

П.М. Таланчук, С.С. Забара, М.Т. Дехтярук

Автоматизована система оптимізації розподілу автомобілів по об'єктах перевезень

Разработана автоматизированная система оптимизации распределения подвижного состава (автомобилей) разных типов по объектам перевозок с целью получения максимальной прибыли от перевозок и минимизации суммарных затрат на них.

The automated system of optimisation of a rolling stock (cars) of the different types distribution on objects of transportations for the purpose of realizing of the maximum profit on the transportations and minimisation of the total expenses is developed.

Розроблено автоматизовану систему оптимізації розподілу рухомого складу (автомобілів) різних типів по об'єктах перевезень з метою одержання максимального прибутку від перевезень та мінімізації сумарних витрат на них.

Вступ. Транспорт є однією з найважливіших галузей економіки України і належить до галузі надання матеріальних послуг. З урахуванням провідної ролі цієї галузі в ринковій економіці управління транспортом виділяється в окремий блок, що одержав назву *транспортна логістика* [1, 2]. Вона складається з елементів, основними серед яких є: вантаж; пункти його зосередження; транспортна мережа; рухомий склад; навантажувально-розвантажувальні засоби; учасники логістичних процесів; тара та пакування.

Локальні технологічні процеси, які відбуваються у всіх ланках транспортної логістичної системи, мають певні особливості, залежні від роду вантажу, виду транспорту і його структури, галузевої характеристики, стану елементів логістичного процесу. Для реалізації мети, задач і функцій логістики на цьому рівні необхідно, щоб різноманітні логістичні технології могли бути з'єднані в єдиний технологічний процес, в якому необхідне дотримання єдиних логістичних принципів і єдиних вимог [2, 3].

Аналіз останніх наукових публікацій показує, що проблемам оптимізації транспортних логістичних систем приділяється значна увага як у вітчизняній, так і в зарубіжній науковій літературі [4–11]. Так, в роботах [4–8] розглянуто проблеми оптимізації маршрутизації та переміщення вантажопотоків аналітичними методами, в роботі [9] – моделювання транспортно-складської системи на основі теорії масового обслуговування, в роботі [10] викорис-

тано методи моделювання логістичних транспортних систем на основі нечіткої логіки, а в [11] – на основі генетичних алгоритмів.

В цих роботах використано різні аналітичні методи оптимізації режимів роботи транспортних логістичних систем на основі теорії масового обслуговування, нечіткої логіки та генетичних алгоритмів або узагальнюючого характеру.

Прогрес інформаційних технологій та інформаційних систем посприяв значному підвищенню ефективності транспортної логістики, а інформаційно-комп'ютерна підтримка посіла належне місце серед ключових логістичних функцій.

Постановка задачі

Ефективним способом проектування та оптимізації транспортних логістичних процесів є комп'ютерне моделювання [12]. Комп'ютерні моделі являють собою програму, яка крок за кроком відтворює події, що відбуваються в реальній системі. Перевагою таких моделей є можливість підміни процесу заміни подій у досліджуваній системі в реальному масштабі часу на прискорений процес зміни подій під час роботи програми. В результаті за кілька хвилин можна відтворити роботу системи протягом певного часу (декількох днів, тижнів, місяців), що дає можливість оцінити роботу досліджуваної системи в широкому діапазоні змінюваних параметрів.

Для створення комп'ютерних моделей використовуються як універсальні системи програмування – *Visual C++*, *Borland C++ Builder*, *Delphi*, так і спеціалізовані системи, розроблені спе-

ціально для побудови алгоритмів моделювання: *GPSS*, *SIMSCRIPT*, *SIMULA*, *SIMPLE++* та ін. [12]. У цих системах передбачено засоби автоматичного керування послідовністю змін (подій) у моделі, динамічного розподілу даних у пам'яті, необхідного для побудови складних моделей, стандартні програми статистичної обробки результатів моделювання і т.ін.

Метою даної статті є використання сучасних комп'ютерних інформаційних технологій для моделювання й оптимізації режимів роботи транспортних логістичних систем. За допомогою системи візуального проектування *Borland C++ Builder* розроблено автоматизовану систему оптимізації розподілу рухомого складу (автомобілів) різних типів по об'єктах перевезень з метою одержання максимального прибутку та мінімізації сумарних затрат на перевезення.

Математична модель розподілу рухомого складу

При обслуговуванні об'єктів, таких як порти, залізничні станції, вантажні автомобільні станції (завезення й вивіз вантажів), деякі бази матеріально-технічного постачання й інші, виникає комплексне завдання оптимізації закріплення транспортних засобів, що обслуговують об'єкт, і керування залученням додаткових транспортних засобів, а також використання вільних транспортних засобів.

Парк транспортних засобів, що обслуговують будь-який заданий об'єкт, характеризується кількістю, спеціалізацією й вантажопідйомністю одиниць рухомого складу, призначених для виконання перевезень. Максимальна кількість вантажів, що може бути перевезена парком транспортних засобів у заданий період часу (доба) при повному використанні технічних можливостей, визначає його провізну спроможність.

Раціональний розподіл рухомого складу різних типів по об'єктах перевезень відноситься до розподільних задач лінійного програмування. У найпростішому випадку така задача формулюється у спосіб, описаний у [13].

