

УДК 519.47:656.222

В.В. Скалозуб, В.О. Андриющенко, О.В. Солтисюк

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНУВАННЯ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАГОННИМИ ПАРКАМИ РІЗНИХ ФОРМ ВЛАСНОСТІ

Актуальність

Підвищення ефективності управління вантажними перевезеннями на залізницях України являє складну комплексну проблему, вирішення якої ґрунтується на багатьох чинниках – всебічному аналізі потреби і ресурсів перевезень, стану вагонних парків, довгостроковому і оперативному плануванні роботи вагонних парків різних власників, широкомасштабному застосуванні інформаційних автоматизованих систем управління вантажними перевезеннями. Окрему, значну і важливу категорію складають вагони належності країн СНД і Балтії (іновагони). Використання іновагонів пов’язане з необхідністю залучення додаткових економічних, організаційних, експлуатаційних і управлінських ресурсів. Іншу категорію складають власні вагони підприємств, операторських компаній, доля яких постійно збільшується. Особливу актуальність являє проблема оптимальної за технологічними і економічними показниками сумісної експлуатації вантажних вагонів інвентарного парку, іновагонів та вагонів операторів на полігоні залізниць України. Дослідження процесів використання іновагонів (ІВ) на полігоні УЗ, в тому числі наведені у статті, доводять, що вони являють самостійну категорію рухомого складу, яка має відмінні від інвентарного парку експлуатаційні характеристики.

Аналіз і особливості показників експлуатації вагонів інвентарного парку та іновагонів

Експлуатація вагонів іноземних власників включає фази руху і переробки на станціях і коліях підприємств. Для проведення аналізу характеристик руху і переробки іновагонів використовувалися дані моніторингу процесів експлуатації рухомого складу за січень 2005 року та серпень 2006 року по Придніпровській залізниці. На рис. 1, 3, 5 надано два ряди значень – середній час знаходження вагонів на

станції за кожний день (тонка лінія) і середній час знаходження на станції підсумком з накопиченням із початку місяця (жирна лінія). На рис. 2, 4, 6 для тих же даних надано ковзне середнє по 3-м, 5-ти і 7-ми дням, а також жирною лінією дано підсумок з накопиченням середнього з початку місяця. З графіків процесів переробки вагонів видно, що:

- час знаходження вагонів на станції не є постійною в часі величиною і може змінюватися в значних межах – в 10 і більш раз (рис. 1, 3, 5);

- час на станції і узагальнені характеристики (такі як середнє, ковзне середнє і ін.) істотно розрізняються для різного роду вагонів (рис. 1, 2, 3, 4);

- середній час на станції в загальному випадку не є стаціонарною величиною, наприклад перша і друга половина місяця для цистерн на ст. Синельникове 1 (рис. 5). При цьому різниця досягає 25 – 30 %;

- такий параметр, як ковзне середнє, сильно реагує на одиничні відхилення в вихідних даних і спотворює загальну картину (рис.2, 6).

