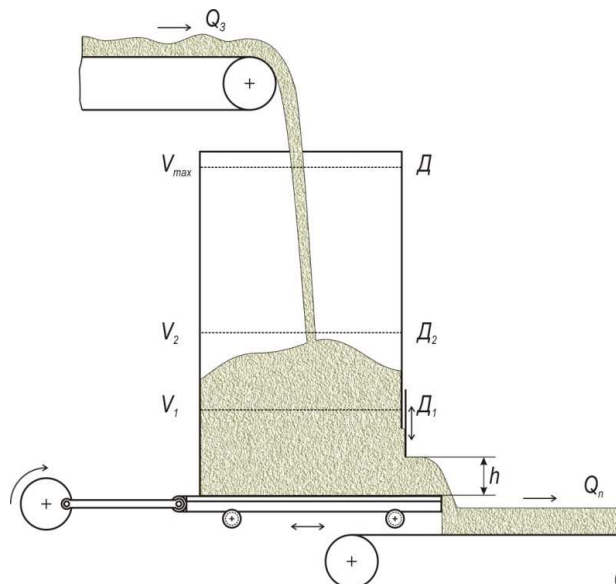


Рисунок 1 - Управление аккумулирующим бункером в режиме поддержания заданного уровня груза в нем

Управление системой подземного конвейерного транспорта угольных шахт можно представить как двухуровневую иерархическую систему. На верхнем уровне этой системы оператор, исходя из текущей информации о поступающих из забоев грузопотоках угля m_{Qi} , состоянии конвейеров и технологического оборудования системы подземного конвейерного транспорта, определяет скорости конвейеров v_{li} и производительностей питателей Q_{ni} . Затем передает эту информацию, т.е. значения v_{li} и Q_{ni} , на нижний уровень системы управления бункерами – на контроллеры, которые определяют максимальные объемы груза в бункерах V_{2i} (рис. 2).

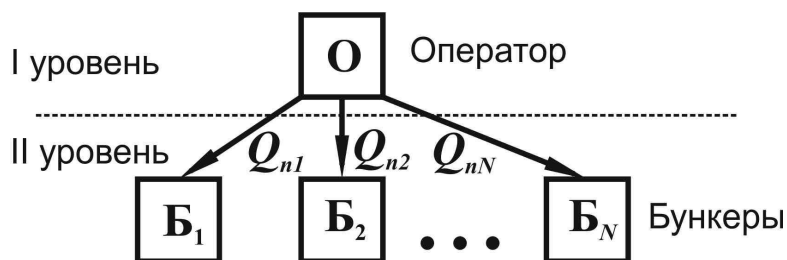


Рисунок 2 - Структурная схема управления системы конвейерного транспорта с бункерами

Входными переменными системы управления подземным конвейерным транспортом являются средние значения грузопотоков, поступающих из лав m_{Qi} .

А выходными переменными этой системы управления является среднее значение пропускной способности m_c и среднее значение энергоемкости транспортирования w_c системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт [5].

Глобальной функцией цели, т.е. критерием эффективности этой двухуровневой системы управления является комплексная величина [6]

$$K = c_1 m_c - 60 c_2 w_c (\text{грн./мин}), \quad (1)$$

где c_1 – стоимость единицы массы угля, грн./т; c_2 – стоимость единицы электроэнергии, грн./кВт.

Законом управления системой подземного конвейерного транспорта является зависимость m_c и w_c от входных фазовых и управляемых параметров, а также от параметров конвейеров, объемов аккумулирующих бункеров и скоростей питателей [5]:

$$m_c = f_m(m_{Qi}, \lambda_i, \mu_i, Q_{ni}, V_i, V_{1i}, V_{2i}); \quad (2)$$

$$w_c = f_w(m_{Qi}, \lambda_i, \mu_i, Q_{ni}, V_i, V_{1i}, V_{2i}, N_i), \quad (3)$$

где λ_i, μ_i – параметры потока отказов и восстановления конвейеров, мин⁻¹; V_i – объемы аккумулирующих бункеров, м³; N_i – мощности, потребляемые приводами конвейеров, кВт.