Нехай є m типів рухомого складу в кількостях A_1, A_2, \dots, A_m , достатніх для обслуговування об'єктів (або сукупностей об'єктів, включених у кільцеві маршрути), з обсягами вивозу

P_1, P_2, \dots, P_n т, причому автомобіль кожного типу можна використовувати на будь-якому об'єкті (сукупності об'єктів) перевезень. Позначимо добовий виробіток рухомого складу j -го типу на k -му об'єкті перевезень через $P_{дiб\ jk}$, собівартість перевезення 1 т вантажу – $S_{m\ jk}$ і прибуток на 1 т перевезеного вантажу – $\Pi_{m\ jk}$. Відповідно x_{jk} – кількість автомобілів j -го типу, що виділяються для роботи на k -му об'єкті.

Потрібно скласти план використання автомобілів $X = \|x_{jk}\|$ за умови, що загальна потреба в транспортних засобах для всіх об'єктів дорівнює наявній їхній кількості або менше неї:

$$\sum_{k=1}^n x_{jk} \leq A_j \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (1)$$

З кожного об'єкта вантаж має бути вивезений відповідно до потреби, тобто

$$\sum_{k=1}^n P_{дiб\ jk} x_{jk} = P_k \quad k = 1, 2, \dots, m. \quad (2)$$

Крім того, змінні $x_{jk} > 0$ мають задовольняти один із критеріїв оптимізації:

сумарний прибуток від перевезень

$$\Pi = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n \Pi_{m\ jk} P_{дiб\ jk} x_{jk} \rightarrow \max; \quad (3)$$

сумарну вантажопідйомність автомобілів

$$Q = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n q_j x_{jk} \rightarrow \min; \quad (4)$$

сумарні витрати на перевезення

$$S = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n S_{m\ jk} P_{дiб\ jk} x_{jk} \rightarrow \min. \quad (5)$$

Математична формалізація задачі розподілу рухомого складу як задачі лінійного програмування передбачає врахування великої кількості факторів. Розглянута постановка задачі розподілу автомобілів застосовується у випадках, коли використанню автомобіля на кожному з об'єктів (або їхньої сукупності, що включається в кільцевий маршрут) можна поставити у відповідність добовий виробіток автомобіля $P_{дiб\ jk}$. На розвізних маршрутах у кожному конкретному випадку розподілу автомобілів відповідає певний набір неповторюваних маршрутів, що істотно ускладнює розв'язання задачі. У таких випадках варто застосовувати спрощені евристичні методи розв'язання.

Структура програмного комплексу

На основі математичної моделі, відповідно до формул (1) – (5), розроблено автоматизовану систему оптимізації розподілу рухомого складу (автомобілів) різних типів по об'єктах перевезень з метою одержання максимального прибутку та мінімізації сумарних затрат на перевезення.

Автоматизовану систему реалізовано у вигляді програмного комп'ютерного комплексу, розробленого з застосуванням середовища візуального проектування *Borland C++ Builder* – графічної автоматизованої оболонки над об'єктно-орієнтованою мовою програмування *C++*. Середовище проектування *Borland C++ Builder* містить повний набір візуальних інструментів для швидкісної розробки додатків (*Rapid Application Development – RAD*), що підтримує розробку інтерфейсу користувача і підключення до корпоративних баз даних [14].

Програмний комплекс складається з головної форми *Form1*, на якій розміщується компонент *TabControl*, що являє собою набір панелей з закладками. Кожна панель може вміщувати свій набір інтерфейсних елементів і вибирається при натисканні на зв'язаній з нею закладці. Вибір закладки розпізнається програмою і використовується для управління вмістом її компонентів. Компонент *TabControl* складається з чотирьох закладок, кожна з яких є окремою підпрограмою.

Підпрограма оптимізації сумарного прибутку від перевезень дає можливість виконати оптимальний розподіл обсягів вантажу P_k , вивезеного з n об'єктів автомобілями j -го типу, виділеними для роботи на k -му об'єкті, знаходиться на закладці *Max П* (рис. 1). Розрахунки виконуються на основі формули (3). Всі значення числових величин виражаються в умовних одиницях.

Спочатку задається розмірність таблиць (кількість рядків та колонок), що створюються з використанням компонент *StringGrid*. Далі формуються таблиці «Прибуток від перевезень» та «Оптимізація перевезень» заданої розмірності при натисканні на кнопку «Створити». Рядки таблиць відповідають прибутку від перевезення 1 т вантажу – P_{mjk} , автомобілями j -го типу.

Колонки таблиць відповідають числу об'єктів n з обсягами вивозу вантажу P_k (або сукупностей об'єктів, включених в кільцеві маршрути).



Рис 1. Вікно підпрограми оптимізації сумарного прибутку

За допомогою кнопки «Початкові дані» в таблицю «Прибуток від перевезень» заносяться дані про прибуток від перевезення 1 т вантажу – P_{mjk} . В крайню праву колонку таблиці заносяться загальні обсяги вантажу P_j , що виконуються автомобілями j -го типу. В нижній рядок таблиці заносяться загальні обсяги вивозу вантажу P_k з n об'єктів. В таблицю «Оптимізація перевезень» заносяться нулі.

Для забезпечення виконання основної функції підпрограми *розподіл автомобілів для вивезення вантажу з n об'єктів* з метою одержання максимального сумарного прибутку від перевезень, необхідно активізувати кнопку «Оптимізація», натиснувши на кнопку «Активізувати».

