

УДК 622.647.2

О.О. Пуханов, старший викладач, Красноармійський
індустріальний інститут ДонНТУ,
В.О. Будішевський, канд. техн. наук, проф.,
Донецький національний технічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВАНТАЖОПОТОКУ ВУГІЛЛЯ В СИСТЕМАХ ШАХТНОГО ТРАНСПОРТУ

Побудована логістична модель визначення параметрів основного вантажопотоку при застосуванні конвеєрного та локомотивного транспорту на основі балансу технологічних транспортних процесів в умовах невизначеності.

логістична модель, балансові співвідношення, випадковий процес, вантажопоток, вугілля, конвеєр, транспортний акумулюючий вузол, бункер, локомотивна відкатка

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. Сьогодення вимагає на рівні підприємства досить тісного переплетення завдання технологічного і економічного управління виробництвом. Ця тенденція пов'язана перш за все з двома чинниками: стратегічною взаємодією підприємств та формуванням «мережевих» міжорганізаційних структур. Зокрема, для гірничовидобувного підприємства споживачеві необхідно доставити товар – вугілля потрібної якості, необхідної кількості, в потрібне місце, в певний час з мінімальними витратами. Це – постулат логістичної побудови будь-якої економічної системи, у тому числі й паливно-енергетичного комплексу. Порушення хоч б однієї вимоги логістичної системи приводить до збільшення собівартості вугілля та витрат на його збереження.

Сучасний стан вугільної промисловості характеризується недостатнім рівнем наукової організації управління виробництвом. При цьому питання дослідження процесів формування, перетворення і руху вантажопотоків відходить на другий план не дивлячись на те, що 80% загальної вартості продукту та економічна стабільність підприємства в цілому визначається ефективністю управління логістичною інфраструктурою шахти [1].

Ланцюг постачань гірничовидобувних підприємств є складною багаторівневою системою, ланки якої функціонують в умовах постійного змінення зовнішнього середовища. Тому результат діяльності ланцюга постачань підприємств даної галузі в значній мірі залежить від чинників невизначеності і чинників ризику. Джерелами невизна-

ченості можуть бути як чинники зовнішнього середовища (зміна споживчої здатності населення, зміна законодавства і так далі), так і внутрішнього середовища (зупинка виробничого устаткування, поломка транспортного засобу і так далі) ланцюга постачань. Зумовленість ланцюга постачань гірничовидобувних підприємств чинниками невизначеності потребує розробки та модифікації логістичних методів оптимізації параметрів моделей управління матеріальними вантажопотоками. Це дає підстави стверджувати про актуальність досліджень зазначеного напрямку.

Аналіз досліджень і публікацій. Питанням розробки логістичних моделей вантажопотоків в ланцюгах постачань, використання методів імітаційного моделювання, розвитку логістичних підходів при вирішенні проблем оптимізації запасів і управління обліку витрат присвячені дослідження багатьох зарубіжних і вітчизняних учених. Так, питання оптимізації параметрів моделей управління запасами в умовах ризику розглядалися О.В. Токаревою; задача побудови логістичної моделі управління виробничими ресурсами обґрунтовувалася А.В. Міщенко, М.В. Могильніцкою, Л.І. Федулової; питання формування системи вуглезбуту в умовах переходу на безфондове забезпечення при прямих зв'язках споживачів і постачальників вугілля вивчалися в роботах О.О. Решетняк, О.В. Крикавського, Н.І. Чухрай; проблема оптимізації і підвищення ефективності функціонування транспортно-складських систем досліджувалася Г.І. Нечаєвим, А.Н. Стерлінговою, В.М. Кургановим, І.П. Сльяшевічем, Дж. Шрайбфедером; питання інвестиційних рішень і контролінга в промисловій логістиці розглянуті В.І. Сергєєвим, А.І. Федоренко, П.А. Терентєєвим та ін. [2]

У роботах Х.Таха, і Д. Уотерса розглядаються транспортні моделі засновані на теорії масового обслуговування, яка дозволяє мати уявлення про динаміку роботи транспортної мережі підприємства у будь-який момент часу. Проте, в цих роботах, не вирішена проблема роботи транспортної мережі в умовах невизначеності, що є важливим економічним чинником ефективного управління матеріальними вантажопотоками, що значно впливає на собівартість вугілля [5].

