

В.В. Слесарев, А.В. Малиенко

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ОПЕРАТИВНЫХ ГРАФИКОВ РАБОТЫ ГОРНОТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Аннотация. Разработан метод расчета оперативных графиков транспортной сети угольной шахты, с использованием, которого реализуется комплексный подход к решению задач оперативного управления транспортной сетью.

Ключевые слова: горнотранспортная сеть, линейный узел, хранилище углей, оперативный график, временной интервал, директивные данные.

Введение. Для рациональной работы ГТС (горнотранспортной сети) необходимо выполнять основное требование – максимальная добыча угля при заданных технологических условиях. Мы знаем, что процесс добычи имеет неравномерный характер, что не может не сказываться на работе всей ГТС угольных шахт. Неравномерность объемов добычи связано в первую очередь с характером залегания угольной массы, режимов работы оборудования, спроса. В настоящий момент управление происходит по методу средних величин, но данный метод не учитывает неравномерность добычи угля и его транспортирование по магистральным выработкам [1,2].

Цель. Разработка метода расчета оперативных графиков работы ГТС, который в свою очередь позволит повысить эффективность функционирования всей системы.

Постановка задачи. При разработке оперативного графика добычи необходимо использовать данные по директивным объемам транспорта угля, подлежащим распределению в ТС (транспортной сети). Директивный объем транспортируемых углей устанавливается на основе долгосрочного прогноза добычи и транспортирования угля с учетом неравномерности отгрузки и представлен в виде суммарной величины для определенной ТС [3].

Для определения количества угля, подлежащего распределению в соответствии с директивными показателями, используют объем

подачи угля в накопительные емкости околоствольного двора Q_u , нормативный расход угля в угольных и совмещенных бункерах через питатели $Q_{б-н}$ и резервный расход угля $Q_{рез}$, используемый для регулирования процесса транспорта угля при отклонениях от запланированного режима.

По нормативной документации расход углей включает запасы, необходимые для бесперебойной работы оборудования транспортной сети - технологический запас $Q_{тех}$, запас в пути $Q_{путь}$, связанный с не синхронностью поступления угля в ТС, расход угля буферным потребителям $Q_{буф}$, который используется для тех же целей, потери угля при транспорте $Q_{пот}$ согласно нормативной документации. Тогда уравнение баланса транспорта угля примет вид:

$$Q_{баланс} = Q_{рез} + Q_{тех} + Q_{путь} + Q_{буф} + Q_{пот} + Q_{б-н} \quad (1)$$

Рассмотрение функционирования ТС происходит в дискретные моменты времени $t=0, 1, \dots, T$, предполагая, что шаг дискретизации $\Delta t > \tau$, где τ - время распространения грузовых потоков вдоль структуры ТС.

Для физического осуществления процесса транспорта угля необходимо выполнение следующих неравенств

$$Q_{Тех}^j \leq Q_{вых_t}^j \leq Q_M^j \quad (j = 1, \dots, m; t = 0, 1, \dots, T), \quad (2)$$

в которой

$$Q_{вых_t}^j = kQ_{вых_t}^{j-1} + \sum_{i=1}^{p_j} Q_{б-н_i}^{ji} - \sum_{i=1}^{n_j} Q_{U_i}^{ji} - \sum_{i=1}^{s_j} Q_{буф_i}^{ji} + \sum_{i=1}^{r_j} Q_{x_i}^{ji} + Q_{з_i}^j, \quad (3)$$

где величины $Q_{x_i}^{ji}$ и $Q_{з_i}^j$ принимают положительные значения, когда происходит отбор угля из наземного хранилища углей (ХУ) или из магистральных конвейеров линейных узлов (ЛУ), и отрицательные при закачке угля в ХУ или конвейера ЛУ в целях аккумуляции для сглаживания будущих неравномерностей, Q_M^j - ограничение сверху на количество угля, проходящее через j -й бункер накопитель, определяемое характеристиками транспортного оборудования.

Величины Q_T^j и Q_M^j - объективные (в условиях данной задачи) ограничения, накладываемые имеющимся транспортным оборудованием. Поэтому процесс управления распределением нагрузок по лавам в ТС сводится к определению значений величин $Q_{U_i}^{ji}$, $Q_{буф_i}^{ji}$, $Q_{x_i}^{ji}$.