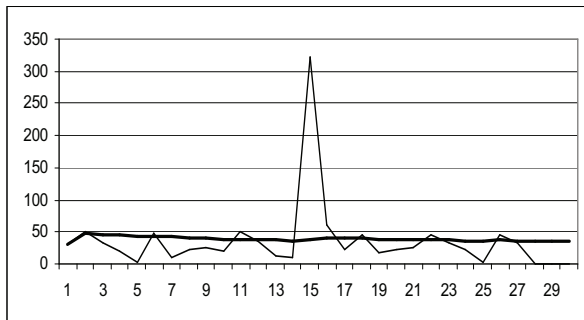


Рисунок 1 - Середній час знаходження цистерн на станції Павлоград

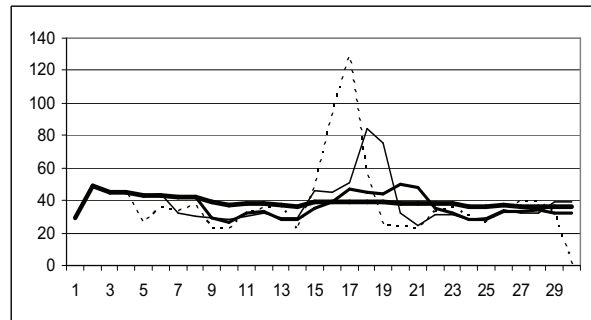


Рисунок 2 - Ковзне середнє для цистерн на станції Павлоград

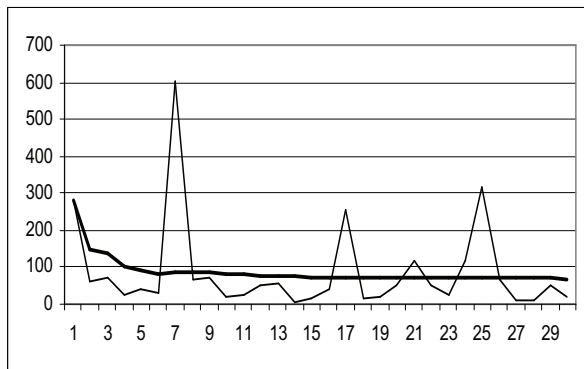


Рис. 3. Середній час знаходження піввагонів на станції Павлоград

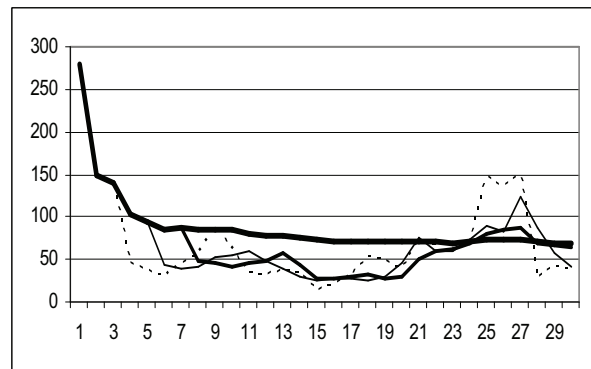


Рис. 4. Ковзне середнє для піввагонів на станції Павлоград

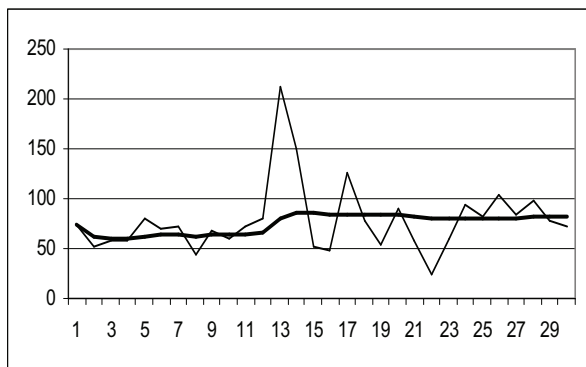


Рис. 5. Середній час знаходження цистерн на станції Синельникове 1

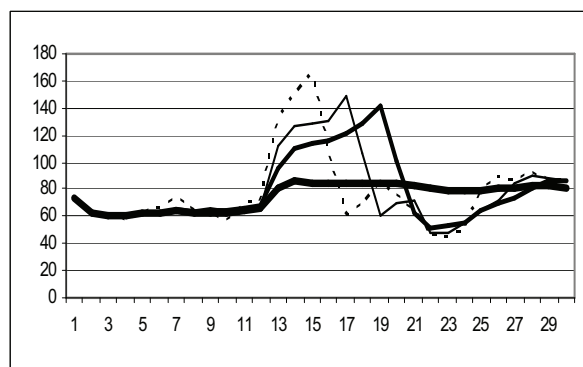


Рис. 6. Ковзне середнє для цистерн на станції Синельникове 1

В процесі проходження вагону до заданої станції (станції навантаження при подачі вагону або станції призначення вантажу) загальний час руху включає часи знаходження на декількох станціях і сумарна різниця в часі може бути ще більш істотною. Аналіз даних номерного обліку вагонів виявив наступні особливості: середні значення таких параметрів руху, як час знаходження вагону на станції і час переміщення вагону по ділянці істотно міняються як із часом, так і залежно від роду вагонів; процентний розподіл вагонопотоків за напрямками також залежить від роду вагонів і є змінної в часі величиною. ; для деяких ділянок об'єм даних спостережень недостатній для отримання статистично значущих оцінок руху окремо по кожному роду рухомого складу. Через нестаціонарний характер руху і часто недостатнього об'єму даних спостережень рекомендується використовувати методи, що враховують неповну і нечітку інформацію. Наведені приклади спостережень підтверджують, що ІВ є окремим об'єктом керування.

