

УДК 656.615.078.111 / 117: 656.07

В.О. Сударєв, А.О. Мурад'ян

**ОБГРУНТУВАННЯ ПІДХОДУ ДО ФОРМУВАННЯ
ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ
У ЗМІШАНОМУ СПОЛУЧЕННІ**

Формування транспортних логістичних ланцюгів на основі календарного планування навантаження та підведення вагонів до транспортного вузла під морські судна є однією з основних задач регіонального транспортно-логістичного центру [1-3]. Необхідність розробки методики календарного планування для цієї мети диктується недосконалістю існуючих підходів до взаємодії залізничного транспорту з морським, які базуються на стереотипі, що для виключення простою вагонів на підходах до порту необхідно забезпечити їх рівномірне підведення залізницею в кількості, яка не перевищує можливості навантажувально-розвантажувальних машин та механізмів порту.

Ключові слова: транспортний вузол, календарний план, транспортно-логістичний центр, взаємодія, транспортно-логістичні ланцюги.

Формирование транспортных логистических цепей на основе календарного планирования погрузки и подвода вагонов в транспортный узел под морские суда является одной из основных задач регионального транспортно-логистического центра [1-3]. Необходимость разработки методики календарного планирования для этой цели диктуется несовершенством существующих подходов к взаимодействию железнодорожного транспорта с морским, которые основываются на стереотипе, что для исключения простоя вагонов на подходах к порту достаточно обеспечить их равномерный подвод по железной дороге в количестве, не превышающем возможности погрузочно-разгрузочных машин и механизмов порта.

Ключевые слова: транспортный узел, календарный план, транспортно-логистический центр, взаимодействие, транспортно-логистические цепи.

Formation of transport and logistic chains based on calendar planning of wagons loading and supply of wagons to the transport hub for marine vessels is one of the main tasks of the regional transport and logistics center [1-3]. A need to develop the calendar planning technique for this purpose is conditioned by the imperfection of existing approaches to interaction of rail and marine transport that are based on the stereotype that to exclude the demurrage of the wagons on approach routes to the port it is necessary to provide for their

© Сударєв В.О., Мурад'ян А.О., 2014

even supply by the railroad in the amount that shall not exceed the capacity of loading and unloading machines and mechanisms of the port.

Keywords: *transport hub, calendar plan, transport and logistics center, interaction, transport and logistics chains.*

Базовою основою методики календарного планування навантаження пропонуємо прийняти принцип погодженого підведення вантажу залізницею в розмірі суднової партії, що формується на стадії планування навантаження на станціях відправлення під певне судно, що прибуває в порт у попередньо призначений строк [4, 5].

Опис задачі. Необхідно розробити календарний план підведення вагонів з конкретним вантажем від станцій навантаження на адресу порту в обсязі суднової партії за часовий інтервал завантаження конкретного судна, що прибуває в конкретний час. Побудова календарного плану здійснюється за умови задоволення вектору техніко-технологічних критеріїв оптимальності $\overline{K}_2 = \{K_{21}, K_{22}\}$.

Критерій K_{21} визначає, що добова кількість вантажу, що прибуває в порт залізничним транспортом за кожний день календарного періоду, не повинна перевищувати максимальну перероблювальну спроможність навантажувально-розвантажувальних машин порту, призначених для перевантаження даного вантажу

$$\sum_{d=1}^s Q_d = q \cdot \sum_{d=1}^s N_d \leq \sum_{j=1}^m \Pi_j \cdot k_j, \quad (1)$$

де Q_d – кількість вантажу, перевантаженого на судно в d -й день періоду, т;

$d = \overline{1, s}$, s – число днів періоду календарного плану;

N_d – добова кількість вагонів, що прибувають в d -й день періоду;

q – технічна норма завантаження вагону, т/вагон;

Π_j – продуктивність j -ї вантажно-розвантажувальної машини, т/доба;

k_j – кількість j -х вантажно-розвантажувальних машин;

$j = \overline{1, m}$, m – загальна кількість вантажно-розвантажувальних машин, що здійснюють перевантаження вантажу в дане судно.