Дослідженнями Ф. Хейта обґрунтована класична транспортна задача для вирішення окремих проблем транспортної мережі деякого підприємства. Однак, для транспортної мережі паливно-енергетичного комплексу, яка має свої характерні особливості, пов'язані з наявністю стаціонарних транспортних вузлів, розташування

яких незмінно, основні положення і принципи не можуть бути використаними в сформульованому вигляді, а отже потребують певної модифікації.

Слід підкреслити, що існуючі аналітичні методи технологічних розрахунків не в повній мірі відображують економічні показники технологічних процесів, що протікають в транспортних системах, і не забезпечують їх прогнозування; практично не приділяється увага розробці логістичних моделей управління вантажопотоками в транспортній системі гірничодобувного виробництва; не розглядаються питання щодо невизначеності і ризику функціонування транспортної мережі; не вирішується проблема прогнозування економічних показників роботи транспортної мережі. Зазначені чинники істотно впливають на фінансову стабільність підприємства та є важливою умовою зниження собівартості вугілля.

Однобічний підхід свідчить про недостатньо глибоке розуміння важливості економіко-технологічних показників функціонування шахти для маркетингової діяльності підприємства та проведення ним економічно вигідної політики. Система наукової організації і управління виробництвом сприяє забезпеченню безперебійної роботи очисних і підготовчих забоїв, інтенсифікації процесу транспортування, що досягається перш за все за рахунок інтегрованої логістичної підтримки: зменшення простоїв і перерв в процесі видобутку вугілля і його транспортуванні, поєднанні простоїв в різних технологічних ланках, підвищення пропускної спроможності транспортних магістралей.

Постановка задачі. Розглянути один із методів сучасних технологій утворення і управління логістичною інфраструктурою, який забезпечує модифікацію існуючих методів в модель, що враховує чинники невизначеності.

Розв'язування зазначеної задачі будемо здійснювати шляхом побудови математичної моделі у вигляді системи взаємопов'язаних балансових співвідношень. Балансові співвідношення запишемо рівняннями та нерівностями відповідно до збалансованої роботи ланок транспортного мережі шахти.

Викладення матеріалу та результати. Розглянемо балансові співвідношення основних технологічних процесів: завантаження, перевантаження і акумуляція основного вантажопотоку конвеєрного транспорту та локомотивної відкатки шахти. Розв'язування поставле-

ної задачі зводиться до визначення параметри сумарних вантажопотоків, що надходять до вузла злиття.

Досліджуючи зміну параметрів вантажопотоків вугілля *конвеєрно-бункерної системи* зі впливом робочого часу, вважаємо, що перевантаження з конвеєра в бункер або на завантажений конвеєр є збільшенням величини вантажопотоку відповідно в бункері або на конвеєрі, а розвантаження – зменшенням. Виходячи з цього, визначаємо величину основного вантажопотоку $x_{p_i l_n}$, що надходить конвеєрною стрічкою до пункту l_n – бункер або проміжний пункт вантаження, – рівнянням:

$$x_{p_i l_n}(t) = \sum_{l_n \in L_T^+} f_{p_i l_{n-1} l_n}(t), \quad (1)$$

де $\sum_{l_n \in L_T^+} f_{p_i l_{n-1} l_n}(t)$ – основний сумарний вантажопотік, що надходить до вузла l_n конвеєром з виробничих елементів m_i (лави, проходки) та інших транспортних вузлів по комунікації $(l_{n-1}, l_n)_T$ і розвантажуються в цьому вузлі.

