

О. В. Мельник,
старший викладач кафедри Перевезень і маркетингу, Київська державна академія
водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ГЕНЕРУВАННЯ ОПЕРАТИВНИХ АЛЬТЕРНАТИВ ОБРОБКИ ВАНТАЖУ В ПОРТУ

O. Melnik,
senior teacher of department of Transportations and marketing of Kyiv state maritime academy
of hetman Peter Konashevich-Sagaidachniy

EKONOMIKO MATHEMATICAL MODEL OF GENERUTING OF OPERATIVE ALTERNATIVES OF TREATMENT OF LOAD IN PORT

Розроблено економіко-математичну модель генерування оперативних альтернатив обробки вантажу в порту для ефективної роботи річкового логістичного центру.

The ekonomiko mathematical model of generuting of operative alternatives of treatment of load is worked out in port for effective work of river logistic center.

Ключові слова: річкові порти, річковий логістичний центр, оптимізація обробки вантажів у порту, економіко-математична модель генерування оперативних альтернатив обробки вантажу в порту.

Key words: river ports, river logistic center, optimum treatment of loads is in port, ekonomiko mathematical model of generuting of operative alternatives of treatment of load in port.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Створення річкових логістичних центрів на основі річкових портів — шлях до відродження роботи річкового транспорту України. Економічна ефективність роботи річкових логістичних центрів досягається за рахунок прискорення обробки вантажів у порту, яке забезпечує використання економіко-математичної моделі генерування оперативних альтернатив обробки вантажу. Реалізація моделі дозволить враховувати змінні умови роботи порту, такі як: наявність рухомого складу, вільну місткість складських площ, нерівномірність прибуття вантажів та ін., оптимізувати його роботу, узгодити із діяльністю суміжних видів транспорту, перетворити в річковий логістичний центр.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вивченням проблем оптимізації процесу обробки вантажів у морських та річкових портах та узгодження роботи різних видів транспорту займалися Костров В.Н., Кучерук Г.Ю., Матюгин М.А., Милославська С.В., Нікітін П.В., Нікіфоров В.С. та інші. Але низькі обсяги переробки у річкових портах України, значне недовикористання портових потужностей потребують нових підходів у розробці оптимізації обробки вантажів.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Розробка економіко-математичної моделі генерування оперативних альтернатив обробки вантажу в порту.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Річковий логістичний центр (РЛЦ) — складна динамічна система, яка має множину характеристик, що змінюються: кількість механізованих ліній, кількість транспортних засобів суміжних видів транспорту, час зберігання вантажу на складі тощо. Робота річкового логістичного центру повинна будуватися на основі врахування сукупних витрат управління матеріальними та нематеріальними потоками по всім логістичним мережам, які слід розглядати як критерій оптимальності функціонування річкового логістичного центру.

Головним джерелом ефективної роботи РЛЦ є прискорення обробки рухомого складу різних видів транспорту по сукупності всіх операцій, включаючи перевантажувальні, підвищення частки переробки вантажів по прямому варіанту (обминаючи склад), збільшення виробничих потужностей та можливість освоєння на цій основі додаткових обсягів перевезень.

У транспортному річковому вузлі, як і в будь-якій логістичній системі, відбуваються складні та різноманітні процеси [3, с. 147], що не дозволяють побудувати абсолютно адекватну модель. Кількісний ріст елементів логістичної системи та якісні зміни зв'язків між ними потребують розробки моделі, яка б дозволила аналізувати, управляти, планувати роботу порту з багатьма випадковими факторами, які заважають нормальному функціонуванню даної системи. Це дасть змогу оптимізувати діяльність річкового логістичного

центру. Існуючі методи організації перевантажувальних робіт не дозволяють диспетчерському апарату порту приймати оптимальні рішення по обробці вантажів [1, с. 208]. Використання сучасних імітаційних методів та комп'ютерних технологій надасть можливість підвищити економічну ефективність роботи портового обслуговування.

Першим етапом розробки будь-якої економіко-математичної моделі є складання змістовного опису реальної логістичної системи, в якому викладені закономірності, характерні для процесу, що досліджується, та поставлена прикладна задача.