У відповідності до критерію K_{22} сумарна кількість вантажу, що подається за весь період залізничним транспортом, повинна забезпечувати повне завантаження судна та перебувати в межах, що визначаються умовою

$$Q_{\text{подв}}^{\text{с.п.}} \leq Q_{\text{подв}}^{\text{ж.д.}} \leq Q_{\text{судн}}, \quad (2)$$

де $Q_{\text{подв}}^{\text{с.п.}} = Q_{\text{судн}} - Q_{\text{причал}} - Q_{\text{ваг}}^{\text{ож}}$ – необхідна кількість вантажу, що подається за весь період залізничним транспортом для забезпечення завантаження суднової партії, т;

$Q_{\text{судн}}$ – вантажопідйомність судна, т;

$Q_{\text{причал}}$ – кількість вантажу для даного судна, що перебуває на складських площах порту, т;

$Q_{\text{ваг}}^{\text{ож}}$ – кількість вантажу у вагонах, що простоюють, чекаючи розвантаження на підходах до порту, т;

$Q_{\text{подв}}^{\text{ж.д.}} = \sum_{d=1}^S Q_d = q \cdot \sum_{d=1}^S N_d$ – сумарна кількість вантажу, що подається за

весь період залізничним транспортом, т.

У загальному випадку значення функції експлуатаційних витрат, пов'язаних з непродуктивним простоем вагонів з вантажем на припортовій станції та на підходах до неї, очікуючих судна, та простоем суден у порту, очікуючих вантажу, повинне бути мінімальним

$$F \left\{ e_{\text{ваг-час}} \sum_{d=1}^S N_d T_{\text{ваг}_d}^{\text{ож}}; e_{\text{судно-час}} \cdot \sum_{d=1}^S T_{\text{судн}_d}^{\text{np}} \right\} \rightarrow \min, \quad (3)$$

де $\sum_{d=1}^S N_d T_{\text{ваг}_d}^{\text{ож}}$ – сумарні години простою вагонів, очікуючих розвантаження на підходах до порту, вагоно-години;

$e_{\text{ваг-час}}$ – вартість однієї години простою вагона, грн.;

$\sum_{d=1}^S T_{\text{судн}_d}^{\text{np}}$ – сумарні години непродуктивного простою судна в порту,

очікуючого вантажу, судно-години;

$e_{\text{судно-час}}$ – вартість однієї години простою судна, грн.

Математичні методи рішення задачі. В залежності від виду вихідних даних та обмежень, що вводяться, задача може вирішуватися різними методами. В цій статті задача формулюється в рамках лінійного програмування та комбінаторної глобальної оптимізації. В першому формулюванні задачі використовуються методи лінійного програмування. Задачі лінійного програмування добре вивчені, для їх вирішення розроблені ефективні методи, зокрема, симплекс-метод.

Разом з тим, часто доводиться мати справу із ситуаціями, коли вартість перевезення вантажів залежить від їх кількості, тоді задача стає нелінійною. В цьому випадку доцільно використовувати метод глобальної комбінаторної оптимізації, а саме, метод прямого перебору. Цей метод може бути використаний при рішенні нескладних задач або за наявності обмежень, що значно скорочують число можливих варіантів вирішення. У задачах із достатньо великою кількістю обмежень можливе тривіальне рішення, що дозволяє одержувати цілочислові значення вихідних

параметрів на основі нескладних алгоритмів. Якщо задача має більшу складність, то можуть застосовуватися наближені методи або сполучення математичних та евристичних методів [6-8].

Нехай N_{id} – кількість вагонів, що прибули з вантажем від i -ої станції навантаження;

$i = \overline{1, n}$, n – загальне число станцій навантаження в d -й день розвантаження в порту;

$d = \overline{1, s}$, s – число днів розвантаження (календарного плану);

c_i – вартість вантажу, що прибув зі станції з номером i . Якщо фактор вартості вантажу не враховується, то вона приймається однаковою для всіх станцій. Можливо є якесь число очікуючих навантажених вагонів $N_{\text{ваг}}^{\text{ож}}$ із різними датами прибуття на станцію призначення. Якщо ця кількість вагонів не може бути перевантажена на морське судно протягом одного дня, тоді $N_{\text{ваг}}^{\text{ож}}$ розбивається на множину $N_d^{\text{ож.ваг}}$, $\sum_{d=1}^s N_d^{\text{ож.ваг}} = N_{\text{ваг}}^{\text{ож}}$.