Для визначення величини основного вантажопотоку $x_{p_i l_n}$ у будь-який момент часу t , що проходить через транспортний вузол l_n з врахуванням вантажно-розвантажувальних операцій, складаємо рівняння

$$\dot{x}_{p_i l_n}(t) = \sum_{l_n \in L_T^+} f_{p_i l_{n-1} l_n}(t) + g_{p_i l_n}(t) - f_{p_i l_n l_{n+1}}(t), \quad (2)$$

де $\dot{x}_{p_i l_n}(t)$ – поточна величина основного вантажопотоку $x_{p_i l_n}$, що проходить через транспортний вузол l_n , з врахуванням вантажно-розвантажувальних операцій зі впливом часу;

$g_{p_i l_n}(t)$ – поточний запас основного продукту, що знаходиться в резервуючому елементі (бункері) транспортного вузла l_n ;

$f_{p_i l_n l_{n+1}}(t)$ – основний вантажопотік, відправлений з пункту l_n по конвеєру в пункт l_{n+1} по комунікації $(l_n, l_{n+1})_T$;

L_T^+ – транспортний вузол транспортної мережі T паливно-енергетичного комплексу L , в який прибуває або з якого убуває конвеєрна стрічка.

Основне положення модифікованої моделі – збалансована робота ланок підземного транспорту – вимагає виконання системи обмежень:

$$x_{p_i l_n}(t) \geq 0, \quad f_{p_i l_{n-1} l_n}(t) \geq 0, \quad f_{p_i l_n l_{n+1}}(t) \geq 0, \quad g_{p_i l_n}(t) > 0, \quad g_{p_i l_n}(t) = \text{fix}.$$

Таким чином, формула (1) описує параметри основного вантажопотоку, що надходить до бункеру або проміжного транспортного вузла вантаження, а формула (2) визначає параметри основного вантажопотоку, що проходить через бункер або проміжний вузол вантаження, зі спливом робочого часу в системі збалансованої роботи ланок підземного транспорту.

Величина основного вантажопотоку, відправленого у момент t з транспортного вузла l_n в l_{n+1} , дорівнює при відсутності втрат величини основного вантажопотоку, доставленого конвеєром в l_{n+1} з l_n , але в пізніший момент часу $t + \theta_{l_n l_{n+1}}$. Оскільки, тривалість переміщення вантажопотоків по конвеєрній стрічці обмежена, то ця обставина дає можливість фіксації величини основних вантажопотоків на стартових інтервалах відповідної довжини.

Запишемо баланс транспортних процесів для випадку, коли пункт l_n є транзитним в мережі переміщення основного вантажопотоку конвеєрно-бункерної системи. Таким транспортним вузлом може бути вузол, в якому не передбачено злиття вантажопотоків і здійснюється лише перевантаження з одного конвеєра на інший без використання бункерів.

Маємо:

$$\sum_{l_n \in L_T^+} f_{p_i l_{n-1} l_n}(t) + g_{p_i l_n}^+(t) = \sum_{l_n \in L_T^-} f_{p_i l_n l_{n+1}}(t) \quad (3)$$

У формулі (3) доданок $g_{p_i l_n}^+(t)$ буде відсутнім, якщо відбувається перевантаження основного продукту на не завантажений конвеєр.

Складемо баланс вантажопотоків основного продукту p_i , що проходять через транспортний акумулюючий вузол l_n (бункер).

Отримаємо рівняння:

$$\sum_{l_n \in L_T^-} g_{p_i l_n}^\pm(t) = \sum_{m_i \in E_{p_i}^-} v_{p_i m_i}^+(t) - v_{p_i}^-(t), \quad (4)$$

де $\sum_{l_n \in L_T^-} g_{p_i l_n}^\pm(t)$ – основний сумарний вантажопотік, який акумулюється в бункері транспортного вузла l_n ;

$\sum_{m_i \in E_{p_i}^-} v_{p_i m_i}^+(t)$ – сумарний вхідний основний вантажопотік, що надійшов з виробничих елементів m_i (лави або проходки);

$v_{p_i}^-(t)$ – вихідний потік основного продукту (убуваючий з пункту l_n), тобто розвантаження бункера;

$E_{p_i}^-$ – сукупність виробничих елементів m_i , в яких формуються вантажопотоки основного продукту (лава або проходка);

p_i – основний продукт – вугілля, що акумулюється в пункті l_n ;

$x_{p_i l_n}(t) = \text{fix}, g_{p_i l_n}(t) \geq 0$.

