

УДК 622.647.2:62-50

Кирия Р. В., канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,
Монастырский В. Ф., д-р техн. наук, профессор,
Мищенко Т. Ф., магистр
(ИГТМ НАН Украины)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Кірія Р. В., канд. техн. наук, ст. наук. співр.,
Монастирський В. Ф., д-р техн. наук, професор,
Мищенко Т. Ф., магістр
(ІГТМ НАН України)

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ КОНВЕЄРНОГО ТРАНСПОРТУ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Kiriya R. V., Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,
Monastyrsky V. F., D.Sc. (Tech.), Professor,
Mishchenko T. F., M.S (Tech.)
(IGTM NAS of Ukraine)

ENERGY EFFECTIVENESS INCREASING FOR MINE CONVEYER TRANSPORT SYSTEMS

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос повышения энергетической эффективности функционирования систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт с разветвленной структурой. Эти системы конвейерного транспорта, как правило, имеют большое количество конвейеров. Из-за простоев конвейеров, а также неравномерности грузопотоков, поступающих из лав, снижается эффективность их функционирования, то есть снижается производительность и увеличиваются энергозатраты на транспортирование угля.

Одним их путей повышения эффективности функционирования систем конвейерного транспорта угольных шахт является управление грузопотоками с помощью аккумулирующих бункеров и регулирования скорости ленты конвейера с использованием контроллеров и частотных преобразователей.

В работе разработан алгоритм адаптивного управления системой подземного транспорта с разветвленной структурой, позволяющий повысить ее пропускную способность и снизить энергозатраты на транспортирование горной массы. При этом система управления конвейерным транспортом представлена как двухуровневая иерархическая система управления, на первом уровне которой оператор задает скорости конвейеров и питателей, а на втором уровне контроллеры в бункерах определяют максимальные заданные значения груза в аккумулирующих бункерах. Глобальной функцией цели этой системы управления является комплексный показатель, равный удельной энергоемкости транспортирования угля, то есть количество электроэнергии, необходимой на транспортирование тонны угля. Локальными функциями этой системы являются минимальные значения среднего объема груза в аккумулирующих бункерах системы конвейерного транспорта.

Ключевые слова: система конвейерного транспорта угольных шахт, разветвленная структура, эффективность функционирования, алгоритм адаптивного управления.

Техническое перевооружение угольной промышленности с целью повышения эффективности снижения энергозатрат на добычу угля является одной из главных задач, стоящих перед топливно-энергетическим комплексом Украины. Решение этой задачи неразрывно связано с дальнейшим развитием и совершенствованием подземного конвейерного транспорта.

Подземный конвейерный транспорт угольных шахт – главное звено в различных транспортных системах по добыче угля. Анализ систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт Украины с производительными лавами показал, что малая эффективность их работы связана с низкой производительностью и большими энергозатратами на транспортирование горной массы. Это обусловлено разветвленностью структуры схем подземного конвейерного транспорта угольных шахт, неравномерностью грузопотоков, поступающих из лав, а также простоями конвейерного оборудования по аварийным, технологическим и организационным причинам. Кроме того, из-за недогруженности конвейеров, связанной с неравномерностью грузопотоков, поступающих из лав, а также простоями конвейерного оборудования, расходы электроэнергии на транспортирование горной массы в системах подземного конвейерного транспорта угольных шахт высокие.

Одним из путей повышения эффективности функционирования систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт является управление грузопотоками с помощью аккумулирующих бункеров и регулирования скорости ленты конвейера с использованием контроллеров и частотных преобразователей.

Следовательно, одной из основных задач управления системой подземного конвейерного транспорта угольных шахт является обеспечение максимальной пропускной способности и минимальных энергозатратах на транспортирование горной массы с учетом простоев конвейерного оборудования при изменяющихся грузопотоках, поступающих из лав. Одним из эффективных путей решения этой задачи является применение компьютерных технологий.

Из-за сложности систем конвейерного транспорта горных предприятий осуществить их компьютерное управление возможно лишь при иерархической структуре управления[1–4].

На верхнем первом уровне управления решается задача автоматизированного управления конвейерными линиями, т.е. управление осуществляется с участием человека-оператора в диалоговом режиме. При этом, как правило, с помощью переключения грузопотоков меняется конфигурация системы конвейерного транспорта, т.е. меняется его структура.

На втором уровне управления участками конвейерных линий решается задача управления бункерами и скоростями питателей, элементами перегрузочных узлов, а также решается задача пуска или остановки последовательно соединенных конвейеров.

На третьем уровне управления решается задача управления пуском и остановкой ленточного конвейера, распределением тягового усилия между приводными барабанами, сходом ленты конвейера и т.д. При этом информация

о значениях параметров функционирования системы конвейерного транспорта, которая необходима для управления на нижнем уровне, поступает из верхнего уровня управления

Задачи на верхнем первом уровне управления являются задачами оптимального управления системой конвейерного транспорта и относятся к системному анализу (Моисеев Н. Н., 1981, Месарович М., 1973).

На этом уровне управления конвейерным транспортом из-за сложности условий эксплуатации очень трудно получить достаточную информацию об изменяющихся внешних условиях и параметрах, характеризующих состояние системы транспорта в каждый момент времени.

Поэтому для обеспечения максимальной эффективности ее работы в условиях горных предприятий необходимо при проектировании предусмотреть адаптивное управление системой конвейерного транспорта, позволяющее в случае изменения грузопотока, поступающего из лав, простоев конвейеров по различным причинам, соответственно изменить скорости питателей и конвейеров, а также регулировать количество груза в аккумулирующих бункерах так, что бы критерий эффективности функционирования системы транспорта был оптимальным.

Для повышения пропускной способности системы подземного конвейерного транспорта на угольных шахтах широкое применение получили аккумулирующие бункера (временное резервирование, (Черкесов Г. Н., 1974, Пономаренко В. А., 1975).

Аккумулирующие бункеры позволяют за счет накопления некоторого количества груза в бункере во время простоя конвейеров увеличить пропускную способность системы подземного конвейерного транспорта. При этом в аккумулирующих бункерах с помощью управления скоростью питателей поддерживается объем груза в бункере в заданных пределах, в частности, включение питателей при достижении заданных максимальных объемов груза в бункерах V_{32} и отключение питателей при достижении минимальных объемов груза в бункерах V_{31} (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, а также предотвращает прямое попадание груза на питатель вследствие постоянного нахождения груза в бункере, т.е. подушки [5].