Варто підкреслити, що деякі або всі $N_d^{\text{ож.ваг}}$ можуть бути рівними нулю.

Вартості вантажів у очікуючих вагонах $C_d^{\text{ож.ваг}}$, $d = \overline{1, s}$, задаються в такий спосіб: $c_d^{\text{ож.ваг}} < k c_{d+1}^{\text{ож.ваг}}$, $k \approx 10$, $\forall d = \overline{1, s-1}$. Ця умова буде сприяти

плануванню очікуючих розвантаження вагонів у першу чергу. Крім цього необхідно забезпечити умову узгодження з обсягом суднової партії,

$\sum_{d=1}^s \sum_{i=1}^n N_{id} = N_{\text{судн}} - N_{\text{ваг}}^{\text{ож}}$. Друга вимога – щодобове прибуття необхідного числа вагонів (в обсязі $1/s$ від суднової партії) протягом календарного плану на припортову станцію для перевантаження

$$\sum_{i=1}^n N_{id} = \frac{N_{\text{судн}}}{s} - N_d^{\text{ож.ваг}}.$$

Наступна вимога – кожна станція навантаження в будь-який день календарного плану може навантажити деяку кількість вагонів з припустимого (або бажаного за технологічними умовами) інтервалу

$N_{id}^{\text{min}} \leq N_{id} \leq N_{id}^{\text{max}}$. Сумарно кожна станція навантаження за весь період

відвантажує певне число вагонів $\sum_{d=1}^s N_{id} = N_i$, $\forall i = \overline{1, n}$. Можливий

варіант обов'язкового виконання за обсягом, тоді $N_{id}^{\text{min}} = N_{id}^{\text{max}} = N_i$.

Таким чином, математичне формулювання задачі полягає в тому, щоб знайти N_{id} (N_i , $N_d^{\text{ож.ваг}}$, залежать від N_{id}) які задовольняють

$$\sum_{d=1}^s \sum_{i=1}^n c_i N_{id} + \sum_{d=1}^s c_d^{\text{ож.ваг}} N_d^{\text{ож.ваг}} \rightarrow \min,$$

$$\sum_{d=1}^s \sum_{i=1}^n N_{id} = N_{\text{суд}} - N_{\text{вар}}^{\text{ож}}, \quad \sum_{d=1}^s N_d^{\text{ож.вар}} = N_{\text{вар}}^{\text{ож}}, \quad \sum_{i=1}^n N_{id} = \frac{N_{\text{судн}}}{S} - N_d^{\text{ож.вар}} \quad (4)$$

$$\sum_{d=1}^s N_{id} = N_i, \quad N_{id}^{\min} \leq N_{id} \leq N_{id}^{\max},$$

$$\forall i = \overline{1, n} \quad d = \overline{1, s}.$$

Сформульована задача вирішується методом лінійного програмування, для чого використовуються готові пакети програм рішення задач лінійного програмування, включаючи програми знаходження цілочислових рішень.

Завдання комбінаторної оптимізації складання розкладів. Математичне формулювання розглянутої тут цілочислової задачі є дискретним варіантом задачі лінійного програмування та у цій постановці відноситься до задач комбінаторної глобальної оптимізації. В загальному ви-падку розглядувана задача відноситься до NP-повних задач та її комбінаторна складність зростає експоненційно.

Регіональний транспортно-логістичний центр в загальному випадку має можливість вибору постачальників та обсягів вантажів кожного дня навантаження.

У розглянутій тут постановці задачі число вагонів, що завантажують на станціях навантаження, допускається різним по дням календарного плану. Можливо є деяка кількість очікуючих вагонів $N_{\text{вар}}^{\text{ож}}$ з різними датами прибуття до станції призначення.

Перевезення здійснюється вагонами у відповідності до технічної норми завантаження вагона q , час транспортування враховується в добі, обсяг судової партії (в тоннах) ділиться без залишку на технічне завантаження вагона.