Розглянемо баланс основних технологічних процесів основного вантажопотоку для *локомотивної відкатки*. Слід підкреслити, що організація роботи локомотивної відкатки визначається як технологічною схемою пристовбурового двору, так і схемою відкаточних доріг з механізмами маневрових і вантажно-розвантажувальних робіт у відповідних вузлах l_n мережі підземного транспорту.

Перетворення вантажопотоків у системі локомотивної відкатки досліджуємо при наступних загальних припущеннях [4]:

- рух вагонеток по ділянках маршрутів між вузлами, в яких відбувається перетворення вантажопотоків, здійснюється строго детерміновано;
- вантажопотік, що надходить до вантажно-розвантажувального вузла, незалежно від складності попередньої конвеєрно-бункерної системи є перервним випадковим процесом, який описується n -вимірним вектором з однаковими для кожного випадкового параметру законами розподілу щільності ймовірностей. В рівній мірі це є характерним і для вантажних транспортних вузлів, що розташовані безпосередньо біля очисних забоїв. У вантажно-розвантажувальних транспортних вузлах вантажопотік перетворюється в потік завантаженого або порожнього рухомого складу. Зазначений потік можна інтерпритувати математично як випадкову послідовність точок t_1, t_2, \dots, t_n на часовій осі, відповідних моментам появи потягів в даному перерізі транспортної системи;
- вантажопотокам потягів притаманні наступні властивості: потоки стаціонарні і ергодичні, оскільки стаціонарними і ергодичними є генеруючі їх вантажопотоки. Вони ординарні в силу неможливості одночасної появи двох і більше потягів. Властивість відсутності післядії, яка передбачає взаємну незалежність спливу процесу в неперекриваючі проміжки часу, є менш очевидною. Однак, завжди існує мінімальний часо-

вий інтервал між двома потягами. Після проходження чергового потягу можна вказати відрізок часу, протягом якого не може з'явитися наступний потяг. Якщо цей відрізок сумірний з середнім інтервалом між потягами, поява наступної події залежить від попередньої події. В цьому випадку потік потягів можна вважати потоком з післядією.

- тривалість періоду завантаження кожного потягу дорівнює сумі періодів (або їх частин), які розподілені за показниковим законом, неперервного надходження вугілля, кількість якого дорівнює вантажопідйомності потягу, плюс тривалість розташованих між ними періодів його відсутності (рис. 1); її розподіл підкорюється зсунутому закону Ерланга k - порядку.

Складемо рівняння, яке визначає параметри основного вантажопотоку $x_{p_i l_n}$, що знаходиться в скиповому бункері пристовбурового двору:

$$\dot{x}_{p_i l_n}(t) = \sum_{l_n \in L_T^+} f_{p_i l_n - 1 l_n}(t + \theta_{p_i l_n}^-) + g_{p_i l_n}(t) - g_{p_i l_n}^-(t) \quad (5)$$

де $x_{p_i l_n}$ – величина основного вантажопотоку, що проходить через скиповий бункер l_n пристовбурового двору;

$\dot{x}_{p_i l_n}(t)$ – поточна величина основного вантажопотоку $x_{p_i l_n}$, що проходить через скиповий бункер пристовбурового двору l_n зі спливом часу;

$\sum_{l_n \in L_T^+} f_{p_i l_n - 1 l_n}(t + \theta_{p_i l_n}^-)$ – величина сумарного вантажопотоку основно-

го продукту, який прибуває вагонетками в скиповий бункер пристовбурового двору l_n і знаходиться під розвантаженням;

$g_{p_i l_n}(t)$ – поточний запас основного продукту, що знаходиться в резервуючому елементі транспортного вузла l_n (скиповий бункер пристовбурового двору);

$g_{p_i l_n}^-(t)$ – вихідний потік основного продукту з пункту l_n – бункера пристовбурового двору;

$\theta_{p_i l_n}^-$ – тривалість розвантаження основного вантажопотоку в скиповому бункері пристовбурового двору;

p_i – основний продукт – вугілля, що перевозиться локомотивною відкаткою.