Вид этих функций зависит от структуры системы подземного конвейерного транспорта, режима работы аккумулирующих бункеров, в частности, режима поддержания заданного уровня груза в бункере, параметров поступающих из лав грузопотоков m_{Qi} , надежности конвейеров – параметров потока отказов и восстановления λ_i, μ_i , производительностей питателей Q_{ni} , объемов бункеров V_i , а также максимального и минимального объемов груза в аккумулирующих бункерах V_{1i} и V_{2i} соответственно. Для их определения необходимо разработать алгоритм вычисления средней пропускной способности m_c и средней энергоемкости транспортирования w_c системы конвейерного транспорта в случае управления аккумулирующими бункерами в режиме поддержания заданного объема груза в них.

Управляемыми параметрами системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт являются производительности питателей Q_{ni} и максимальные объемы грузов в бункерах V_{2i} в случае управления бункерами в режиме поддержания заданного объема груза в них.

Структурный анализ систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт показали, что они имеют самоподобную древовидную структуру [7].

В работе [5] был получен алгоритм вычисления m_c и w_c для систем подземного конвейерного транспорта с самоподобной древовидной структурой (рис. 3) в режиме поддержания заданного уровня в бункере.

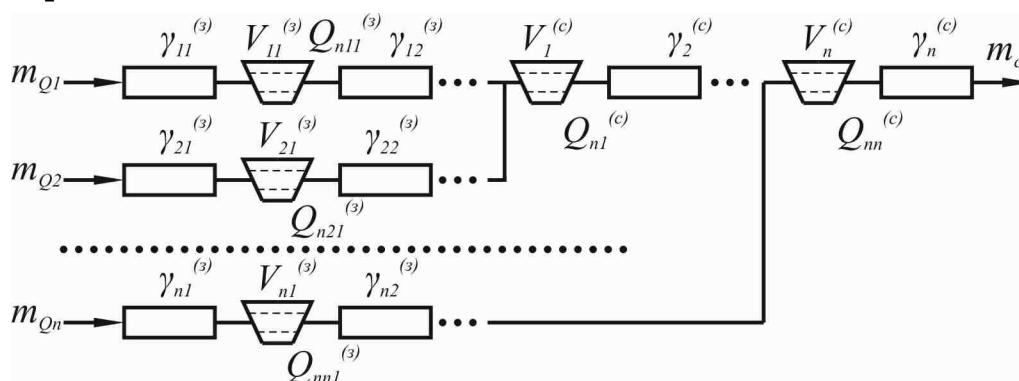


Рисунок 3 - Расчетная схема самоподобной древовидной структуры соединения бункеров

На рис. 3 $\gamma_i^{(c)}, \gamma_{ij}^{(s)}$ – коэффициенты аварийности стволового и забойных путей конвейерных линий системы конвейерного транспорта; $V_i^{(c)}, V_{ij}^{(s)}$ – объемы аккумулирующих бункеров стволового и забойных путей, m^3 ; $Q_{ni}^{(c)}, Q_{nij}^{(s)}$ – производительности питателей бункеров стволового и забойных путей, т/мин.

Этот алгоритм представляет собой рекуррентное соотношение.

Средняя пропускная способность в случае системы конвейерного транспорта, показанного на рис. 3, определяется по формуле

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

где

$$m_{c_i} = \left(1 - \frac{\gamma_{i+1}^{(c)}}{1 + \gamma_{i+1}^{(c)}} e^{-\frac{\rho \Delta V_i^{(c)}}{m_i^{(s)}} \mu_i} \right) m_i^{(s)}, \quad (5)$$

$$\gamma_{\partial_i}^{(c)} = \frac{\sum_{k=1}^i m_{Q_k}}{m_i^{(s)}} - 1; \quad m_i^{(s)} = m_{c_{i-1}} + \frac{m_{Q_i}}{1 + \gamma_{\partial_i}^{(s)}}; \quad m_{c_0} = 0; \quad \Delta V_i^{(c)} = V_i^{(c)} - V_{2i}^{(c)};$$

($\mu_i = \mu_c; i = 1, n; m_i^{(s)} < Q_{n_i}$).

