УДК 519.876.3:656.073
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/17

Кисельов В.Б.
Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Прокудін Г.С.
Національний транспортний університет

Поліщук В.П.
Національний транспортний університет

Чупайленко О.А.
Національний транспортний університет

ОРГАНІЗАЦІЯ НЕЗБАЛАНСОВАНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ

Транспортна система України є частиною єдиної європейської транспортної системи, але потрібна ще велика робота із приведення національної транспортної системи у відповідність із міжнародними стандартами. Під час здійснення вантажних перевезень часто виникає ситуація, коли обсяги перевезених вантажів від постачальників перевищують можливості складських приміщень споживачів. У цьому випадку виникає необхідність використання проміжних пунктів для тимчасового зберігання надлишків вантажу, потребується вирішення багатоетапної транспортної задачі. Також часто матриця транспортних кореспонденцій між постачальниками, споживачами і проміжними пунктами не задається в явному вигляді, а просто вводиться картосхема їх розміщення, тобто транспортне завдання задається за допомогою транспортної мережі. Такі ситуації потребують наукових досліджень для вирішення проблем незбалансованих вантажних перевезень і створення прогресивних транспортних технологій, які дозволять підвищити ефективність роботи транспортної системи з використанням сучасних інформаційних технологій.

У роботі досліджено процеси здійснення незбалансованих вантажних перевезень і розроблені методи, які дозволяють розробити оптимальні плани вантажних перевезень. Розроблено програмно-інструментальний комплекс, який включає переведення мережевого виду схеми перевезення вантажів до табличного виду, що дозволяє ефективно вирішити багатоетапну транспортну задачу з використанням сучасних інформаційних технологій. За допомогою використання програмно-інструментального комплексу вирішується задача оптимальної організації незбалансованих перевезень вантажу в транспортних системах. Використання програмно-інструментального комплексу в реальних транспортних системах дає можливість менеджеру швидко вибрати найбільш ефективний варіант оптимізації вантажних перевезень на транспортних мережах, використовуючи розроблену комп'ютерну програму.

Ключові слова: *транспортна задача, оптимізація, незбалансовані вантажні перевезення, програмно-інструментальний комплекс.*

Постановка проблеми. У сучасних умовах господарювання в галузі транспортної системи держави важливим напрямом розвитку є об'єднання з європейською транспортною системою, відповідність міжнародним стандартам, узгодження національного законодавства у сфері транспортної галузі до міжнародного законодавства. Під час здійснення вантажних перевезень можуть бути випадки, коли обсяги поставок вантажу перевищують можливості складів споживачів. У цьому випадку виникає необхідність використання проміжних пунктів для тимчасового зберігання надлишків вантажу і необхідність вирішення багатоетапної транспортної задачі. Для вирішення цієї проблеми, тобто прискорення вирішення такої задачі, менеджерам потрібно використовувати спеціальні комп'ютерні програми, які дозволять швидко вирішити транспортну задачу для підвищення ефективності роботи транспортного підприємства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Унаслідок зростання кількості ланцюгів постачання у транспортної мережи, які відбуваються в Україні, та під впливом явищ глобалізації

постійно змінюються схеми постачання вантажів на підприємства. Вони стають довшими і складнішими за структурою. Використання сучасних інформаційних технологій посилює інтеграцію як окремих ланок ланцюгів постачання, так і ускладнення самої системи постачання. Такі зміни руху матеріальних потоків приводять до збільшення вантажообігу як у міжміських, так і в міжнародних перевезеннях на автомобільному транспорті.

Для зазначеного класу транспортних задач (ТЗ) розроблені досить досконалі методи їх розв'язання (Дейкстра, Канторович, Кожин, Бідняк, Воркут, Четверухін) [1, с. 47; 2, с. 308; 3, с. 236; 4, с. 144]. Але досить вагомим недоліком матричних методів оптимізації рішення ТЗ є те, що вони спроможні дати оптимальний план перевезень лише на транспортної мережі (ТМ) з орієнтованими графами

У сучасних умовах набуває значення використання вантажних митних комплексів (ВМК) та терміналів, які дозволяють зберігати імпортні вантажі без сплати митних платежів, виплачуючи тільки орендну плату за зберігання. Такий варіант використання складських приміщень значно підвищує ефективність міжнародних перевезень. Технологія доставки вантажу із застосуванням ВМК як проміжних тимчасових пунктів його збереження при регулярних перевезеннях дозволить збільшити кількість автопоїздів автотранспортних підприємств (АТП) на маршрутах та підвищити ефективність їх використання [4, с. 56].

