

УДК 004.94(045)

## **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ**

**С.С. ЗАБАРА, М.Т. ДЕХТЯРУК**

Розроблено автоматизовану систему оптимізації вантажних перевезень на транспортній мережі, яку реалізовано у вигляді програмного комп'ютерного комплексу із застосуванням середовища візуального проектування Borland C++ Builder. Програмний комплекс складається з головної форми, з якої завантажуються дві підпрограми. Використовуючи підпрограму «Оптимізація маршрутизації перевезень» проведено пошук оптимальних маршрутів при транспортних перевезеннях вантажів на заданій транспортній мережі за різними схемами (від однієї вершини (постачальника) до всіх інших вершин (споживачів), по черзі від кожної вершини до всіх інших вершин, від двох (або декількох) заданих вершин до всіх інших вершин). За допомогою підпрограми «Оптимізація транспортних перевезень вантажів» виконується оптимізація перевезень вантажів між пунктами постачання та пунктами споживання, з урахуванням обмежень на об'єми вантажів у пунктах відправлення та призначення.

### **ВСТУП**

Транспорт є однією з найважливіших галузей економіки України. Від стабільної й ефективної роботи транспорту значною мірою залежить добробут населення, розвиток національної економіки та безпека держави. Транспорт належить до галузі виробництва матеріальних послуг. З урахуванням провідної ролі транспорту в ринковій економіці, управління транспортом виділяється в окремий блок, який має назву транспортна логістика [1, 2].

Транспортна логістика включає в себе низку елементів, основними з яких є: вантаж; пункти зосередження вантажу; транспортна мережа; рухомий склад; навантажувально-розвантажувальні засоби; учасники логістичних процесів; тара та пакування. Основні резерви вдосконалення транспортного логістичного процесу знаходяться в раціональній організації взаємодії учасників ланцюга доставки, у погодженні їх інтересів та пошуку взаємовигідних та придатних рішень [2, 3].

Для аналізу й проектування логістичних транспортних систем застосовують методологічні принципи, основними з яких є [3]:

- Системний підхід — всі елементи логістичної системи розглядаються як взаємопов'язані та взаємодіючі для досягнення єдиної цілі управління. Отже, застосування системного підходу передбачає оптимізацію функціонування не окремих елементів, а логістичної системи в цілому.

- Принцип глобальної оптимізації — оптимізація структури логістичної системи потребує узгодженості локальних цілей функціонування елементів (ланок) системи з метою досягнення глобального оптимуму.

- Принцип моделювання та інформаційно-комп'ютерної підтримки — використання різних моделей: математичних, економіко-математичних, графічних, фізичних, імітаційних тощо.

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

В цих роботах використовуються різні аналітичні методи оптимізації режимів роботи транспортних логістичних систем на основі теорії масового обслуговування, нечіткої логіки та генетичних алгоритмів, або аналітичні методи носять узагальнюючий характер.

Прогрес інформаційних технологій та інформаційних систем дав змогу значно підвищити ефективність транспортної логістики, а інформаційно-комп'ютерна підтримка посіла належне місце серед ключових логістичних функцій.

## **ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ**

Ефективним способом проектування та дослідження 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 зміни подій у досліджуваній системі в реальному масштабі часу на прискорений процес зміни подій у темпі роботи програми. У результаті за кілька хвилин можна відтворити роботу системи протягом певного часу (декількох днів, тижнів, місяців), що дає можливість оцінити роботу системи, яка досліджується 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 спеціально для побудови алгоритмів моделювання: GPSS, SIMSCRIPT, SIMULA, SIMPLE++ тощо [12]. У цих системах передбачаються 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 (накопичення і виводу гістограм, середніх значень випадкових величин, їхніх дисперсій тощо).

**Мета роботи** — 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 вантажних перевезень на транспортній мережі, яка здійснює процедуру пошуку

найкоротших відстаней та визначення оптимальних обсягів перевезень на заданій транспортній мережі.

### МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАДАЧІ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Для знаходження самого економічного плану перевезення вантажів у транспортній логістиці застосовуються спеціалізовані методи, ефективніші, ніж методи, призначені для розв'язання загальних задач лінійного програмування. Серед цих методів ключове місце займає маршрутизація транспортних перевезень (транспортна задача (ТЗ)), яка належить до класу задач лінійного програмування

Класичне формулювання ТЗ виглядає так: у  $m$  пунктах відправлення (виробництва чи видобування) (ПВ)  $(A_1, A_2, \dots, A_m)$  знаходиться, відповідно,  $a_1, a_2, \dots, a_m$  одиниць однорідного (або взаємозамінного) вантажу (ресурсу), який потрібно доставити в  $n$  пунктів призначення (споживання) (ПП)  $(B_1, B_2, \dots, B_n)$  в необхідній кількості  $b_1, b_2, \dots, b_n$  одиниць. Позначимо через  $a_i$  — запаси вантажу в  $i$ -му пункті відправлення ПВ  $A_i$ , через  $b_j$  — потреби у вантажі в  $j$ -му пункті призначення ПП  $B_j$ , через  $x_{ij}$  — кількість одиниць вантажу, який перевозиться з пункту  $A_i$  у пункт  $B_j$ , а  $c_{ij}$  — тарифи (вартість) перевезень одиниці вантажу з  $i$ -го пункту відправлення в  $j$ -й пункт призначення [13, 14]. Математична модель транспортної задачі записується в такий спосіб.

Визначити значення функції мети:

$$Z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (1)$$

за умов-обмежень:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i & (i = \overline{1, m}); \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j & (j = \overline{1, n}). \end{cases} \quad (2)$$

При цьому необхідно, щоб перевезення були невід'ємними:

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}). \quad (3)$$

Функція мети  $Z$  є загальною вартістю всіх перевезень. Її записано у вигляді подвійної суми. Внутрішня сума відповідає пунктам виробництва, а зовнішня — пунктам споживання.

Перевезти вантаж потрібно таким чином, щоб задовольнити всі замовлення, при цьому критерієм оптимальності є мінімальна вартість, або мінімальний час його доставки.

ТЗ можуть бути двох типів:

- *закритої типу* (коли сумарний обсяг вантажу в усіх ПВ дорівнює сумарному обсягу споживання в усіх ПП):

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j. \quad (4)$$

• *відкритого типу* (коли сумарний обсяг вантажу в усіх ПВ не дорівнює сумарному обсягу споживання в усіх ПП):

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j \quad \text{або} \quad \sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j. \quad (5)$$

Під час розв'язання ТЗ, як правило, задачі відкритого типу зводяться до ТЗ закритого типу. Існують два найбільш відомі методи зведення відкритих ТЗ до збалансованого виду:

- введення додаткового (фіктивного) ПВ або ПП вантажу;
- зменшення обсягу попиту (пропозиції) на величину невідповідності в одному з ПП (ПВ).

Далі задачі розв'язуються методами, розробленими для закритих транспортних задач.

Транспортна задача, як відомо, є комбінаторною, або NP-повною задачею, точне рішення якої через факторіальний ріст числа необхідних операцій у багатьох випадках вимагає підключення надпотужних комп'ютерних засобів. Тому існують десятки наближених методів рішення задачі обмеженої розмірності ( $m$  та  $n$  — кілька десятків об'єктів).

На практиці, як правило, реальні транспортно-логістичні структури формуються за територіально-виробничими принципами і обмежуються декількома суміжними районами або областями, на території яких розміщуються виробники та споживачі певної продукції або ресурсів, як правило це декілька десятків об'єктів. Тому, запропоновану автоматизовану систему оптимізації вантажних перевезень на транспортній мережі розраховано на розв'язування саме таких транспортних задач середньої складності.

## ОПТИМІЗАЦІЯ МАРШРУТИЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Особливої уваги заслуговує така транспортна задача, в якій необхідно мінімізувати час виконання заданих обсягів робіт. Критерієм розв'язування таких ТЗ може бути час, оскільки у певних життєвих ситуаціях, таких як практичне планування перевезень, необхідно звести до мінімуму загальний час перевезень, а не транспортні витрати на перевезення. Цей критерій часто використовується під час виконання сільськогосподарських робіт, перевезенні сировини та продукції, яка швидко псується тощо.