На рис. 1 V_{31} и V_{32} – заданные минимальный и максимальный объемы груза в аккумулирующем бункере; V_{\max} – максимальный предельный объем груза в аккумулирующем бункере; m_Q – производительность поступающего в бункер грузопотока; Q_n – производительность питателя; h – высота щели выпускного отверстия бункера.

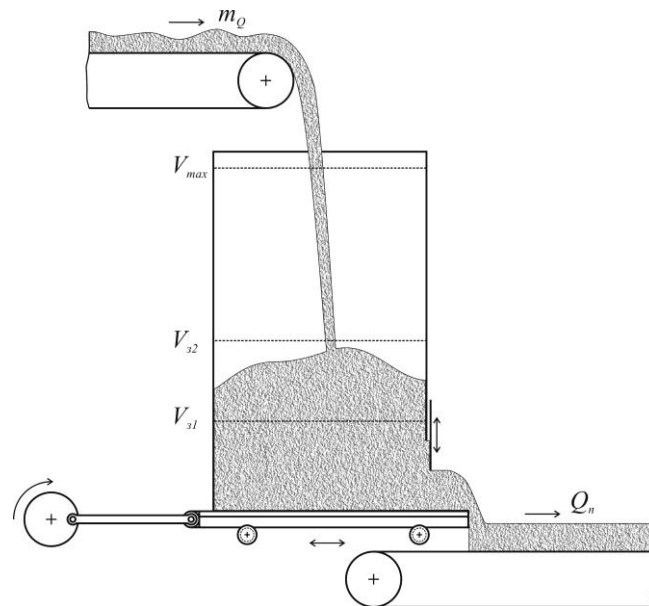


Рисунок 1 – Схема работы аккумулирующего бункера в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах

Однако локальное управление каждым аккумулирующим 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 обеспечивать максимальную пропускную способность и минимальные затраты на транспортирование горной массы.

Задачу управления на верхнем уровне управления системой подземного конвейерного транспорта угольных шахт можно представить как двухуровневую иерархическую систему оптимального управления. На верхнем уровне этой системы оператор, исходя из текущей информации о поступающих из забоев грузопотоков угля m_{Q_i} , состоянии конвейеров и технологического оборудования системы подземного конвейерного транспорта, на основе решения задачи структурной адаптации выбирается схема конвейерного транспорта, определяются скорости конвейеров $v_{л_i}$ и производительности питателей Q_{n_i} . При этом критерием выбора структурной схемы конвейерного транспорта является средняя пропускная способность системы конвейерного транспорта. Другими словами, функция цели задачи структурной адаптации системы конвейерного транспорта на верхнем уровне управления является средняя пропускная способность m_c , то есть

$$m_c \rightarrow \max .$$

Затем эту информацию, т.е. значения $v_{л_i}$ и Q_{n_i} , передает на нижний уровень системы управления бункерами – на контроллеры, которые определяют

максимальные заданные объемы груза в бункерах V_{2i} (рис. 2).

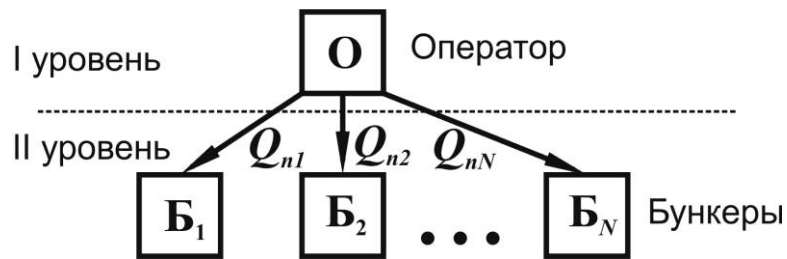


Рисунок 2 – Структурная схема управления системой конвейерного транспорта с бункерами

Входными переменными системы управления подземным конвейерным транспортом являются средние значения грузопотоков, поступающих из лав m_{Q_i} . А выходными переменными этой системы управления являются среднее значение пропускной способности m_c и среднее значение энергоемкости транспортирования w_c системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт [6, 7].

Глобальной функцией цели K этой двухуровневой системы управления является удельная энергоемкость, равная расходу электроэнергии системы конвейерного транспорта при транспортировании одной тонны горной массы и определяемая по формуле

$$K = \frac{w_c}{60m_c} \text{ (кВт}\cdot\text{ч/т)}, \quad (1)$$

где m_c – средняя пропускная способность (средняя производительность) системы конвейерного транспорта, т/мин; w_c – средняя энергоемкость (средняя мощность приводов конвейеров и питателей, затрачиваемая системой конвейерного транспорта на транспортирование горной массы), кВт.

Законом управления системой подземного конвейерного транспорта является зависимость m_c и w_c от входных и управляемых параметров, а также от параметров конвейеров, объемов аккумулирующих бункеров и скоростей питателей [6, 7]:

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

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

где m_{Q_i} – средние значения грузопотоков, поступающих из лав, т/мин; λ_i, μ_i – интенсивности простоев и восстановлений конвейерных линий системы конвейерного транспорта, мин^{-1} ; Q_{n_i} – производительности питателей аккумулирующих бункеров, т/мин; V_i – объемы аккумулирующих бункеров, м^3 ; V_{1i}, V_{2i} – минимальные и максимальные заданные значения объемов груза в

аккумулирующих бункерах; N_i – мощности, потребляемые приводами конвейеров системы конвейерного транспорта, кВт.

Вид функций f_m и f_w в выражениях (2), (3) зависит от структуры системы подземного конвейерного транспорта, режима работы аккумулярующих бункеров, в частности, режима поддержания объема груза в бункерах в заданных пределах, параметров поступающих из лав грузопотоков m_{Q_i} , интенсивностей простоев и восстановлений конвейеров λ_i , μ_i , производительностей питателей Q_{n_i} , объемов аккумуляющих бункеров V_i , а также максимального и минимального заданных объемов груза в аккумуляющих 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 аккумуляющими бункерами в режиме поддержания объема груза в заданных пределах.

Структурный анализ систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт показал, что они имеют самоподобную древовидную структуру (Пономаренко В. А., 1975).

В работах [6, 7] были получены алгоритмы вычисления m_c и w_c для систем подземного конвейерного транспорта с самоподобной древовидной структурой с бункерами стволового пути, работающими в режиме поддержания в них объема груза в заданных пределах (рис. 3).

