

Вікторія Іваннікова

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЗБЕРІГАННЯ ВАНТАЖІВ У ВАНТАЖНОМУ ТЕРМІНАЛІ АЕРОПОРТУ

В статті змодельовано систему зберігання вантажів у вантажному терміналі аеропорту, на підставі встановленої функціональної залежності між розміщенням вантажопотоків у вантажних складах та процесами завантаження (розвантаження) транспортних засобів. Наведені нові математичні моделі та алгоритми рішення задач оптимального розподілу авіаційних вантажів у складських приміщеннях.

В статье смоделировано систему хранения грузов в грузовом терминале аэропорта, на основании установленной функциональной зависимости между размещением грузопотоков в грузовых складах и процессами погрузки (разгрузки) транспортных средств. Приведены новые математические модели и алгоритмы решения задач оптимального распределения авиационных грузов в складских помещениях.

In the article the system of goods stowage in an Air Cargo Terminal has been modeled, basing on the established functional dependence between goods flows location in warehouses and vehicles loading-unloading processes. New mathematical models and solving algorithm of problems of optimal air goods distribution in warehouses are presented.

Ключові слова: вантажний термінал аеропорту, система зберігання вантажів, моделювання, оптимальний розподіл вантажів.

Вступ. Щорічне збільшення обсягів авіаційних вантажних перевезень привертає все більше уваги науковців до дослідження роботи аеропортів і підвищення ефективності використання повітряного транспорту. Виникає необхідність у розробці рекомендацій по розрахунку систем високопродуктивних вантажних терміналів у аеропортах України.

Для використання сучасних методів розрахунку високопродуктивних систем зберігання вантажу важливе значення має вирішення задачі оптимального розміщення вантажів у вантажних терміналах, з метою підвищення ефективності використання засобів механізації у завантажувально-розвантажувальних процесах, що неможливо без математичного моделювання цієї системи.

Витрати коштів, пов'язані із термінами зберігання окремих категорій вантажів (небезпечних, швидкопсувних, цінних, живих тварин та ін.) в багатьох випадках не залежать від місця їх розміщення у складському приміщенні. Однак, вантажі з урахуванням їх типів і термінів відправлення, можна розмістити таким чином, щоб при виконанні завантаження та/чи розвантаження транспортного засобу кількість необхідних трудових ресурсів була мінімальною. Дослідженню цих задач і присвячена дана стаття, що є одним із необхідних етапів системного підходу при управлінні вантажопотоками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день, використовується широкий спектр математичних методів для розв'язання задач розподілу-розміщення. Задачі розміщення вантажів у багатокроковому процесі управління вантажопотоками, як правило, формуються як задачі нелінійного чи дискретного програмування.

© Іваннікова В. Ю., 2012

Вагомий внесок у розроблення теоретичних і методологічних основ створення механізмів вирішення цих задач зробили такі вітчизняні та зарубіжні науковці, як Михайлевич В.С., Трубин В.А., Шор Н.З., Юдін Д.Б., Гольштейн Є.М., Базар М., Шетті К., Томас Л., Орлін Дж., Т. Ху, Г.М. Юн [1–4].

В науковій роботі [1] викладені теоретичні питання та алгоритми рішення задач розміщення – розподілу з використанням дискретного простору, пов’язані із розробкою алгоритмів знаходження наближених рішень.

В роботі [2] розроблений метод динамічної декомпозиції для рішення спеціальних класів задач лінійного програмування, який може бути застосований до багатьох релаксованих задач, отриманих із дискретної постановки задач розміщення.

Спеціальні задачі лінійного дискретного програмування на транспортних багатогранниках, які виникають при виборі оптимального місця розміщення вантажного складу, відносно заданих пунктів обслуговування, у випадку, коли відомі координати можливих місць для будівництва, розглянуті в роботі [3].

У науковому дослідженні [4] викладені загальні методологічні підходи до вирішення задачі лінійного програмування. Однак, у всіх цих дослідження не враховується системний характер управління вантажопотоками.