Нехай N_d^i – кількість вагонів, що прибули з вантажем від i -ої станції навантаження;

$i = \overline{1, n}$ – загальне число станцій навантаження в d -й день вивантаження в порту;

$d = \overline{1, s}$ s – число днів вивантаження;

c_i – вартість вантажу, що прибув з i -ої станції. Якщо вартість

c_i залежить від обсягу вантажу, що перевозиться $c_i(N_d^i)$, то в цьому випадку розглядувана задача є нелінійною, для рішення якої пропонується використовувати метод простого перебору. Якщо фактор вартості вантажу не враховується, то вартість приймається однаковою для всіх станцій. Враховується, що можливо є деяке число очікуючих навантажених вагонів $N_{\text{вар}}^{\text{ож}}$ з різними датами прибуття на станцію призначення. Якщо ця кількість вагонів не може бути перевантажена на

морське судно протягом одного дня, вона розбивається на множину $\{N_d^{\text{ож.ваг}}\}$, $\sum_{d=1}^s N_d^{\text{ож.ваг}} = N_{\text{ваг}}^{\text{ож}}$. Варто підкреслити, що деякі або всі $N_d^{\text{ож.ваг}}$ можуть бути рівними нулю. Вартості вантажів у очікуючих вагонах $c_d^{\text{ож.ваг}}$, $d = \overline{1, s}$, задаються в такий спосіб:

$$c_d^{\text{ож.ваг}} < k c_{d+1}^{\text{ож.ваг}}, \quad k \approx 10, \quad \forall d = \overline{1, s-1}.$$

Ця умова буде сприяти плануванню розвантаження очікуючих вагонів в першу чергу. Окрім цього необхідно забезпечити умову узгодження з обсягом судової партії $\sum_{d=1}^s \sum_{i=1}^n N_{id} = N_{\text{судн}} - N_{\text{ваг}}^{\text{ож}}$. Друга вимога – прибуття необхідного числа вагонів кожного дня навантаження $\sum_{i=1}^n N_d^i = \frac{N_{\text{судн}}}{S} - N_d^{\text{ож.ваг}}$. Наступна вимога – кожна станція навантаження може навантажити деяку кількість вагонів із припустимого набору цілих величин $N_d^i \in N^m$, $N^m = \{N_d^i\}$, де N^m – множина можливих або бажаних значень (включаючи нуль) вагонів, що навантажують, для кожного дня на кожній станції навантаження. Величина N^m може складатися тільки з одного числа, що фіксує кількість відвантажуваних вагонів в певний день (або дні, або всі дні деякої станції). Сумарно кожна станція навантаження за весь період відвантажує певну кількість вагонів

$$\sum_{d=1}^s N_d^i = N_i, \quad \forall i = \overline{1, n}.$$

Таким чином, математичне формулювання задачі полягає в тому, щоб знайти цілочислові значення N_d^i (N_i , $N_d^{\text{ож.ваг}}$ залежать від N_d^i), які задовольняють

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{d=1}^s \sum_{i=1}^n c_i N_d^i + \sum_{d=1}^s c_d^{\text{ож.ваг}} N_d^{\text{ож.ваг}} \rightarrow \min, \\ \sum_{d=1}^s \sum_{i=1}^n N_d^i = N_{\text{судн}} - N_{\text{ваг}}^{\text{ож}}, \quad \sum_{d=1}^s N_d^{\text{ож.ваг}} = N_{\text{ваг}}^{\text{ож}}, \quad \sum_{i=1}^n N_d^i = \frac{N_{\text{судн}}}{S} - N_d^{\text{ож.ваг}} \\ \sum_{d=1}^s N_d^i = N_i, \quad N_d^i \in N^m, \\ \forall i = \overline{1, n}, \quad d = \overline{1, s}, \quad N_{\text{судн}}, N_i, N_d^i \in Z \end{array} \right. \quad (5)$$

тут Z – множина цілих чисел.

Метод перебору підходить для невеликих розмірностей завдань. Обчислювальна складність методу перебору залежить від діапазону можливих перебираємих значень. Якщо таких значень 5, то для 4 днів та 3 станцій перебираємих комбінацій буде $5^{12} \approx 2.4 \cdot 10^8$, що дозволить знайти

рішення на сучасному комп'ютері за одну секунду. Для 5 днів та 4 станцій це число буде дорівнювати $5^{20} \approx 9.5 \cdot 10^{13}$, що вже приведе до значних обчислювальних витрат. Тому для скорочення кількості розрахунків необхідно задавати обмеження мінімальної кількості вагонів, що розвантажують на станціях відправлення (наприклад, не менше маршрута за добу). В кожному конкретному випадку це обмеження вибирається індивідуально.