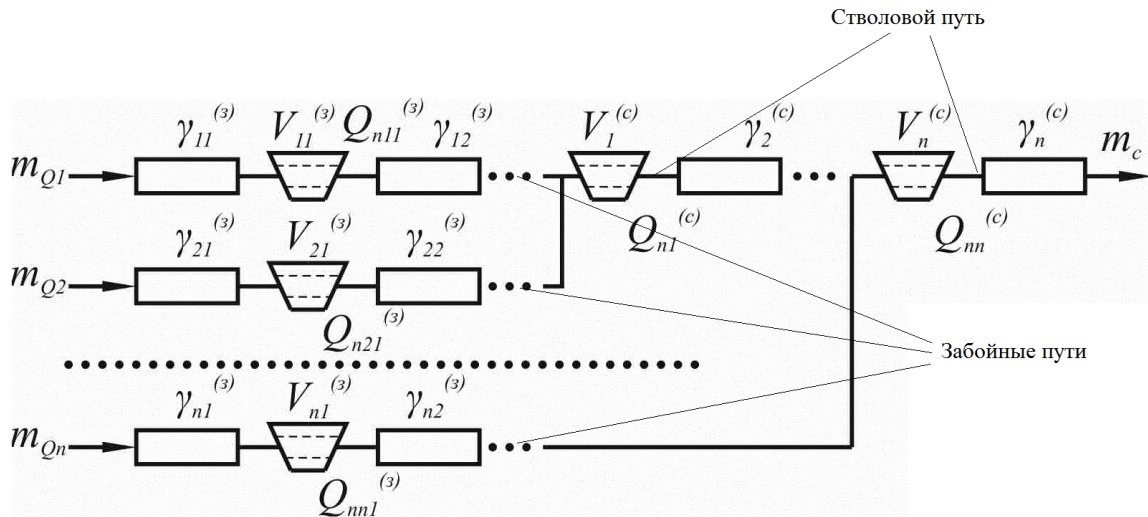


Рисунок 3 – Расчетная схема самоподобной древовидной структуры соединения бункеров

На рис. 3 m_{Q_i} – средние значения грузопотоков, поступающих из лав, т/мин; $\gamma_i^{(c)}$ – коэффициенты простоя конвейерных линий стволового пути; $\gamma_{ij}^{(3)}$ – коэффициенты простоя конвейерных линий забойных путей; $V_i^{(c)}, V_{ij}^{(3)}$ – объемы аккумуляющих бункеров стволового и забойных путей, м³; $Q_{n_i}^{(c)}, Q_{n_{ij}}^{(3)}$ – производительности питателей бункеров стволового и забойных путей, т/мин.

Средняя пропускная способность m_c системы конвейерного транспорта с самоподобной древовидной структурой с управляемыми бункерами стволового пути и неуправляемыми бункерами забойных путей, показанной на рис. 3, определяется по формулам:

$$\text{при } m_i^{(s)} > \bar{Q}_{n_i}^{(c)}$$

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

где

$$m_{c_i} = \left[\frac{e^{A_{li}\rho V_i^{(c)}}}{\gamma_{\text{э}i}^{(c)}} + \frac{m_i^{(s)}}{(m_i^{(s)} - \bar{Q}_{n_i}^{(c)})} \left(e^{A_{li}\rho V_i^{(c)}} - 1 \right) \right] \bar{Q}_{n_i}^{(c)}, \quad (5)$$

$$1 + \frac{e^{A_{li}\rho V_i^{(c)}}}{\gamma_{\text{э}i}^{(c)}} + \frac{m_i^{(s)}}{(m_i^{(s)} - \bar{Q}_{n_i}^{(c)})} \left(e^{A_{li}\rho V_i^{(c)}} - 1 \right)$$

$$A_{li} = \frac{\mu_c \left[m_i^{(s)} (1 + \gamma_{\text{э}i}^{(c)}) - (1 + \gamma_{\text{э}i}^{(c)}) \bar{Q}_{n_i}^{(c)} \right]}{\left[m_i^{(s)} (1 + \gamma_{\text{э}i}^{(c)}) - \bar{Q}_{n_i}^{(c)} \right] \bar{Q}_{n_i}^{(c)}}; \quad \gamma_{\text{э}i}^{(c)} = \frac{\sum_{k=1}^i m_{Q_k}}{m_i^{(s)}} - 1;$$

$$m_i^{(s)} = m_{c_{i-1}} + \frac{m_{Q_i}}{1 + \gamma_{\text{э}i}^{(c)}}; \quad \bar{Q}_{n_i}^{(c)} = \frac{Q_{n_i}^{(c)}}{1 + \gamma_{i+1}^{(c)}}; \quad m_{c_0} = 0; \quad \mu_{c_i}^{(c)} = \frac{i}{\sum_{k=1}^i 1/\mu_k^{(c)}} \quad (i = 1, 2, \dots, n);$$

$$\text{при } m_i^{(s)} \leq \bar{Q}_{n_i}^{(c)}$$

$$m_c = m_{c_n}, \quad (6)$$

где

$$m_{c_i} = \left(1 - \frac{\gamma_{i+1}^{(c)}}{1 + \gamma_{i+1}^{(c)}} e^{-\frac{\rho \Delta V_i^{(c)}}{m_i^{(s)}} \mu_{i+1}} \right) m_i^{(s)}, \quad (7)$$

$$m_i^{(s)} = m_{c_{i-1}} + \frac{m_{Q_i}}{1 + \gamma_{\text{э}i}^{(c)}}; \quad m_{c_0} = 0; \quad \Delta V_i^{(c)} = V_i^{(c)} - V_{2i}^{(c)} \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

Здесь m_{c_i} – частные средние значения пропускной способности стволового пути с учетом конвейерных линий забойных путей, т/мин; $\gamma_i^{(c)}$ – коэффициенты аварийности конвейерных линий стволового пути, определяются 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} ; $\gamma_{\varepsilon_i}^{(c)}$ – эквивалентные коэффициенты простоя стволовых путей с бункерами; $\gamma_{\varepsilon_i}^{(3)}$ – эквивалентные коэффициенты простоя забойных путей с бункерами; $m_i^{(s)}$ – средние значения грузопотоков, поступающих в аккумулирующие бункеры стволового пути, т/мин; ρ – удельная масса транспортируемого груза, т/м³; $V_i^{(c)}$ – объемы бункеров стволового пути, м³; $V_{i2}^{(c)}$ – максимальные заданные объемы груза в бункерах стволового пути, м³.

Эффективные коэффициенты простоя забойных путей с бункерами определяются по формулам:

$$\gamma_{\varepsilon_i}^{(3)} = \frac{m_{Q_i}}{m_{c_i}^{(3)}} - 1, \quad (\gamma_{\varepsilon_1}^{(c)} = \gamma_{\varepsilon_1}^{(3)}, \quad i = 1, 2, \dots, n), \quad (8)$$

где $m_{c_i}^{(3)}$ – средняя пропускная способность i -го забойного пути системы конвейерного транспорта с последовательным соединением неуправляемых бункеров забойных путей.