Після цього, при натисканні на кнопку «Оптимізація», виконується розподіл обсягів вантажу P_k , вивезеного з n об'єктів автомобілями j -го типу, які виводяться в таблицю «Оптимізація прибутку». Величина максимального сумарного прибутку від перевезень показується в нижній частині вікна під назвою «Максимальний прибуток = 1840» (умовних вартісних одиниць – у.в.о.).

Очищення даних, занесених у таблиці «Прибуток від перевезень», «Оптимізація прибутку» та результати розрахунку відбувається при натисканні на кнопку «Очистити». Кнопка «Вихід» завершує роботу даної програми.

Підпрограма мінімізації вантажопідйомності автомобілів (закладка *Min Q*) виконує розподіл рухомого складу (автомобілів) різної

вантажопідйомності q_m по об'єктах перевезень з метою мінімізації затрат на перевезення.

Вікно підпрограми показано на рис. 2.

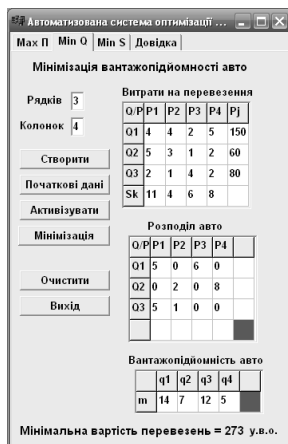


Рис. 2. Вікно підпрограми мінімізації вантажопідйомності автомобілів

Розрахунки виконуються на основі формули (4). Аналогічно формуються таблиці «Витрати на перевезення», «Розподіл авто» та «Вантажопідйомність авто» заданої розмірності при натисканні на кнопку «Створити». Рядки верхніх двох таблиць відповідають обсягам вантажу Q_j , перевезеного автомобілями з вантажопідйомністю q_m , що виділяються для роботи на k -му об'єкті. Колонки таблиць відповідають кількості об'єктів n з обсягами вивозу вантажу P_k .

Далі в таблицю «Витрати на перевезення» заносяться дані про собівартість перевезення 1 т вантажу S_{mjk} автомобілями з вантажопідйомністю q_m при натисканні на кнопку «Початкові дані». При цьому в крайню праву колонку таблиці заносяться загальні обсяги вантажу Q_j , а в нижній рядок таблиці заноситься сумарна собівартість 1 т вантажу S_{mjk} , перевезеного автомобілями різної вантажопідйомності q_m . В таблицю «Вантажопідйомність авто» заносяться величини вантажопідйомності автомобілів q_m . В таблицю «Розподіл авто» заносяться нулі.

Тепер аналогічно необхідно натиснути на кнопку «Активізувати», що активізує кнопку «Мінімізація» і стає можливою основна функція підпрограми – мінімізація вантажопідйомності автомобілів q_m з метою мінімізації сумарних затрат на перевезення.

При натисканні на кнопку «Мінімізація» виконується розподіл автомобілів x_{jk} різної ван-

тажопідйомності q_m з метою мінімізації вантажопідйомності автомобілів, які виводяться в таблицю «Розподіл авто». Величина мінімальних затрат на перевезення, в даному випадку, показується в нижній частині вікна під назвою «Мінімальна вартість перевезень = 273» (у.в.о.).

Кнопки «Очистити» та «Вихід», розміщені в даній закладці, мають аналогічне призначення.

Підпрограма мінімізації сумарних затрат на перевезення (закладка *Min S*) дозволяє виконати розподіл обсягів вантажу, вивезеного з об'єктів P_k автомобілями j -го типу, що виділяються для роботи на k -му об'єкті за різних умов роботи, до яких відноситься розмір завезеної партії вантажу, відстань пробігу автомобіля між суміжними пунктами завезення вантажів, умови навантаження і розвантаження, а також коефіцієнти використання пробігу, технічні швидкості автомобілів та ін.

Вікно підпрограми показано на рис. 3. Розрахунки виконуються на основі формули (5). Спочатку також формуються таблиці «Витрати на перевезення» та «Мінімізація перевезень» заданої розмірності, при натисканні на кнопку «Створити». Рядки таблиць відповідають собівартості перевезення 1 т вантажу S_{mjk} автомобілями j -го типу. Колонки таблиці відповідають кількості об'єктів n з обсягами вивозу вантажу P_k .



Рис. 3. Вікно підпрограми мінімізації сумарних затрат на перевезення

Початкові дані про собівартість перевезення 1 т вантажу S_{mjk} автомобілями j -го типу заносяться в таблицю «Витрати на перевезення» при натисканні на кнопку «Початкові дані». В крайню праву колонку таблиці заносяться загальні обсяги вантажу P_j , перевезеного авто-

мобілями j -го типу. В нижній рядок таблиці заносяться загальні обсяги вивозу вантажу P_k з n об'єктів. В таблицю «Мінімізація перевезень» заносяться нулі.

Після активізації кнопки «Мінімізація» стає можливою основна функція підпрограми – розподіл автомобілів для вивезення вантажу з n об'єктів з метою мінімізації сумарних затрат на перевезення.