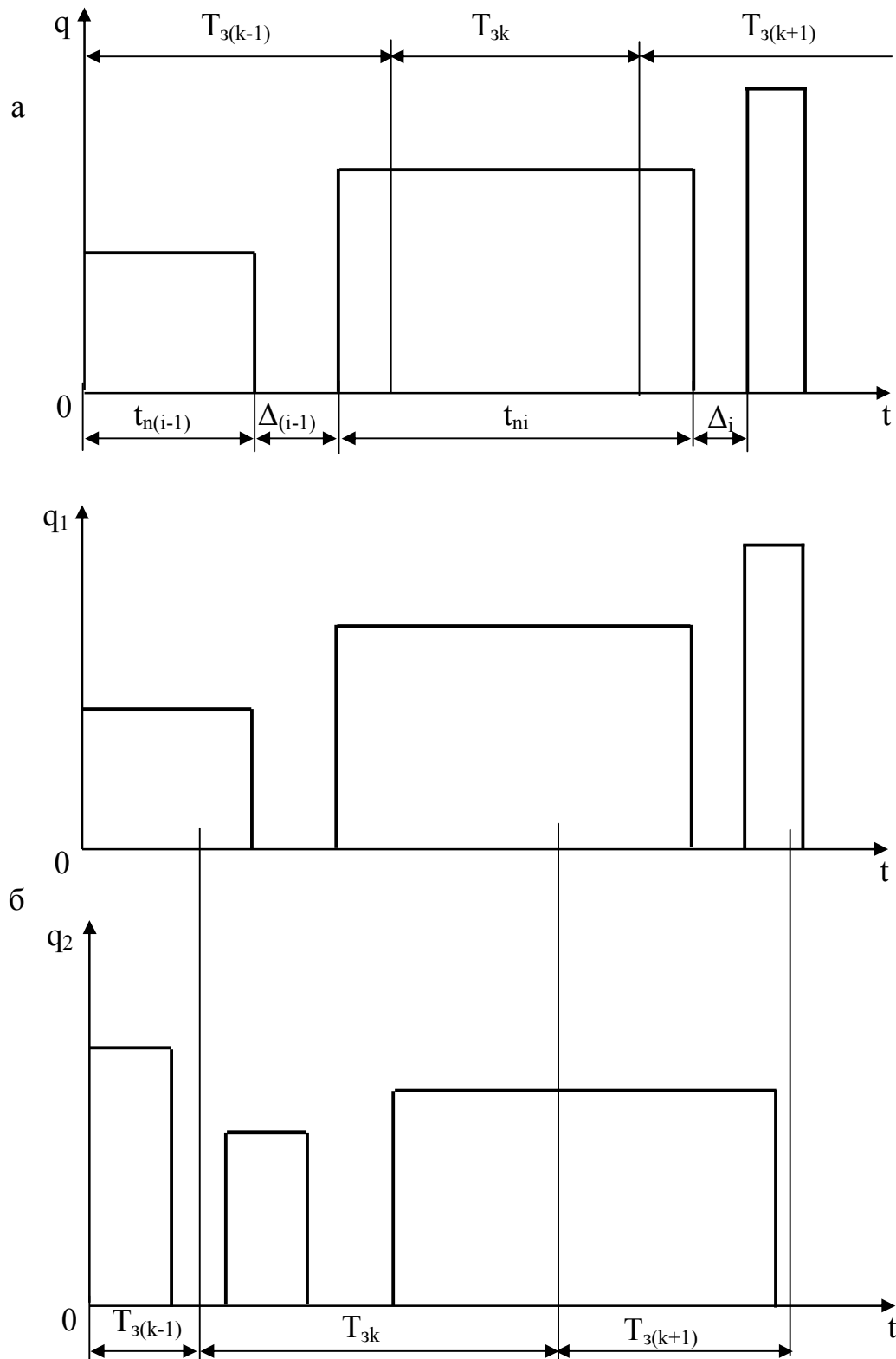


Рисунок 1 - Графічне моделювання процесу завантаження рухомого складу: а) з одного очисного забою; б) з двох очисних забоїв