Алгоритм складання календарного плану навантаження. Календарний план навантаження представляє собою кінцеву множину добових розкладів навантаження вагонів з даним вантажем з різних навантажувальних станцій із вказівкою кількості вантажу, що розвантажуються, дати його відправлення та прибуття на припортову станцію[9-10]

$$\bar{P} = \{ (p_{i1} + p_{i2} + \dots + p_{is} \mid i = \overline{1, n}, p_{i1} \in P_1, p_{i2} \in P_2, \dots, p_{is} \in P_s) \}, \quad (6)$$

де \bar{P} – календарний план навантаження;

P_1, P_2, \dots, P_s – розклади навантаження по дням календарного плану;

s – число днів навантаження (період календарного плану);

$p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{is}$ – добові розклади навантаження i -ої станції по дням календарного плану;

n – загальне число станцій, що беруть участь у навантаженні вагонів для конкретного судна.

Добовий розклад навантаження i -ої станції призначенням на d -й день календарного плану p_{id} може бути представлений таким чином:

$$p_{id} = f(Q_{id}, t_{id}^{отпр}), \quad (7)$$

де Q_{id} – добове навантаження i -ої станції із прибуттям на припортову станцію в d -й день календарного плану, т;

$t_{id}^{отпр}$ – дата відправлення вагонів з i -ої станції навантаження із прибуттям в d -й день календарного плану.

Розробка календарного плану здійснюється поетапно та містить в собі визначення сукупності нормотворчих параметрів

$$T_{кп}, Q_{id}, t_d, t_{id}^{отпр}, t_{id}^{пв},$$

тобто

$$КП = \{ T_{кп}, Q_{id}, t_d, t_{id}^{отпр}, t_{id}^{пв} \}, \quad (8)$$

де $T_{кп}$ – період календарного плану, доба;

Q_{id} – добове навантаження i -ої станції в d -й день календарного плану, т; $i = \overline{1, n}$, $d = \overline{1, s}$, при цьому $Q_{id} \in Q_{судн}$, $\sum_{d=1}^s \sum_{i=1}^n Q_{id} = Q_{подв}^{ж.д.}$ – су-

марне навантаження з усіх станцій відправлення за весь період календарного плану, т;

t_i – час ходу від i -ої станції навантаження до порту призначення, діб;

$t_{id}^{отпр}$ – численність моментів відправлення вагонів зі станцій навантаження;

$t_{id}^{пр}$ – численність моментів прибуття вагонів в порт призначення в період календарного плану, при цьому $t_{id}^{пр} \in T_{кп}$.

Треба відзначити, що недостатня площа складів в портах не дозволяє забезпечувати накопичення вантажів в розмірі судових партій в нормальному режимі зберігання та приводить до того, що при виникненні непередбачених обставин може мати місце непродуктивний простій вагонів, які очікують вивантаження $T_{ваг}^{ож}$. Тому запропонована методика роз-робки календарного плану навантаження з метою забезпечення можливості її використання в практичній діяльності в загальному виді враховує ці витрати.

Потрібно знайти Q_{id} , які задовольняють

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{d=1}^s \sum_{i=1}^n Q_{id} = Q_{судн} - Q_{ваг}^{ож}, \\ \sum_{d=1}^s Q_d^{ож.ваг} = Q_{ваг}^{ож}, \\ \sum_{i=1}^n Q_{id} = \frac{Q_{судн}}{S} - Q_d^{ож.ваг}, \\ \sum_{d=1}^s Q_{id} = Q_i, \quad \forall i = \overline{1, n}, \quad d = \overline{1, s} \end{array} \right. \quad (9)$$

де Q_{id} – навантаження i -ої станції в d -й день розвантаження, т;

$Q_{судн}$ – суднова партія, т;

$Q_{ваг}^{ож}$ – весь вантаж у вагонах, що очікують, т;

$Q_d^{ож.ваг}$ – вантаж у вагонах, що очікують, який розвантажується в d -й день розвантаження, т;

Q_i – загальна маса вантажу від i -ої станції, т.