Средняя энергоёмкость транспортирования в этом случае определяется также по рекуррентным формулам [6, 7]

$$w_c = w_n^{(s)}, \quad (9)$$

где

$$w_i^{(s)} = \frac{w_{i-1}^{(s)}}{1 + \gamma_{\varepsilon_{i-1}}^{(c)}} + w_{i+1}^{(c)} + w_{i+1}^{(3)}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (10)$$

$$\gamma_{\varepsilon_{i-1}}^{(c)} = \frac{m_i^{(s)}}{m_{c_i}} - 1; \quad m_i^{(s)} = m_{c_{i-1}} + \frac{m_{Q_i}}{1 + \gamma_{\varepsilon_i}^{(3)}}; \quad \gamma_{\varepsilon_i}^{(3)} = \frac{m_{Q_i}}{m_{c_i}} - 1; \quad W_0^{(s)} = W_1^{(3)}.$$

Здесь $w_i^{(s)}$ – мощность приводов конвейеров потребляемой системой конвейерного транспорта на участке до $(i+1)$ -го бункера стволового пути, кВт; $w_i^{(c)}$ – мощность привода, потребляемая i -ой конвейерной линией стволового пути, кВт; $w_i^{(3)}$ – мощность приводов, потребляемая конвейерами i -го забойного пути, кВт.

Мощность, потребляемая i -ой конвейерной линией, определяется как сумма мощностей приводов конвейеров этой линии, т.е.

$$w_i^{(c)} = \sum_{r=1}^{n_i} N_r.$$

Здесь мощность привода каждого конвейера i -ой конвейерной линии определяется по формулам [8]:

$$N_r = \frac{L_r}{1000\eta_r} \left[v_{л_r} q_{Г_r} (k_{1r} \omega_r' \cos \alpha_r + \sin \alpha_r) + k_{1r} v_{л_r} (q'_{p_r} + q''_{p_r} + 2q_{л_r}) \omega_r' \cos \alpha_r \right], \quad i=1,2,\dots, n_i, \quad (11)$$

где L_r – длина r -го конвейера, м; η_r – коэффициент полезного действия привода r -го конвейера; $v_{л_r}$ – скорость ленты r -го конвейера, м/с; $q_{Г_r}$, $q_{л_r}$ – соответственно погонные веса насыпного груза и ленты r -го конвейера, Н/м; q'_{p_r} , q''_{p_r} – соответственно погонные веса вращающихся частей роlikоопор верхних и нижних ветвей ленты r -го конвейера, Н/м; α_r – угол наклона r -го конвейера, град; k_{1r} – коэффициент, учитывающий местное сопротивление r -го конвейера; ω_r' – коэффициент сопротивления движению ленты с грузом по роlikоопорам r -го конвейера; n_i – количество конвейеров в i -той конвейерной линии.

Мощность привода ленточного конвейера согласно (11) при постоянной скорости ленты изменяется с изменением погонной нагрузки и является функцией от погонной нагрузки $q_{Г_r}$, определяемой по формуле

$$q_{Г_r} = \frac{Q_i g}{3,6v_{л_r}}, \quad r = 1,2,\dots, n_i,$$

где Q_i – величина грузопотока, поступающего на i -ую конвейерную линию, т/ч; g – ускорение свободного падения, м/с².

Величина грузопотока Q_i , поступающего на i -ую конвейерную линию стволового пути, определяется по формуле

$$Q_i = 60 m_{c_{i-1}}.$$

Кроме того, $w_i^{(3)}$ для каждой забойной конвейерной линии определяется согласно рекуррентным соотношениям, полученным для последовательного соединения конвейеров и бункера.

Координирующими параметрами системы управления подземного конвейерного транспорта угольных шахт является производительности питателей Q_{n_i} , 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 заданных пределах.

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

В работе [9, 10] была решена задача определения оптимального среднего значения объема груза в аккумулярующем бункере, работающем в режиме поддержания в нем уровня груза в заданных пределах.

При этом оптимальные средние значения объемов груза в аккумулярующих бункерах $V_{i_{\min}}$ равны

$$V_{i_{\min}} = \frac{V_{1i} + V_{2i}}{2} + \frac{\lambda_{c_i}}{(\lambda_{c_i} + \mu_{c_i}) \mu_{c_i}} \cdot \frac{m_i^{(s)}}{2\rho}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (12)$$

где λ_{c_i}, μ_{c_i} – эквивалентные интенсивности простоев и восстановлений системы конвейерного транспорта до i -го аккумулярующего бункера, мин^{-1} ; $m_i^{(s)}$ – средние значения грузопотоков, поступающих в аккумулярующие бункеры, т/мин.

Следовательно, локальной функцией цели подсистемы управления бункерами является среднее значение груза в аккумулярующем бункере. Поэтому средние значения груза в аккумулярующих бункерах V_{c_i} должны стремиться к средним минимальным значениям объемов груза в бункерах $V_{i_{\min}}$, т.е.

$$V_{c_i} \rightarrow V_{i_{\min}}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (13)$$

С другой стороны, согласно работам [9, 10], средние значения объемов груза в аккумулярующих бункерах, работающих в режиме поддержания в них объемов груза в заданных пределах, определяются по формулам

$$V_{c_i} = \frac{V_{1i} t_{3i} + V'_{2i} t_{pi}}{t_{3i} + t_{pi}} + \frac{m_i^{(s)} t_{3i}^2 - (Q_{n_i} - m_i^{(s)}) t_{pi}^2}{2\rho (t_{3i} + t_{pi})}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (14)$$

где $V'_{2i} = V_{2i} + \frac{\lambda_{c_{i+1}}}{\lambda_{c_{i+1}} + \mu_{c_{i+1}}} \frac{Q_{n_i}}{\rho} t_{pi}$; $\lambda_{c_{i+1}}, \mu_{c_{i+1}}$ – эквивалентные интенсивности простоев и восстановлений системы конвейерного транспорта за i -ым аккумулярующим бункером, мин^{-1} .

