

МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ

Будішевський В.О., Пуханов О.О.

Донецький національний технічний університет, Красноармійський індустріальний інститут

Величина потоку грошових витрат цілком залежить від ефективного керування транспортною мережею паливно-енергетичного комплексу і потоками в ній. Один з методів оптимізації гірничо-видобувного виробництва, що забезпечує зменшення транспортних витрат на перевезення вугілля між споживачами і зниження його собівартості, містить розрахунок балансових співвідношень перевезень, навантажень, розвантажень вугілля і породи; розрахунок транспортних потужностей відповідно пропускній здатності комунікацій з урахуванням потужностей вантажно-розвантажувальних механізмів, ємності составів і кількості одиниць рухливого составу. Однак необхідно підкреслити, що зазначені балансові співвідношення в процесі переміщення продукції p у транспортній мережі паливно-енергетичного комплексу від пунктів їхнього виробництва до споживачів мають ряд обмежуючих факторів, основними з яких є:

- пропускна здатність транспортних вузлів і комунікацій;
- технічна продуктивність засобів транспорту і вантажно-розвантажувальних механізмів;
- ємність составів і бункерів;
- площі паркування транспортних засобів;
- наявності одиниць рухливого составу і видів транспортних пристроїв.

У роботі вирішена задача обґрунтування основних параметрів транспортної системи паливно-енергетичного комплексу.

Вважаємо, що з деякого пункту l у пункт l_1 транспортної мережі T продукт p може бути перевезений транспортом k . Маємо на увазі під транспортом k , наприклад, локомотивний вид транспорту (залізничний на поверхні і локомотивному відкочуванні в шахті).

У цьому випадку по магістралі $(l, l_1)_T$ можливий рух не тільки транспортних засобів, що перевозять продукт p , але і рух составів, що перевозять інші продукти або людей. У такий спосіб виникає обмеження на пропускну здатність транспортної магістралі $(l, l_1)_T$ під час перевезення продукту p транспортом k .

Уведемо величину $f_{kl}(t)$, що характеризує сумарний потік транспорту k що

здійснює перевезення усіх видів вантажів по магістралі $(l, l_1)_T$ і визначається за формулою

$$f_{kl_1}(t) = \sum_{p \in J_k/J_1^i} a_{kp} \cdot f_{pkl_1}, \quad (1)$$

де a_{kp} – число транспортних одиниць k зайнятих перевезенням продукту p .

Для порожнього транспорту $a_{kp} = a_{k0} = 1$, для попутно перевезених продуктів (до складу що перевозить продукт p входять вагони з іншим продуктом $a_{kp} = a_{ki} = 0$).

Припустима максимальна швидкість руху складів і гранично припустима щільність їхнього руху обумовлюють обмеження пропускної здатності комунікації. Тому необхідно зафіксувати швидкісний режим руху. Нехай у момент часу t на магістралі $(l, l_1)_T$ знаходяться ті транспортні одиниці, що доставлять вантаж у пункт l_1 за час від t до $(t + \theta_{kl_1})$, тоді число таких транспортних одиниць z дорівнює:

$$z = \int_0^{\theta_{kl_1}} f_{kl_1}(t+x) dx, \quad (2)$$

а при стаціонарному режимі роботи транспортної мережі:

$$z = \theta_{kl_1} \cdot f_{kl_1}(t). \quad (3)$$

Підсумовуючи по усіх видах продуктів, переміщуваних транспортом k по магістралі $(l, l_1)_T$ одержимо обмеження пропускної здатності. Для випадку, коли продукт p переміщається по розгалуженій транспортній мережі

$$\sum_{k \in T} S_{kTl_1} \cdot \int_0^{\theta_{kl_1}} f_{kl_1}(t+x) dx \leq V_{Tl_1}, \quad (4)$$

причому в стаціонарному режимі роботи розгалуженої транспортної мережі

$$\sum_{k \in T} S_{kTl_1} f_{kl_1}(t) \leq V_{Tl_1}(t). \quad (5)$$

Для випадку, коли продукт p переміщається по нерозгалуженій транспортній мережі

$$\sum_{k \in T} \left[S_{kTl_1} \cdot \int_0^{\theta_{kl_1}} f_{kl_1}(t+x) dx + S_{kTl_1} \cdot \int_0^{\theta_{kl_1}} f_{kl_1}(t+x) dx \right] \leq V_{Tl_1}(t), \quad (6)$$