Формування календарного плану навантаження спільного підведення вагонів та судна здійснюється поетапно.

1 етап. Визначається період календарного плану. Загальний час навантаження судна визначається за формулою

$$T_{\text{судн}} = \frac{Q_{\text{судн}}}{\sum_{j=1}^m \Pi_j \cdot k_j}, \quad (10)$$

Цей період містить в собі тимчасові витрати, пов'язані з виконанням навантажувально-розвантажувальних операцій з вантажами, що перебувають на причалі; у вагонах, що очікують вивантаження на припортовій станції та на підходах до неї; у вагонах, які прямують для розвантаження в порт

$$T_{\text{судн}} = T_{\text{прич}} + T_{\text{ваг}}^{\text{ож}} + T_{\text{подв}}^{\text{с.п.}}, \quad (11)$$

де $T_{\text{прич}}$ – тривалість навантаження вантажу, що перебуває на причалах порту.

$$T_{\text{прич}} = \frac{Q_{\text{прич}}}{\sum_{j=1}^m \Pi_j \cdot k_j}, \quad (12)$$

$T_{\text{ваг}}^{\text{ож}}$ – тривалість навантаження вантажу, що перебуває у вагонах, які очікують розвантаження

$$T_{\text{ваг}}^{\text{ож}} = \frac{Q_{\text{ваг}}^{\text{ож}}}{\sum_{j=1}^m \Pi_j \cdot k_j}, \quad (13)$$

$T_{\text{подв}}^{\text{с.п.}}$ – період часу, протягом якого необхідно підвести вагони з вантажем для забезпечення навантаження суднової партії

$$T_{\text{подв}}^{\text{с.п.}} = \frac{Q_{\text{подв}}^{\text{с.п.}}}{\sum_{j=1}^m \Pi_j \cdot k_j} = \frac{Q_{\text{судн}} - (Q_{\text{прич}} + Q_{\text{ваг}}^{\text{ож}})}{\sum_{j=1}^m \Pi_j \cdot k_j}, \quad (14)$$

Період часу, протягом якого може бути здійснене завезення вантажу, визначається технологією роботи порту.

А. Якщо в порту причали спеціалізовані за родами та марками вантажу, то загальна кількість вантажу, який підвозиться залізничним транспортом $Q_{\text{подв}}^{\text{жд.}}$ складає

$$Q_{\text{подв}}^{\text{жд.}} = Q_{\text{подв}}^{\text{с.п.}} + Q_{\text{прич}} - Q_{\text{ваг}}^{\text{ож}}, \quad (15)$$

Це пов'язано з тим, що причал вивільнюється повністю і потрібно його заповнити для наявності певного резерву, що реалізується при підході судна за цим вантажем. В цьому випадку період часу $T_{\text{кп}}$, протягом якого необхідно підвести вагони з вантажем, визначається за формулою

$$T_{\text{кп}} = T_{\text{подв}}^{\text{с.п.}} + T_{\text{причал}} - T_{\text{ваг}}^{\text{ож}}, \quad (16)$$

Б. Якщо ж причали порту не спеціалізовані, то загальна кількість, яка підвозиться для навантаження судна, становить

$$Q_{\text{подв}}^{\text{ж.д.}} = Q_{\text{судн}} - Q_{\text{ваг}}^{\text{ож}}, \quad (17)$$

В цьому випадку не відбувається попереднього накопичування вантажу на причалі, тому $T_{\text{причал}} = 0$. Часовий період $T_{\text{кп}}$, протягом якого необхідно підвести вагони з вантажем, визначається за формулою

$$T_{\text{кп}} = T_{\text{судн}} - T_{\text{ваг}}^{\text{ож}}, \quad (18)$$

2 етап. Визначається добове навантаження по кожній станції відправлення по дням періоду календарного плану.