За допомогою кнопки «Мінімізація» виконується розподіл обсягів вантажу P_k , вивезеного з n об'єктів, які виводяться в таблицю «Мінімізація перевезень». Результати роботи підпрограми показуються в нижній частині вікна під назвою «Мінімальна вартість перевезень = 1010» (у.в.о.).

Призначення кнопок «Очистити» та «Вихід», розміщених на даній закладці, аналогічне.

Довідка. На даній закладці знаходяться матеріали довідкового характеру: математична модель задачі раціонального розподілу рухомого складу по об'єктах перевезень, опис послідовності виконання дій (інструкція) з підпрограмами та інші матеріали, необхідні для ефективної роботи з програмним комп'ютерним комплексом.

Дослідження свідчать, що вибір критерію, відповідно до формул (3) – (5), залежить від конкретних умов. Якщо загальна провізна спроможність автотранспортних засобів недостатня (що приводить до нагромадження вантажів на перевезення), задача зводиться до визначення варіанту розподілу, який забезпечує виконання планованих перевезень рухомим складом мінімальної сумарної вантажопідйомності для вивільнення більших провізних можливостей для інших перевезень. Тому необхідно використовувати критерій (4). Якщо провізна спроможність транспортних засобів достатня, оперують критерієм (5), тобто мінімізують витрати на перевезення.

Може трапитися, що наявних автомобілів недостатньо для виконання планованих перевезень. В такій постановці задача не має розв'язання. Якщо немає можливості збільшити кількість транспортних засобів, то необхідно зменшити обсяги перевезень. При цьому враховують пріоритет перевезень (відносну їх важливість), зважаючи не тільки на транспортні фактори (прибуток автотранспортного підприємства,

собівартість перевезень і продуктивність рухомого складу), але й на можливі в кожному конкретному випадку втрати у відправників вантажів через їх нагромадження і у вантажоодержувачів внаслідок недотримання вимог на перевезення.

При розподілі автомобілів різної вантажопідйомності на маршрутах необхідно враховувати розмір завезеної партії вантажу, відстань пробігу автомобіля між суміжними пунктами завезення вантажів та ін. Якщо при цьому суттєво розрізняються лише відстані доставки, то автомобілі більшої вантажопідйомності варто направляти насамперед на маршрути більш віддалені. Найчастіше автомобілі більшої вантажопідйомності є й більш продуктивними (крім випадків можливого недовикористання вантажопідйомності, що завжди потребує окремого аналізу). Очевидно, що за інших рівних умов рухомий склад більшої вантажопідйомності доцільно використовувати в першу чергу там, де його застосування дасть більший відносний приріст продуктивності, тобто там, де більша відносна зміна продуктивності автомобіля за вантажопідйомністю. При добовому оперативному плануванні перевезень це дозволяє скоротити кількість автомобіле-днів, необхідних для виконання заданого обсягу перевезень.

Якщо задачею передбачено виконання плану перевезень у мінімально короткий термін, то при розподілі рухомого складу по об'єктах перевезень слід зважати на питому вагу часу руху автомобіля в загальних його витратах на перевезення за різних умов роботи. За однакових умов навантаження й розвантаження, а також рівних коефіцієнтах використання пробігу й технічних швидкостей автомобіля вантажопідйомність пропорційна відстані пробігу. Тобто, якщо ставиться задача здійснити перевезення в мінімально короткий термін, то доцільно автомобілі більшої вантажопідйомності використовувати в першу чергу на маршрутах зі значними відстанями й у міру виконання там програми направляти їх на маршрути з відстанями перевезень, найближчими.

Висновки. На основі математичної моделі розроблено автоматизовану систему оптиміза-

ції розподілу рухомого складу (автомобілів) різних типів по об'єктах перевезень. Автоматизовану систему реалізовано у вигляді програмного комп'ютерного комплексу із застосуванням середовища візуального проектування *Borland C++ Builder*. Програмний комплекс складається з головної форми *Form1*, на якій розміщується компонент *TabControl*, що являє собою набір панелей з закладками, кожна з яких становить собою окрему підпрограму.

Підпрограма оптимізації сумарного прибутку від перевезень дає можливість виконати оптимальний розподіл обсягів вантажу P_k , вивезеного з n об'єктів автомобілями j -го типу, виділених для роботи на k -му об'єкті, для одержання максимального сумарного прибутку від перевезень.

Підпрограма мінімізації вантажопідйомності автомобілів виконує розподіл рухомого складу різної вантажопідйомності q_m по об'єктах перевезень з метою мінімізації витрат.

Підпрограма мінімізації сумарних витрат на перевезення дозволяє виконати розподіл обсягів вантажу, вивезеного з об'єктів P_k автомобілями j -го типу, за різних умов роботи (розміру завезеної партії вантажу, відстані пробігу автомобіля між суміжними пунктами завезення вантажів, умов навантаження й розвантаження, а також коефіцієнтів використання пробігу й технічної швидкості автомобілів та ін.), для одержання мінімальних сумарних витрат на перевезення.

1. Бакаєв О.О., Кутах О.П., Пономаренко Л.А. Теоретичні засади логістики: Підручник. У 2 т. – К.: Фенікс, 2005. – 951 с.
2. Логистика автомобильного транспорта: Учеб. пособие / В.С. Лукинский, В.И. Бережной, Е.В. Бережная и др. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 368 с.