Постановки завдань оптимального планування перевезень вантажів вагонами інвентарного парку сумісно з іновагонами

У роботі [1] розглянута досить загальна постановка завдання щодо оптимального планування перевезень на полігоні декількох російських залізниць (РЖД), запропонована математична модель і відповідний метод розрахунку, які призначені для регулювання подачі порожніх вагонів під навантаження, коли сумісно враховується інвентарний парк вагонів, а також наявний парк порожніх вагонів іноземних власників. Слід зазначити суттєві відмінності зазначеної постановки від потреб, визначених шляхом аналізу даних моніторингу процесів перевезень на залізницях

України. Головним чином вони полягають у тому, що в [1] запропоновано прийом зведення задачі до стандартної моделі транспортної задачі за рахунок розширення множини станцій дислокації та відправлення іновагонів. При цьому кожному іновагону відповідає окрема додаткова станція, що суттєво ускладнює процедуру пошуку розв'язків. Разом з цим не всі властивості процесу перевезень, що значною мірою впливають на ефективність експлуатації вагонів, враховані в моделі.

У розвиток методики [1] у цій статті сформульовано удосконалену математичну модель завдання оптимального планування і побудовано алгоритм для його ефективного рішення.

Оптимальне завдання щодо планування розподілу порожніх вагонів інвентарного парку (ІнП) та іновагонів (ІВ) під навантаження та перевезення проводиться на заданому полігоні із встановленим переліком станцій A_i , де на момент планування знаходяться порожні вагони (інвентарний парк, іновагони), кількість яких вважається відомою; задається перелік станцій відправлення, яким потрібні вагони для перевезень - B_j . Для вантажів відомі кількість, станції відправлення B_j , призначення D_k .

Планування та організація перевезень представляють сукупність наступних зв'язаних операцій, які встановлюють для кожного вагону наступне: - визначення станції навантаження та вивантаження, - подача під навантаження, - навантаження, - перевезення до станції призначення, - вивантаження.

Крім того для іновагонів визначається стикова станція для його повернення до країни-власника у порожньому стані безпосередньо від пункту дислокації, або після перевезення вантажів у попутному напрямку. Планування перевезень у математичному сенсі зводиться до моделі транспортної задачі з особливою процедурою формування моделі та пошуку оптимального рішення. У якості критерію ефективності плану прийнято мінімум експлуатаційних витрат на перевезення вагонами інвентарного парку та іновагонами. Загальний тариф за перевезення вантажів від станції вантаження до станції вивантаження є фіксованим, не залежить від плану розподілу порожніх вагонів під навантаження, і тому не розглядається при плануванні. Режим термінового повернення визначає іновагони, за навантаження яких встановлюється значний штраф.

Математична модель задачі з оптимального планування перевезення вантажів інвентарним вагонним парком та іновагонами

На кожній станції дислокації вагонів, що підлягають розподілу, виділяються групи вагонів, що мають «близькі» властивості. Умови «близькості» властивостей розглянуті нижче. До властивостей необхідно віднести ті, які впливають на ефективність використання вагону:

- станція дислокації;
- рід рухомого складу (оскільки час обробки на станціях для вагонів різного роду відрізняється, а значить, відрізняється тривалість проходження маршруту і платня власнику іновагона; рід впливає також і на часи вантаження і вивантаження);
- стан готовності вагону.

Порожні вагони плануються для використання на маршрутах перевезення. Під маршрутом перевезення розумітимемо перевезення вантажу із станції вантаження до станції вивантаження, а для іновагона і подальшого руху в порожньому стані до міждержавного стику. На ефективність маршруту перевезення впливають наступні характеристики: станція вантаження; станція вивантаження; рід вантажу, що визначає часи вантаження і розвантаження; рід вагону; для іновагонов додатковими характеристиками є країна-власник іновагона, з якою може бути пов'язаний режим термінового повернення, а також міждержавний стик здачі з полігону УЗ, залежний від власника країни і станції вивантаження.

На ефективність рішення задачі впливають також такі характеристики: час руху від станції дислокації порожнього вагону до станції розвантаження, включаючи для іновагона також рух до міждержавного стику; фактичний час перебування на УЗ для іновагона на момент планування; час виконання митних операцій; стан заборони на рід вагонів у момент вантаження, яке визначає величину платні власнику за використання іновагона.

