Павлова Н.Л.

Одеський національний морський університет

Шибасєв О.Г.

Одеський національний морський університет

ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ З ОБҐРУНТУВАННЯ ВАРІАНТУ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ МОРСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ

Морське транспортування різних товарів і сировини в загальному світовому вантажообігу займає більше 60%. Вантажоперевезення морем є складним і трудомістким процесом, пов'язаним із рішенням цілого комплексу питань, що належать до різних рівнів планування (оперативного та стратегічного). Організацію морської доставки вантажів здійснюють зазвичай транспортно-експедиторські компанії. Однією із центральних проблем, пов'язаною з організацією вантажоперевезення морем, є проблема розробки й обґрунтування варіантів доставки, рішення якої передбачає вирішення комплексу задач, пов'язаних із вивченням та аналізом умов транспортування вантажів, траси руху суден, характеристикою портів заходу та ін.

У статті розглянуто методичні положення щодо формування й оцінки варіантів доставки вантажів при організації морських перевезень. Викладено основні принципи та засади формальної побудови всіляких варіантів схем руху суден, що проводиться на основі кореспонденції та структури вантажопотоків шляхом всілякого поєднання портів відправлення і призначення. Безліч допустимих варіантів схем доставки вантажів формується з урахуванням вимог до організації руху суден. Сформульовано основні засади та критерії моделювання завантаження суден з урахуванням схем їхнього руху. Представлено опис математичної моделі, яку пропонується використовувати для підготовки рішень про майбутню роботу суден, ключовим елементом котрої є схема руху суден. Сформовано алгоритм закріплення суден за варіантами робіт, а також основні логічні правила, покладені в його основу. Викладені методичні положення дають можливість підвищити ефективність і якість управлінських рішень при організації доставки вантажів морським транспортом, зокрема при побудові маршрутів суден, а також мінімізувати витрати, пов'язані з вантажоперевезенням морем.

Ключові слова: транспортно-експедиторська компанія, морські перевезення, схема руху, варіант доставки вантажу, судно, порт.

Постановка проблеми. Внаслідок зростання обсягу світового виробництва і товарообігу ринок транспортних послуг швидко розвивається. Морський транспорт відіграє провідну роль у структурі світового вантажообігу, забезпечуючи близько 60% перевезень, організація більшості яких здійснюється транспортно-експедиторськими компаніями.

Вантажоперевезення морським транспортом є складним і трудомістким процесом. Так, доставка вантажу майже завжди передбачає варіантність щодо користування різними транспортними коридорами та вузлами, можливості використання того чи іншого транспортного засобу [1–3]. Крім того, організація доставки вантажів морським транспортом вимагає збору й аналізу значного обсягу інформації. З урахуванням специфіки об'єму інформації та багатоваріантності альтернатив основними завданнями, що постають перед

транспортно-експедиторськими компаніями, є забезпечення ефективного руху транспортних засобів, прогнозування та планування перевезень із побудовою найбільш ефективного маршруту з погляду витрат і часу на транспортування в різних видах повідомлень.

Таким чином, проблема розробки й обґрунтування варіантів морської доставки вантажів транспортно-експедиторськими компаніями є однією із центральних і вимагає реалізації проектних рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наукових дослідженнях приділяється значна увага питанням оптимізації транспортних процесів і систем. Для випадків, коли характеристики роботи судів, напрямів або ліній суворо формалізовані, в роботах [4; 5] розглядалися імітаційні моделі з евристичними алгоритмами. Ці моделі статичні та не враховують середовище,

що динамічно змінюється, в якому функціонує морський транспорт. Також отримувані рішення не є оптимальними. У роботах [6; 7] здійснено знаходження сукупності допустимих маршрутів із подальшою їх оптимізацією. За подібного рішення стає можливим враховувати експлуатаційні обмеження та вимоги до організації руху флоту. Це дозволяє істотно понизити розмірність завдання і виключити у процесі рішення додаткові логічні перевірки.

У роботах [5; 7] запропонована двоетапна схема рішення задачі оперативного планування роботи флоту за допомогою оптимального закріплення суден за раніше сформованими маршрутами.

У праці [7] як інструмент рішення задачі розставляння флоту запропонована модель, у якій технологічні коефіцієнти є змінними величинами та здатні варіюватися в заданих межах.

Таким чином, основні завдання, пов'язані з організацією роботи суден різних типів, на досить високому рівні опрацьовані в науковій літературі. У більшості проаналізованих джерел представлені результати утворюють фундаментальну теоретичну і методичну базу, яка може бути доповнена і розвинена з урахуванням сучасних умов роботи транспортно-експедиторських компаній з організації доставки вантажів.