3. Смирнов И.Г., Косарева Т.В. Транспортна логістика: Навч. посібник. – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 224 с.
4. Eksioglu B., Vural A.V., Reisman A. The vehicle routing problem: A taxonomic review // Computers & Industrial Engineering. – 2009. – 57, № 4. – P. 1472–1483.
5. Dabia S., Ropke S., Van Woensel T. Branch and cut and price for the time dependent vehicle routing problem with time windows // Transportation Science. – 2010. – 361, № 11. – P. 56–62.
6. Холоденко А.М., Горб О.С. Рівноваги виробничо-транспортної системи зі зворотним завантаженням контейнерів // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ. – 2011. – 17. – С. 183–199.
7. Ляшенко Н.И. Создание временных шлюзов второго порядка в логистической цепи поставок // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. пр.– Одеса: ОНМУ. – 2009. – 15. – С. 54–69.
8. Kholodenko A., Gorb O. Supply chain equilibriums under non-linear cost functions of participants // Montenegrin j. of economics. – 2010. – № 6. □ – P. 5–8.
9. Кічкава О.І. Моделювання поведінки транспортно-складської системи. Ч. 1. // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ: СУНУ. – 2012. – № 6 (177). – С. 312–314.
10. Дудукалов Ю.В. Применение методов нечеткого моделирования для оптимизации транспортных систем // Вісн. СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь. – 2011. – 122. – С. 61–64.
11. Hosny M.I., Mumford C.L. Investigating genetic algorithms for solving the multiple vehicle pickup and delivery problem with time windows // Metaheuristic Int. Conf., MIC-2009. – 2009. – P. 36–39.
12. Томашевский В.Н. Моделювання систем.– К.: Вид. група ВHV, 2007. – 352 с.
13. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки. – Киев: Вища шк., 1986. – 447 с.
14. Калверт Ч., Рейслорф К. *Borland C++ Builder*. Энциклопедия программиста. – М.: ДиаСофтЮП, 2010. – 1008 с.

Поступила 03.09.2013

Тел. для справок: +38 044 957-4513, 424-6274, 452-4068, 450-7725, 409-2414, 122-6922 (Киев)

E-mail: dekh@ukr.net

© П.М. Таланчук, С.С. Забара, М.Т. Дехтярук, 2013

П.М. Таланчук, С.С. Забара, М.Т. Дехтярук

Автоматизированная система оптимизации распределения автомобилей по объектам перевозок

Введение. Транспорт – одна из важнейших областей экономики Украины и относится к области материальных

услуг. С учетом ведущей роли этой отрасли в рыночной экономике управление транспортом выделяется в от-

дельный блок, получивший название *транспортная логистика* [1, 2]. Она состоит из элементов, основными из которых есть: груз; пункты сосредоточения груза; транспортная сеть; подвижной состав; погрузочно-разгрузочные средства; участники логистических процессов; тара и упаковка.

Локальные технологические процессы, происходящие во всех звеньях транспортной логистической системы, имеют ряд особенностей, зависящих от рода груза, вида транспорта и его структуры, отраслевой характеристики, состояния элементов логистического процесса. Для реализации цели, задач и функций логистики на этом уровне необходимо, чтобы разнородные логистические технологии могли быть объединены в единый технологический процесс, в котором необходимо соблюдение единых логистических принципов и требований [2, 3].

Анализ последних научных публикаций показывает, что проблемам оптимизации транспортных логистических систем уделяется значительное внимание как в отечественной, так и в зарубежной научной литературе [4–11]. Так, в работах [4–8] рассмотрены проблемы оптимизации маршрутизации и перемещение грузопотоков аналитическими методами, в работе [9] рассматривается моделирование транспортно-складской системы на основе теории массового обслуживания, в работе [10] используются методы моделирования логистических транспортных систем на основе нечеткой логики, а в работе [11] – на основе генетических алгоритмов.

В этих работах используются разные аналитические методы оптимизации режимов работы транспортных логистических систем на основе теории массового обслуживания, нечеткой логики и генетических алгоритмов или они носят обобщающий характер.

Прогресс информационных технологий и информационных систем способствовал значительному повышению эффективности транспортной логистики, а информационно-компьютерная поддержка заняла надлежащее место среди ключевых логистических функций.

Постановка задачи

Эффективным способом проектирования и оптимизации транспортных логистических процессов есть компьютерное моделирование [12]. Компьютерные модели представляют собой программу, которая шаг за шагом воссоздает события, происходящие в реальной системе. Преимущество таких моделей – возможность замены процесса изменения событий в исследуемой системе в реальном масштабе времени на ускоренный процесс изменения событий в процессе работы программы. В результате за несколько минут можно воссоздать работу системы на протяжении определенного времени (несколько дней, недель, месяцев), что дает возможность оценить работу исследуемой системы в широком диапазоне изменяемых параметров.

Для создания компьютерных моделей используются как универсальные системы программирования – *Visual C++*, *Borland C++ Builder*, *Delphi*, так и специализиро-

ванные системы, разработанные специально для построения алгоритмов моделирования: *GPSS*, *SIMSCRIPT*, *SIMULA*, *SIMPLE++* и др. [12]. В этих системах предполагаются средства автоматического управления последовательностью изменений (событий) в модели, динамического распределения данных в памяти, необходимого для построения сложных моделей, стандартные программы статистической обработки результатов моделирования и т.п.