Позначимо групи порожніх вагонів з однаковими властивостями через A_i , станції вантаження через B_j , станції вивантаження через D_k . Для вагонів ІнП сумарні витрати на перевезення з пункту A_i з вантаженням в B_j і вивантаженням в D_k за один вагон роду r складають c_{ijk} . Ті ж витрати для іновагонів, доповнені витратами на

рух вагону до міждержавного стику і платнею за користування вагоном власнику країни, складають \bar{c}_{ijkrt} .

Завдання оптимального планування формулюється таким чином: треба знайти такий розподіл по маршрутах перевезення порожніх вагонів ІнП $\{x_{ijk}\}$ і іновагонів, при якому досягається

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^v \sum_{r=1}^R \left(c_{ijk} x_{ijk} + \sum_{t=1}^{t_{ijk}^*} \bar{c}_{ijkrt} \bar{x}_{ijkrt} \right) \quad (1)$$

за умов:

всі порожні вагони використовуються під вантаження

$$\sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^v \left(x_{ijk} + \sum_{t=1}^{t_{ijk}^*} \bar{x}_{ijkrt} \right) = a_{ir} \quad i = 1, \dots, m; \quad r = 1, \dots, R; \quad (2)$$

потреба у вагонах задовольняється повністю

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^v \left(x_{ijk} + \sum_{t=1}^{t_{ijk}^*} \bar{x}_{ijkrt} \right) = b_{jr} \quad j = 1, \dots, p; \quad r = 1, \dots, R; \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^p \sum_{r=1}^R a_{ir} = \sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^R b_{jr} \quad (4)$$

де

x_{ijk} - кількість вагонів власності УЗ роду r для маршруту руху (A_i, B_j, D_k) ; a_{ir} - кількість вагонів роду r в групі A_i ; b_{jr} - потреба у вагонах роду r в групі B_j ; c_{ijk} - сумарні експлуатаційні витрати на один вагон власності УЗ роду r для маршруту руху (A_i, B_j, D_k) ; \bar{x}_{ijkrt} - кількість іновагонів роду r для маршруту руху $(A_i, B_j, D_k, \text{стик})$ з урахуванням часу дислокації на УЗ; \bar{c}_{ijkrt} - сумарні експлуатаційні витрати на одному іновагон роду r для маршруту руху $(A_i, B_j, D_k, \text{стик})$ з урахуванням часу руху на УЗ; t_{ijk}^* - кількість груп іновагонів з однаковим тарифом власнику країни для маршруту руху $(A_i, B_j, D_k, \text{стик})$.

Для зменшення розмірності завдання (1) -(4) згрупуємо вагони з однаковими характеристиками ефективності і однаковим маршрутом перевезення в навантаженому стані, тобто об'єднаємо станцію

вантаження B_j і станцію вивантаження D_k в один маршрут. Позначимо групи порожніх вагонів з однаковими властивостями через A_i , маршрути перевезення з однаковими властивостями через B_j , сумарні витрати на перевезення з пункту A_i по маршруту B_j за один вагон роду r складають c_{ijr} для вагонів ІнП і \bar{c}_{ijrt} для іновагонів.

Вагони, що входять до однієї групи, мають одного і того ж власника:

$$S(v_l^i) = S_i \quad l=1, \dots, a_i \quad i=1, \dots, m. \quad (5)$$

Вагони, що входять до однієї групи, мають однаковий рід:

$$R(v_l^i) = r_i \quad i=1, \dots, m. \quad (6)$$

Вагони, що входять до однієї групи, мають загальну станцію дислокації:

$$A(v_l^i) = A_i \quad l=1, \dots, a_i \quad i=1, \dots, m \quad (7)$$

Вагони, що входять до однієї групи, мають однаковий стан готовності:

$$P(v_l^i) = p_i \quad l=1, \dots, a_i \quad i=1, \dots, m \quad (8)$$

Вагони, що входять до однієї групи, мають однаковий з точністю до доби час знаходження на УЗ (для іновагонів):

$$\text{Round}(T^{\text{fact}}(v_l^i)) = T_i^{\text{fact}} \quad l=1, \dots, a_i \quad i=1, \dots, m \quad (9)$$