Постановка завдання. Метою статті є розробка методичних рекомендацій щодо прийняття проектних рішень з оцінки варіантів доставки при експедируванні вантажів, що забезпечить підвищення ефективності транспортних операцій.

Виклад основного матеріалу дослідження. Рішення проблеми формування й оцінки варіантів доставки вантажів морським транспортом одержувачу передбачає вирішення таких завдань (рис. 1):

- вивчення траси руху суден (навігаційних умов, ширини каналів, що дозволяє сформулювати вимоги до суден під перевезення вантажів);
- характеристики портів заходження суден (глибини біля причалів, обладнання перевантажувальної технікою, ширини причального фронту, наявності складських приміщень і т. д., що дозволить доповнити вимоги до суден);
- аналізу вантажів (питомо-навантажувального об'єму, габаритів вантажного місця, вимог до зберігання й умов перевезення);
- вибору суден, які доцільно використовувати для доставки вантажів.

Побудова варіантів доставки вантажів. Цей етап, у свою чергу, передбачає:

Рис. 1. Схема вирішення завдання з розроблення й оцінки варіантів

- формальну побудову схем руху судна на основі концепції та структури вантажопотоків шляхом всіякого поєднання портів відправлення і призначення;
- визначення сукупності допустимих варіантів схем з урахуванням вимог до організації руху судна;
- розрахунок завантаження судна за схемами руху часу рейсу, експлуатаційних і фінансових показників.

Формальна побудова всіяких варіантів схем руху проводиться поєднанням пар портів для пев-

ного періоду часу. У кожному поєднанні поділяються порти завантаження і розвантаження. Однакові найменування портів об'єднуються. Усередині кожного такого поєднання виконуються всілякі перестановки портів завантаження і розвантаження.

Проводиться перевірка можливості роботи розглянутого судна за схемами руху і відповідність ротації портів у них вимогам організації руху суден на лініях і практиці роботи судноплавства загалом. Варіанти схем руху, що не відповідають цим вимогам, виключаються з подальшого розгляду.

Перевірка можливості роботи судна за схемою руху, виходячи з його осідання, а також відповідності послідовності портів вимогам до організації руху флоту на лініях і практиці роботи судноплавної компанії виконується на основі попередньо сформованих матриць. У кожній матриці для логічної перевірки цих умов у верхньому рядку записуються всі порти регіону діяльності судноплавної компанії. У лівому стовпчику в першому випадку – судна, у другому – порти. Послідовність запису портів аналогічна з верхнім рядком матриць.

На перетині кореспондуючих портів, а також суден і портів вказується ознака 0 або 1. Якщо на перетині стоїть 1, то захід судна в порт допустимий або ця послідовність портів можлива, 0 – в іншому випадку.

З решти варіантів схем відповідно до заданого критерію доцільною ротації портів вибирається оптимальна схема руху, наприклад, по мінімуму відстаней.

Моделювання завантаження виконується за таких умов: виходячи з роду вантажу і його кількості Q_j для кожної пари портів j , визначаються середньозважені значення питомої навантажувального обсягу u_j і тарифної (фрахтової) ставки:

– судна можуть рухатися за схемами руху, що складаються з однієї, двох і більшого числа пар портів. Проводиться часткове або повне завантаження, розвантаження або довантаження в кожному проміжному порту на групу наступних портів;

– схеми руху, для яких неможливе раціональне завантаження судна, виключаються з розгляду. Для цього перевіряються умови:

$$\sum_{j=1}^{n_j} Q_j \geq K_n D_q \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{n_j} u_j Q_j \geq K_n W_k \quad (2)$$

де K_n – коефіцієнт, котрий встановлює нижні межі вантажопідйомності (вантажомісткості), за яких ще економічно доцільна робота судна за розглянутою схемою руху.

На кожному парі портів розраховується квота вантажопідйомності або вантажомісткості судна. Відповідно до квоти визначається маса вантажу, яка може бути прийнята на судно до повного використання вантажопідйомності D_q і місткості вантажних приміщень W_k .

Як відомо, значення чистої вантажопідйомності не є для судна постійною величиною, тому розрахунки по завантаженню виконуються ітеративно.

Після попередньої обробки вихідних даних встановлюються квоти вантажопідйомності та вантажомісткості судна на кожному парі портів схеми руху.

Для формулювання алгоритму наведемо короткий опис математичної моделі, прийнятої для підготовки рішень про майбутню роботу суден.