Відсутність системних досліджень вітчизняних та зарубіжних науковців по проблемі оптимального розподілу вантажопотоків у вантажному терміналі аеропорту, доводить необхідність узагальнення теоретичного та практичного досвіду застосування різних математичних підходів для моделювання задач розміщення вантажних потоків, встановлення функціональної залежності між етапами розміщення вантажопотоків і завантаженням (розвантаженням) транспортних засобів. На підставі встановленої залежності можуть бути сформульовані математичні моделі задач, які виникають на різних етапах управління вантажопотоками у багатокроковому процесі системного підходу та розроблені алгоритми їх рішення, адаптовані до сучасних умов функціонування авіаційного ринку України.

Постановка завдання. Змодельовано дві задачі завантаження транспортного засобу, алгоритмами рішень яких, одночасно, визначаються варіанти розміщення вантажів у складських приміщеннях, які забезпечують підвищення ефективності процесу завантаження. Цінність моделі визначається її точністю, здатністю прогнозування, зручністю використання, а головне – підходом до проблеми: системним (комплексним) або таким, що враховує лише обмежений ряд параметрів та умов. Системний підхід до вивчення технологічних процесів обробки вантажу у вантажному комплексі заснований на таких принципах:

1. Реальні вантажопотоки є організованими, оскільки підпорядковані розкладу руху повітряних суден і вимогам технології процесу обробки.

2. Потоки вантажів на всьому шляху обробки неоднорідні і динамічні за своєю природою.

3. Зміна характеру та інтенсивності потоків, залишаючись стохастичними, має досить строгі закони.

При розміщенні складів, розстановці та виборі обладнання виникають задачі розподілу-розміщення з використанням дискретного простору. Задачі подібного типу формулюються як задачі мінімізації увігнутої функції на транспортних многогранниках або як задачі зміщеного цілочислового програмування. Їх математичною моделлю є задача нелінійного чи дискретного програмування зі специфічною структурою.

Нехай потрібно завантажити транспортний засіб із заданим об’ємом V_T . При цьому виникають такі задачі:

Задача № 1. Вантажний відсік повітряного судна, об’єм якого V_T потрібно максимально завантажити вантажем, який має найменший термін зберігання. Ця задача виникає при перевезенні швидкопсувних вантажів, термін зберігання яких обмежений у часі.

Задача № 2. Вантажний відсік повітряного судна, об’єм якого V_T потрібно максимально завантажити вантажем, відносно якого сумарний час простою засобів механізації, що використовуються, мінімальний. У цьому випадку мається на увазі нестача достат-

ньої кількості технологічного обладнання для виконання завантаження-розвантаження літака за виділений проміжок час.

Введемо деякі нові поняття та позначення для моделювання описаних задач. Нехай у вантажному складі знаходиться K категорій вантажів, і нехай B_k – обсяги k -ї категорії вантажу. Відносно кожної k -ї категорії вантажу, під терміном Т-блоки будемо розуміти сукупність обсягів цієї категорії вантажу, які мають однаковий час відправлення. Іншими словами, для кожної категорії вантажу Т-блоки – це розбиття загального обсягу певної категорії вантажу на декілька партій, які мають однаковий термін зберігання. Для кожної k -ї категорії вантажу число Т-блоків позначимо через P_k . Нехай, σ_{ki} та Q_{ki} – термін зберігання і обсяг k -ї категорії вантажу, який міститься в i -му Т-блоці, відповідно.

Математична модель та алгоритм рішення першої задачі (перевезення швидкопсувних вантажів)

Нехай, z_{ki} – невідомий обсяг k -ї категорії вантажу, призначеного для завантаження, і міститься він в i -му Т-блоці.

Враховуючи дані позначення, задача, яка виникає при завантаженні вантажного відсіку швидкопсувними вантажами із обмеженням у часі терміном зберігання, має такий вигляд:

знайти:

$$\max\{\sigma_{ki}; z_{ki} > 0\} \rightarrow \min \quad (1)$$

при обмеженнях:

$$\xi V_T \leq \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{P_k} z_{ki} \leq V_T, \quad (2)$$

$$0 \leq z_{ki} \leq Q_{ki} \quad (3)$$

де, ξ – коефіцієнт заповнення повітряного судна вантажем.