у випадку стаціонарного режиму роботи нерозгалуженої транспортної мережі маємо:

$$\sum_{k \in T} [S_{kTl_1} \cdot f_{kl_1}(t) + S_{kTl_1} \cdot f_{kl_1}(t)] \leq V_{Tl_1}(t), \quad (7)$$

де S_{kTl_1} , S_{kTl_1} – коефіцієнти завантаженості транспортної магістралі при русі

транспорту k від пункту l до пункту l_1 і в зворотну сторону

$$S_{kTl_1} = \frac{r \cdot \theta_{pkl_1}}{R}, \quad S_{kTl,l} = \frac{r \cdot \theta_{pkl,l}}{R},$$

θ_{pkl_1} , $\theta_{pkl,l}$ – тривалість руху продукту p транспортом k від пункту l до пункту l_1 і в зворотну сторону;

R – тривалість завантаженості транспортної магістралі $(l, l_1)_T$ за проміжок часу $[t_1, t_2]$;

r – число рейсів продукту p перевезеного транспортом k з пункту l до пункту l_1 і в зворотну сторону за проміжок часу $[t_1, t_2]$, причому $\theta_{pkl_1}, \theta_{pkl,l} \leq t_2 - t_1$;

$V_{Tl_1}(t)$ і $V_{Tl,l}(t)$ – пропускна здатність комунікації з l до l_1 або туди і назад для транспортної мережі T , тобто кількість транспортних одиниць, що здатна пропустити магістраль $(l, l_1)_T$ за час $[t_1, t_2]$.

У зв'язку з нормами безпеки для локомотивного транспорту виникає обмеження пропускної здатності транспортного вузла l , що обумовлено сумарним числом транспортних одиниць, що одночасно знаходяться в зоні транспортного вузла: прибуваючих, відбуваючих, ті що розвантажуються або ті що навантажуються. Це обмеження можна представити у виді:

$$\sum_{k \in T} \left\{ S_{Tkl} \left[\sum_{l_1 \in \theta_{Tl}^+} \int_0^{\theta_{kl}^+} f_{kl_1}(t+x) dx + \sum_{l \in \theta_{Tl}^-} \int_0^{\theta_{kl}^-} f_{kl_2}(t+\theta_{kl_2}+x) dx \right] + \right. \\ \left. + \sum_{p \in J_l \cap J_k} a_{kp} \left[S_{pTkl}^+ \int_0^{\theta_{pkl}^+} g_{pkl}^+(t+x) dx + S_{pTkl}^- \int_0^{\theta_{pkl}^-} g_{pkl}^-(t+x) dx \right] \right\} \leq V_{Tl}(t) \quad (8),$$

де S_{Tkl} – коефіцієнт завантаженості транспортного вузла l

$$S_{Tkl} = \frac{\theta_{kl}}{\theta_{Tl}},$$

θ_{kl} – тривалість перебування однієї одиниці транспорту k (вагон, состав) у зоні вузла l ;

θ_{Tl} – тривалість перебування всієї одиниці транспорту k у зоні вузла l ;

f_{kl_1} – кількість транспортних одиниць прибуваючих у пункт l з пункту l_1 ;

f_{kl_2} – кількість транспортних одиниць які відходять з пункту l у пункт l_2 ;

S_{pTkl}^{\pm} – коефіцієнт завантаженості транспортного вузла l транспортом k який

перебуває під навантаженням(розвантаженням) із продуктом p у транспортному вузлі l

$$S_{pTk_l}^{\pm} = \frac{\theta_{pkl}^{\pm}}{\theta_{pTl}}$$

θ_{pkl}^{\pm} – тривалість навантаження(розвантаження) однієї одиниці транспорту k із продуктом p у зоні вузла l ;

θ_{pTl} – тривалість навантаження(розвантаження) всіх одиниць транспорту k із продуктом p , що знаходяться в зоні вузла l ;

θ_{Tl}^{\pm} – тривалість перебування в зоні пункту l всіх одиниць транспорту k прибуваючих(вибуваючих) у пункт l (з пункту l);