Позначимо: x_{ijr} - кількість вагонів власності УЗ роду r для (A_i, B_j) ; a_{ir} - кількість вагонів роду r в групі A_i ; b_{jr} - потреба у вагонах роду r в групі B_j ; c_{ijr} - сумарні експлуатаційні витрати на один вагон власності УЗ роду r для (A_i, B_j) ; x_{ijrt} - кількість іновагонів роду r для (A_i, B_j) з урахуванням часу дислокації на УЗ; \bar{c}_{ijrt} - сумарні експлуатаційні витрати на одному іновагон роду r для (A_i, B_j) з урахуванням часу дислокації на УЗ; t_{ijr}^* - кількість груп іновагонів з однаковим тарифом власнику країни для (A_i, B_j) .

Завдання оптимального планування формулюється таким чином: знайти такий розподіл порожніх вагонів ІнП $\{x_{ijr}\}$ і іновагонів $\{\bar{x}_{ijrt}\}$ по маршрутах перевезення, при якому досягається

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^R \left(c_{ijr} x_{ijr} + \sum_{t=1}^{t_{ijr}^*} \bar{c}_{ijrt} \bar{x}_{ijrt} \right) \quad (10)$$

за умов

$$\sum_{j=1}^n \left(x_{ijr} + \sum_{t=1}^{t_{ijr}^*} \bar{x}_{ijrt} \right) = a_{ir} \quad i=1, \dots, m; \quad r=1, \dots, R; \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^m \left(x_{ijr} + \sum_{t=1}^{t_{ijr}^*} \bar{x}_{ijrt} \right) = b_{jr} \quad j=1, \dots, n; \quad r=1, \dots, R; \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^R a_{ir} = \sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^R b_{jr}. \quad (13)$$

Розрахунок експлуатаційних витрат виконується по формулі

$$C_{ij} = e_{ij1} + e_{j2} + e_{j3} + e_{j4} + q_{ij} + h_{ij} \quad (14)$$

e_{ij1} – експлуатаційні витрати по пересуванню порожнього вагону з пункту A_i до станції вантаження маршруту B_j ; e_{j2} – експлуатаційні витрати по вантаженню вантажу у вагон для маршруту B_j ; e_{j3} – експлуатаційні витрати по пересуванню навантаженого вагону від станції вантаження до станції вивантаження по маршруту B_j ; e_{j4} – експлуатаційні витрати по вивантаженню вантажу; q_{ij} – додаткові експлуатаційні витрати для іновагонів; h_{ij} – штрафні санкції за використання іновагона забороненого роду не в попутному напрямі.

Додаткові експлуатаційні витрати для іновагонів розраховуються як

$$q_{ij} = \begin{cases} \left(\Gamma(B_j) - \Gamma(A_i) + K(T_i^{fact} + t_{ij}) \cdot e_{sc}^{un} \cdot (T_i^{fact} + t_{ij}) - \right. \\ \left. - K(T_i^{fact} + \tau_i) \cdot e_{sc}^{un} \cdot (T_i^{fact} + \tau_i) \right), & S_i \neq 22 \\ 0, & S_i = 22 (\text{інвентарний парк УЗ}) \end{cases} \quad (15)$$

де

$\Gamma(B_j)$ – експлуатаційні витрати по пересуванню порожнього вагону із станції вивантаження до відповідного міждержавного стику; $\Gamma(A_i)$ – експлуатаційні витрати по пересуванню порожнього вагону з початкової станції дислокації до відповідного міждержавного стику; $K(T_i^{fact} + t_{ij})$ – коефіцієнт збільшення платні за іновагон, залежно від часу знаходження на УЗ у разі його використання під перевезення; $K(T_i^{fact} + \tau_i)$ – коефіцієнт збільшення платні за іновагон, залежно від часу знаходження на УЗ у разі здачі іновагона на відповідний міждержавний стик в порожні; t_{ij} – час руху іновагона по маршруту (станція дислокації) – (станція вантаження) – (станція вивантаження) –

(міждержавний стик); τ_i – час руху іновагона по маршруту (станція дислокації) (міждержавний стик); $e_{bc}^{ин}$ - платня за одну вагоно-добу іновагона власнику адміністрації.