Цель данной статьи – использование современных компьютерных информационных технологий для моделирования и оптимизации режимов работы транспортных логистических систем. С помощью системы визуального проектирования *Borland C++ Builder* разработана автоматизированная система оптимизации распределения подвижного состава (автомобилей) разных типов по объектам перевозок с целью получения максимальной прибыли от перевозок и минимизации суммарных затрат на перевозку.

Математическая модель распределения подвижного состава

При обслуживании объектов, таких как порты, железнодорожные станции, грузовые автомобильные станции (ввоз и вывоз грузов), некоторые базы материально-технического снабжения и другие, возникает комплексная задача оптимизации закрепления транспортных средств, обслуживающих объект, и управление привлечением дополнительных транспортных средств, а также использование свободных транспортных средств.

Парк транспортных средств, обслуживающих любой заданный объект, характеризуется количеством, специализацией и грузоподъемностью единиц подвижного состава, предназначенных для выполнения перевозок. Максимальное количество грузов, которые могут быть перевезены парком транспортных средств в заданный период времени (сутки) при полном использовании технических возможностей, определяет его провозную способность.

Рациональное распределение подвижного состава разных типов по объектам перевозок относится к распределительным задачам линейного программирования. В простейшем случае такая задача формулируется так, как предложено в [13].

Пусть имеется m типов подвижного состава в количествах A_1, A_2, \dots, A_m , достаточных для обслуживания объектов (или совокупностей объектов, включаемых в кольцевые маршруты), с объемами вывоза P_1, P_2, \dots, P_n т, причем автомобиль каждого типа можно использовать на любом объекте (совокупности объектов) перевозок. Обозначим суточную выработку подвижного состава j -го типа на k -м объекте перевозок через $P_{сут,jk}$, себестоимость перевозки 1 т груза – $S_{m,jk}$ и прибыль на 1 т перевезенного груза – $\Pi_{m,jk}$. Соответственно x_{jk} – количество автомобилей j -го типа, которые выделяются для работы на k -м объекте.

Требуется составить план использования автомобилей $X = \| x_{jk} \|$ при условии, что общая потребность в

транспортных средствах для всех объектов равна имеющемуся их количеству или меньше того:

$$\sum_{k=1}^n x_{jk} \leq A_j \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (1)$$

Из каждого объекта груз должен быть вывезен в соответствии с потребностью, т.е.

$$\sum_{k=1}^n P_{\text{сут } jk} x_{jk} = P_k \quad k = 1, 2, \dots, m. \quad (2)$$

Кроме того, переменные $x_{jk} > 0$ должны удовлетворять одному из критериев оптимизации:

суммарной прибыли от перевозок

$$\Pi = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n \Pi_{mjk} P_{\text{сут } jk} x_{jk} \rightarrow \max; \quad (3)$$

суммарной грузоподъемности автомобилей

$$Q = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n q_j x_{jk} \rightarrow \min; \quad (4)$$

суммарным затратам на перевозку

$$S = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n S_{mjk} P_{\text{сут } jk} x_{jk} \rightarrow \min. \quad (5)$$

Математическая формализация задачи распределения подвижного состава как задачи линейного программирования предусматривает учет многих факторов. Рассмотренная постановка задачи распределения автомобилей применяется в случаях, когда использованию автомобиля на каждом из объектов (или их совокупности, включаемой в кольцевой маршрут) можно поставить в соответствие суточную выработку автомобиля $P_{\text{сут } jk}$. На развозочных маршрутах в каждом конкретном случае распределения автомобилей соответствует определенный набор неповторяющихся маршрутов, существенно усложняющий решение задачи. В таких случаях следует применять упрощенные, эвристические, методы решения.

Структура программного комплекса

На основе математической модели, согласно формулам (1) – (5), разработана автоматизированная система оптимизации распределения подвижного состава (автомобилей) разных типов по объектам перевозок с целью получения максимальной прибыли и минимизации суммарных затрат на перевозку.

Автоматизированная система реализована в виде программного компьютерного комплекса, разработанного с применением среды визуального проектирования *Borland C++ Builder* – графической автоматизированной оболочки над объектно-ориентированным языком программирования C++. Среда проектирования *Borland C++ Builder* содержит полный набор визуальных инструментов для скоростной разработки приложений (*Rapid Application Development – RAD*), поддерживающий разработку интерфейса пользователя и подключение к корпоративным базам данных [14].

Программный комплекс состоит из главной формы *Form1*, на которой размещается компонент *TabControl*,

представляющий собой набор панелей с закладками. Каждая панель может содержать свой набор интерфейсных элементов и выбирается при нажатии на связанной с ней закладке. Выбор закладки распознается программой и используется для управления содержимым ее компонентов. Компонент *TabControl* состоит из четырех закладок, каждая из которых представляет собой отдельную подпрограмму.

Подпрограмма оптимизации суммарной прибыли от перевозок дает возможность выполнить оптимальное распределение объемов груза P_k , вывезенного с n объектов автомобилями j -го типа, выделенными для работы на k -м объекте, находится на закладке *Max Π* (рис. 1). Расчеты выполняются на основе формулы (3). Все значения числовых величин выражаются в условных единицах.