V_{Tl} – пропускна здатність вузла l з урахуванням усіх видів транспорту T , тобто гранична кількість транспортних одиниць, що може пропустити транспортний вузол l ;

$$\sum_{l_1 \in \theta_{Tl}^+} \int_0^{\theta_{kl_1}} f_{kl_1}(t+x) dx + \sum_{l_2 \in \theta_{Tl}^-} \int_0^{\theta_{kl_2}} f_{kl_2}(t+\theta_{kl_2}+x) dx - \text{величина, що характеризує кі-}$$

лькість одиниць транспорту вузла, що знаходиться в зоні, l , що прибуває з пункту l_1 або убуває в пункт l_2 ;

$$S_{pTk_l}^+ \int_0^{\theta_{pkl}^+} g_{pkl}^+(t+x) dx + S_{pTk_l}^- \int_0^{\theta_{pkl}^-} g_{pkl}^-(t+x) dx - \text{величина, що характеризує сумарну}$$

інтенсивність навантаження і розвантаження продукції p .

У стаціонарному режимі роботи транспортної мережі усереднені потоки можна замінити самими потоками:

$$\sum_{k \in T} \left\{ S_{Tk_l} \left[\sum_{l_1 \in \theta_{Tl}^+} \int_0^{\theta_{kl_1}} f_{kl_1}(t) dx + \sum_{l_2 \in \theta_{Tl}^-} \int_0^{\theta_{kl_2}} f_{kl_2}(t) dx \right] + \sum_{p \in J_m \cap J_k} a_{kp} \left[S_{pTk_l}^+ \cdot g_{pkl}^+(t) + S_{pTk_l}^- \cdot g_{pkl}^-(t) \right] \right\} \leq V_{Tl}(t) \quad (9)$$

Аналогічно визначаються інші параметри транспортної системи.

Висновки. Отримані співвідношення дозволяють більш якісно здійснити планування транспортної мережі та потоків у ній, врахувати недоліки існуючих способів управління виробництвом і створити умови для ефективного керування транспортною мережею паливно-енергетичного комплексу, забезпечити досить високу надійність прогнозу безперебійної роботи транспортної мережі гірничо-видобувного підприємства. Вважаємо, що зазначені результати мають велике практичне значення.

МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ

Будішевський В.О., Пуханов О.О.

Донецький національний технічний університет, Красноармійський індустріальний інститут

Величина потоку грошових витрат цілком залежить від ефективного керування транспортною мережею паливно-енергетичного комплексу і потоками в ній. Один з методів оптимізації гірничо-видобувного виробництва, що забезпечує зменшення транспортних витрат на перевезення вугілля між споживачами і зниження його собівартості, містить розрахунок балансових співвідношень перевезень, навантажень, розвантажень вугілля і породи; розрахунок транспортних потужностей відповідно пропускній здатності комунікацій з урахуванням потужностей вантажно-розвантажувальних механізмів, ємності составів і кількості одиниць рухливого составу. Однак необхідно підкреслити, що зазначені балансові співвідношення в процесі переміщення продукції p у транспортній мережі паливно-енергетичного комплексу від пунктів їхнього виробництва до споживачів мають ряд обмежуючих факторів, основними з яких є:

- пропускна здатність транспортних вузлів і комунікацій;
- технічна продуктивність засобів транспорту і вантажно-розвантажувальних механізмів;
- ємність составів і бункерів;
- площі паркування транспортних засобів;
- наявності одиниць рухливого составу і видів транспортних пристроїв.

У роботі вирішена задача обґрунтування основних параметрів транспортної системи паливно-енергетичного комплексу.

Вважаємо, що з деякого пункту l у пункт l_1 транспортної мережі T продукт p може бути перевезений транспортом k . Маємо на увазі під транспортом k , наприклад, локомотивний вид транспорту (залізничний на поверхні і локомотивному відкочуванні в шахті).

У цьому випадку по магістралі $(l, l_1)_T$ можливий рух не тільки транспортних засобів, що перевозять продукт p , але і рух составів, що перевозять інші продукти або людей. У такий спосіб виникає обмеження на пропускну здатність транспортної магістралі $(l, l_1)_T$ під час перевезення продукту p транспортом k .