У змістовному описі представлені всі процеси, які відбуваються при експлуатації річкового логістичного центру, включаючи окремі кількісні характеристики параметрів вантажно-розвантажувальних та інших робіт. При цьому вказується ступінь і характер взаємодії, місце і значення кожного елементарного явища в загальному процесі функціонування транспортної логістичної системи, яка розглядається. За допомогою економіко-математичної моделі генерування оперативних альтернатив у порту з'явиться можливість виявити "вузькі місця" в роботі порту, включаючи відповідність пропускної спроможності порту, провізної здатності судна, яке заходить у порт, оптимізувати компоновку порту, вибрати відповідне вантажне обладнання, обґрунтувати місткість вантажних приміщень. Основною задачею моделі є обґрунтування оптимального варіанту надання портових послуг за обраним критерієм та враховуючи існуючі обмеження.

Другим етапом розробки економіко-математичної моделі генерування оперативних альтернатив у порту передбачає виконання параметричного опису всіх видів обробки вантажів у порту, включаючи розвантаження, розміщення в складських приміщеннях, у критих складах, перевантаження в залізничні вагони, в автомобілі тощо.

Основними параметрами РЛЦ є кількість перевантажувальних комплексів, причалів, довжина та глибина кожного з них, пропускна здатність річкового порту як транспортно-го вузла, місткість складських приміщень, вантажообіг окремих терміналів та порту в цілому.

Важливим моментом є формування порядку заходу суден у порт, що залежить від попередньої роботи для залучення вантажів у порт.

Для кожного судна порт розробляє план обробки судна, в якому визначається нормативний час обробки та обслуговування судна, склад і послідовність запланованих операцій, нормативна чисельність портових робітників [4, с. 105]. Нормативний час на виконання вантажних робіт у годинах та середньозважену чисельність портових робітників визначають на основі вантажного плану, укрупнених норм на вантажно-розвантажувальні роботи.

Нами пропонується вирішувати ці питання за допомогою економіко-математичної моделі генерування оперативних альтернатив обробки вантажів у порту, яка здійснюється в створеному в структурі РЛЦ інформаційному логістичному центрі (ІЛЦ). Завдання річкового інформаційного логістичного центру полягає в гармонізації та узгодженні роботи суміжних видів транспорту, які беруть участь в обробці вантажу в порту. Прогнозування дислокації вантажів, транспортних суден, наявність портових механізмів, вибір оптимальних варіантів вантажно-розвантажувальних робіт, своєчасна подача вагонів, автомобілів, ємність складів, а також чисельність бригад портових робітників — це задача, яку потрібно вирішити, оцінивши стан системи в цілому. Саме в досягненні відповідності цих елементів обробки вантажу полягає задача логістизації річкового порту як основної ланки річкового логістичного центру.

Основне завдання, яке вирішує ІЛЦ, це формування бази даних для прийняття управлінських рішень по оптимальній обробці вантажів у порту. Аналіз просування вантажу, про-

гнозування прибуття вантажу в порт, підхід суден, залізничного рухомого складу, наявність вільної місткості складів у порту, аналіз оперативних даних по навантаженню — основні оперативні дані, на яких базується робота ІЛЦ. Логістичний ланцюг доставки вантажу від відправника до отримувача на етапі знаходження на території порту потребує узгодженості таких факторів: при підході судна на причал повинна вирішуватись оптимальна технологічна схема його завантаження (розвантаження), бути вільною механізована лінія для обробки, необхідна наявність кількості робітників, обслуговуючих механізовані лінії, мати в наявності необхідну для завантаження кількість вантажу (розмір оптимальної партії постачання, яка розраховується в ІЛЦ), своєчасне прибуття вагонів або автомобілів для завантаження судна. Також буде потрібен розрахунок параметрів перевантажувального комплексу, до яких відносяться: час обробки судна на причалі, інтенсивність та собівартість виконання вантажно-розвантажувальних робіт.