Виходячи з основних положень логістичної моделі, рівняння (5) має виконуватися за умови:

$$x_{p_i l_n}(t) = \text{fix}, \quad x_{p_i l_n}(t) \geq 0; \quad f_{p_i l_{n-1} l_n}(t) = \text{fix}, \quad f_{p_i l_{n-1} l_n}(t) \geq 0;$$

$$p_i \neq 0; \quad g_{p_i l_n}(t) \geq 0; \quad g_{p_i l_n}(t) = \text{fix}; \quad g_{p_i l_n}^-(t) \geq 0; \quad g_{p_i l_n}^-(t) = \text{fix}.$$

Перетворення вантажопотоку на вантажно-розвантажному пункті має задовольняти принципу збереження. Виходячи з цього, визначимо поточну величину сумарного вантажопотоку, що проходить через бункер, який поєднує конвеєрний транспорт і систему локомотивної відкатки, за допомогою балансового співвідношення:

$$\int_t^{t+t_c} q(t) dt = k(t_c) \cdot n(t, t+t_c) \cdot G_c, \quad (6)$$

де $q(t)$ – величина сумарного вантажопотоку, що надійшов на вантажно-розвантажувальний пункт l_n ;

$\int_t^{t+t_c} q(t) dt$ – поточна величина сумарного вантажопотоку, що

проходить через бункер l_n ;

$k(t_c)$ – коефіцієнт відповідності, залежний від наявності ємкості на вантажному пункті та часу спостережень;

$n(t, t+t_c)$ – кількість потягів, завантажених на вантажному пункті за час спостереження;

G_c – вантажопідйомність потягу;

t_c – час спостереження.

За результатами дослідження маємо:

– у випадку стаціонарності зазначеного процесу, рівняння (6) матиме вигляд

$$q(t) = k(t) \cdot n(t) \cdot G_c; \quad (7)$$

– для достатньо малих проміжків спостереження t_c параметр $k(t)$ є випадковою величиною;

– при великих інтервалах спостереження t_c , сумірних з тривалістю робочої зміни, матимемо $k(t) = 1$.

Розглянемо потік порожнього транспорту, що чекає відправки в пункті l_n (скиповий бункер пристовбурового двору). Складемо рівняння балансу:

$$\dot{x}_{0l_n}(t) = \sum_{l_n \in L_T^+} f_{0l_{n-1} l_n}(t) + \sum_{l_n \in L_T^-} f_{0l_n l_{n-1}}(t) + \sum_{p_i} a_{p_i} [g_{p_i l_n}^+(t) - g_{p_i l_n}^+(t + \theta_{p_i l_n}^-)], \quad (8)$$

де x_{0l_n} – потік порожніх вагонеток в пункті l_n (скиповий бункер пристовбурового двору), що чекають відправки;

$\dot{x}_{0l_n}(t)$ – поточна величина потоку порожніх вагонеток в пункті l_n (скиповий бункер пристовбурового двору), що чекають відправки зі спливом часу;

$\sum_{l_n \in L_T^+} f_{0l_{n-1}l_n}(t)$ – сумарний вантажопотік порожніх вагонеток, що

прибуває до скипового бункера пристовбурового двору з пункту l_{n-1} ;

$\sum_{l_n \in L_T^-} f_{0l_n l_{n-1}}(t)$ – вантажопотік порожніх вагонеток відправлений від

скипового бункера l_n пристовбурового двору в пункт l_{n-1} ;

$\sum_{p_i} a_{p_i} [g_{p_i l_n}^+(t) - g_{p_i l_n}^+(t + \theta_{p_i l_n}^-)]$ – вантажопотік завантажених ваго-

неток, що розвантажилися в скиповий бункер l_n пристовбурового двору;

a_{p_i} – число транспортних одиниць, займаних одиницею основного продукту;

$\theta_{p_i l_n}^-$ – тривалість розвантаження вантажопотоку в скиповий бункер пристовбурового двору транспортного вузла l_n ;

$l_n \in L_T^\pm$ – транспортний вузол (скип) транспортної мережі T паливно-енергетичного комплексу L , в який прибуває або з якого убуває порожній транспорт;

p_i – основний продукт: вугілля [3].