Здесь t_{3i} и t_{pi} – средние времена загрузки и разгрузки в бункерах, определяемые по формулам

$$t_{z_i} = \frac{\rho(V_{2i} - V_{1i})}{m_i^{(s)}} + \frac{\lambda_{c_i}}{(\lambda_{c_i} + \mu_{c_i})\mu_{c_i}}, \text{ мин}; \quad (15)$$

$$t_{p_i} = \frac{\rho(V_{2i} - V_{1i})}{(\bar{Q}_{n_i} - m_i^{(s)})} + \frac{\lambda_{c_i}}{(\lambda_{c_i} + \mu_{c_i})\mu_{c_i}} \cdot \frac{Q_{n_i} m_i^{(s)}}{(\bar{Q}_{n_i} - m_i^{(s)})(Q_{n_i} - m_i^{(s)})}, \text{ мин}, \quad (16)$$

где $\bar{Q}_{n_i} = \frac{\mu_{c_{i+1}}}{\lambda_{c_{i+1}} + \mu_{c_{i+1}}} Q_{n_i}$ ($i = 1, 2, \dots, n$).

Приравнявая средние значения объемов груза в бункерах V_{c_i} к минимальным значениям объемов $V_{i \min}$, получим уравнение относительно неизвестных максимальных значений заданных объемов груза в бункерах V_{2i} , при которых средние объемы груза в бункерах принимают минимальные значения. В результате, согласно (14), получим уравнения относительно V_{2i} :

$$\frac{V_{1i} t_{z_i} + V'_{2i} t_{p_i}}{t_{z_i} + t_{p_i}} + \frac{m_i^{(s)} t_{z_i}^2 - (Q_{n_i} - m_i^{(s)}) t_{p_i}^2}{2\rho(t_{z_i} + t_{p_i})} = \frac{V_{1i} + V_{2i}}{2} + \frac{\lambda_{c_i}}{(\lambda_{c_i} + \mu_{c_i})\mu_{c_i}} \cdot \frac{m_i^{(s)}}{2\rho}, \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (17)$$

В полученном уравнении (17), согласно (15) и (16), t_{z_i} и t_{p_i} являются функциями от V_{2i} . Кроме того, $m_i^{(s)}$ согласно (11) определяется по сложным рекуррентным соотношениям [6, 7].

Поэтому определение V_{2i} из уравнения (17) представляет собой сложную математическую задачу.

Для упрощения задачи определения заданных максимальных объемов груза в аккумулирующих бункерах V_{2i} 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 [11].

В этом случае для определения $m_i^{(s)}$ сначала с помощью датчиков времени на каждом шаге цикла загрузки и разгрузки аккумулирующих бункеров определяются текущие времена загрузки T_{z_i} (мин) и разгрузки T_{p_i} (мин) бункеров в период остановки и работы питателей соответственно.

Подставив в равенство (15) вместо t_{z_i} значение T_{z_i} , из полученного выражения получим оценку среднего значения поступающих в аккумулирующие бункеры грузопотоков по формулам:

$$\bar{m}_i^{(s)} = \frac{\rho \left(V_{2i}^{(0)} - V_{1i} \right)}{T_{3i} - \frac{\lambda_{c_i}}{\left(\lambda_{c_i} + \mu_{c_i} \right) \mu_{c_i}}}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (18)$$

где $V_{2i}^{(0)}$ – значения начальных максимальных заданных объемов груза в аккумулирующих бункерах, при которых определяются времена загрузки T_{3i} и разгрузки T_{pi} бункеров.

Дробь, стоящую в знаменателе правых частей равенств (18), можно выразить через m_{Q_i} и $\bar{m}_i^{(s)}$ по формулам [12]:

$$\frac{\lambda_{c_i}}{\left(\lambda_{c_i} + \mu_{c_i} \right) \mu_{c_i}} = \frac{1}{\mu_{c_i}} \left(1 - \frac{\bar{m}_i^{(s)}}{m_{\varepsilon_i}} \right), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (19)$$

где $m_{\varepsilon_i} = m_Q$ – для последовательного соединения конвейеров и бункеров;

$m_{\varepsilon_i} = m_{Q_i}$ – для параллельного соединения конвейеров и бункеров; $m_{\varepsilon_i} = \sum_{k=1}^i m_{Q_k}$

– для системы конвейерного транспорта с самоподобной древовидной структурой.

Подставляя (19) в (18), получим

$$\bar{m}_i^{(s)} = \frac{\rho \left(V_{2i}^{(0)} - V_{1i} \right)}{T_{3i} - \left(1 - m_i^{(s)} / m_{\varepsilon_i} \right) \frac{1}{\mu_{c_i}}}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (20)$$

Определяя из последнего равенства $\bar{m}_i^{(s)}$, в результате получим

$$\bar{m}_i^{(s)} = \frac{\sqrt{\left(\mu_{c_i} T_{3i} - 1 \right)^2 m_{\varepsilon_i}^2 + 4\rho \left(V_{2i}^{(0)} - V_{1i} \right) \mu_{c_i} m_{\varepsilon_i} - \left(\mu_{c_i} T_{3i} - 1 \right) m_{\varepsilon_i}}{2}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (21)$$

Для определения средних значений грузопотоков \bar{Q}'_{n_i} , разгружаемых из аккумулирующих бункеров, подставим в равенство (16) с учетом (19) вместо t_{pi} значение T_{pi} . В результате после преобразования получим

$$\bar{Q}'_{n_i} = \bar{m}_i^{(s)} + \frac{\rho \left(V_{2i}^{(0)} - V_{1i} \right) + \frac{1}{\mu_{c_i}} \left(1 - \frac{\bar{m}_i^{(s)}}{m_{\varepsilon_i}} \right) \cdot \frac{Q_{n_i} \bar{m}_i^{(s)}}{\left(Q_{n_i} - \bar{m}_i^{(s)} \right)}}{T_{p_i}}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (22)$$

Следовательно, зная время загрузки T_{z_i} и разгрузки T_{p_i} аккумулирующих бункеров на каждом цикле загрузки и разгрузки бункеров, средние значения поступающих из лав грузопотоков m_{Q_i} , а также заданные значения минимальных V_{1i} и максимальных $V_{2i}^{(0)}$ заданных объемов груза в аккумулирующих бункерах системы конвейерного транспорта угольных шахт, можно определить по формулам (21) и (22) средние значения поступающих в бункеры грузопотоков $\bar{m}_i^{(s)}$ и средние значения разгружаемых из бункеров грузопотоков \bar{Q}'_{n_i} .

