

УДК 656.7.073.27(045)

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ НАВАНТАЖУВАЛЬНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПУНКТІВ ВАНТАЖНОГО СКЛАДУ АЕРОПОРТУ

**К.В. Маринцева, доцент, к.е.н., Національний авіаційний університет, м. Київ**

*Анотація.* Розроблено методику оптимізації технологічної взаємодії автомобільного та повітряного транспорту на навантажувально-розвантажувальній ділянці вантажного складу аеропорту. Представлено експериментальні розрахунки за показниками вхідного вантажопотоку регіонального аеропорту.

*Ключові слова:* технологічна взаємодія, повітряний транспорт, автомобільний транспорт, оптимізація технології.

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ПОГРУЗОЧНО- РАЗГРУЗОЧНЫХ ПУНКТОВ ГРУЗОВОГО СКЛАДА АЭРОПОРТА

**К.В. Маринцева, доцент, к.э.н.,  
Национальный авиационный университет, г. Киев**

*Аннотация.* Разработана методика оптимизации технологического взаимодействия автомобильного и воздушного транспорта на погрузочно-разгрузочном участке грузового склада аэропорта. Представлены экспериментальные расчеты с использованием показателей входного грузопотока регионального аэропорта.

*Ключевые слова:* технологическое взаимодействие, воздушный транспорт, автомобильный транспорт, оптимизация технологии.

## CALCULATION METHOD OF OPTIMAL NUMBER OF LOADING AND UNLOADING POINTS OF THE AIRPORT CARGO TERMINAL

**K. Marintseva, Associate Professor, Candidate of Economical Science,  
National Aviation University, Kyiv**

*Abstract.* The method of automobile and air transport technological interaction optimization at the loading and unloading stage at the airport cargo terminal is developed. Experimental calculations based on indicators of regional airport cargo traffic are submitted.

*Key words:* technological interaction, air transport, road transport, technology optimization.

### Вступ

Аналіз логістичної інфраструктури в Україні, яка є необхідною для оптимальної взаємодії видів транспорту, показав, що найбільш ефективний у світі вид транспортування вантажів, яким є мультимодальне перевезення, в Україні перебуває на початковому рівні розвитку. Причина цього, на думку міжнародних експертів, багато в чому полягає у відсутності уваги до перевезень і транспортної

інфраструктури як продукту системи єдиного господарського комплексу [1].

Як показує аналіз статистичних даних [2, 3], за тоннажем лєвова частка перевезень припадає на залізничний і автомобільний транспорт. Але за обсягом сумарного прибутку ці галузі стоять практично на одному рівні з авіаперевезеннями, на які припадають лише кілька відсотків за обсягами.

Недостатні зусилля з розвитку України як авіаційного транзитного вузла ведуть до того, що навіть ті вантажі, які призначені для України або її східних сусідів, повітряними шляхами доставляються в голландські аеропорти, після чого везуться до України вже автомобільним транспортом. Причому міжнародні експерти відзначають, що проблема полягає не в недостатньому розвитку інфраструктури, а в недосконалій правовій та неузгодженій технологічній організації взаємодії видів транспорту при міжнародних перевезеннях.

Технологічна сфера взаємодії повітряного і автомобільного видів транспорту полягає в узгодженні технологічних режимів за схемою «від дверей до дверей» за обсягами робіт у часі і просторі. Подача вантажу в пункт перевалки, маневрування, вантажні та комерційні операції, що протікають за складським або прямим варіантом, є дуже важливим етапом мультимодального перевезення. Тому раціональна система організації роботи взаємодіючих видів транспорту у вантажному комплексі аеропортів завжди є актуальною і такою, що потребує сучасних автоматизованих систем прийняття рішень, а значить і розвитку економіко-математичного апарату для оптимізації технології перевезень.