Оптимальним планом для такої ТЗ буде план, згідно з яким весь вантаж від ПВ до ПП буде доставлено якнайшвидше. Тобто потрібно розподілити поставки (перевезення) таким чином, щоб час найдовшого перевезення був мінімальним. За умови, що всі перевезення розпочнуться одночасно (з невеликою похибкою), то план перевезень буде виконано за час, який дорівнює найдовшому перевезенню.

Задачі про найкоротші шляхи належать до фундаментальних задач комбінаторної оптимізації тому, що багато з них можна звести до пошуку найкоротшого шляху на мережі [14, 15]. Існують різні типи задач про найкоротший шлях:

- між двома заданими вершинами;

- між даною вершиною і всіма іншими;
- між кожною парою вершин у мережі;
- між двома заданими вершинами для шляхів, що проходять через одну або кілька зазначених вершин;
  - перший, другий, третій тощо, найкоротші шляхи в мережі.

На сьогодні алгоритмів пошуку оптимального рішення ТЗ розроблено досить багато, але практично на увагу заслуговують лише кілька з них, зокрема відомі алгоритми Дейкстри та Флойда [16].

Метод Дейкстри шукає найкоротший шлях від заданої вершини (джерела) до всіх інших вершин на графі. Метод Флойда шукає найкоротший шлях по черзі від кожної вершини до всіх інших і цим же він відрізняється від Дейкстри. Матричний метод дуже схожий з методом Флойда, він дозволяє знайти матрицю  $D$ , елементи якої будуть рівні мінімальним величинам маршрутів, а також знайти відстань з кожної вершини в саму себе.

Транспортна задача значно ускладнюється у виробничо-транспортних економічних системах, які виробляють сировину і продукцію в широкому асортименті на декількох незалежних ПВ<sub>*i*</sub>, а для перевезення їх використовуються різні види транспорту. При цьому слід зауважити, що на практиці перевезення можуть здійснюватися як безпосередньо від постачальників до споживачів, так і через декілька проміжних пунктів, створюючи складні транспортні комунікації.

ТЗ у такому трактуванні належать до класу мережевих задач. Інтерпретація ТЗ у мережевій формі дає можливість врахувати пропускну спроможність окремих ділянок транспортної мережі. У мережевій формі легше врахувати навантаження та розвантаження на проміжних станціях, кожна з яких розглядається як вузол.

Слід також зауважити, що розв'язання мережевих ТЗ безпосередньо на топології транспортної мережі не дозволяє здійснювати алгоритмізацію та подальшу автоматизацію пошуку оптимального плану перевезень на базі сучасної комп'ютерної техніки.

При цьому доцільніше подавати мережеву ТЗ у матричному вигляді, що дозволяє здійснити алгоритмізацію пошуку оптимального рішення. У роботі запропоновано метод мінімізації матричної форми мережевих ТЗ, що значно спрощує процедуру розв'язання мережевих ТЗ великої розмірності і зменшує обсяги необхідних обчислювальних операцій.

Для розв'язання цієї задачі розглянуті алгоритми не можуть бути застосовані, оскільки алгоритм Дейкстри недостатній (за ним знаходимо лише один рядок із матриці найкоротших відстаней), а алгоритм Флойда надлишковий (генерує матрицю найкоротших відстаней між будь-якими ПВ<sub>*i*</sub> та ПП<sub>*j*</sub>).

Запропоновано більш економічний та ефективний метод розв'язання мережевих ТЗ великої розмірності, які поєднують методи рішення класичної ТЗ у матричній формі з модифікацією відомого методу Дейкстри для знаходження найкоротших відстаней у мережі сполучень між ПВ<sub>*i*</sub> та ПП<sub>*j*</sub>, заданих у вигляді графу. Саме це поєднання дозволяє здійснити чітко визначену алгоритмізацію мережевої ТЗ і застосувати для її розв'язання сучасні комп'ютерні технології.

Модифікація алгоритму Дейкстри полягає у включенні до нього впорядкованої системи перебору вершин-постачальників ( $m$ ), з одного боку, та

вершин-користувачів ( $n$ ), з другого. Тобто ми додаємо два вкладені цикли: перебір усіх постачальників, як вершину  $V_m$  та усіх користувачів, як вершину  $V_n$ . Завдяки цьому можна знайти найкоротші шляхи від кожного постачальника до кожного користувача і визначити вартісні характеристики перевезень безпосередньо від  $PV_i$  до  $ПП_j$ , враховуючи проміжні вузли.