Є сукупність відомостей про структуру вантажопотоків: маса Q_i ; порти відправлення і призначення (пара портів i). Вантажопотоки можуть бути освоєні суднами C .

Безліч варіантів роботи кожного судна $\{M_c\}$ включає в себе схеми руху та завантаження.

Виходячи з наведеної постановки, пропонується така математична модель задачі:

$$\sum_{c=1}^C \sum_{j=1}^{J_c} R_{cj} x_{cj} \rightarrow \min \quad (3)$$

$$\sum_{c=1}^C \sum_{j=1}^{J_c} q_{icj} x_{icj} \leq Q_i, \quad (i=\overline{1, I}) \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{J_c} x_{cj} = 1, \quad (c=\overline{1, C}), \quad (5)$$

$$x_{cj} \in (0, 1), \quad (c=\overline{1, C}; j=\overline{1, J_c}) \quad (6)$$

де R_{cj} – витрати вантажовласника при перевезенні вантажу c -им судном за j -ю схемою;

Q_i – маса вантажів, пред'явлених до експедиції між портами відправлення і призначення (пара портів i);

q_{icj} – завантаження судна c вантажем i по варіанту доставки j ;

x_{cj} – параметр управління.

$x_{cj} = \begin{cases} 1, & \text{якщо судно закріплено за варіантом роботи } M; \\ 0 & \text{в протилежному випадку.} \end{cases}$

Всі інші позначення ті самі що і прийняті вище.

У наведеній математичній моделі цільова функція (3) визначає таке закріплення суден за варіантами роботи, яке забезпечить отримання мінімальних витрат від доставки вантажів одержувачу.

Обмеження (4) встановлює, що маса вантажу, який перевозиться суднами між двома кореспондуючими портами, повинна дорівнювати його заявленій кількості.

Рівняння (5) характеризує неприпустимість одночасного використання судна на декількох варіантах робіт.

Таким чином, виходячи зі структури моделі та її місця в загальному комплексі питань організації експедирування вантажів, необхідна розробка спеціального алгоритму розв'язання задачі. Строки та точність одержуваних результатів повинні відповідати термінам проведення узгодження при укладенні договору на транспортну експедицію.

– Судна закріплюються за варіантами робіт за мінімальним значенням витрат за умови виконання системи обмежень (4) – (6).

– Послідовність розгляду суден залежить від величини R_c , яка визначається як середнє значення доходів від роботи судна на варіантах $\{M_c\}$:

$$\bar{R}_c = \frac{1}{n_c} \sum_{M=1}^n R_c^M \quad (7)$$

Відповідно до викладеного логічними правилами значення R_c упорядковуються, і проводиться їх нова індексація в порядку убуття.

$$\bar{R}_1 < \bar{R}_2 < \dots < \bar{R}_m \quad (8)$$

Для кожного судна варіанти робіт розташовуються в аналогічній послідовності. Перший варіант забезпечує отримання максимального значення доходу судну c , відповідно останній варіант – мінімального.

$$\bar{R}_c^1 < \bar{R}_c^2 < \dots < \bar{R}_c^{n_c} \quad (9)$$

Витрати судна від роботи за схемою руху розраховуються за такою залежністю:

$$R_c^M = \sum_{j=1}^{J_M} r_j q_{cj}^M, \quad (c=1, m; M=1, n_c) \quad (10)$$

Будується таблиця розрахунку. У перших двох рядках таблиці вказуються судна і варіанти їх робіт відповідно до пріоритетних рядів (3.8) – (3.9). В останньому рядку відповідні їм витрати (3.12). Останній стовпець містить кількість вантажів, заявлених до перевезення Q_j . На перетині номерів варіантів робіт і пар портів вказується величина завантаження, якщо ця пара портів входить у розглянуту схему руху. Якщо пара портів не входить у схему руху, то величина завантаження приймається рівною 0 (табл. 1).

Закріплюються судна за варіантами робіт. Порядок розрахунку по закріпленню суден за варіантами робіт представлений на рис. 2.