Для випадку рівномірного відвантаження за днями календарного плану

$$Q_{\text{id}} = \frac{Q_i}{T_{\text{кп}}}, \quad (19)$$

де Q_{id} – навантаження і-ої станції на d-й день календарного плану;

Q_i – загальна кількість вантажів, що відвантажуються і-ою станцією в рамках календарного плану. При цьому повинна виконуватися умова

$$\sum_{d=1}^s \sum_{i=1}^n Q_{\text{id}} = Q_{\text{подв}}^{\text{ж.д.}}, \quad (20)$$

За результатами розрахунку формується сукупність чисельності обсягів навантаження зі станцій відправлення, яка представлена в табл. 1.

Таблиця 1

Таблиця множини обсягів навантаження зі станцій відправлення

Станція навантаження	Дні періоду календарного плану			
	1	2	...	s
1	Q_{11}	Q_{21}	...	Q_{s1}
2	Q_{12}	Q_{22}	...	Q_{s2}
3	Q_{13}	Q_{23}	...	Q_{s3}
...
n	Q_{1n}	Q_{2n}	...	Q_{sn}

3 етап. Визначається множина моментів відправлення вагонів із вантажем зі станцій навантаження та їх прибуття в порт призначення. Для виконання умови чіткої взаємодії залізничного та морського транспорту необхідно, щоб перші вагони почали надходити під перевантаження в порт після завершення навантажувально-розвантажувальних операцій з вантажем на причалі, а також з вагонами, що очікують розвантаження на припортовій станції. Дата надходження вагонів на припортову станцію $D_{\text{ваг}}^{\text{пост}}$ визначається за формулою

$$D_{\text{ваг}}^{\text{пост}} = D_{\text{судн}}^{\text{пр}} + T_{\text{причал}} + T_{\text{ваг}}^{\text{ож}} - t_{\text{техн}}, \quad (21)$$

де $D_{\text{судн}}^{\text{пр}}$ – дата прибуття судна в порт у відповідності до договору фрахту;

$t_{\text{техн}}$ – тривалість виконання технологічних операцій в процесі передачі вагонів з вантажем на перевантаження в порт (маневрових, комерційних, приймально-здавальних і т. і.).

Для кожної станції відправлення встановлюється час ходу до пункту призначення з урахуванням подачі в порт за формулою

$$t_i = \frac{L_i}{V}, \quad (22)$$

де t_i – час ходу вагонів з вантажем від i -ої станції відправлення до порту призначення, діб;

L_i – відстань перевезення від i -ої станції відправлення до пункту призначення, км;

V – середньодобова швидкість доставки, км/добу.

Таким чином, дата відправлення вагонів i -ої станції із прибуттям в d -й день календарного плану навантаження визначається за формулою

$$t_{\text{id}}^{\text{отпр}} = D_{\text{ваг}}^{\text{пост}} - t_i, \quad (23)$$

В результаті формується сукупність множини моментів відправлення вагонів зі станцій навантаження (формування маршрутів).

Відповідні дані необхідні для організації відправлення вагонів зі станцій навантаження (формування маршрутів), тоді для організації просування вагонів з вантажем до порту призначення за принципом «точно в строк», необхідно сформувати сукупність множини моментів календарного прибуття вагонів на припортову станцію (таблиця 2).

Таблиця 2

*Таблиця множини моментів календарного прибуття вагонів
на припортову станцію*

Станції навантаження	Моментів прибуття вагонів за днями календарного плану			
	1	2	...	s
1	t_{11}^{np}	t_{21}^{np}	...	t_{s1}^{np}
2	t_{12}^{np}	t_{22}^{np}	...	t_{s2}^{np}
3	t_{13}^{np}	t_{23}^{np}	...	t_{s3}^{np}
...
n	t_{1n}^{np}	t_{2n}^{np}	...	t_{sn}^{np}

В рамках методики календарного планування використовується суміщений алгоритм складання календарного плану, що сполучає в собі поетапний розрахунок з використанням методу комбінаторної глобальної оптимізації на стадії визначення добового навантаження по кожній станції відправлення та множини моментів відправлення вагонів з вантажем зі станцій навантаження, а також їх прибуття в порт призначення, що представляє собою цілочислову NP-повну задачу, яка реалізується у вигляді прямого перебору. Такий підхід дозволяє варіювати величиною числа вагонів, що відправляються зі станцій навантаження, при цьому в якості обмеження, що значно скорочує обсяг обчислень, приймається продуктивність механізмів, які застосовуються у виконанні навантажувальних робіт.