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ**

Оптимізація транспортних перевезень вантажів починається з побудови опорного (базисного) плану, який у подальшому покращується з метою одержання оптимального плану перевезень, застосовуючи один зі стандартних методів знаходження оптимальних планів перевезень.

Серед багатьох методів побудови опорних планів уваги заслуговують три з них — це методи північно-західного кута (через свою простоту), найменшого елемента в усій транспортній таблиці (через свою економічність) і апроксимації Фогеля (через свою результативність) [13, 14].

Побудову опорного плану за методом північно-західного кута починають із заповнення лівої верхньої клітинки таблиці ( $x_n$ ), в яку записують менше з двох чисел  $a_1$  та  $b_1$ . Далі переходять до наступної клітинки в рядку або у стовпчику і заповнюють її тощо. Закінчують заповнювати таблицю у правій нижній клітинці.

Ідея методу мінімальної вартості полягає в тому, що на кожному кроці заповнюють клітинку таблиці, яка має найменшу вартість перевезення одиниці продукції. Такі дії повторюють доти, доки не буде розподілено всю продукцію між постачальниками та споживачами.

**Метод апроксимації Фогеля.** За цим методом на кожному кроці визначають різницю між двома найменшими вартостями в кожному рядку і стовпчику транспортної таблиці. Ці різниці записують у спеціально відведених місцях таблиці. Серед усіх різниць вибирають найбільшу, і у відповідному рядку або стовпчику заповнюють клітинку з найменшою вартістю. Якщо ж однакових найбільших різниць кілька, то вибирають будь-який відповідний рядок або стовпчик. Коли залишається незаповненим лише один рядок або стовпчик, то обчислення різниць припиняють, а таблицю продовжують заповнювати за методом мінімальної вартості.

Отриманий опорний план транспортної задачі необхідно привести до оптимального плану перевезень. Існує кілька методів оптимізації ТЗ, а точніше приведення до оптимального плану перевезень складеного раніше опорного плану. Всі вони дають однакові результати. Застосувавши до отриманого опорного плану один із стандартних методів знаходження оптимальних планів перевезень (симплексний, розподільний, метод потенціалів, метод диференціальних рент), можна одержати оптимальний план перевезень [13, 14].

Процес роботи більшості методів оптимізації ТЗ базується на побудові замкнутих контурів для перерозподілу вантажопотоків. Найпоширенішим методом для оптимального розв'язування ТЗ є метод потенціалів, так як він не вимагає складання збільшеної кількості додаткових таблиць з оцінками комірок, а помилка у попередніх розрахунках виправляється на наступних

кроках. Метод потенціалів дозволяє, виходячи з деякого опорного плану, побудувати за кінцеве число ітерацій оптимальний план перевезень.

Кількість ітерацій, необхідних для розв'язання ТЗ методом потенціалів, суттєво залежить від первинного плану. Вдалий вибір методу побудови опорного плану може значно зменшити кількість ітерацій і тим самим прискорити процес рішення задачі. Тому дуже важливо мати досить простий метод, який найчастіше дозволяє будувати план близький до оптимального.

## СТРУКТУРА ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ

Алгоритми оптимізації маршрутизації, які розглянуто, та вантажних перевезень на транспортній мережі реалізовано у вигляді програмного комп'ютерного комплексу, який дає змогу автоматизувати процедуру пошуку найкоротших відстаней між заданими множинами вершин у мережі та визначення оптимальних обсягів перевезень на заданій транспортній мережі.

Комплекс розроблено із застосуванням середовища візуального проектування Borland C++ Builder — графічної автоматизованої оболонки над об'єктно-орієнтованою мовою програмування C++. Середовище проектування Borland C++ Builder містить у собі повний набір візуальних інструментів для швидкісної розробки додатків, що підтримує розробку інтерфейсу користувача і підключення до корпоративних баз даних.

Програмний комплекс складається з головної форми, з якої завантажуються дві підпрограми.