Учитывая, что значения величин поставок угля интегральным потребителям $Q_{U_i}^{ji}$ и их потребности в углях $Q_{CU_i}^{ji}$ могут не совпадать, а целью функционирования ТС является максимальное удовлетворение спроса потребителей, задачу расчета нагрузок на лавы, т.е. нахождения величин $Q_{U_i}^{ji}$, $Q_{\text{буф}_i}^{ji}$, $Q_{x_i}^{ji}$, $Q_{z_i}^j$ представим в виде

$$\min \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^{n_j} (Q_{CU_i}^{ji} - Q_{U_i}^{ji}) C_U^{ji} - \sum_{i=1}^{S_j} C_{\sigma} Q_{\sigma_i} + \sum_{i=1}^{r_j} Q_{x_i}^{ji} C_x^{ji} + C_z^j Q_{z_i}^j \right) \quad (4)$$

при условии выполнения (2), (3) и уравнений связи, которые запишем как

$$\sum_{i=1}^{r_j} Q_x^{ji}(t+1) + Q_z^j(t+1) = \sum_{i=1}^{r_j} Q_x^{ji}(t) + Q_z^j(t) + \left(\sum_{i=1}^{r_j} Q_x^{ji}(t) + Q_z^j(t) \right) \cdot k' \quad (j = \overline{1, m}) \quad (5)$$

где k' - коэффициент потерь угля при закачке в ХУ, выбирается из тех же соображений, что и коэффициент k , $Q_{x_i}^{ji}$ - количество угля, накопленного на i -ом поле на j -ом ЛУ к моменту времени t , $Q_{z_i}^j$ - количество аккумулированного угля в бункер накопителе j -ого ЛУ к моменту t . При этом должны выполняться неравенства

$$\underline{Q_x^{ji}} \leq Q_x^{ji}(t) \leq \overline{Q_x^{ji}} \quad (i = 1, \dots, r_j; j = 1, \dots, m) \quad (6)$$

$$\underline{Q_z^j} \leq Q_z^j(t) \leq \overline{Q_z^j} \quad (j = 1, \dots, m) \quad (7)$$

$$Q_{U_i}^{ji} \geq 0 \quad (i = 1, \dots, n_j; j = 1, \dots, m), \quad Q_{\sigma_i}^{ji} \geq 0 \quad (i = 1, \dots, S_j; j = 1, \dots, m) \quad (8)$$

где $\underline{Q_x^{ji}}$ и $\overline{Q_x^{ji}}$ - минимальное и максимальное количество угля, которое может быть закачено в i -ое ХУ на j -ом ЛУ, $\underline{Q_z^j}$ и $\overline{Q_z^j}$ - минимальное и максимальное количество угля, которое может быть аккумулировано в бункерах j -го ЛУ; C_U^{ji} - удельные потери от недопоставки угля i -ому потребителю на j -ом ЛУ; C_{σ}^{ji} - удельный выигрыш от использования угля у буферных потребителей по сравнению с другими видами топлива; C_x^{ji} - удельные затраты, связанные с закачкой угля в ХУ на j -ом ЛУ, C_z^j - удельные затраты на аккумулирование угля в бункер накопитель j -ого ЛУ. Можно предположить, что

$$C_x^{ji} = \begin{cases} 0, & \text{при } Q_{x_i}^{ji} \geq 0, \\ C_x^{ji}, & \text{при } Q_{x_i}^{ji} < 0 \end{cases}$$

$$C_3^j = \begin{cases} 0, & \text{при } Q_{3_i}^j \geq 0 \\ C_3^j, & \text{при } Q_{3_i}^j < 0 \end{cases}.$$

Соответственно, все величины C_U^{ji} , C_6^{ji} , C_x^{ji} , C_3^j от времени не зависят.

Таким образом, задача расчета оперативных графиков работы нагрузок на лавы в ТС при выполнении принятых допущений представляет собой задачу математического программирования, требующую для своего решения разработки специальных алгоритмов.