### Аналіз публікацій

Серед сучасних наукових робіт щодо взаємодії повітряного виду транспорту з іншими видами можна відзначити роботу [4], в якій, по-перше, доводиться актуальність і економічність використання повітряного виду транспорту в схемах змішаних перевезень; по-друге, викладено особливості технології перевезення і перевантаження авіаційно-наземних контейнерів.

В роботі [5] викладено деякі методичні засади розрахунків оптимальних характеристик вантажних комплексів аеропортів і засобів перонної механізації, що є достатньо важливим для інтеграції повітряного транспорту в логістичні системи, мультимодальні перевезення.

### Мета і постановка задачі

Різні види транспорту повинні функціонувати у взаємозв'язку, забезпечуючи однаковість транспортного обслуговування клієнтів. Таке узгодження починається на стадії роз-

робки проектів транспортних об'єктів і закінчується оперативним регулюванням транспортних процесів. Технологічна взаємодія передбачає визначення кількості необхідних ресурсів: перевантажувальних пунктів, засобів механізації та іншого обладнання, персоналу за етапами перевезень.

Навантажувально-розвантажувальні пункти (пости) (НРП) у вантажному складі аеропорту є першим етапом технологічної взаємодії повітряного і автомобільного видів транспорту. Вони призначені для виконання робіт автомобілями різних типів, що доставляють вантаж в аеропорт. Отже, задача полягає в обґрунтуванні оптимальної кількості НРП у вантажному складі аеропорту за заданими критеріями, що необхідно для удосконалення технологічної взаємодії автомобільного та повітряного транспорту.

### Оптимізація кількості навантажувально-розвантажувальних пунктів вантажного складу аеропорту

Базуючись на вищезазначених роботах [4, 5] та наявних статистичних даних одного з регіональних аеропортів щодо надходження вантажів до вантажного складу, розробимо методику оптимізації кількості НРП вантажного складу аеропорту.

Згідно з [5] є три типи показників: інформативні, нормативні та статистичні.

До нормативних показників будемо відносити:  $t_p$ ,  $t_k$ ,  $t_m$  – час розвантаження одного місця вручну, краном та засобами механізації, хв.;  $q$  – витрати, пов'язані з однією годиною простою автомобіля, дол. США;  $E_0$  – ринковий коефіцієнт ефективності;  $k_s$  – коефіцієнт, що враховує вартість монтажу.

До інформативних показників будемо відносити:  $N_d$  – кількість робочих днів у році, дні;  $T$  – кількість робочих годин у день, год;  $C_{рд}$  – експлуатаційні витрати на одну розвантажувальну дільницю за рік, дол. США;  $K$  – капітальні витрати на одну дільницю розвантаження, дол. США;  $\delta$  – маса вантажу, кг. Приймемо, що маса піддону з вантажем завжди більше деякої величини  $\delta$ . У всіх випадках, коли маса вантажу більше, ніж  $\delta$ , необхідно використовувати кран.

До статистичних показників відносяться:  $G$  – розрахунковий вантажопотік, т/год;  $I$  – кількість типів автомобілів,  $i = \overline{1, n}$ ;  $\beta_i$  – частка автомобілів  $i$ -го типу;  $g_i$  – середнє завантаження автомобілів  $i$ -го типу, т;  $D_i$  – дисперсія завантаження автомобілів  $i$ -го типу, т<sup>2</sup>;  $m_i$  – середня маса одного місця вантажу автомобіля  $i$ -го типу, т;  $V_i$  – дисперсія маси одного місця вантажу автомобіля  $i$ -го типу, т<sup>2</sup>;  $\alpha_i$  – частка місць вантажу масою більше, ніж  $\delta$ , на автомобілі  $i$ -го типу.

Методика розрахунку оптимальної кількості НРП вантажного складу аеропорту складається з наступних етапів:

1. Розраховуємо інтенсивність прибуття автомобілів за годину

$$\lambda = \frac{G}{\sum_{i=1}^n \beta_i g_i}. \quad (1)$$

2. Визначаємо середній час розвантаження одного місця вантажу із автомобіля кожного типу

$$t_i = \alpha_i t_k + (1 - \alpha_i) t_p - \eta(t_k - t_m), \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

де  $\eta = 1$  – для автомобілів, які мають спеціальну механізацію та  $\eta = 0$  – у протилежному випадку.