**Оптимізація маршрутизації перевезень.** На рис. 1 показано орієнтований граф транспортної мережі, на якій виконується пошук оптимальних маршрутів під час транспортних перевезень вантажів за різними схемами

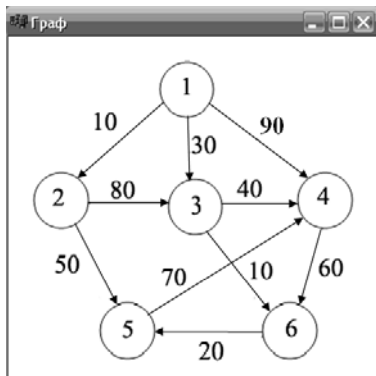


Рис. 1. Граф транспортної мережі для визначення оптимальних маршрутів

(від однієї вершини (постачальника) до всіх інших вершин (споживачів), по черзі від кожної вершини до всіх інших вершин, від двох (або декількох) заданих вершин до всіх інших вершин). При цьому перевезення вантажів можуть здійснюватися як безпосередньо від постачальників до споживачів, так і через один або декілька проміжних пунктів.

Вершинами на графі позначено пункти відправлення та призначення. З'єднані дугами вершини відповідають пунктам, які мають транспортне сполучення. Числа, що знаходяться біля кожної дуги, відповідають відстаням між даними пунктам (у. о.).

Вікно підпрограми для визначення оптимальних маршрутів транспортних перевезень вантажів за різними схемами показано на рис. 2. Оптимізація маршрутизації перевезень виконується наступним чином. Спочатку вводиться кількість існуючих вершин графа. Потім у «Таблицю відстаней» (рис. 2) заносяться початкові дані, тобто відстані, у вигляді матриці, між пунктами, що мають сполучення між собою. Слід зауважити, що введення початкових даних можливе безпосередньо у матрицю або програмним способом, шляхом попереднього внесення даних

у програму і занесенні їх у матрицю перевезень, натискаючи на кнопку «Початкові дані».

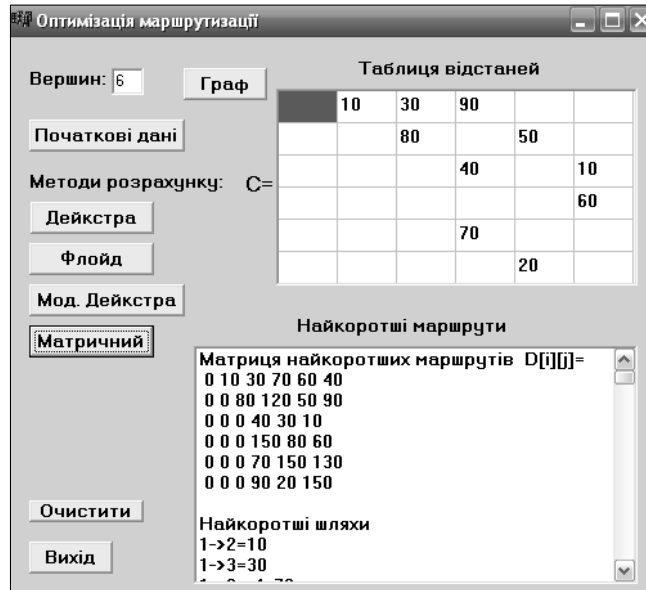


Рис. 2. Вікно підпрограми для визначення оптимальних маршрутів

Пошук найкоротших маршрутів, за відповідними алгоритмами [16], відбувається, натискаючи на кнопки «Дейкстра», «Флойд», «Мод. Дейкстра», «Матричний». Якщо розрахунки виконуються методом «Мод. Дейкстра», пункти 1, 2 приймаються як пункти відправлення, а пункти 3, 4, 5, 6 — як пункти призначення. Виведення кінцевих результатів розрахунків виконується у таблицю «Найкоротші маршрути».

Натискаючи на кнопку «Очистити» відбувається очищення даних, занесених у таблицю «Найкоротші маршрути». Форма з графом маршрутів перевезень (рис. 1) виводиться при натисканні на кнопку «Граф». Кнопка «Вихід» завершує роботу цієї підпрограми.

Результати розрахунку найкоротших маршрутів, виконано за різними алгоритмами (див. табл.).