Рассмотрев частный случай условий функционирования ТС, а именно функционирование в условиях угольных шахт, дефицитом определим такую ситуацию, при которой технологически допустимое (безаварийное) функционирование ТС возможно только в результате недопоставок угля по плановым показателям. Возникновению такой ситуации, как правило, предшествует максимально допустимый отбор угля из резервов (ХУ и аккумулялированного запаса в БН ЛУ). В результате ее характерно отсутствие запасов и нецелесообразность их накопления с целью передачи от одного такта управления к другому.

Работа ТС в условиях угольных шахт занимает достаточно длительный временной интервал и поэтому из-за последствий, возникающих у потребителей, заслуживает специального рассмотрения. Появление описываемой ситуации, помимо всего прочего, может быть вызвано случайными отказами элементов транспортной системы и несоответствием между временем, количеством и местом добычи угля и его выдачей на поверхность. Формально задача расчета нагрузок на лавы в условиях угольных шахт на интервале $[0, T]$, исходя из (2) - (8), может быть представлена в виде пошагового решения ряда статических задач вида

$$\min \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} (Q_{CU_i}^{ji} - Q_{U_i}^{ji}) C_U^{ji}, \quad (9)$$

при условиях

$$Q_{Tex}^j \leq Q_{бых_i}^j \leq Q_M^j \quad (j = 1, \dots, m), \quad (10)$$

$$Q_{\text{вых}_t}^j = kQ_{\text{вых}_t}^{j-1} + \sum_{i=1}^{p_j} Q_{\text{от}_i}^{ji} - \sum_{i=1}^{n_j} Q_{U_i}^{ji} \quad (j=1, \dots, m), \quad (11)$$

$$Q_{U_i}^{ji} \geq 0 \quad (i=1, \dots, n_j; j=1, \dots, m). \quad (12)$$

Вводя коэффициенты недопоставки угля γ_t^{ji} , удовлетворяющие условиям

$$Q_{U_i}^{ji} = (1 - \gamma_t^{ji}) Q_{CU_i}^{ji}, \quad 0 \leq \gamma_t^{ji} \leq 1$$

(при $\gamma_t^{ji} = 0$ поставка угля i -ому накопителю на j -ом ЛУ осуществляется в полном объеме), задачу (9) - (12) представим в виде

$$\min \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} \gamma_t^{ji} Q_{CU_i}^{ji} C_U^{ji}, \quad (13)$$

при условиях

$$Q_{\text{Тех}}^j \leq Q_{\text{вых}_t}^j \leq Q_M^j \quad (j=1, \dots, m), \quad (14)$$

$$Q_{\text{вых}_t}^{j-1} = kQ_{\text{вых}_t}^{j-1} + \sum_{i=1}^{p_j} Q_{\text{от}_i}^{ji} - \sum_{i=1}^{n_j} (1 - \gamma_t^{ji}) Q_{CU_i}^{ji} \quad (j=1, \dots, m), \quad (15)$$

$$0 \leq \gamma_t^{ji} \leq 1 \quad (i=1, \dots, n_j; j=1, \dots, m). \quad (16)$$

Исходя из определения ситуации, названной дефицитом, недопоставки вызываются необходимостью удовлетворения физической допустимости процесса транспорта, что в терминах задачи (13) – (16) эквивалентно необходимости удовлетворения левых частей двухсторонних неравенств (14), так как при $Q_{\text{Тех}}^j > Q_{\text{вых}_t}^j$, сорвется процесс транспорта угля. Кроме того, в реальной ТС величина γ_t^{ji} никогда не будет равна единице. Согласно данным, приводимым в [2], величины недопоставок угля интегральным потребителям в наихудших случаях достигают 16 - 20% потребности, по другим источникам они не превосходят 20 - 25%, но всегда γ_t^{ji} значительно меньше единицы. Учитывая приведенные соображения и проведя преобразования, задачу (13) - (16) запишем как

$$\min \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} \gamma_t^{ji} C_U^{ji} Q_{CU_i}^{ji}, \quad (17)$$