3. Знаходимо середній час розвантаження автомобілів кожного типу

$$\bar{t}_i = \frac{g_i}{m_i} t_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (3)$$

4. Розраховуємо дисперсію часу розвантаження автомобілів кожного типу

$$\sigma_i^2 = \left( \frac{g_i}{m_i} \right)^2 \left( \frac{D_i}{g_i^2} + \frac{V_i}{m_i^2} \right) t_i^2, \quad i = \overline{1, n}. \quad (4)$$

5. Визначаємо середній час розвантаження одного автомобіля

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \beta_i \bar{t}_i. \quad (5)$$

6. Визначаємо другий початковий момент часу розвантаження автомобіля

$$\mu_2 = \sum_{i=1}^n \beta_i (\bar{t}_i^2 + \sigma_i^2). \quad (6)$$

7. Розраховуємо дисперсію часу розвантаження одного автомобіля

$$\sigma^2 = \mu_2 - \bar{t}^2. \quad (7)$$

8. Кількість розвантажувальних дільниць має відповідати умові

$$S > \frac{\bar{t} \lambda}{60}. \quad (8)$$

9. Знаходимо коефіцієнт завантаження дільниць

$$\rho > \frac{\bar{t} \lambda}{60 S}. \quad (9)$$

10. Визначаємо сумарні витрати за рік

$$TC(\lambda, S) = \frac{1}{60} N_d T L_q \gamma q + SC_{pd} + E_0 S k_s K, \quad (10)$$

де  $\gamma$  – середній час очікування автомобілем початку розвантаження, хв.;  $L_q$  – середня довжина черги. Дані показники розраховуються після визначення характеристики моделі теорії масового обслуговування, якою можна описати загальний процес обслуговування автомобілів у НРП аеропорту. Такі моделі та алгоритми розрахунку відповідних параметрів добре описані в роботі [6].

Алгоритм розрахунків (1)–(10) може виконуватися для різних значень  $S$  з метою визначення оптимального значення за критерієм ефективності  $TC \rightarrow \min$ . Величина  $\delta$  обирається залежно від відстані, на яку необхідно перемістити вантаж, умов розвантаження.

Середнє завантаження автомобілів розраховується шляхом множення їх максимальної вантажонності на коефіцієнт їх використання.

Експериментальні розрахунки, проведені за статистичними даними одного із регіональних аеропортів, показали, що за інтенсивності прибуття автомобілів  $\lambda = 8,6 \frac{\text{авто}}{\text{год}}$  оптима-

льна кількість розвантажувальних дільниць  $S$  становить 3 пункти. При цьому коефіцієнт завантаження дільниць  $\rho$  дорівнює 0,84.

Зменшення кількості НРП в аеропорту, що розглядається, є неприпустимим, оскільки при  $\lambda_{хв} > \mu$  черга автомобілів може необмежено зростати.

Фактично ми розглянули організацію обслуговування автомобілів, що прибувають для розвантаження до вантажного складу аеропорту з точки зору теорії систем масового обслуговування, та отримали модель черги з декількома сервісами обслуговування. Припустимо, що час між прибуттям вантажівок визначається експоненційним розподілом ( $M$ ) із заданою інтенсивністю

$$\lambda_{хв} = \frac{8,6}{60} = 0,1433 \left( \frac{\text{авто}}{\text{хв}} \right).$$

Також припустимо, що час обслуговування має також експоненційний розподіл, як це зазначено в [6], з параметром інтенсивності обслуговування, рівним  $\mu = \frac{1}{t} = \frac{1}{17,65} = 0,056 \left( \frac{\text{авто}}{\text{хв}} \right)$ .

$$\mu = \frac{1}{t} = \frac{1}{17,65} = 0,056 \left( \frac{\text{авто}}{\text{хв}} \right).$$