Для определения максимальных заданных объемов груза в аккумулирующих бункерах V_{2i}^* , работающих в режиме поддержания в них объемов груза в заданных пределах, при которых средние объемы груза в бункерах V_{c_i} принимают минимальные значения $V_{i \min}$, в равенствах (15)–(17) подставим вместо $m_i^{(s)}$ и \bar{Q}_{n_i} их оценки $\bar{m}_i^{(s)}$ и \bar{Q}'_{n_i} из формул (21) и (22) с учетом (19). В результате получим уравнение относительно неизвестных максимальных объемов груза в бункерах V_{2i}^* :

$$\begin{aligned} \frac{V_{1i} \bar{t}_{z_i} + V_{2i}^* \bar{t}_{p_i}}{\bar{t}_{z_i} + \bar{t}_{p_i}} + \frac{\bar{m}_i^{(s)2} \bar{t}_{z_i} - \left(Q_{n_i} - \bar{m}_i^{(s)} \right) \bar{t}_{p_i}^2}{2\rho \left(\bar{t}_{z_i} + \bar{t}_{p_i} \right)} + \frac{\left(Q_{n_i} - \bar{Q}'_{n_i} \right)}{\rho} \frac{\bar{t}_{z_i}^2}{\bar{t}_{z_i} + \bar{t}_{p_i}} = \\ = \frac{V_{1i} + V_{2i}^*}{2} + \left(1 - \frac{\bar{m}_i^{(s)}}{m_{\varepsilon_i}} \right) \cdot \frac{1}{\mu_{c_i}} \cdot \frac{\bar{m}_i^{(s)}}{2\rho}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \end{aligned} \quad (23)$$

где

$$\begin{aligned} \bar{t}_{z_i} &= \frac{\rho \left(V_{2i}^* - V_{1i} \right)}{\bar{m}_i^{(s)}} + \frac{1}{\mu_{c_i}} \left(1 - \frac{\bar{m}_i^{(s)}}{m_{\varepsilon_i}} \right); \\ \bar{t}_{p_i} &= \frac{\rho \left(V_{2i}^* - V_{1i} \right)}{\left(\bar{Q}'_{n_i} - \bar{m}_i^{(s)} \right)} + \frac{1}{\mu_{c_i}} \left(1 - \frac{\bar{m}_i^{(s)}}{m_{\varepsilon_i}} \right) \cdot \frac{Q_{n_i} \bar{m}_i^{(s)}}{\left(\bar{Q}'_{n_i} - \bar{m}_i^{(s)} \right) \left(Q_{n_i} - \bar{m}_i^{(s)} \right)}. \end{aligned}$$

Наиболее простым и эффективным методом решения уравнения (23)

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 m_{Q_i} , поступающих из лав, производительностей питателей Q_{n_i} , объемов аккумулирующих бункеров V_i и минимальных значениях объемов грузов в них V_{1i} , а также текущих значениях времени загрузки $T_{з_i}$ и разгрузки $T_{р_i}$ аккумулирующих бункеров системы конвейерного транспорта угольных шахт из уравнения (23) можно найти значения заданных максимальных объемов груза V_{2i}^* , при которых средние объемы груза в бункерах V_{c_i} принимают минимальные значения, равные

$$V_{c_i} \rightarrow V_{i_{\min}} = \frac{V_{1i} + V_{2i}^*}{2} + \left(1 - \frac{\bar{m}_i^{(s)}}{m_{\varepsilon_i}}\right) \cdot \frac{1}{\mu_{c_i}} \cdot \frac{\bar{m}_i^{(s)}}{2\rho}, \quad i=1,2,\dots,n. \quad (24)$$

Отсюда алгоритм адаптивного управления системой подземного конвейерного транспорта угольных шахт можно представить в следующем виде (рис. 4).

1. Генерирование альтернатив.

Для этого по заданным средним значениям величин грузопотоков m_{Q_i} , поступающих их лав, и состояния системы конвейерного транспорта на основании решения задачи структурной адаптации определяются минимальная пропускная способность m_{\min} и несколько альтернативных вариантов скоростей конвейеров $v_{л_i}^{(a)}$ и производительностей питателей $Q_{n_i}^{(a)}$, где a – номер альтернативного варианта ($a = 1, \dots, N$; N – количество альтернативных вариантов). При этом должны выполняться условия (ограничения)

$$\sum_1^i m_{Q_i} < Q_{n_i}^{(a)} \leq Q_{m_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad a = 1, 2, \dots, N, \quad (25)$$

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

Кроме того, для аккумулирующих бункеров, работающих в режиме поддержания в них объема груза в заданных пределах, должны выполняться ограничения

$$m_i^{(s)} < Q_{n_i}^{(a)};$$

$$V_{1i} < V_{2i} < V_i, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad a = 1, 2, \dots, N. \quad (26)$$