На основі запропонованої моделі обирається оптимальна схема технологічного процесу, яка враховує різні варіанти перевантажувальних робіт, види вантажів, типи та розташування перевантажувальних машин, складів та під'їзних шляхів. Модель враховує два можливих варіанта перевантажувальних робіт: прямий (крос-докінг) та складський. Прямий варіант є більш економічним за рахунок уникнення повторного перевантаження, але вимагає чіткої взаємодії між видами транспорту.

Крос-докінг передбачає розвантаження вантажів безпосередньо на транспортні засоби та може бути організований за трьома варіантами [5, с. 287]: без затримки рухомого складу суміжного виду транспорту; із затримкою рухомого складу; з використанням бункерних складів. Найбільш економічним способом є варіант без затримки рухомого складу, виконання якого можливо при чіткому узгодженні розкладів та узгодженому надходженні рухомого складу з-го виду транспорту. Зважаючи на можливості транспортної системи, повне узгодження виконання графіків руху неможливо. Тому в РЛЦ використовується різні способи узгодження нерівномірностей надходження суміжних видів транспорту та накопичення вантажів на складах в обсягах, необхідних для компенсації неузгодженості.

Готуючись до вантажних операцій ІЛЦ в складі, РЛЦ повинен підібрати такий варіант, який дозволив би швидше обробити судно. При цьому потрібно найбільш доцільно використати продуктивність перевантажувальних машин, підвищити продуктивність праці докерів і чітку взаємодію ланок перевантажувального процесу.

Технологічна схема обробки вантажу встановлює, яким шляхом, за допомогою яких засобів необхідно здійснювати переміщення вантажу. Перевантажувальний процес складається з операцій, тому його інтенсивність визначається продуктивністю кожної ланки. Таким чином, інтенсивність вантажних робіт у цілому обмежується найменш продуктивною ланкою. Технологічний процес вантажних робіт будується так, щоб продуктивність усіх ланок дорівнювала продуктивності основної перевантажувальної машини. При обробці вантажу по одному варіанту можна застосовувати декілька технологічних схем.

Вибір оптимальної технологічної схеми при обробці вантажу — основне управлінське рішення, яке повинно бути прийнято в обчислювальному відділі ІЛЦ. Прийняття схеми повинно базуватись на мінімальному часі обробки по кожному із варіантів.

Оперативний план роботи РЛЦ забезпечує виконання плану перевантажувальних робіт та норм обслуговування суден і вагонів у порту та складається на наступну добу. В ньому визначені склад та обсяги робіт для всіх підрозділів РЛЦ, раціональне використання матеріальних та трудових ресурсів. Об'ємно-календарне планування роботи РЛЦ

відображає взаємодію елементів порту, причалів, перевантажувальних засобів, рейдового флоту та транспортних засобів — суден, вагонів, автомобілей.

Нормативні дані об'ємно-календарного плану наступні: норми вантажних робіт, комплексного обслуговування транспортного флоту, завантаження суден, використання об'єктів порту. Оперативні дані — дислокація вантажів, суден, механізмів у порту, оперативні заявки вантажовідправників, графік ремонту перевантажувальних засобів рейдового флоту, дані оперативного обліку обробки флоту, перевантажувальних робіт, використання об'єктів порту. Крім зазначеної інформації, оператор річкового логістичного інформаційного центру використовує різні інформаційні дані та дані прогнозу про дислокацію суден, механізмів у порту, про надходження суден, вагонів і автомобілів у планову та наступну добу. Послідовність розробки плану роботи РЛЦ така: прогнозування дислокації вантажів, транспортних та рейдових суден, портових механізмів, вагонів, автомобілів, а також бригад портових робітників на початок планової доби. Ця задача вирішується шляхом оцінки стану системи на певний момент часу і прогнозування її розвитку по нормам перевантажувальних робіт.