За допомогою програми Microsoft Excel було отримано наступні параметри заданої системи обслуговування:

- характеристики черги –  $M/M/3$ ;
- інтенсивність вхідного потоку автомобілів  $\lambda_{хв} = 0,1433$  авто/хв;
- інтенсивність обслуговування  $\mu = 0,0567$  авто/хв;
- кількість розвантажувальних дільниць  $S=3$ ;
- коефіцієнт завантаження системи  $k_{зв} = 84,33$  %;
- ймовірність того, що система є пустою  $P(0)=0,0418$ ;
- середня довжина черги  $L_q = 3,8686$ ;
- середня кількість авто в системі  $L = 6,3985$ ;
- середній час очікування автомобілем початку розвантаження  $\gamma = 26,9906$  хв;
- середній час знаходження в системі  $W = 44,6406$  хв;
- ймовірність очікування в черзі  $P_w = 0,7190$ .

Використовуючи отримані характеристики, за допомогою формули (10) можна визначити сумарні витрати за рік.

Надалі пропонується провести економічний аналіз щодо прийняття рішення на рахунок оптимальної кількості НРП. Наведемо приклад такого аналізу для визначення  $S$  залежно від вартості обслуговування пунктів  $C_{рд}$  та

очікування навантажувально-розвантажувальних операцій  $q$  за наступними вихідними даними:  $C_{рд} = 5000,00$  дол. США,  $q = 35,00$  дол. США,  $K = 8030,00$  дол. США. Отримані економічні характеристики системи представлено в табл. 1.

Таблиця 1 Результати розрахунків характеристик експлуатації НРП за різних значень  $S$

| $S$   | 3     | 4     | 5     |
|---|-------|-------|-------|
| Середня кількість авто в системі  | 6,3   | 3,1   | 2,7   |
| Сумарна вартість обслуговування НРП, тис. дол. США                                    | 120   | 160   | 200   |
| Сумарна вартість очікування навантажувально-розвантажувальних операцій, тис. дол. США | 558,9 | 270,6 | 233,1 |
| $TC(S)$ , тис. дол. США   | 682,3 | 435,1 | 438,7 |

Аналіз показав, що найменше значення сумарних витрат досягається при  $S = 4$ . Тому за заданих вхідних даних обираємо чотири розвантажувальні дільниці.

Визначимо характеристики системи обслуговування при  $S = 4$ :

- характеристики черги –  $M/M/4$ ;
- $\lambda_{хв} = 0,1433$  авто/хв;
- $\mu = 0,0567$  авто/хв;
- $S = 4$ ;
- $k_{зв} = 63,25$  %;
- $P(0) = 0,0711$ ;
- $L_q = 0,5678$ ;
- $L = 3,0977$ ;
- $\gamma = 3,9616$  хв;
- $W = 21,6116$  хв;
- $P_w = 0,3300$ .

Розрахунки показують, що збільшення кількості розвантажувальних дільниць до 4 пунктів дозволяє скоротити середній час очікування автомобілем початку розвантаження на 23,03 хв. (тобто на 85,3 %), і в результаті отримуємо невелике і прийнятне значення часу очікування – приблизно 4 хв. Незважаючи на зменшення коефіцієнта завантаження системи на 21,08 % за рахунок зменшення загальних витрат, даний варіант ( $S=4$ ) можна прийняти як оптимальний. Збільшення НРП до п'яти хоча і зменшує час очікування ще на 31 % (значення цього показника в даному випадку становить 0,96 хв), але вже не

носить принципового характеру з технологічної точки зору.

Однак якщо вартість очікування (простою) автомобілів буде зростати (за умови незмінності інших показників), то сумарна вартість функціонування розвантажувальних пунктів буде мінімальною при  $S = 5$ , як це показано на рис. 1.