Здесь $\gamma_i^{(c)}$ – коэффициенты аварийности конвейеров стволового пути, определяемые по формулам: $\gamma_i^{(c)} = \lambda_i^{(c)} / \mu_i^{(c)}$, где $\lambda_i^{(c)}, \mu_i^{(c)}$ – параметры потоков отказов и восстановлений конвейерных линий стволового пути, мин⁻¹; $\gamma_{\partial_i}^{(c)}$ – эквивалентные коэффициенты аварийности стволовых путей с бункерами; $\gamma_{\partial_i}^{(s)}$ – эквивалентные коэффициенты аварийности забойных путей с бункерами; $m_i^{(s)}$ – средние значения грузопотоков, поступающих в аккумулирующие бункеры стволового пути, т/мин; ρ – объемная масса транспортируемого груза, т/м³.

Эффективные коэффициенты аварийности забойных путей с бункерами определяются по формулам:

$$\gamma_{\partial_i}^{(s)} = \frac{m_{Q_i}}{m_{c_i}^{(s)}} - 1, \quad (\gamma_{\partial_1}^{(c)} = \gamma_{\partial_1}^{(s)}, \quad i = 1, n), \quad (6)$$

где $m_{c_i}^{(s)}$ – средняя пропускная способность i -го забойного пути системы конвейерного транспорта с последовательным соединением бункеров забойных путей [5].

Средняя энергоемкость транспортирования в этом случае определяется по формулам

$$w_c = w_n^{(s)}, \quad (7)$$

где

$$w_i^{(s)} = \frac{w_{i-1}^{(s)}}{1 + \gamma_{\partial_{i-1}}^{(c)}} + w_{i+1}^{(c)} + w_{i+1}^{(s)}, \quad (i=1, n), \quad (8)$$

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

$$w_i^{(c)} = N_i^{(c)}).$$

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 -ой забойной линией 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, полученным для последовательного соединения конвейеров и бункера [5].

В случае последовательного соединения бункеров и конвейеров в формулах (4)–(8) необходимо положить $m_{Q1} = m_Q$; $\gamma_{a_1}^{(s)} = \gamma_1^{(c)}$; $w_1^{(s)} = w_1^{(c)}$; $m_{Q_i} = 0$; $m_{c_{i-1}}^{(s)} = m_{c_{i-1}}$; $\gamma_{a_i}^{(s)} = 0$; $w_i^{(s)} = 0$ ($i = 2, \dots, n$).

Управляемыми параметрами системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт является производительности питателей Q_{ni} , которые задаются оператором на верхнем уровне управления и максимальные объемы груза в бункерах V_{2i} , которые вычисляются контроллерами в подсистемах управления аккумулярующими бункерами в случае управления ими в режиме поддержания заданного объема груза в них.

Поэтому для управления аккумулярующими бункерами системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт необходимо знать зависимости V_{2i} от производительности питателей Q_{ni} .

В работе [4] была решена задача определения оптимального среднего значения объема груза в аккумулярующем бункере, работающем в режиме поддержания заданного уровня груза в бункере.

При этом оптимальные средние значения объемов груза в аккумулярующих бункерах V_{imin} равны полусумме максимальных и минимальных заданных значений объемов груза в бункере, т.е.

$$V_{imin} = \frac{V_{1i} + V_{2i}}{2} + \frac{\lambda_i}{(\lambda_i + \mu_i)\mu_i} \cdot \frac{m_i^{(s)}}{2\rho}, \quad (9)$$

где V_{1i} , V_{2i} – минимальные и максимальные значения объемов груза в аккумулярующих бункерах.

Следовательно, локальные функции цели подсистемы управления бункерами является среднее значение груза в аккумулярующем бункере. Поэтому средние значения груза в аккумулярующих бункерах V_{ci} должны стремиться к средним минимальным значениям объемов груза в бункерах V_{imin} , т.е.

$$V_{ci} \rightarrow V_{imin}. \quad (10)$$

С другой стороны, согласно работе [4], средние значения объемов груза в аккумулирующих бункерах, работающих в режиме поддержания заданного объема груза в бункерах, определяются по формуле

$$V_{ci} = \frac{V_{1i}t_{zi} + V'_{2i}t_{pi}}{t_{zi} + t_{pi}} + \frac{m_i^{(s)}t_{zi}^2 - (Q_{ni} - m_i^{(s)})t_{pi}^2}{2\rho(t_{zi} + t_{pi})}, \quad (11)$$

где $V'_{2i} = V_{2i} + \frac{\lambda_{i+1}}{\lambda_{i+1} + \mu_{i+1}} \frac{Q_{ni}}{\gamma} t_{pi}$; λ_i, μ_i – параметры потоков отказов и восстановлений надбункерных конвейерных линий, мин^{-1} ; λ_{i+1}, μ_{i+1} – параметры потоков отказов и восстановлений подбункерных конвейерных линий, мин^{-1} .