Послідовність операцій передбачає:

- вибір із пріоритетного ряду першого судна. Аналіз можливості закріплення його за варіантом роботи M_1^1 , тобто перевірка виконання системи обмежень (4) – (5). У разі задоволення всіх обмежень судно однозначно закріплюється за маршрутом M_1^1 і одночасно коригується права частина обмежень;
- перехід до наступного судна відповідно до пріоритетних рядів (8);

Таблиця 1

Закріплення суден за варіантами робіт

									Кількість вантажу Q_i
1			...			m			
M_1			...			M_m			
1	...	n_1				1	...	n_m	
q_{11}^1$	.....	q_{11}^{n_1}$	.....	.....	.....	q_{m1}^1$	.....	q_{m1}^{n_m}$	Q_i
q_{1j}^1$	.....	q_{1j}^{n_1}$	.....	.....	.....	q_{mj}^1$	.....	q_{mj}^{n_m}$	...
q_{1J}^1$	.....	q_{1J}^{n_1}$	.....	.....	.....	q_{mJ}^1$	.....	q_{mJ}^{n_m}$	Q_j
q_{1J}^1$	.....	q_{1J}^{n_1}$	.....	.....	.....	q_{mJ}^1$	.....	q_{mJ}^{n_m}$	...
q_{1J}^1$	.....	q_{1J}^{n_1}$	.....	.....	.....	q_{mJ}^1$	.....	q_{mJ}^{n_m}$	Q_j
R_1^1$	.....	R_1^{n_1}$	.....	.....	.....	R_m^1$	.....	R_m^{n_m}$

Рис. 2. Алгоритм закріплення суден за варіантами робіт

– якщо маршрут не задовольняє обмеження (4) – (5), то здійснюється перехід до розгляду варіанту щодо пріоритетного ряду (9).

Зазначений розрахунок виконується доти, поки не будуть закріплені всі судна або вичерпаний обсяг перевезень.

Висновки. Викладені методичні положення дають можливість підвищити ефективність і якість управлінських рішень при організації доставки вантажів морським транспортом, зокрема при побудові маршрутів суден, а також мінімізувати витрати, пов'язані з вантажоперевезенням морем.

Список літератури:

1. Плужников К.И. Транспортное экспедирование. Москва : РосКонсультант, 1999. 576 с.
2. Организация и планирование работы морского флота / под общ. ред. А.А. Союзова. Москва : Транспорт. 1979. 416 с.
3. Korol V.Y. Systems representation and functional unity of transport, vehicular and cargo handling processes. *Modern engineering and innovative technologies. Heutiges Ingenieurwesen und innovative Technologien: International periodic scientific journal. Sergeieva&Co Karlsruhe*. 2018. № 5. Vol. 3. P. 72–79. doi 10.30890/2567-5273.
4. Громовой Э.П. Математические методы и модели в планировании и управлении на морском транспорте. Москва : Транспорт, 1979. 360 с.
5. Шибает А.Г. Обобщение и развитие моделей оптимальной расстановки флота морской судоходной компании. *Вісник Одеського державного морського університету*. 1998. № 2. С. 66–72.
6. Шибает А.Г., Вишневський Д.О. Обоснование параметров эффективности линейного сервиса универсальных судов для грузовладельца и судовладельца. *Вісник Одеського національного морського університету*. 2015. № 4 (46). С. 10–25.
7. Левый В.Д. Оперативное управление работой флота. Москва : Транспорт, 1981. 157 с.

Pavlova N.L., Shibayev O.G. PROJECT DECISIONS TO JUSTIFY THE OPTION OF DELIVERY OF CARGO BY MARITIME TRANSPORT

Maritime transportation of various cargoes and raw materials in the total world cargo turnover is over 60%. Shipping is a complex and time-consuming process involving a number of issues related to different levels of planning (operational and strategic). The organization of sea delivery of cargo is carried out, as a rule, by freight forwarding companies. One of the central problems associated with the organization of maritime freight is the problem of developing and justifying delivery options, the solution of which involves solving a set of problems related to the study and analysis of cargo transportation conditions, ship routes, characteristics of ports of call, etc.

The article considers the methodological provisions for the formation and evaluation of options for the delivery of cargo in the organization of maritime transport. The basic principles and principles of formal construction of various variants of schemes of movement of vessels which are carried out on the basis of correspondence and structure of cargo flows by various combination of ports of departure and destination are stated. The set of admissible variants of schemes of delivery of cargoes is formed taking into account requirements to the organization of movement of vessels. The basic principles and criteria for modeling the loading of ships are formulated, taking into account the schemes of their movement. A description of the mathematical model that is proposed to be used to prepare decisions on the future operation of ships, a key element of which is the scheme of ship traffic. The algorithm of fixing of vessels on variants of works, and also the basic logical rules which are put in its basis is formed. These guidelines make it possible to increase the efficiency and quality of management decisions in the organization of cargo delivery by sea, in particular in the construction of ship routes, as well as to minimize the costs associated with maritime freight.

Key words: freight forwarding company, maritime transportation, traffic scheme, cargo delivery option, ship, port.