При цьому повинна виконуватися умова

$$t_{id}^{np} \in T_{кп}, d = \overline{1, s} \quad i = \overline{1, n}.$$

4 етап. В загальному вигляді процес побудови календарного плану у вигляді добових розкладів навантаження в межах $T_{кп}$ може бути здійснений шляхом конструювання графа (X, \vec{U}) , де X – множина станцій навантаження (вершин), які здійснюють відправлення навантажених вагонів на адресу порту призначення, \vec{U} – множина дуг. Побудова кожного розкладу припускає заміну в неорієнтованому графі ребер дугами таким чином, щоб не утворювалось контурів. У підсумку кожному розкладу буде відповідати деякий орієнтований безконтурний граф.

Розроблений календарний план навантаження можна представити у вигляді об'ємної матриці, де наведені обсяги навантаження зі станцій відправлення й дати їхнього відправлення, а також дні календарного плану, в які здійснюється перевантаження прибулих вагонів на судно. Перетинання відповідних Q_{id} і $t_{id}^{отпр}$ визначає шуканий день календарного плану, в який вантаж з цієї станції буде перевантажуватися на судно.

Контроль за реалізацією календарного плану здійснюється із диспетчерського центра регіонального транспортно-логістичного центра.

Висновок. Розроблена та описана методика календарного планування навантаження та підводу вагонів до транспортного вузла під морські судна. Необхідність розробки методики визначається недосконалістю існуючих підходів до взаємодії залізничного транспорту з морським, які ґрунтуються на стереотипі, що для виключення простою вагонів на підходах до порту, достатньо забезпечити їх рівномірне підведення залізницею в кількості, що не перевищує можливості навантажувально-розвантажувальних машин і механізмів порту. Разом з тим розвантаження прибулого вантажу залізницею здійснюється портом не в порядку його надходження, а в першу чергу при наявності (підході) судна під даний вантаж або при необхідності завершення формування суднової партії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Интегрированная логистика накопительно-распределительных комплексов (склады, транспортные терминалы): Учебник для транспортных вузов / Под ред. Л.Б. Миротина. – М.: Издательство «Экзамен», 2003. – 448 с.*
2. *Резер С.М. Логистика экспедирования грузовых перевозок / С.М. Резер. – М.: ВИНТИ РАН, 2002. – 472 с.*
3. *Прокофьева Т.А. Логистика транспортно-распределительных систем: региональный аспект / Т.А. Прокофьева, О.М. Лопатин. – М.: РосКон-сульт, 2003. – 400 с.*
4. *Terminology on combined transport // United Nation and Economic Commission for Europe (UN/ECE). – New York and Geneva, 2001. – 69 p.*
5. *Николашин В.М. Основы логистики: Учебник для студентов вузов ж.-д. транспорта / В.М. Николашин, А.С. Синицына. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. – 252 с.*
6. *Елисеев С.Ю. Система логистического управления взаимодействием железных дорог с морскими и речными портами и другими видами транспорта / С.Ю. Елисеев. – М.: ВИНТИ РАН, 2005. – 96 с.*

7. *Елисеєв С.Ю. Построение и оптимизация функционирования международных транспортно-логистических систем / С.Ю. Елисеєв. – М.: ВИНТИ РАН, 2006. – 242 с.*
8. *Смехов А.А. Основы транспортной логистики / А.А. Смехов. – М.: Транспорт, 1995. – 198 с.*
9. *Simchi-Levi David. Designing and managing the supply chain: concepts, strategies, and case studies / David Simchi-Levi, Philip Kaminsky. – New York: McGraw-Hill Companies, 2008. – 496 с.*
10. *Куренков П.В. Внешнеторговые перевозки в смешанном сообщении. Экономика. Логистика. Управление / П.В. Куренков, А.Ф. Котляренко. – Самара: изд-во СамГАПС, 2002. 636 с.*

Стаття надійшла до редакції 19.02.2014

Рецензент – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, директор Науково-дослідного інституту фундаментальних та прикладних досліджень Одеського національного морського університету **С.В. Руденко**