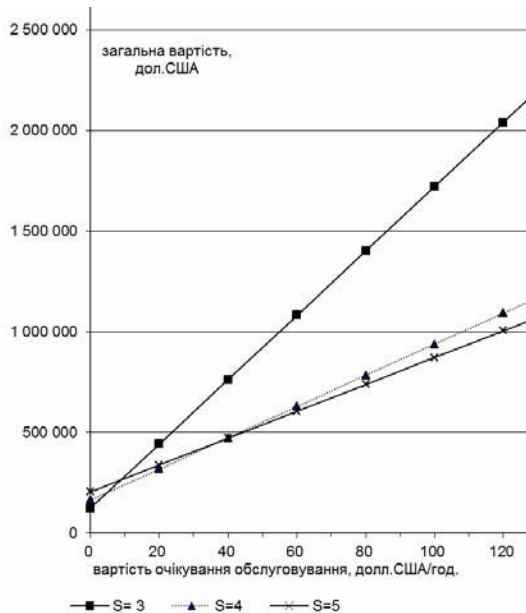


Рис. 1. Визначення оптимальної кількості розвантажувальних пунктів залежно від зміни вартості очікування обслуговування

Виконані розрахунки показали, що для розглянутого аеропорту три НРП є економічно обґрунтованими при вартості очікування в черзі меншій, ніж 8 дол. США/год чотири – від 8 до 40 дол. США/год; п'ять НРП буде оптимальним при вартості очікування обслуговування більшій, ніж 40 дол. США/год. Необхідно відмітити, що вартість очікування автомобілів у черзі визначається експертним шляхом, наприклад, з урахуванням категорії вантажів, що перевозяться, наявності конкурентної служби з відповідними НРП тощо.

### Висновки

Запропонована методика розрахунку оптимальної кількості НРП вантажного складу аеропорту, з урахуванням аналізу економічних показників (вартості обслуговування НРП та очікування автомобілів), дозволяє прийняти більш обґрунтоване рішення щодо оптимальної кількості пунктів.

Процес обслуговування вантажів на етапі взаємодії повітряного та автомобільного транспорту, що залежить від великої кількості випадкових параметрів, не може мати надійних детермінованих моделей. Однак застосування теорії масового обслуговування та імітації зміни основних вхідних параметрів дозволяє зробити висновки про можливі результати, що базуються на імовірнісних розподілах випадкових величин, та оперативно оптимізувати технологічні процеси взаємодії.

Отримані результати розрахунків, згідно з наведеною вище методикою, надають достатньо інформації для аналізу ефективності функціонування НРП вантажного складу аеропорту, а також щодо прийняття рішень з удосконалення роботи даної системи.

### Література

1. World bank. Ukraine: Trade and Transit Facilitation Study [Електрон. ресурс] – 2010. – Режим доступу: [http://siteresources.worldbank.org/UKRAINEEXTN/Resources/TTF\\_April2010.pdf](http://siteresources.worldbank.org/UKRAINEEXTN/Resources/TTF_April2010.pdf)
2. Товарная структура внешней торговли Украины в 2010 году. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://zet.in.ua/economic/statistika/tovarnaya-struktura-vneshnej-torgovli-ukrainy-v-2010-godu/>
3. Державний комітет статистики України. Статистична інформація. Транспорт та зв'язок. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
4. Горохова М.А. Повышение эффективности использования воздушного транспорта при перевозках грузов внешней торговли в смешанном сообщении: дис. канд. экон. наук: 08.00.05 / М.А. Горохова. – М., 2000. – 149 с.
5. Канарчук В.Е. Механизация технологических процессов в аэропортах: учебник для вузов / В.Е. Канарчук, А.Д. Чигринец. – М.: Транспорт, 1986. – 255 с.
6. Экономическое моделирование в Microsoft Excel / Джеффри Х. Мур, Ларри Р. Уэдерфорд; пер. с англ. Р.Г. Имамудиновой и др. – М.: Вильямс, 2004. – 1024 с.

Рецензент: П.Ф. Горбачов, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 17 вересня 2012 р.