Таблиця. Методи розрахунку найкоротших маршрутів

Методи розрахунку			
Дейкстри	Флойда		Модифікований Дейкстри
	1 → 2 = 10	4 → 1 = 460	
	1 → 2 = 10	4 → 2 = 460	
	1 → 3 → 4 = 70	4 → 3 = 460	
	1 → 2 → 5 = 60	4 → 6 → 5 = 80	
	1 → 3 → 6 = 40	4 → 6 = 60	
1 → 2 = 10	2 → 1 = 460	5 → 1 = 460	1 → 3 = 30
1 → 3 = 30	2 → 3 = 80	5 → 2 = 460	1 → 3 → 4 = 70
1 → 3 → 4 = 70	2 → 3 → 4 = 120	5 → 3 = 460	1 → 2 → 5 = 60
1 → 3 → 6 → 5 = 60	2 → 5 = 50	5 → 4 = 70	1 → 3 → 6 = 40
1 → 3 → 6 = 40	2 → 3 → 6 = 90	5 → 4 → 6 = 130	2 → 3 = 80
	3 → 1 = 460	6 → 1 = 460	2 → 3 → 4 = 120
	3 → 2 = 460	6 → 2 = 460	2 → 5 = 50
	3 → 4 = 40	6 → 3 = 460	2 → 3 → 6 = 90
	3 → 6 → 5 = 30	6 → 5 → 4 = 90	
	3 → 6 = 10	6 → 5 = 20	



З таблиці видно, що результати розрахунку найкоротших маршрутів між відповідними вершинами, які одержано різними методами, співпадають. Так, розрахунок оптимальних маршрутів між вершиною 1 та всіма іншими вершинами, одержано різними методами, дають однакові результати. Результати розрахунку найкоротших маршрутів між вершинами 1, 2 та всіма іншими вершинами, одержані методом Флойда та модифікованим методом Дейкстри, також співпадають.

**Оптимізація транспортних перевезень вантажів.** На рис. 3 показано неорієнтований граф транспортної мережі, на якій виконується оптимізація перевезень вантажів між пунктами відправлення та пунктами призначення, з урахуванням обмежень на об'єми вантажів у пунктах відправлення та призначення.

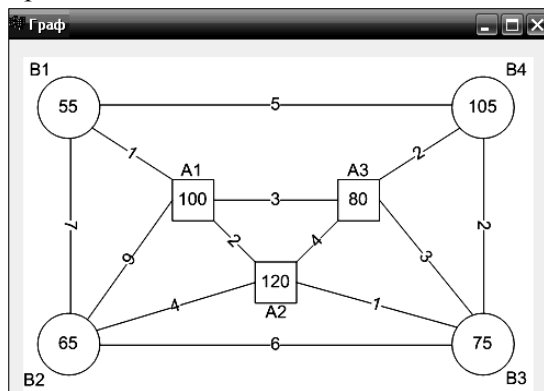


Рис. 3. Граф транспортної мережі, на якій виконується оптимізація перевезень вантажів

Варто біля кожного ребра (у.о.). Об'єми постачання проставлено у вершинах пунктів відправлення, а об'єми споживання — у вершинах пунктів призначення (у.о.).

Необхідно відшукати найкоротші маршрути транспортування між пунктами відправлення і призначення, включаючи рух через проміжні пункти (ними можуть бути як пункти відправлення, так і пункти призначення). Розрахунки проводяться з використанням математичної моделі транспортної задачі (1)–(4). Критерієм оптимальності є мінімальна вартість перевезень.

На рис. 4 показано результати розрахунку оптимізації перевезень вантажів між пунктами відправлення та пунктами призначення на транспортній мережі зображено на рис. 3.

Оптимізація транспортних перевезень вантажів виконується наступним чином. Натискаючи на кнопку «Початкові дані» заповнюються таблиці «Вартості перевезень С», тобто вартості перевезень між пунктами, що мають сполучення між собою, дані про постачальників «Постачальники А» — об'єми вантажів у пунктах постачання, та споживачів «Споживачі В» — потреби у вантажах у пунктах споживання. При цьому також можливе введення початкових даних безпосередньо у матрицю, або програмним способом, шляхом попереднього внесення даних у програму і занесенні їх у матрицю перевезень при натисканні на кнопку «Початкові дані».