У міжнародних перевезеннях вантажів пунктом перевантаження може виступати ВМК, який знаходиться на українській стороні кордону. Транзитні можливості транспортної системи України дозволяють підвищити транскордонне співробітництво із країнами Європи та ускорюють процеси євроінтеграції. Наявність таких умов дозволяє підвищити ефективність співпраці автотранспортних підприємств (АТП) із термінальними і складськими комплексами і є дуже актуальною.

Виклад основного матеріалу. Вирішення багатоетапної транспортної задачі потребує поетапного транспортування вантажів у мережевому уявленні. При цьому розглядаються два варіанти, коли сумарні складські приміщення споживачів вантажу і проміжних пунктів більше, або рівні (перший), або менше (другий) обсягів вантажу, який пропонується для перевезення постачальниками вантажу.

Пропонується задача, в який є m пунктів постачання (ПП) однорідного вантажу $A_1, A_2, \dots A_m$, які мають обсяг вантажу в обсягах $a_1, a_2, \dots a_m$, і n пунктів його споживання (ПС) $B_1, B_2, \dots B_n$, які дають заявки на вантаж в обсягах $b_1, b_2, \dots b_n$. Задача незбалансована, тому загальні обсяги поставок вантажу перевищують загальні обсяги заявок на нього, а саме:

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

Використовується l проміжних складських пунктів (СП) $C_1, C_2, \dots C_l$ для тимчасового зберігання надлишків вантажу, які можуть вміщати його в обсягах, відповідно, $c_1, c_2, \dots c_l$. Розглядаються два різних варіанта співвідношень $\sum_{i=1}^{m} a_i, \sum_{j=1}^{n} b_j$ і $\sum_{k=1}^{l} c_k$ при обов'язковому виконанні умови (1):

1-й варіант:

$$\sum_{j=1}^{n} b_j + \sum_{k=1}^{l} c_k \geq \sum_{i=1}^{m} a_i, \qquad (2)$$

2-й варіант:

$$\sum_{j=1}^{n} b_j + \sum_{k=1}^{l} c_k < \sum_{i=1}^{m} a_i. \qquad (3)$$

Розглянемо найбільш цікавий із практичної точки зору 2-й варіант доставки вантажу (3) на конкретному прикладі, у якому схема перевезення вантажу представлена у вигляді дорожньо-транспортної мережі (ДТМ). На ДТМ вказуються: основні вантажоутворюючі і вантажопоглинаючі пункти; середній час руху між ними (рис. 1), а саме: ПП вантажу відмічені чорними кружками (Гайсин – А1, Одеса – А2), ПС вантажу – чорними квадратами (Черкаси – В1, Харків – В2, Запоріжжя – В3, Миколаїв – В4) та СП – чорними трикутниками (Кропивницький – С1, Дніпро – С2, Кривий Ріг – С3).

На ДТМ кількість ПП вантажу $m = 2$ (A_1, A_2), в яких $a_1 = 10$ одиниць вантажу (*о.в.*), $a_2 = 10$ *о.в.*; кількість ПС вантажу $n = 4$ (B_1, B_2, B_3, B_4), в яких $b_1 = 2$ *о.в.*, $b_2 = 2$ *о.в.*; $b_3 = 2$ *о.в.*, $b_4 = 2$ *о.в.*; кількість проміжних СП $l = 3$ (C_1, C_2, C_3), причому їх місткість буде складати: $c_1 = 1$ *о.в.*, $c_2 = 1$ *о.в.*, $c_3 = 1$ *о.в.* Також на ДТМ присутні 8 проміжних транзитних пунктів. Спрощена схема ДТМ представлена на рисунку 2.

Для ускорення вирішення задачі необхідно перевести мережеву схему доставки вантажів до табличного виду [5, с. 56]. Для вирішення задачі складаємо масив відстаней між сусідніми пунктами ДТМ, припускається ручне складання масиву. Потім автоматично (з використанням відповідної програми) за отриманим масивом відстаней будується матриця транспортних кореспонденцій між всіма пунктами ДТМ.