Для моделювання визначення оптимальної партійності вантажу використаємо наступні вхідні параметри моделі оптимізації партійності вантажу:

- 1) ρ_{it} — інтенсивність потоку вантажу на i -тій ділянці причалу, яка дорівнює середній кількості вантажу, що надходить [од. вантаж. / добу];
- 2) v_{it} — швидкість переробки вантажу на i -тій ділянці шляху [т / добу];
- 3) s_{it} — витрати на зберігання вантажу [грош. од. / од. часу (добу)];
- 4) K_{it} — витрати на обслуговування транспортних засобів та вантажу [грош. од.];
- 5) g_{it} — розмір партії [т];
- 6) L — загальні витрати на управління вантажем в одиницю часу [грош. од. / добу].

Тоді функція часу переробки вантажу на i -тому причалі може бути представлена у вигляді:

$$L(g_{it}) = K_{it} \frac{v_{it}}{g_{it}} + S \frac{g_{it}(\rho_{it} - v_{it})}{2\rho_{it}}$$

Якщо розглядати детермінований варіант моделі (коли значення параметрів не залежать від i та t), то оптимальний розмір партії можна визначити, використавши методи диференціального числення. У цьому випадку отримуємо, що

точкою мінімуму функції $L(g)$ буде $g = \sqrt{\frac{2Kv\rho}{S(\rho-v)}}$. Ця величина і буде оптимальним розміром партії в детермінованому статичному випадку.

Ми будемо розглядати випадок динамічної оптимізаційної моделі з адитивним критерієм оптимальності.

Отже, цільова функція матиме вигляд:

$$R = \sum_t \sum_i R(g_{it}) = \sum_t \sum_i \left(K_{it} \frac{v_{it}}{g_{it}} + S \frac{g_{it}(\rho_{it} - v_{it})}{2\rho_{it}} \right) \rightarrow \min$$

Система обмежень буде складатись з наступних умов:

1) інтенсивність потоку вантажу на i -тому причалі не повинна перевищувати пропускної здатності даного причалу:

$$\rho_{it} \leq \min\{\Pi_{пр}, \Pi_{складу} + \Pi_{транспорту}\},$$

де $\Pi_{пр} = 24 \times B_{п/в} \times K_{тех}$ (т / добу);

$\Pi_{пр}$ — пропускна спроможність причалу (т / добу);

$B_{п/в}$ — норма вантажних робіт на причалі;

$K_{тех}$ — коефіцієнт технічних операцій судна;

$B_{п/в}^{тех} = N_y \times P_3$;

N_y — кількість механізованих установок на причалі;

P_3 — експлуатаційна потужність однієї механічної установки;

$$P_3 = P_T \times T_{он} / T_{см};$$

P_T — середньотехнічна потужність однієї установки;

$T_{он}$ — оперативний час роботи за одну зміну (6.5 год.);

$T_{см}$ — тривалість робочої зміни (8 годин);

2) величина партійності вантажу на кожній ділянці шляху не повинна перевищувати вантажопідйомність транспортного засобу, а також ємність складу, тобто:

$$g_{it} \leq \min\{Q_v, Q_c, E\}.$$

Визначимо параметри економіко-математичної моделі генерування оперативних альтернатив обробки вантажу в порту:

i — індекс судна; n — індекс причалу; s — індекс зміни; z — індекс варіанту обробки транспортних засобів суміжних видів транспорту (склад-вагон, склад-автомобіль); Q_v — норма завантаження вагону, т; $Q_{сi}$ — норма завантаження i -го судна, т; E — місткість складу, т; E_s — вільна місткість складу в s -ту зміну, т; G_i — фактичний вантаж i -го судна, т; d_s — чисельність робітників в s -ту зміну, т; $d_{iзн}$ — чисельність робітників, які обслуговують одні механізовану лінію при обробці i -го судна на n -му причалі при z -му варіанті робіт, чол.; $P_{iзн}$ — продуктивність однієї механізованої лінії при обробці i -го судна на n -том причалі при z -му варіанті робіт, т; M_{izs} — технологічна межа концентрації механізованих ліній на обробці i -го судна при z -му варіанті робіт на s -ій зміні; $K_{фs}$ — фактична кількість механічних установок на s -ій зміні; P_{zs} — продуктивність механізованої лінії при z -му варіанті обробки на s -тій зміні; Γ_{ns} — план подачі вагонів на n -ий причал в s -ту зміну; G_{zs} — добові витрати на зберігання одиниці вантажу на складі; T_i — момент приходу i -го судна в порт, год.; $t_{пл}$ — час обробки i -го судна в порту, год.; $T_{пн}$ — момент початку обробки судна i -го судна на n -му причалі, год.; $T_{пк}$ — момент закінчення обробки судна i -го судна на n -му причалі, год.