Здесь t_{zi}, t_{pi} – средние времена загрузки и разгрузки в бункерах, определяемые по формулам

$$t_{zi} = \frac{\rho(V_{2i} - V_{1i})}{m_i^{(s)}} + \frac{\lambda_i}{(\lambda_i + \mu_i)\mu_i}, \quad (12)$$

$$t_{pi} = \frac{\rho(V_{2i} - V_{1i})}{(\bar{Q}_{ni} - m_i^{(s)})} + \frac{\lambda_i}{(\lambda_i + \mu_i)\mu_i} \cdot \frac{Q_{ni}m_i^{(s)}}{(\bar{Q}_{ni} - m_i^{(s)})(Q_{ni} - m_i^{(s)})}, \quad (13)$$

где $\bar{Q}_{ni} = \frac{\mu_{i+1}}{\lambda_{i+1} + \mu_{i+1}} Q_{ni}$.

Приравнивая средние значения объема груза в бункерах V_{ci} к минимальным значениям объемов V_{cimin} , получим уравнение относительно неизвестных максимальных значений заданных объемов груза в бункерах V_{2i} , при котором средний объем груза в бункерах принимают минимальные значения. В результате, согласно (11), получим уравнение относительно V_{2i} :

$$\frac{V_{1i}t_{zi} + V'_{2i}t_{pi}}{t_{zi} + t_{pi}} + \frac{m_i^{(s)}t_{zi}^2 - (Q_{ni} - m_i^{(s)})t_{pi}^2}{2\rho(t_{zi} + t_{pi})} = \frac{V_{1i} + V_{2i}}{2} + \frac{\lambda_i}{(\lambda_i + \mu_i)\mu_i} \cdot \frac{m_i^{(s)}}{2\rho}. \quad (14)$$

В полученном уравнении (14), согласно (12) и (13), t_{zi} и t_{pi} являются функциями от V_{2i} . Кроме того, $m_i^{(s)}$ определяется по сложным рекуррентным соотношениям (см. (5), [5]).

Поэтому определение V_{2i} из уравнения (14) представляет собой сложную математическую задачу.

Для упрощения задачи определения заданного максимального объема груза в аккумулирующих бункерах можно с помощью весов

определить величины грузопотоков, поступающих в аккумулирующие бункера $m_i^{(s)}$. Однако это требует больших материальных затрат.

Поэтому, для урегулирования груза в бункере с помощью контроллера применяется алгоритм адаптивного управления [3].

В этом случае для определения $m_i^{(s)}$ сначала с помощью датчиков времени определяются текущие времена загрузки T_{zi} и разгрузки T_{pi} в аккумулирующих бункерах системы конвейерного транспорта в период остановки и работы питателя, соответственно.

Подставив в равенство (12) вместо t_{zi} значение T_{zi} , из полученного выражения определим средние значения поступающих в аккумулирующие бункеры грузопотоков по формуле:

$$m_i^{(s)} = \frac{\rho(V_{2i} - V_{1i})}{T_{zi} - \frac{\lambda_i}{(\lambda_i + \mu_i)\mu_i}}. \quad (15)$$

Значение выражения, стоящего в знаменателе правой части равенства (15), можно выразить через m_{Qi} и $m_i^{(s)}$ по формуле [5]:

$$\frac{\lambda_i}{(\lambda_i + \mu_i)\mu_i} = \frac{1}{\mu_c} \left(1 - \frac{m_i^{(s)}}{\sum_1^i m_{Qi}} \right), \quad (16)$$

где $\mu_c = \mu_i$.