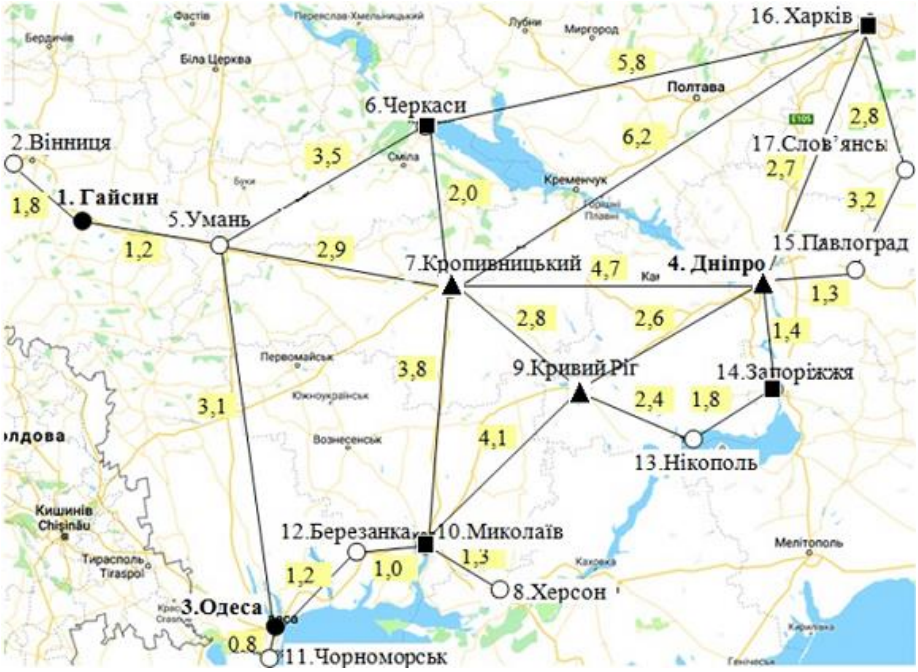

Рис. 1. Дорожньо-транспортна мережа

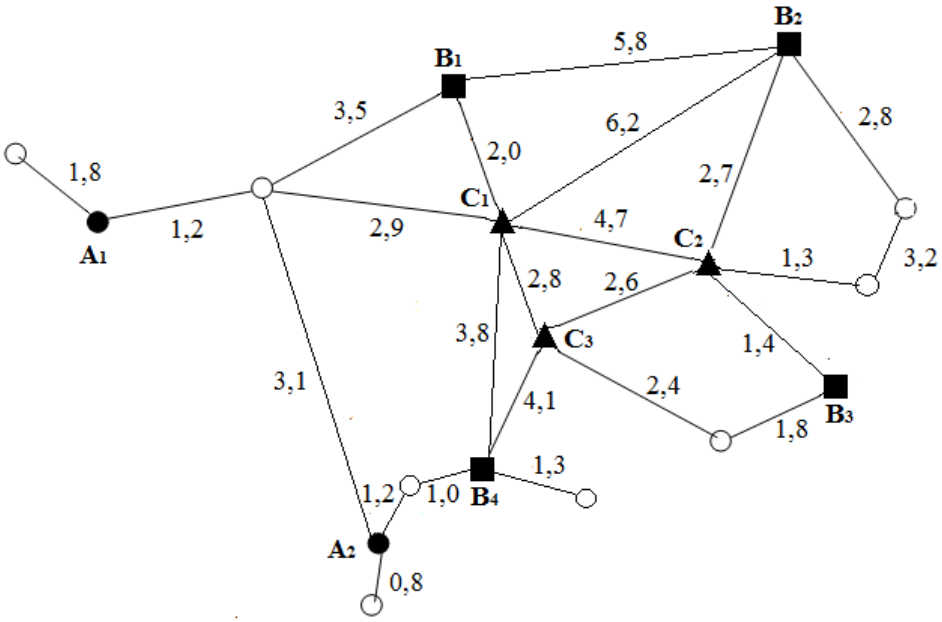

Рис. 2. Спрощена схема ДТМ

Використовуючи дані матриці транспортних кореспонденцій відповідно до методу найкоротших маршрутів [6, с. 53], можна розрахувати значення найкоротших відстаней на ДТМ від кожного ПП вантажу до кожного складського пункту (табл. 1), а також від кожного складського пункту до кожного ПС вантажу (табл. 2). Це дає можливість побудувати відповідні цим відстаням маршрути, які можуть містити проміжні пункти на шляхах транспортування вантажу (для прикладу наведені маршрути від ПП Гайсин до його чотирьох ПС):

Гайсин → Умань → Черкаси = 4.7;

Гайсин → Умань → Кропивницький → Харків = 10.3;

Гайсин → Умань → Кропивницький → Дніпро → Запоріжжя = 10.2;

Гайсин → Умань → Одеса → Березанка → Миколаїв = 6.5.