До змінних моделі віднесемо такі:

X_{inzs} — кількість механізованих ліній, які застосовуються при обробці i -го судна на n -му причалі при z -му варіанті судових робіт на s -ій зміні;

Y_{nzs} — кількість транспортних засобів суміжних видів транспорту (вагонів) при z -му варіанті обробки на s -ій зміні;

G_{izs} — частина вантажу i -го судна, яка буде оброблена z -им варіантом на s -ій зміні;

$t_{зб}$ — час зберігання вантажу на складі, діб.

Визначимо обмеження моделі.

Технологічні:

сумарна кількість механізованих ліній не повинна перевищувати їх концентрації:

$$\sum_n X_{injs} \leq M_{ijs}$$

для всіх значень i, j, s ;

сумарна кількість вагонів не повинна перевищувати плану їх подачі:

$$\sum_z Y_{nzs} \leq \Gamma_{ns}$$

для всіх значень n, s .

Ресурсні:

обсяг вантажу, що перевантажується на склад, не повинен перевищувати вільної місткості складу:

$$E_{s-1} + \sum_n G_{nzs} P_{zs} \leq E$$

для варіанту робіт "судно-склад";

потреба механічних установок у кожній зміні не повинна перевищувати їх фактичної наявності:

$$\sum_{i,z,n} X_{inzs} \leq K_{фs}$$

потреба портових робітників у кожній зміні не повинна перевищувати їх фактичної наявності:

$$\sum_{i,z,n} d_{izn} \leq d_s$$

Об'ємні:

Обсяг судових перевантажувальних робіт має бути виконаний:

$$\sum_{i,z,s} G_{izs} = G_i.$$

Часові:

Час обробки i_0 -го судна не повинен перевищувати планової норми.

$$T_{inK} - T_{inP} \leq t_{nli}$$

Час початку обробки i_0 -го судна повинен бути визначений, як максимум, з двох чисел: моменту приходу його в порт, або моменту звільнення n -го причалу суднами, попередній i_0 -му в послідовності обслуговування (за умови, що послідовність обробки суден попередньо встановлена $T_{i_{omn}} < T_{i_0} > n$)

$$T_{i_{omn}} = \max(T_{i_0}, \min_n, T_{i_0}, nK);$$

б) Час закінчення обробки i_0 -го судна

$$T_{ion}^{nk} = T_{ion}^{mn} + \sum_{js} \left(\frac{Q_{eio}}{X_{io} jns P_{i jns}} \right)$$

в) Час обробки i_0 -го судна не повинен перевищувати планової норми.

$$T_{inK} - T_{inP} \leq t_{nli}$$

Цільова функція виражає мінімум сукупних приведених витрат:

сумарні витрати на обробку i -го судна:

$$\sum_i (T_{in} - T_{iK}) R_i$$

сумарні витрати на обслуговування механічних установок:

$$\sum_{i,z,n,s} X_{inzs} R_{inzs}$$

сумарні витрати на обслуговування механічних установок:

$$\sum_{i,z,n,s} X_{inzs} R_{inzs}$$

сумарні витрати на обслуговування вантажу, що перевантажується на склад:

$$\sum_{z,s} \left(Y_{zs} R_{zs} + \sum_i G_{izs} C_{3\beta} t_{3\beta} \right)$$

Мінімізуючи цільову функцію

$$R = \sum_i (T_{in} - T_{iK}) R_i + \sum_{i,z,n,s} X_{inzs} R_{inzs} +$$

$$+ \sum_{z,s} \left(Y_{zs} R_{zs} + \sum_i G_{izs} C_{3\beta} t_{3\beta} \right) \rightarrow \min$$

за умови, що всі змінні моделі набувають невід'ємних цілих значень, отримуємо наступні результати:

— оптимальну кількість механізованих ліній, які застосовуються при обробці i -го судна на n -му причалі при z -му варіанті судових робіт на s -ій зміні;

— оптимальну кількість транспортних засобів суміжних видів транспорту (вагонів) при z -му варіанті обробки на s -ій зміні;

— оптимальний розподіл вантажу i -го судна між різними варіантами обробки (судно-вагон або судно-склад).