Подставляя (16) в (15), получим

$$m_i^{(s)} = \frac{\rho(V_{2i} - V_{1i})}{T_{zi} - \left(1 - m_i^{(s)} / \sum_1^i m_{Qi} \right) \frac{1}{\mu_c}}. \quad (17)$$

Определим из последнего равенства $m_i^{(s)}$, в результате получим:

$$m_i^{(s)} = \frac{\sqrt{(\mu_c T_{zi} - 1)^2 m_{\epsilon i}^2 + 2\rho(V_{2i} - V_{1i})\mu_c m_{\epsilon i}} - (\mu_c T_{zi} - 1)m_{\epsilon i}}{2}, \quad (18)$$

где $m_{\epsilon i} = \sum_1^i m_{Qi}$ ($m_{\epsilon i} = m_Q$ – при последовательном соединении бункеров).

Для определения средних значений грузопотоков \bar{Q}_{ni} , разгружаемых из аккумулирующих бункеров, подставим в равенство (13) с

учетом (16) вместо t_{pi} значение T_{pi} . В результате после преобразования получим

$$\bar{Q}_{ni} = m_i^{(s)} + \frac{\rho(V_{2i} - V_{1i}) + \frac{1}{\mu_c} \left(1 - \frac{m_i^{(s)}}{m_{\epsilon i}}\right) \cdot \frac{Q_{ni} m_i^{(s)}}{(Q_{ni} - m_i^{(s)})}}{T_{pi}} \quad (19)$$

Следовательно, зная время загрузки T_{zi} и разгрузки T_{pi} аккумулярующих бункеров, средние значения поступающих из лав грузопотоков m_{Qi} , а также заданные значения минимальных V_{1i} и максимальных V_{2i} объемов груза в аккумулярующих бункерах системы конвейерного транспорта угольных шахт, можно определить по формулам (18) и (19) средние значения поступающих в бункера грузопотоков $m_i^{(s)}$ и средние значения разгружаемых из бункеров грузопотоков \bar{Q}_{ni} .

Для определения максимальных объемов груза в аккумулярующих бункерах V_{2i} , работающих в режиме поддержания заданного объема груза в них, при которых средние объемы груза в бункерах V_{ci} принимают минимальные значения, подставим в равенство (14) вместо t_{zi} и t_{pi} значения T_{zi} и T_{pi} соответственно. В результате получим уравнение относительно неизвестных максимальных объемов груза в бункерах V_{2i} :

$$\begin{aligned} \frac{V_{1i} T_{zi} + V_{2i} T_{pi}}{T_{zi} + T_{pi}} + \frac{m_i^{(s)} T_{zi}^2 - (Q_{ni} - m_i^{(s)}) T_{pi}^2}{2\rho(T_{zi} + T_{pi})} + \frac{(Q_{ni} - \bar{Q}_{ni})}{\rho} \frac{T_{zi}^2}{T_{zi} + T_{pi}} = \\ = \frac{V_{1i} + V_{2i}}{2} + \left(1 - \frac{m_i^{(s)}}{m_{\epsilon i}}\right) \cdot \frac{1}{\mu_c} \cdot \frac{m_i^{(s)}}{2\rho}. \end{aligned} \quad (20)$$

В полученном уравнении (20) значения $m_i^{(s)}$ и \bar{Q}_{ni} определяются по формулам (18) и (19).

Наиболее простым и эффективным методом решения уравнения (20) является метод дихотомии (деления пополам) или метод зондирования. При этом неизвестный параметр V_{2i} изменяется в пределах $V_{1i} \leq V_{2i} \leq V_i$.

Следовательно, при заданных значениях грузопотоков, поступающих из лав, m_{Qi} , производительностей питателей Q_{ni} , объемов аккумуляющих бункеров V_i и минимальных значениях объемов гру-

зов в них V_{1i} , а также текущих значениях времени загрузки T_{zi} и разгрузки T_{pi} аккумулярующих бункеров системы конвейерного транспорта угольных шахт из уравнения (20) можно найти значения максимальных объемов груза V_{2i}^* , при которых средние объемы груза в бункерах V_{ci} принимают минимальные значения, равные

$$V_{ci} \rightarrow V_{i\min} = \frac{V_{1i} + V_{2i}^*}{2} + \left(1 - \frac{m_i^{(s)}}{m_{ei}}\right) \cdot \frac{1}{\mu_c} \cdot \frac{m_i^{(s)}}{2\rho}. \quad (21)$$

Отсюда алгоритм адаптивного управления системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт можно представить в следующем виде.