при условиях

$$Q_{\text{Тех}}^j \leq \sum_{l=1}^j k^{j-l} \left(\sum_{i=1}^{p_l} Q_{\text{от}_i}^{li} - \sum_{i=1}^{n_l} (1 - \gamma_t^{li}) Q_{CU_i}^{li} \right) \quad (j=1, \dots, m), \quad (18)$$

$$\gamma_i^{ji} \geq 0 \quad (i=1, \dots, n_j; j=1, \dots, m) \quad (19)$$

Вводя обозначения,

$$C_U = \begin{pmatrix} C_U^{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & C_U^{12} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & C_U^{mm} \end{pmatrix}, \quad E_n = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \dots \\ 1 \end{pmatrix},$$

$$Q_{CU_i} = \begin{pmatrix} Q_{CU_i}^{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & Q_{CU_i}^{12} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & Q_{CU_i}^{mm} \end{pmatrix},$$

$$Q_{\partial_i} = \begin{pmatrix} Q_{\partial_i}^{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & Q_{\partial_i}^{12} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & Q_{\partial_i}^{mp_m} \end{pmatrix}, \quad Q_T = \begin{pmatrix} Q_T^1 \\ Q_T^2 \\ \dots \\ Q_T^m \end{pmatrix}, \quad E_p = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \dots \\ 1 \end{pmatrix},$$

где C_U - диагональная $(n \times n)$ -матрица, $n = n_1 + n_2 + \dots + n_m$; E_n - $(n \times 1)$ единичный вектор-столбец; Q_{CU_i} - диагональная $(n \times n)$ -матрица; K_A - $(m \times n)$ -матрица; Q_{∂_i} - диагональная $(p \times p)$ -матрица, $p = p_1 + p_2 + \dots + p_m$; Q_T - $(p \times 1)$ вектор-столбец технологических ограничений; E_p - $(p \times 1)$ единичный вектор-столбец; K_{∂_i} - $(m \times p)$ -матрица;

$$C_i = -E_n^T C_U Q_{CU_i}, \quad A_i = -K_A Q_{CU_i},$$

$$-b_i = -(Q_T - K_{\partial_i} Q_{\partial_i} E_p + K_A Q_{CU_i} E_n),$$

получим из (17) - (19) задачу вида

$$\max(C_i, \gamma_i), \quad (20)$$

при условиях

$$A_i \gamma_i \leq b_i, \quad (21)$$

$$\gamma_i \geq 0 \quad (22)$$

где C_i - вектор коэффициентов при неизвестных целевой функции размерности $1 \times n$; b_i - вектор ограничений размерности $m \times 1$, A_i - матрица системы ограничений задач размерности $m \times n$, γ_i - искомые управляющие воздействия.

Таким образом, задача распределения угольной массы в ТС шахты на временном интервале $[0, T]$ сводится к пошаговому решению ЗЛП, заданную уравнениями (20) - (22) и процедура расчета оперативного диспетчерского графика работы горнотранспортной сети будет представлена в виде следующих этапов (в каждый момент времени):

а) получение и обработка информации о добычи угля в очистном забое в момент времени $t - Q_{CU_t}^{ji}$ ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, m$); где Q_{CU_t} - диагональная матрица размерностью $(n \times n)$;

б) получение информации о директивных значениях поставок угля в ТС в момент времени $t - Q_{\partial_t}^{ji}$ ($i=1, \dots, p; j=1, \dots, m$); где $Q_{\partial_t}^{ji}$ - директивная величина поступления угля в момент времени t от i -ого источника, физически связанного с j - ым линейным участком (ЛУ) ТС,

в) получение информации и определение размеров поставок угля по промежуточным накопителям $Q_{U_t}^{ji}$ ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, m$) по ре-

зультатам решения ЗЛП (4.1) - (4.3) относительно γ_t^{ji} в момент вре-

мени t , как $Q_{U_t}^{ji} = (1 - \gamma_t^{ji}) Q_{CU_t}^{ji}$.

Выводы. Разработанная система расчета оперативных графиков работы горнотранспортной сети позволяет оптимизировать грузопотоки в рамках планирования и оперативного управления подземного транспорта с сокращением внеплановых простоев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баламов Е.П., Пузаков Д.В. Проектирование информационно-управляющих систем.- М.: Радио и связь, 1987.-256с.
2. Алябьев Н.М., Ефремов В.К. Экономия электроэнергии на угольной шахте.- М.: Недра, 1970. – 175 с.
3. В.В. Слесарев., М. Гаяда. Оптимальное распределение нагрузок на лавы при нестационарной добычи в условиях угольных шахт // Науковий вісник національного гірничого університету.-№3.- Дніпропетровськ 2005.-С. 72-73.