При дослідженні моделі необхідно врахувати її характерні властивості [2, с. 74]:

1) імітаційна, оскільки значення всіх параметрів моделі імітувались як випадкові величини, що мають рівномірний, нормальний або експоненційний розподіл (залежно від типу величини) з параметрами, що визначались емпірично;

2) стохастична, оскільки враховувався випадковий характер змінних та параметрів моделі;

3) динамічна, оскільки для оптимізації моделі використовувався метод покрової оптимізації, розглядалась динамічна модель, оптимальне значення цільової функції на наступному кроці визначалось не тільки поточними значеннями параметрів, а й оптимальним значенням керованих змінних на попередніх кроках;

4) цільова функція є лінійною відносно змінних моделі.

Кінцевими розрахунковими параметрами є мінімальний час обробки судна, мінімум витрат трудових ресурсів, мінімум сукупних приведених витрат.

ВИСНОВОК

Впровадження запропонованої економіко-математичної моделі генерування оперативних альтернатив обробки вантажу в порту дозволить вирішити наступні задачі: провести аналіз роботи порту, оптимізувати розміри партій оброблюваних вантажів, роботу всіх підрозділів порту, вибрати оптимальний варіант функціонування системи РЛЦ. Це дозволить вирішити основну задачу — зменшити час перебування вантажу в порту, що підвищить коефіцієнт використання портових потужностей, збільшить вантажообіг, і в цілому дозволить підвищити фінансові показники РЛЦ як основної ланки в логістичному русі вантажів.

Література:

1. Винников В.В., Быкова Е.Д., Винников С.В. Логистика на водном транспорте: навч. посібник. — Одеса, Фенікс, 2004.
2. Лубенцова В.С. Математические модели и методы в логистике: учеб. пособ./В.С. Лубенцова. — Самара: Самар. Гос. Техн., ун-т., 2008. — 157 с.
3. Никифоров В.С. Мультимодальные перевозки и транспортная логистика. — М.: Транс. Лит, 2007. — 272 с.
4. Примачев Н.Т., Примачев А.Н. Торговые порты в системе международных транспортно-экономических связей в торговом судоходстве. — Одесса: Автограф, 2008. — 284 с.
5. Телегин А.В., Костров В.Н., Ничипорук А.О., Никитин А.А. Транспортное экспедиционное. — Н. Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО, "ВГАВТ", 2010. — 400 с.

References:

1. Vynnykov, V.V., Bykova, E.D., Vynnykov S.V. (2004), *Lohystyka na vodnom transporte*, [Logistik on water — carriage], Feniks, Odessa, Ukraine.
2. Lubentsova, V.S. (2008), *Matematycheskye modely y metody v lohystyke*, [Mathematical models and methods in logistic], Samar. Hos. Tekhn.un-t., Samara, Russia.
3. Nykyforov, V. S. (2007), *Mul'tymodal'nye perevozhky y transportnaia lohystyka*, [Multimodal transportations and transport logistic], Trans. Lyt., Moscow, Russia.
4. Prymachev, N.T. and Prymachev, A.N. (2008), *Torhovyve porty v systeme mezhdunarodnykh transportno-ekonomycheskykh svyazey v torhovom sudokhodstve* [Trade ports in the system of international transport-economic connections in trade navigation], Avtohrاف, Odessa, Ukraine.
5. Telehyn, A.V., Kostrov V.N., Nychyporuk A.O. and Nykytyn A.A., (2010), *Transportnoe ekspedyrovanye*, [The Transport expedition], Yzd-vo FHOУ VPO, "VHAVT", N. Novhorod, Russia.

Стаття надійшла до редакції 19.08.2013 р.