Уведемо величину $f_{kl}(t)$, що характеризує сумарний потік транспорту k що

здійснює перевезення усіх видів вантажів по магістралі $(l, l_1)_T$ і визначається за формулою

$$f_{kl_1}(t) = \sum_{p \in J_k/J_1^i} a_{kp} \cdot f_{pkl_1}, \quad (1)$$

де a_{kp} – число транспортних одиниць k зайнятих перевезенням продукту p .

Для порожнього транспорту $a_{kp} = a_{k0} = 1$, для попутно перевезених продуктів (до складу що перевозить продукт p входять вагони з іншим продуктом $a_{kp} = a_{ki} = 0$).

Припустима максимальна швидкість руху складів і гранично припустима щільність їхнього руху обумовлюють обмеження пропускної здатності комунікації. Тому необхідно зафіксувати швидкісний режим руху. Нехай у момент часу t на магістралі $(l, l_1)_T$ знаходяться ті транспортні одиниці, що доставлять вантаж у пункт l_1 за час від t до $(t + \theta_{kl_1})$, тоді число таких транспортних одиниць z дорівнює:

$$z = \int_0^{\theta_{kl_1}} f_{kl_1}(t+x) dx, \quad (2)$$

а при стаціонарному режимі роботи транспортної мережі:

$$z = \theta_{kl_1} \cdot f_{kl_1}(t). \quad (3)$$

Підсумовуючи по усіх видах продуктів, переміщуваних транспортом k по магістралі $(l, l_1)_T$ одержимо обмеження пропускної здатності. Для випадку, коли продукт p переміщається по розгалуженій транспортній мережі

$$\sum_{k \in T} S_{kTl_1} \cdot \int_0^{\theta_{kl_1}} f_{kl_1}(t+x) dx \leq V_{Tl_1}, \quad (4)$$

причому в стаціонарному режимі роботи розгалуженої транспортної мережі

$$\sum_{k \in T} S_{kTl_1} f_{kl_1}(t) \leq V_{Tl_1}(t). \quad (5)$$

Для випадку, коли продукт p переміщається по нерозгалуженій транспортній мережі

$$\sum_{k \in T} \left[S_{kTl_1} \cdot \int_0^{\theta_{kl_1}} f_{kl_1}(t+x) dx + S_{kTl_1} \cdot \int_0^{\theta_{kl_1}} f_{kl_1}(t+x) dx \right] \leq V_{Tl_1}(t), \quad (6)$$

у випадку стаціонарного режиму роботи нерозгалуженої транспортної мережі маємо:

$$\sum_{k \in T} [S_{kTl_1} \cdot f_{kl_1}(t) + S_{kTl_1} \cdot f_{kl_1}(t)] \leq V_{Tl_1}(t), \quad (7)$$

де S_{kTl_1} , S_{kTl_1} – коефіцієнти завантаженості транспортної магістралі при русі

транспорту k від пункту l до пункту l_1 і в зворотну сторону

$$S_{kTl_1} = \frac{r \cdot \theta_{pkll_1}}{R}, \quad S_{kTl,l} = \frac{r \cdot \theta_{pkll_1}}{R},$$

θ_{pkll_1} , $\theta_{pkll,l}$ – тривалість руху продукту p транспортом k від пункту l до пункту l_1 і в зворотну сторону;

R – тривалість завантаженості транспортної магістралі $(l, l_1)_T$ за проміжок часу $[t_1, t_2]$;

r – число рейсів продукту p перевезеного транспортом k з пункту l до пункту l_1 і в зворотну сторону за проміжок часу $[t_1, t_2]$, причому $\theta_{pkll_1}, \theta_{pkll,l} \leq t_2 - t_1$;

$V_{Tl_1}(t)$ і $V_{Tl_1||}(t)$ – пропускна здатність комунікації з l до l_1 або туди і назад для транспортної мережі T , тобто кількість транспортних одиниць, що здатна пропустити магістраль $(l, l_1)_T$ за час $[t_1, t_2]$.