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

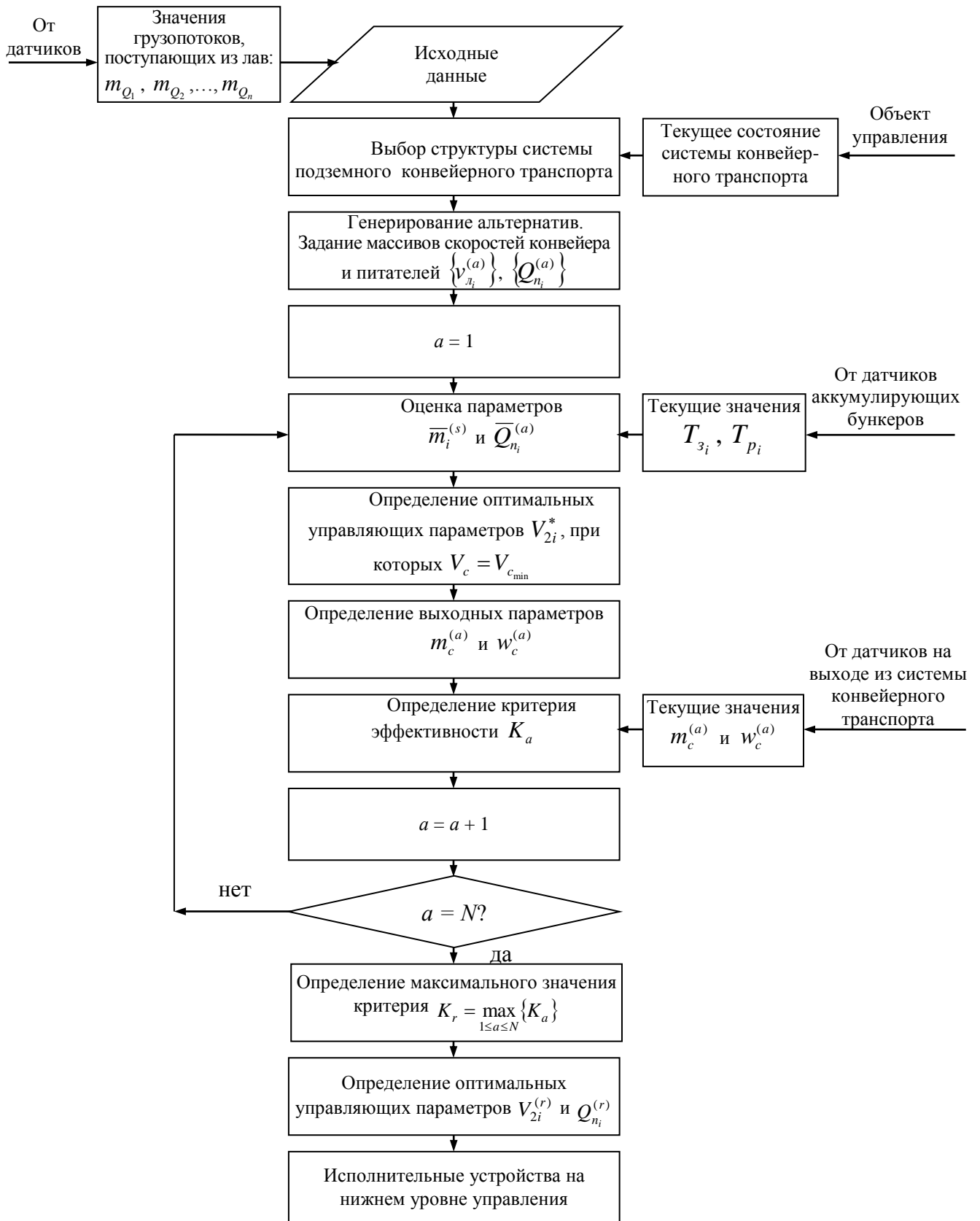


Рисунок 4 – Структурная схема общего алгоритма адаптивного управления системой конвейерного транспорта

Для этого с помощью датчиков времени в периодах загрузки и разгрузки аккумулялирующих бункеров определяются значения времен загрузки T_{z_i} и разгрузки T_{p_i} бункеров. По этим значениям T_{z_i} и T_{p_i} согласно формул (21) и (22) определяются оценки средних значений грузопотоков $\bar{m}_i^{(s)}$, поступающих в бункера, и средних значений грузопотоков $\bar{Q}_{n_i}^{(a)}$, разгружаемых из бункеров.

3. Определение максимальных заданных объемов груза в аккумулялирующих бункерах.

Для этого по полученным значениям оценок $\bar{m}_i^{(s)}$ и $\bar{Q}_{n_i}^{(a)}$ из уравнения (23) определяются максимальные значения объемов груза в аккумулялирующих бункерах V_{2i}^* , при которых средние объемы груза в бункерах V_{c_i} , работающих в режиме поддержания в них уровня груза в заданных пределах, принимают минимальные значения.

4. Определение критериев эффективности и функции цели.

Для этого по вычисленным значениям V_{2i}^* согласно рекуррентным формулам (7)–(11) определяются пропускная способность $m_c^{(a)}$ и энергоемкость $w_c^{(a)}$ всей системы конвейерного транспорта. По полученным значениям $m_c^{(a)}$ и $w_c^{(a)}$ согласно формуле (1) определяется функция цели K_a .

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

$$K_{\min} = \min_{1 \leq a \leq N} \{K_a\}.$$

При этом должно выполняться условие

$$m_c^{(a)} \geq m_{\min}.$$

Значения производительностей питателей Q_{n_i} 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 m_{Q_i} , поступающих из лав, оптимальные значения Q_{n_i} и V_{2i} , при которых критерий эффективности K принимает минимальное значение, определяются заново по выше приведенному алгоритму.

Выводы. Поставлена и решена задача адаптивного управления системой подземного конвейерного транспорта угольных шахт, представляющая собой двухуровневую иерархическую систему.

Определена глобальная функция цели адаптивного управления, которая совпадает с удельной энергоемкостью системы конвейерного транспорта, равной электроэнергии, потребляемой приводами конвейеров на транспортирование одной тонны горной массы.

Определены локальные функции цели системы конвейерного транспорта, являющиеся минимальными значениями среднего объема груза в аккумулирующих бункерах, работающих в режиме поддержания в них уровня груза в заданных пределах.

Разработан алгоритм адаптивного управления системой конвейерного транспорта, включающий алгоритм адаптивного управления аккумулирующими бункерами, работающими в режиме поддержания в них уровня груза в заданных пределах.

Применение этого алгоритма управления системой подземного конвейерного транспорта угольных шахт позволит повысить пропускную способность на 20 % и снизить энергозатраты на транспортирование горной массы ленточными конвейерами на 30 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методология адаптивного управления конвейерным транспортом / В. Ф. Монастырский, В. Ю. Максютенко, Р. В. Кирия, Т. Ф. Мищенко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск, 2010 – Вып. 91. – С. 245–254
2. Белов, М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для студентов высш. учебн. заведений / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. – М.: Академия, 2004. – 576 с.
3. Инжиниринг для современного подземного конвейерного транспорта // Глюкауф. – 2009. – №3. – С. 50–51.
4. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студентов высш. учебн. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов / Под ред. В.М. Терехова. – М.: Академия, 2006. – 304 с.
5. Кирия, Р. В. Управление бункерами, работающими в системах конвейерного транспорта угольных шахт / Р.В. Кирия, Д.Д. Брагинец // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ, 2012. – № 37. – С. 230–236.
6. Кирия, Р. В. Определение пропускной способности и энергоемкости транспортирования горной массы конвейерным транспортом угольных шахт / Р. В. Кирия, Т. Ф. Мищенко // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2015. – №46. – С. 96–104.
7. Кирия, Р.В. Определение энергетической эффективности систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт / Р. В. Кирия // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 119. – С. 125–135.
8. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий / В. И. Галкин, В. Г. Дмитриев, В. П. Дьяченко [и др.]. – М.: Из-во МГГУ, 2005. – 543 с.
9. 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.
10. Кирия, Р. В. Определение среднего объема груза в аккумулирующем бункере, работающем в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах / Р. В. Кирия, Т. Ф. Мищенко // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2015. – №49. – С. 106–115.
11. Кирия, Р. В. Адаптивное управление усредняющим бункером, работающим в условиях

угольных шахт / Р.В. Кирия, Д.Д. Брагинец // Наукові вісті. Сучасні проблеми металургії. - №13. - Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011. - 75–81.