За результатами дослідження, що у формулі (8) сенс доданків $g_{p_i l_n}^+(t)$ і $g_{p_i l_n}^+(t + \theta_{p_i l_n}^+)$ зосереджений на вантажно-розвантажувальних компонентах. Пояснюється це тим, що величина поточного запасу порожніх вагонеток змінюється за рахунок поповнення вагонетками, які після закінчення розвантаження перестають бути завантаженими, тобто переходять в категорію порожніх.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Науковий підхід до практичного управління матеріальними вантажопотоками в інтегрованих логістичних ланцюгах паливно-енергетичного комплексу сприяє істотному впливу на рівень обслуговування споживачів та величину витрат всієї логістичної системи. Побудова логістичної моделі управління вантажопотоками внутрішньошахтного транспорту ба-

зується на вивченні концентрації вантажопотоків виробництва, які пов'язані з видачею вугілля на поверхню і є основними в транспортній системі шахти, та встановленні ітераційних узгоджень і балансування пропускної спроможності транспортних комунікацій, вузлів, акумулюючих елементів системи підземного транспорту з врахуванням потужностей навантажувально-розвантажувальних механізмів.

Використання логістичних підходів дозволяє: зменшити транспортні витрати на перевезення вугілля від постачальника сировини до кінцевого споживача; визначити концентрацію вантажопотоків вугілля у будь-який момент часу в будь-якому транспортному вузлі логістичного ланцюга в умовах невизначеності; прогнозувати роботу транспортної мережі; підвищити ефективність управління ланцюгами постачань на конкретній ділянці ланцюга; підвищити продуктивність і безпеку гірничого виробництва.

Перераховані застосування не вичерпують можливості розробленої моделі. Практика показує, що на основі даної імітаційної моделі можна вирішувати більшість логістичних завдань. Подальше вдосконалення моделі шляхом апробації на вирішенні нових задач дозволить окреслити ширший круг можливих застосувань.

Перспективами подальших наукових досліджень є розробки логістичних моделей, що будуть забезпечувати значне зниження об'єму оперативних витрат в ланцюгах створення вартості постачань.

Список літератури

1. Будишевский В.А. Экономические аспекты управления запасами угля в логистических системах топливно-энергетического комплекса / В.А.Будишевский, А.А.Пуханов, Л.С.Пуханова // Наук. пр. Донецького нац.техн.ун-ту. Серія: Економічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – Вип. 100-1. – С.173-178.
2. Буэрскос Доналд Дж. Логистика. Интегрированная цепь поставок / Буэрскос Доналд Дж., Клосс Дейвид Дж.; пер. с англ. – М.: Олимп-Бизнес, 2005. – 640с.
3. Пуханов О.О. Логістична граф-модель ланцюга постачання вантажопотоків у системі підземного транспорту шахти / О.О.Пуханов, В.О. Будішевський // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: СНУ, 2010. – №4 (146). – Ч. 1. – С. 148-153.
4. Резниченко С.С. Математические методы и моделирование в горной промышленности: учеб. пособ / С.С. Резниченко, А.А. Ашихмин. – М.: Московский государственный горного университет, 2001. – 404с.
5. Уотерс Д. Логистика: управление цепью поставок / Д. Уотерс; пер. с англ.– М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 503с.

А.А.Пуханов, В.А.Будишевский. Определение параметров грузопотока угля в системах шахтного транспорта. Построена логистическая модель определения параметров основного грузопотока при использовании конвейерного и

локомотивного транспорта на основе баланса технологических транспортных процессов в условиях неопределенности.

логистическая модель, балансовые соотношения, случайный процесс, грузопоток, уголь, конвейер, транспортный аккумулирующий узел, бункер, локомотивная откатка

A. Puhanov, V. Budishevskiy. Defining the Parameters of Coal Traffic in the Systems of Mine Transport. A logistic model of defining the parameters of basic traffic is developed using conveyer and locomotive transport on the basis of the balance of technological transport processes in indeterminacy conditions.

logistic model, balance correlations, casual process, coal, conveyer, transport heat-sink knot, bunker, locomotive

Стаття надійшла до редколегії 19.10.2010

Рецензент: зав. каф. «Природничі науки» КІІ ДонНТУ, д-р техн. наук, проф. В.Б.Гого

© Пуханов О.О., Будішевський В.О., 2010