Далі необхідно натиснути кнопку «Найкоротші маршрути» для визначення найкоротших маршрутів між пунктами постачання та споживання, які виконуються за модифікованим методом Дейкстри та заносяться в «Транспортну таблицю».

Побудова опорного плану виконується методом найменшого (мінімального) елемента таблиці, натискаючи на кнопку «Опорний план». Внаслідок чого дані виводяться у «Таблицю перевезень», а в поле таблиці «Найкоротші маршрути» виводяться найкоротші маршрути, які одержано модифікованим методом Дейкстри.

Оптимізація одержаного опорного плану перевезень виконується мето-

дом потенціалів, натискаючи на кнопку «Оптимізація». Результати оптимізації виводяться у «Таблицю перевезень» (рис. 4).

Компоненти Label служать для виводу цільової функції на кожній ітерації та для інформування користувача про знаходження оптимального плану перевезень відповідно.

Кнопки «Очисти», «Граф» та «Вихід», які розміщено на цій формі, мають аналогічне призначення.

Рис. 4. Вікно підпрограми для оптимізації транспортних перевезень вантажів

## ВИСНОВКИ

В роботі розроблено автоматизовану систему оптимізації вантажних перевезень на транспортній мережі у вигляді програмного комп'ютерного комплексу із застосуванням середовища візуального проектування Borland C++ Builder — графічної автоматизованої оболонки над об'єктно-орієнтованою мовою програмування C++. Програмний комплекс складається з головної форми, з якої завантажуються дві підпрограми.

- Використовуючи підпрограму *Оптимізація маршрутизації перевезень* проведено пошук оптимальних маршрутів транспортних перевезень вантажів на заданій транспортній мережі за різними схемами (від однієї вершини (постачальника) до всіх інших вершин (споживачів), по черзі від кожної вершини до всіх інших вершин, від двох (або декількох) заданих вершин до всіх інших вершин). При цьому перевезення вантажів можуть здійснюватися як безпосередньо від постачальників до споживачів, так і через один або декілька проміжних пунктів.

- За допомогою підпрограми *Оптимізація транспортних перевезень вантажів* виконується оптимізація перевезень вантажів між пунктами постачання та пунктами споживання, з урахуванням обмежень на об'єми ван-

тажів у пунктах відправлення та призначення. Критерієм оптимальності є мінімальна вартість перевезень.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бакаєв О.О., Кутах О.П., Пономаренко Л.А. Теоретичні засади логістики: Підручник. У 2-х 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. — Вип.17. — С. 183–199.
7. Ляшенко Н.И. Создание временных шлюзов 2-го порядка в логистической цепи поставок // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. — Одеса: ОНМУ. — 2009. — Вип.15. — С. 54–69.
8. Kholodenko A., Gorb O. Supply chain equilibriums under non-linear cost functions of participants // Montenegrin journal of economics. — 2010. — № 6. — P. 5–8.
9. Кічка О.І. Моделювання поведінки транспортно-складської системи // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. — Луганськ: СУНУ. — 2012. — № 6 (177). — Ч. 1. — С. 312–314.
10. Дудукалов Ю.В. Применение методов нечеткого моделирования для оптимизации транспортных систем // Вісник СевНТУ: Серія: Машиноприладобудування та транспорт. — Севастополь. — 2011. — Вип. 122/2011. — 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 International Conference, MIC-2009. — 2009. — P. 36–39.
12. Томашевский В.Н. Моделирование систем. — К.: Видавнична група ВНУ, 2007. — 352 с.
13. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій. Підручник, вид. 8. — К.: Вид. дім «Слово», 2010. — 816 с.
14. Ржевський С.В., Александрова В.М. Дослідження операцій: Підручник. — К.: Академвидав, 2006. — 560 с.
15. Пападимитриу С., Стайглиц К. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность: Пер. с англ. — М.: Мир, 1985. — 325 с.
16. Ахо А., Хопкрофт Д., Ульман Д. Структуры данных и алгоритмы.: Пер. с англ. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2001. — 384 с.

Надійшла 26.06.2013