12. Кирия, Р. В. Алгоритм управления системой подземного конвейерного транспорта угольных шахт / Р. В. Кирия, Ю. В. Бабенко // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 4 (99). – Дніпропетровськ, 2015. – С. 10–22.

REFERENCES

1. Monastyrsky, V.F., Maksyutenko, V.Yu, Kiriya, R.V. and Mishchenko, T.F. (2010), “The methodology of adaptive conveyor transport management”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 91, pp. 245–254.

2. Belov, M.P., Novikov, V.A. and Rassudov, L.,N. (2004), *Avtomatizirovannyyu elektropriwod tipovykh proizvodstvennykh mekhanizmov i tekhnologicheskikh kompleksov* [Automatic electric drives for industry machinery and technological complexes], Akademiya, Moscow, Russia.

3. “Engineering for the modern underground conveyor transport” (2009), *Glyukauf*, no. 3. pp. 50–51.

4. Terekhov, V.M. and Osipov, O.I. (2006), *Sistemy upravleniya elektropriwodov* [Control systems of electric drives], Akademiya, Moscow, Russia.

5. Kiriya, R.V. and Braginets, D.D (2012), “Coal mine conveyor transport systems bunker control”, *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnogo girnychogo universytetu*, no. 37, pp. 230–236.

6. Kiriya, R.V. and Mishchenko, T.F. (2015), “Capacity and energy expenditure for bulk material conveyor mine transport”, *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnogo girnychogo universytetu*, no. 46, pp. 96–104.

7. Kiriya, R.V. (2014), “Determination of energy efficiency systems underground conveyor transport of coal mines”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 119, pp. 125–135.

8. Galkin, V.I., Dmitriev, V.G. and Dyachenko, V.P. (2005), *Sovremennaya teoriya lentochnykh konveyerov gornykh predpriyatiy* [Modern theory of belt conveyers for mining enterprises], MGPU, Moscow, Russia.

9. Kiriya, R.V., Mishchenko, T.F. and Babenko, Yu.V. (2012), “Mathematical model of functioning of heat-sink bunker in the mode of maintenance in him of volume of load in the set limits”, *Naukovi visti. Sychasni problemy metalurgii*, no. 15, pp. 85–96.

10. Kiriya, R.V. and Mishchenko, T.F. (2015), “Determination of average volume of load in a heat-sink bunker working in the mode of maintenance in him of volume of load in the set limits”, *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnogo girnychogo universytetu*, no. 49, pp. 106–115.

11. Kiriya, R.V. and Braginets, D.D. (2011), “Average volume bunker adaptive control for coal mines”, *Naukovi visti. Sychasni problemy metalurgii*, no. 13, pp. 75–81.

12. Kiriya, R.V. and Babenko, Yu.V. (2015), “Mine conveyor system adaptive control algorithm”, *Systemni tekhnologii. Regionalny mezhvuzivskiy zbirnyk naukovykh prats*, no. 4 (99), pp. 10–22.

Об авторах

Кирия Руслан Виссарионович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом физико-механических основ горного транспорта, Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, kiriya_igtm@ukr.net

Монастырский Виталий Федорович, доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник в отделе физико-механических основ горного транспорта, Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, vfmon@mail.ru

Мищенко Тамара Федоровна, магистр, главный технолог в отделе физико-механических основ горного транспорта, Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, mishenkotoma@mail.ru

About the authors

Kiriya Ruslan Vissarionovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Head of Department of Mining Transport Physics and Mechanics, M. S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, kiriya_igtm@ukr.net

Monastyrsky Vitaly Fedorovich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Senior Researcher in Department of Mining Transport Physics and Mechanics, M. S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, vfmon@mail.ru

Mishchenko Tamara Fedorovna, Master of Science, Senior Specialist in Department of Mining Transport Physics and Mechanics, M. S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, mishenkotoma@mail.ru

Анотація. У статті розглянуто питання підвищення енергетичної ефективності функціонування систем підземного конвеєрного транспорту вугільних шахт з розгалуженою структурою. Ці системи конвеєрного транспорту, як правило, мають велику кількість конвеєрів. Через прості конвеєрів, а також нерівномірності вантажопотоків, що надходять з лав, знижується ефективність їх функціонування, тобто знижується продуктивність і збільшуються енерговитрати на транспортування вугілля.

Одним їх шляхів підвищення ефективності функціонування систем конвеєрного транспорту вугільних шахт є управління вантажопотоками за допомогою акумулюючих бункерів і регулювання швидкості стрічки конвеєра з використанням контролерів і частотних перетворювачів.

В роботі розроблено алгоритм адаптивного управління системою підземного транспорту з розгалуженою структурою, що дозволяє підвищити її пропускну здатність і знизити енерговитрати на транспортування гірської маси. При цьому система управління конвеєрним транспортом представлена як дворівнева ієрархічна система управління, на першому рівні якої оператор задає швидкості конвеєрів і живильників, а на другому рівні контролери в бункерах визначають максимальні задані значення вантажу в акумулюючих бункерах. Глобальною функцією цілі цієї системи управління є комплексний показник, що дорівнює питомій енергоемності транспортування вугілля, тобто кількість електроенергії, необхідній на транспортування тонни вугілля. Локальними функціями цієї системи є мінімальні значення середнього об'єму вантажу в акумулюючих бункерах системи конвеєрного транспорту.

Ключові слова: система конвеєрного транспорту вугільних шахт, розгалужена структура, ефективність функціонування, алгоритм адаптивного управління.

Abstract. The paper is devoted to problems of energy effectiveness working (EEW) increasing for conveyor transport systems (CTS) with complicate structures. The CTS, as usual, have a lot of conveyors. The EEW is decreased and caused by conveyor stoppages and discontinuities drift freight flows. In other words, productivity is decreased and energy expenditures for coal transportation are increased.

One of the ways to EEW increasing for CTS with complicate structures is freight flow control with accumulate bunkers (AB) and belt conveyor velocity control with control devices and frequency conversions.

The adaptive CTS control is developed. It allow to increase the capacity and decrease the freight flows energy expenditures.

Therefore conveyor transport system have two level hierarchic control systems. In first level control operator defines the conveyor velocity and feeders. In second level control bunker conversions define maximum set freight values for AB.

Global target function for optimization the system is complex value and is equal to specific transport power accumulation and power quantifies which is needed for one ton coal transportation. Local target functions for system optimization are average minimal values coal volumes in CTS for AB.

Keywords: adaptive control system, complex target functions, energy effectiveness working, energy expenditures, complicate structure conveyor system.

Стаття постуила в редакцію 22.12.2016

Рекомендовано к публікації д-ром техн. наук В.П. Надутым