Сначала задается размерность таблиц (количество строк и колонок), создаваемых с использованием компонент *StringGrid*. Далее формируются таблицы «Прибыль от перевозок» и «Оптимизация перевозок» заданной размерности при нажатии на кнопку «Создать». Строки таблиц соответствуют прибыли от перевозки 1 т груза – Π_{mjk} автомобилями j -го типа. Колонки таблиц соответствуют числу объектов n с объемами вывоза груза P_k (или совокупностей объектов, включаемых в кольцевые маршруты).



Рис. 1. Окно подпрограммы оптимизации суммарной прибыли

С помощью кнопки «Начальные данные» в таблицу «Прибыль от перевозок» вносятся данные о прибыли от перевозки 1 т груза – Π_{mjk} . В крайнюю правую колонку таблицы заносятся общие объемы груза P_j , выполняемые автомобилями j -го типа. В нижнюю строку таблицы вносятся общие объемы вывоза груза P_k с n объектов. В таблицу «Оптимизация перевозок» – нули.

Для выполнения основной функции подпрограммы – распределение автомобилей для вывоза груза с n объектов с целью получения максимальной суммарной прибыли от перевозок, необходимо активизировать кнопку «Оптимизация», нажав на кнопку «Активизировать».

Затем при нажатии кнопки «Оптимизация», выполняется распределение объемов груза P_k , вывезенного с n объектов автомобилями j -го типа, которые выводятся в таблицу «Оптимизация прибыли». Величина максималь-

ной суммарной прибыли от перевозок показывается в окне под названием «Максимальная прибыль = 1840» (условных стоимостных единиц – у.с.е.).

Очищение данных, занесенных в таблицы «Прибыль от перевозок», «Оптимизация прибыли» и результатов расчета происходит при нажатии на кнопку «Очистить». Кнопка «Выход» завершает работу данной программы.

Подпрограмма минимизации грузоподъемности автомобилей (закладка *Min Q*) выполняет распределение подвижного состава разной грузоподъемности q_m по объектам перевозок с целью минимизации затрат на перевозку.

Окно подпрограммы показано на рис. 2. Расчеты выполняются на основе формулы (4). Аналогично формируются таблицы «Затраты на перевозку», «Распределение авто» и «Грузоподъемность авто» заданной размерности при нажатии на кнопку «Создать». Строки верхних двух таблиц соответствуют объемам груза Q_j , перевезенного автомобилями грузоподъемностью q_m , выделенных для работы на k -м объекте. Колонки таблиц соответствуют количеству объектов n с объемами вывоза груза P_k .

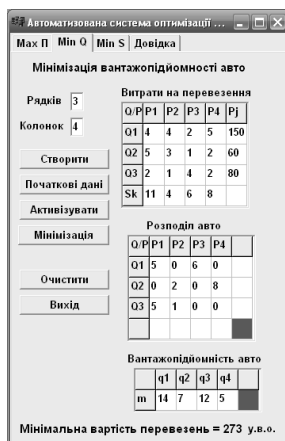


Рис. 2. Окно подпрограммы минимизации грузоподъемности автомобилей

Далее в таблицу «Затраты на перевозку» вносятся данные о себестоимости перевозки 1 т груза – S_{mjk} автомобилями грузоподъемностью q_m при нажатии на кнопку «Начальные данные». При этом в крайнюю правую колонку таблицы вносятся общие объемы груза Q_j , а в нижнюю строку таблицы – суммарная себестоимость 1 т груза S_{mjk} , перевезенного автомобилями разной грузоподъемности q_m . В таблицу «Грузоподъемность авто» вносятся величины грузоподъемности автомобилей q_m . В таблицу «Распределение авто» – нули.

Далее необходимо нажать на кнопку «Активизировать», чем активизируем кнопку «Минимизация» и реализуем основную функцию подпрограммы – минимизацию грузоподъемности автомобилей q_m с целью минимизации суммарных затрат на перевозку.

При нажатии кнопки «Минимизация» выполняется распределение автомобилей x_{jk} с разной грузоподъемно-

стью q_m с целью минимизации грузоподъемности автомобилей, которые выводятся в таблицу «Распределение авто». Величина минимальных затрат на перевозку, в данном случае, показывается в окне «Минимальная стоимость перевозок = 273» (у.с.е.).

Кнопки «Очистить» и «Выход», размещенные на данной закладке, имеют аналогичное назначение.

Подпрограмма минимизации суммарных затрат на перевозку (закладка *Min S*) позволяет выполнить распределение объемов груза, вывезенного из объектов P_k автомобилями j -го типа, выделяемыми для работы на k -м объекте при разных условиях, к которым относится размер завезенной партии груза, расстояние пробега автомобиля между сопредельными пунктами доставки грузов, условия загрузки и разгрузки, а также коэффициенты использования пробега, технические скорости автомобилей и др.

Окно подпрограммы показано на рис. 3. Расчеты выполняются на основе формулы (5). Сначала также формируются таблицы «Затраты на перевозку» и «Минимизация перевозок» заданной размерности при нажатии на кнопку «Создать». Строки таблиц соответствуют себестоимости перевозки 1 т груза – S_{mjk} автомобилями j -го типа. Колонки таблицы соответствуют количеству объектов n с объемами вывоза груза P_k .