1. Генерирование альтернатив.

Для этого по заданным средним значениям величин грузопотоков, поступающих их лав, m_{Qi} и структуре системы подземного конвейерного транспорта определяются несколько альтернативных вариантов скоростей конвейеров v_{li} и производительностей питателей Q_{ni} . При этом должны выполняться условия (ограничения)

$$\sum_1^i m_{Qi} < Q_{ni} \leq Q_{mi}, \quad (i = 1, \dots, n), \quad (22)$$

где Q_{mi} – максимальные производительности подбункерных конвейерных линий системы конвейерного транспорта, т/мин.

Кроме того, для аккумулярующих бункеров, работающих в режиме поддержания заданного объема груза в них, должны выполняться ограничения:

$$m_i^{(s)} < Q_{ni}; \\ V_{1i} < V_{2i} < V_i, \quad (i = 1, \dots, n). \quad (23)$$

2. Оценка средних значений грузопотоков, загружаемых в бункера и выгружаемых из них.

Для этого с помощью датчиков времени в периодах загрузки и разгрузки аккумулярующих бункеров определяются значения времен загрузки T_{zi} и времен разгрузки T_{pi} бункеров. По этим значениям T_{zi} и T_{pi} согласно формул (18) и (19) определяются оценки средних значений грузопотоков $m_i^{(s)}$, поступающих в бункера, и средних значений грузопотоков \bar{Q}_{ni} , разгружаемых из бункеров.

3. Определение максимальных заданных объемов груза в аккумулялирующих бункерах.

Для этого по полученным значениям оценок $m_i^{(s)}$ и \bar{Q}_{ni} из уравнения (20) определяются максимальные значения объемов груза в аккумулялирующих бункерах V_{2i}^* , при которых средние объемы груза в бункерах V_{ci} , работающих в режиме поддержания заданного уровня груза в них, принимают минимальные значения.

4. Определение критериев эффективности и функции цели.

Для этого по вычисленным значениям V_{2i}^* согласно рекуррентным формулам (4)–(8) определяются пропускная способность m_c и энергоёмкость w_c всей системы конвейерного транспорта.

По полученным значениям m_c и w_c согласно формуле (1) определяется функция цели K .

5. Повторяя этот процесс для различных альтернатив, т.е. определяя функции цели K_s для различных вариантов производительностей питателей $Q_{ni}^{(s)}$, выбирают из полученных функций цели K_s минимальное значение K_{\min} , т.е.

$$K_{\min} = \min_{1 \leq s \leq N} \{K_s\},$$

где N – число альтернатив.

Значения производительностей питателей Q_{ni} и максимальных объемов груза в аккумулялирующих бункерах V_{2i} , соответствующие этому минимальному критерию эффективности $K = K_{\min}$, являются оптимальными.

В случае изменения структурной схемы подземного конвейерного транспорта, связанного с продвижением лав или изменением их количества, а также с изменением величин средних грузопотоков, поступающих из лав m_{Qi} , оптимальные значения Q_{ni} и V_{2i} , при которых критерий эффективности K принимает минимальное значение, определяются заново по выше приведенному алгоритму.

Расчеты показали, что энергетическая эффективность транспортирования горной массы, т.е. критерий эффективности K системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт при оптимальных значениях Q_{ni} и V_{2i} , полученных на основе разработанного алгоритма, увеличивается до 30 %.

ЛИТЕРАТУРА

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. 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.
4. Кирия Р. В. Математическая модель функционирования аккумулирующего бункера в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах / Р. В. Кирия, Т. Ф. Мищенко, Ю. В. Бабенко // Наукові вісті «Сучасні проблеми металургії». – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2012. – № 15. – С. 85–96.
5. Кирия Р. В. Определение критерия эффективности системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт в режиме поддержания заданного уровня груза в аккумулирующих бункерах / Р. В. Кирия, Т. Ф. Мищенко, Ю. В. Бабенко // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1'(90). – Дніпропетровськ, 2014. – С. 135–141.
6. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа / Н. Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981. – 488 с.
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.