Розрахунок штрафу за використання іновагона в режимі термінового повернення виконується по формулі

$$h_{ij} = \begin{cases} (1 - \eta_{ij}) \cdot Z, & T_1^z(r_i) < T^* + t'_{ij} < T_2^z(r_i) \\ 0, & T^* + t'_{ij} < T_1^z(r_i) \\ 0, & T^* + t'_{ij} > T_2^z(r_i) \end{cases} \quad (16)$$

де

T^* – час планування; t'_{ij} – час руху вагону від станції дислокації до станції вантаження, включаючи час вантаження; $T_1^z(r_i)$ – час почала заборони; $T_2^z(r_i)$ – час закінчення заборони; η_{ij} – ознака напрямку вантажу в країну-власницю вагону. $\eta_{ij}=1$, якщо напрям перевезення допустимий $\eta_{ij}=0$, якщо напрям перевезення не допустимий; Z – величина штрафу за вантаження при режимі термінового повернення вагона.

З урахуванням введених позначень математична модель оптимального планування перевезення вантажів вагонами ІнП і ІВ має вигляд (1) - (16), яка враховує: різну ефективність перевезення вагонами ІнП і іновагонів; економію експлуатаційних витрат при перевезенні іновагонами в попутному напрямі; різний нормативний і розрахунковий час операцій з вагонами різного роду; прогресивну шкалу платні країні-власнику іновагона його використання; штрафи за використання іновагона при введенні режиму термінового повернення.

Алгоритм розв'язання задачі оптимального планування перевезень

Крок 1. Завдання часових інтервалів заборони $T_1^z(r, S), T_2^z(r, S)$ на використання під вантаження іновагонів по родах і власниках.

Крок 2. Завдання станцій дислокації порожніх вагонів A_i з виділенням груп вагонів з однаковими властивостями в окремі станції.

Крок 3. Завдання маршрутів перевезення вантажів B_j з виділенням груп вагонів з однаковими властивостями в окремі маршрути.

Крок 4. Прогнозування часових характеристик руху іновагонів τ_i .

Крок 5. Розрахунок коефіцієнтів c_{ijr} і \bar{c}_{ijrt} для кожного з можливих маршрутів руху, формування транспортних матриць.

Крок 6. Рішення транспортної задачі планування.

В результаті рішення розширеної моделі транспортної задачі визначаються способи оптимального використання кожного із вагонів як інвентарного парку, так і іновагонів, які забезпечують мінімум експлуатаційних витрат на реалізацію завдання по перевезенню вантажів. Іновагони, що не увійшли до оптимального плану навантаження, необхідно терміново повернути країні-власнику у порожньому стані. Послідовність формування і рішення наведених завдань дозволить отримати оптимальне управління інвентарним парком та іновагонами на залізницях України.

Постановки завдань оптимального планування перевезень вагонами інвентарного парку, операторів та іновагонами

Вагони операторів залізничного транспорту, промислових підприємств та інш., складають значну кількість, частина якої має тенденцію постійного зростання. Використання цих вагонів у перевезеннях вантажів обумовлено рядом факторів, які слід урахувати у разі їх включення у загальний план. Уведення власних вагонів до плану перевезень Укрзалізниці спирається на юридичні, організаційні, матеріальні та інші домовленості, що необхідно представити у повній математичній моделі оптимального планування. Не зупиняючись на усіх факторах детально перелічимо головні відмінності моделей планування перевезень, які поряд з вагонами інвентарного парку та іновагонами оперують вагонами операторів.

По-перше, можливість залучити власні вагони до перевезень потребує додаткової угоди між Укрзалізницею та власником. Це обмежує термін застосування вагонів, потребує введення режимів управління подібних до термінового повернення для іновагонів. Вагон до встановленого періоду повинен бути повернений під перевезення власника на визначеному полігоні залізниць.

Формалізація цієї вимоги додає обмеження до моделі оптимального планування.

По-друге, матриця експлуатаційних витрат для власників вагонів відрізняється від вагонів інвентарного парку та іновагонів, що урахується вагонною складовою витрат. У цій матриці для власних вагонів одного оператора також необхідно уводити додатковий окремий стан для кожної станції дислокації вагонів, як і для іновагонів.

По-третє, технологічний ланцюжок планування перевезень для власних вагонів відрізняється від інших категорій, і включає фази "підведення вагонів до станції навантаження", "навантаження у напрямку до *припустимої станції призначення*", "перевезення", "розвантаження", "повернення власнику на зазначений полігон".