Рис. 3. Окно подпрограммы минимизации суммарных затрат на перевозку

Начальные данные о себестоимости перевозки 1 т груза – S_{mjk} автомобилями j -го типа вносятся в таблицу «Затраты на перевозку» при нажатии на кнопку «Начальные данные». В крайнюю правую колонку таблицы вносятся общие объемы груза P_j , перевезенного автомобилями j -го типа. В нижнюю строку – общие объемы вывоза груза P_k с n объектов. В таблицу «Минимизация перевозок» – нули.

После активизации кнопки «Минимизация» возможна основная функция подпрограммы – распределение автомобилей для вывоза груза с n объектов с целью минимизации суммарных затрат на перевозку.

С помощью кнопки «Минимизация» выполняется распределение объемов груза P_k , вывезенного с n объектов, которые вводятся в таблицу «Минимизация перевозок».

Результаты работы подпрограммы показаны в окне «Минимальная стоимость перевозок = 1010» (у.с.е.).

Назначение кнопок «Очистить» и «Выход», размещенных на данной закладке, – аналогично.

Справка. На данной закладке размещены материалы справочного характера: математическая модель задачи рационального распределения подвижного состава по объектам перевозок, описание последовательности выполнения действий (инструкция) с подпрограммами и другие материалы, необходимые для эффективной работы с программным компьютерным комплексом.

Исследования показывают, что выбор критерия, согласно формулам (3) – (5), зависит от конкретных условий. Если общая провозная способность автотранспортных средств недостаточная (что приводит к накоплению грузов на перевозку), задача сводится к определению варианта распределения, обеспечивающего выполнение запланированных перевозок подвижным составом минимальной суммарной грузоподъемности для высвобождения провозных способностей для других перевозок. Поэтому необходимо использовать критерий (4). Если провозная способность транспортных средств достаточна, оперируют критерием (5), т.е. минимизируют затраты на перевозку.

Может случиться, что наличных автомобилей недостаточно для выполнения планируемых перевозок. В такой постановке задача не имеет решения. Если нет возможности увеличить количество транспортных средств, то необходимо уменьшить объемы перевозок. При этом учитывают приоритет перевозок (их относительную актуальность), принимая во внимание не только транспортные факторы (прибыль автотранспортного предприятия, себестоимость перевозок и производительность подвижного состава), но и возможные в каждом конкретном случае потери у отправителей груза в результате их накопления и у получателей вследствие неудовлетворения требований по перевозке.

При распределении автомобилей различной грузоподъемности на маршрутах необходимо учитывать размер завезенной партии груза, расстояние пробега автомобиля между сопредельными пунктами завозки грузов и др. Если при этом существенно различаются лишь расстояния доставки грузов, то автомобили большей грузоподъемности следует направлять прежде всего на маршруты более отдаленные. Чаше всего автомобили большей грузоподъемности более продуктивны (кроме случаев возможного недоиспользования грузоподъемности, которая всегда нуждается в отдельном анализе). Очевидно, что при прочих равных условиях подвижной состав большей грузоподъемности целесообразно использовать в первую очередь там, где его применение даст наибольший относительный прирост производительности,

т.е. там, где больше относительное изменение производительности автомобиля по грузоподъемности. При точном оперативном планировании перевозок это позволит сократить количество автомобиле-дней, необходимых для выполнения заданного объема перевозок.

Если задачей предусмотрено выполнение плана перевозок в минимально короткий срок, то при распределении подвижного состава по объектам перевозок следует учитывать удельный вес времени движения автомобиля в общих затратах времени на перевозку при разных условиях работы. При одинаковых условиях погрузки и разгрузки, а также равных коэффициентах использования пробега и технических скоростей автомобиля грузоподъемность пропорциональна расстоянию пробега автомобиля, т.е., если ставится задача осуществить перевозку в минимально короткий срок, то целесообразно автомобили большей грузоподъемности использовать в первую очередь на маршрутах со значительными расстояниями и в меру выполнения там программы направлять их на ближайшие маршруты перевозок.

Заключение. На основе математической модели разработана автоматизированная система оптимизации распределения подвижного состава (автомобилей) разных типов по объектам перевозок. Автоматизированная система реализована в виде программного компьютерного комплекса с применением среды визуального проектирования *Borland C++ Builder*. Программный комплекс состоит из главной формы *Form1*, на которой размещается компонент *TabControl*, представляющий собой набор панелей с закладками, каждая из которых – отдельная подпрограмма.

Подпрограмма оптимизации суммарной прибыли от перевозок дает возможность выполнить оптимальное распределение объемов груза P_k , вывезенного с n объектов автомобилями j -го типа, которые выделяются для работы на k -м объекте, для получения максимальной суммарной прибыли от перевозок

Подпрограмма минимизации грузоподъемности автомобилей выполняет распределение подвижного состава (автомобилей) разной грузоподъемности q_m по объектам перевозок с целью минимизации затрат на перевозку.

Подпрограмма минимизации суммарных затрат на перевозку позволяет выполнить распределение объемов груза, вывезенного из объектов P_k автомобилями j -го типа, при разных условиях работы (размере завезенной партии груза, расстоянии пробега автомобиля между сопредельными пунктами доставки грузов, условий загрузки и разгрузки, а также коэффициентов использования пробега, технические скорости автомобилей и др.), для получения минимальных суммарных затрат на перевозку.