У зв'язку з нормами безпеки для локомотивного транспорту виникає обмеження пропускної здатності транспортного вузла l , що обумовлено сумарним числом транспортних одиниць, що одночасно знаходяться в зоні транспортного вузла: прибуваючих, відбуваючих, ті що розвантажуються або ті що навантажуються. Це обмеження можна представити у виді:

$$\sum_{k \in T} \left\{ S_{Tkl} \left[\sum_{l_1 \in \theta_{Tl_1}^+} \int_0^{\theta_{kl}^+} f_{kl_1}(t+x) dx + \sum_{l \in \theta_{Tl_1}^-} \int_0^{\theta_{kl}^-} f_{kl_2}(t+\theta_{kl_2}+x) dx \right] + \right. \\ \left. + \sum_{p \in J_l \cap J_k} a_{kp} \left[S_{pTkl}^+ \int_0^{\theta_{pkl}^+} g_{pkl}^+(t+x) dx + S_{pTkl}^- \int_0^{\theta_{pkl}^-} g_{pkl}^-(t+x) dx \right] \right\} \leq V_{Tl}(t) \quad (8),$$

де S_{Tkl} – коефіцієнт завантаженості транспортного вузла l

$$S_{Tkl} = \frac{\theta_{kl}}{\theta_{Tl}},$$

θ_{kl} – тривалість перебування однієї одиниці транспорту k (вагон, состав) у зоні вузла l ;

θ_{Tl} – тривалість перебування всієї одиниці транспорту k у зоні вузла l ;

f_{kl_1} – кількість транспортних одиниць прибуваючих у пункт l з пункту l_1 ;

f_{kl_2} – кількість транспортних одиниць які відходять з пункту l у пункт l_2 ;

S_{pTkl}^{\pm} – коефіцієнт завантаженості транспортного вузла l транспортом k який

перебуває під навантаженням(розвантаженням) із продуктом p у транспортному вузлі l

$$S_{pTk_l}^{\pm} = \frac{\theta_{pkl}^{\pm}}{\theta_{pTl}}$$

θ_{pkl}^{\pm} – тривалість навантаження(розвантаження) однієї одиниці транспорту k із продуктом p у зоні вузла l ;

θ_{pTl} – тривалість навантаження(розвантаження) всіх одиниць транспорту k із продуктом p , що знаходяться в зоні вузла l ;

θ_{Tl}^{\pm} – тривалість перебування в зоні пункту l всіх одиниць транспорту k прибуваючих(вибуваючих) у пункт l (з пункту l);

V_{Tl} – пропускна здатність вузла l з урахуванням усіх видів транспорту T , тобто гранична кількість транспортних одиниць, що може пропустити транспортний вузол l ;

$$\sum_{l_1 \in \theta_{Tl}^+} \int_0^{\theta_{kl_1}} f_{kl_1}(t+x) dx + \sum_{l_2 \in \theta_{Tl}^-} \int_0^{\theta_{kl_2}} f_{kl_2}(t+\theta_{kl_2}+x) dx - \text{величина, що характеризує кі-}$$

лькість одиниць транспорту вузла, що знаходиться в зоні, l , що прибуває з пункту l_1 або убуває в пункт l_2 ;

$$S_{pTk_l}^+ \int_0^{\theta_{pkl}^+} g_{pkl}^+(t+x) dx + S_{pTk_l}^- \int_0^{\theta_{pkl}^-} g_{pkl}^-(t+x) dx - \text{величина, що характеризує сумарну}$$

інтенсивність навантаження і розвантаження продукції p .

У стаціонарному режимі роботи транспортної мережі усереднені потоки можна замінити самими потоками:

$$\sum_{k \in T} \left\{ S_{Tk_l} \left[\sum_{l_1 \in \theta_{Tl}^+} \int_0^{\theta_{kl_1}} f_{kl_1}(t) dx + \sum_{l_2 \in \theta_{Tl}^-} \int_0^{\theta_{kl_2}} f_{kl_2}(t) dx \right] + \sum_{p \in J_m \cap J_k} a_{kp} \left[S_{pTk_l}^+ \cdot g_{pkl}^+(t) + S_{pTk_l}^- \cdot g_{pkl}^-(t) \right] \right\} \leq V_{Tl}(t) \quad (9)$$

Аналогічно визначаються інші параметри транспортної системи.

Висновки. Отримані співвідношення дозволяють більш якісно здійснити планування транспортної мережі та потоків у ній, врахувати недоліки існуючих способів управління виробництвом і створити умови для ефективного керування транспортною мережею паливно-енергетичного комплексу, забезпечити досить високу надійність прогнозу безперебійної роботи транспортної мережі гірничо-видобувного підприємства. Вважаємо, що зазначені результати мають велике практичне значення.