Розв’язок цієї задачі можна знайти, використовуючи «жадібний» алгоритм (рис.1). «Жадібний» алгоритм – це метод розв’язування оптимізаційних задач, побудований на тому, що процес прийняття рішення можна розбити на елементарні кроки, на кожному із яких приймається оптимальне рішення.

Рішення, яке приймається на кожному кроці, повинно бути оптимальним тільки на поточному кроці та прийматися без урахування попередніх чи наступних рішень.

Із описаного на рис.1 алгоритму видно, що для знаходження розв’язку задачі (1) – (3), «жадібний» алгоритм спочатку упорядковує різні категорії вантажів у порядку зростання термінів їх відправлення. Потім в установленому порядку вибираються різні категорії вантажів для завантаження повітряного судна. Знову, відповідно до порядку зростання термінів зберігання, вибираються обсяги вантажів для завантаження, а їх величина визначається по залишковому об’єму літака.

```

 $Q_{00} = 0;$ 
for  $k = 1, \dots, K = 1$  do
  for  $i = 1, \dots, P_k$  do
    to get  $\sigma_{11} \leq \dots \leq \sigma_{kP_k}$  for sequence  $\{\sigma_{ki}\};$ 
    if  $Q_{ki} \leq V_T - Q_{k-1i-1}$ 
      then  $z_{ki} = Q_{ki}; V_T = V_T - Q_{ki}$ 
    else  $z_{ki} = \max\{0, V_T - Q_{ki}\}$ 
    end
  end

```

Рис. 1. Формулювання «жадібного» алгоритму розв’язування задачі (1) – (3)

У встановленому порядку T -блоків різних вантажів розміщуються на спеціальних місцях складського приміщення таким чином, щоб підвищити ефективність роботи відповідного засобу механізації при виконанні завантажувально-розвантажувальних операцій.

Математична модель та алгоритм рішення другої задачі (нестача технологічного обладнання для завантаження літака за виділений проміжок часу)/

Перед тим як представити модель задачі № 2 нагадаємо, що найменший сумарний час простою має поточна лінія (сукупність технологічного обладнання різних типів), яка генерується відносно окремої категорії вантажу [5]. Сумарний час простою поточної лінії, генерованої відносно k -ї категорії вантажу, позначимо через C_{kk} [6]. Нехай z_k – невідомий обсяг k -ї категорії вантажу для завантаження повітряного судна. У прийнятих позначеннях ця задача має такий вигляд:

знайти:

$$\min \sum_{k=1}^K c_{kk} X_k \quad (4)$$

при обмеженнях:

$$\xi V_T \leq \sum_{k=1}^K z_k \leq V_T \quad (5)$$

$$0 \leq z_k \leq B_k X_k, \quad k = 1, \dots, K, \quad (6)$$

$$X_k = 0 \text{ чи } X_k = 1 \quad (7)$$

Для розв'язування описаної задачі можуть бути застосовані алгоритми задачі одного «рюкзака» [7]. Проте при розв'язуванні практичних задач, їх наближений розв'язок може бути знайдений знову за допомогою «жадібного» алгоритму. Відповідно до роботи

цього алгоритму, спочатку потрібно упорядкувати $\frac{C_{kk}}{B_k}$ для $k = 1, \dots, K$ у порядку спадан-

ня. Припустимо, що $\frac{C_{11}}{B_1} \leq \frac{C_{22}}{B_2} \leq \dots \leq \frac{C_{KK}}{B_K}$. Потім повітряне судно завантажувється ванта-

жами відповідно до цього порядку, так само як у представленому вище «жадібному» ал-

горитмі. Тільки зазначимо, що при $\frac{C_{rr}}{B_r} = \frac{C_{ss}}{B_s}$ для вантажів категорії r та s , першим пот-

рібно завантажувати той вантаж, який має більший обсяг, тобто якщо $B_r < B_s$ – першим

потрібно завантажувати вантаж типу s , якщо $B_r > B_s$ – то вантаж типу r . У випадку,

якщо $B_r = B_s$, вибір серед цих груп вантажів довільний.