У більш загальних моделях планування також необхідно урахувати різні тарифи на перевезення вагонами операторів та інвентарного парку.

Математична модель задачі оптимального планування перевезення вагонами інвентарного парку, операторів та іновагонами

Загальні компоненти цієї математичної моделі відповідають (10) - (16), тому наведемо лише складові, які мають суттєві відмінності. У першу чергу це стосується формуванню цільової функції і постановки завдання, які приймають наступний вигляд: знайти розподіл порожніх вагонів ІнП $\{x_{ijr}\}$, іновагонів $\{\bar{x}_{ijrt}\}$ і власних вагонів (ВВ) $\{\tilde{x}_{ijr}\}$ по маршрутах перевезення, при якому забезпечується

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^R \left\{ c_{ijr} x_{ijr} + \sum_{t=1}^{t_{ijr}^*} \bar{c}_{ijrt} \bar{x}_{ijrt} \right\} + \sum_{t=1}^{t_{ijr}} \tilde{c}_{ijrt} \tilde{x}_{ijrt} \}. \quad (17)$$

У критерії (17) через $\{\tilde{c}_{ijr}\}$ позначено коефіцієнти матриці витрат на перевезення, обумовлені використанням власних вагонів операторів, що уведено додатково до попереднє представлених характеристик моделей задач оптимального планування. При їх визначенні на підставі нормування технологічних операцій та за даними спостережень вважається врахованим відмінність вагонної складової витрат, наявність особливого технологічного ланцюжка, вимога перевезень не на усі станції призначення. Необхідність

повернення вагонів власнику до встановленого періоду визначається наступним обмеженням

$$\tilde{t}_{k(j)}^2 = \tilde{t}_{k(j)}^1 + \Delta\tilde{t}_{k(j)} \leq \tilde{T}_{k(j)}, \quad k \in N_{\text{ВВ}}(j), \quad j \in J_{\text{ВВ}}, \quad (18)$$

де

$\tilde{t}_{k(j)}^2$ – прогнозований термін закінчення рейсу ВВ відповідно плану, $\tilde{t}_{k(j)}^1, \Delta\tilde{t}_{k(j)}, \tilde{T}_{k(j)}$ – початок та термін перевезень, а також граничний період можливості використання вагонів власників, відповідно. Умови (18) встановлюються для кожного власного вагону $k \in N_{\text{ВВ}}(j)$, та кожного власника $j \in J_{\text{ВВ}}$.

Змінні характеристики $\tilde{t}_{k(j)}^1, \Delta\tilde{t}_{k(j)}$ додаткових умов (18) розраховуються на відповідних етапах процедури планування.

Реалізація узагальненої постановки завдання оптимального планування потребує модифікування відповідних кроків запропонованого алгоритму К1 - К6, що зводиться до визначення додаткових складових вихідної матриці, а також рішення транспортної задачі [3] більшого розміру.

Висновки

Побудована у роботі методика моделювання і оптимізації процесів вантажних перевезень дає змогу автоматизувати процеси планування перевезень вагонами різних форм власності, забезпечує потреби вантажовідправників, дозволяє збільшити доходи від перевезень вантажів. За рахунок уведення додаткових станів у матрицях витрат, а також нових відповідних обмежень, удається звести неklasичні моделі, в яких представлено суттєво неоднорідні засоби перевезень, до класичних математичних моделей транспортної задачі більших розмірів. Це перетворення дозволяє застосувати відомі та ефективні методи оптимального планування [3].

ЛІТЕРАТУРА

1. Тишкин Е.М. Информационно-управляющие технологии эксплуатации вагонного парка. Труды ВНИИАС, вып. 4. – Москва: 2004. – 184 с.
2. Андрущенко В.А., Великодний В.В., Скалзуб В.В., Цейтлин С.Ю. Прогнозирование показателей движения вагонов иностранных собственников на основе нечетких моделей исходных данных // Вестник Днепропетровского национального университета

железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. – Вып. 1, 2003, с. 84-90.

3. Бейко И.В., Бублик Б.Н., Зинько П.Н. Модели и алгоритмы решения задач оптимизации. - К. Вища школа, 1983. - 512 с.

Получено 27.10.2006 г.