Для розв'язування розглянутих вище задач, встановлені відповідні принципи розміщення вантажів у складських приміщеннях. Залежно від специфіки процесу завантаження чи розвантаження транспортного засобу, потрібно розмістити вантажі таким чином, щоб підвищити продуктивність технологічного обладнання, призначеного для виконання завантажувально-розвантажувальних процесів всередині складу.

Принципи визначення розмірів складських приміщень для зберігання окремих категорій вантажів

Припустимо, що обсяги z_{ki} для всіх категорій вантажів $k = 1, \dots, K$ i -го T -блоку визначені шляхом розв'язування задачі (1) – (3). За цим розв'язком, потрібно зарезервувати достатню площу вантажного складу для зберігання V_T обсягів вантажів, типи яких визначаються відповідно до встановленої вище процедури, тобто на даній площадці повинен розміщуватися z_{11} обсяг вантажу першого типу, z_{22} обсяг вантажу другого типу і т. д. При цьому координати зони розміщення цих вантажів відносно складського примі-

щення визначаються таким чином, щоб підвищити продуктивність роботи засобів механізації на цій площі.

Для досить великого значення V_T на згаданій площі можна розмістити $z_{ki} = Q_{ki}$ обсягів, для всіх категорій вантажів $k = 1, \dots, K$ i -го T -блоку.

Отже, шляхом розміщення різноманітних вантажів у певних місцях складського приміщення в установленому порядку можна підвищити ефективність роботи відповідних засобів механізації під час здійснення завантажувально-розвантажувальних процесів.

На основі описаної вище процедури, а також залежно від специфіки вантажів, можна визначити розміри складських приміщень для зберігання окремих категорії вантажу, таким чином, щоб підвищити ефективність процесів завантаження та/чи розвантаження транспортних засобів.

Висновки. У результаті проведених досліджень, встановлена функціональна залежність між розміщенням вантажопотоків у вантажних складах аеропортів та процесами завантаженням (розвантаженням) транспортного засобу, на основі якої сформульовані математичні моделі та розроблені алгоритми рішення задач оптимального розподілу авіаційних вантажів у складських приміщеннях, які забезпечують підвищення ефективності процесу завантаження (розвантаження).

Наведено новий розв'язок задач розміщення вантажів у складських приміщеннях, які розв'язуються за допомогою алгоритмів градієнтного типу. Доведено, що шляхом розміщення різноманітних вантажів в певних місцях складського приміщення в установленому порядку можна підвищити ефективність роботи відповідних засобів механізації під час виконання завантажувально-розвантажувальних операцій. Все це дозволяє перейти до розробки оптимальних технологічно-планувальних рішень вантажних комплексів аеропортів, що, звісно, сприятиме підвищенню ефективності функціонування авіаційної галузі нашої держави.

ЛІТЕРАТУРА

1. Базара М., Шетти К. Нелинейное программирование. Теория и алгоритмы. – М.: Мир, 1982. – 583 с.
2. Михайлович В. С., Трубин В. А., Шор Н. З. Оптимизационные задачи производственно-транспортного планирования. Модели, методы, алгоритмы. – М.: Наука, 1986. – 260 с.
3. Трубин В. А. Два класса задач размещения на древовидных сетях. // Кибернетика. – № 4. – 1983. – с. 84–87.
4. Юдин Д. Б., Гольштейн Е. М. Линейное программирование. Теория, методы и приложения. – М.: Наука, 1969. – 424 с.
5. Юн Г. М. Моделі оптимального розподілу механізмів при виконанні завантажувально-розвантажувальних процесів в аеропортах / Г. М. Юн, В. Ю. Гирич // Вісник інженерної академії України. – 2011. – № 1. – С. 188–191.
6. Юн Г. М. Алгоритми рішення задачі оптимального розподілу механізмів при виконанні завантажувально-розвантажувальних процесів в аеропортах / Г. М. Юн, В. Ю. Гирич // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства транспорту та зв'язку України: Серія «Транспортні системи і технології». – 2010. – № 17. – С. 129–135.
7. Ху Т. Целочисленное программирование и потоки в сетях. – М.: Мир, 1974. – 519 с.