Таблиця 1

Відстані від ПП до ПС і СП

Пункти ПП\ПС	Черкаси	Харків	Запоріжжя	Миколаїв	Пункти ПП\СП	Кропив-ницький	Дніпро	Кривий Ріг
Гайсин	**4.7**	**10.3**	**10.2**	**6.5**	Гайсин	4.1	8.8	6.9
Одеса	6.6	11.6	10.3	2.2	Одеса	6	8.9	6.3

Таблиця 2

Відстані від СП до ПС

Пункти ПП\СП	Черкаси	Харків	Запоріжжя	Миколаїв
Кропивницький	2	6.2	6.1	3.8
Дніпро	6.7	2.7	1.4	6.7
Кривий Ріг	4.8	5.3	4	4.1

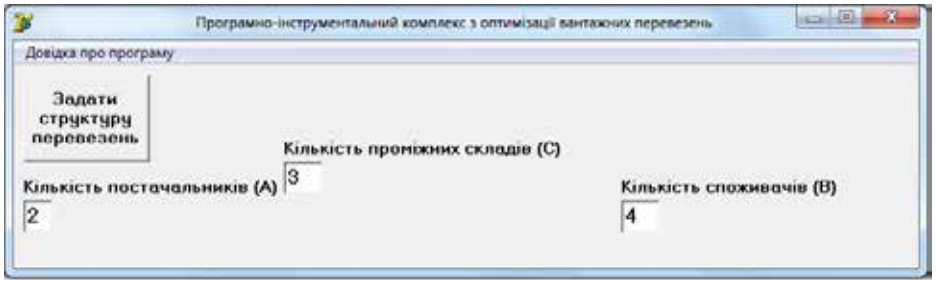

Рис. 3. Діалогове вікно 1-го кроку роботи ПК

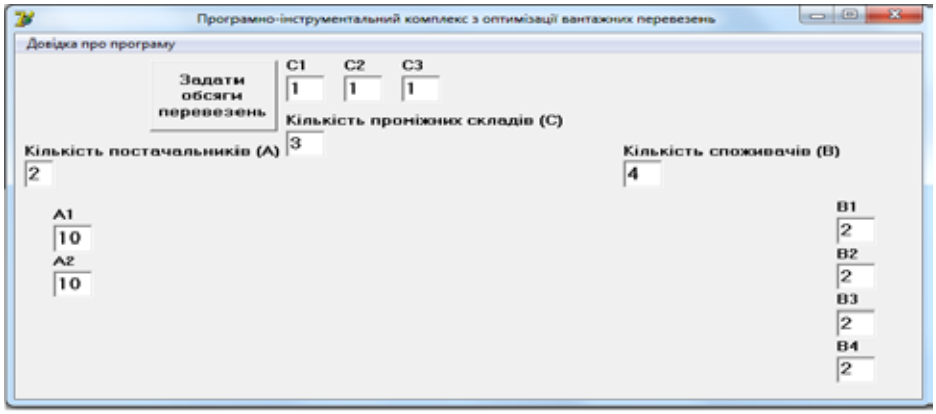

Рис. 4. Діалогове вікно 2-го кроку роботи ПК

Для вирішення багатоетапної транспортної задачі для перевезення незбалансованих вантажів на ДТМ був розроблений програмний комплекс (ПК), який використовує алгоритмічну мову програмування *Delphi* та макросів *Visual Basic for Application* для забезпечення роботи з табличним процесором *Excel*.

Процес функціонування ПК включає 4 кроки, які представлені на рис. 3-6. На рис. 3 представлено діалогове вікно завдання структури перевезень, тобто кількості ПП, ПС та СП.

На рис. 4 представлено діалогове вікно введення обсягів перевезення вантажу.

На рис. 5 представлено діалогове вікно введення матриці.

На рисунку 6 наведено діалогове вікно 4-го кроку роботи ПК, на якому приведені результати розрахунку: на першому етапі обсяги перевезення вантажу між ПП A_1, A_2 і ПС B_1, B_2, B_3, B_4 вартість його реалізації складає 54.9 *у.г.о.*; на другому етапі обсяги перевезення вантажу між ПП A_1, A_2 і СП C_1, C_2, C_3 вартість його реалізації складає 19.3 *у.г.о*; обсяги перевезення вантажу між СП C_1, C_2, C_3 і ПС B_1, B_4 – вартість його реалізації складає 7.4 *у.г.о.*; на третьому етапі обсяги перевезення вантажу між ПП A_1, A_2 і ПС B_1, B_2, B_3, B_4 вартість

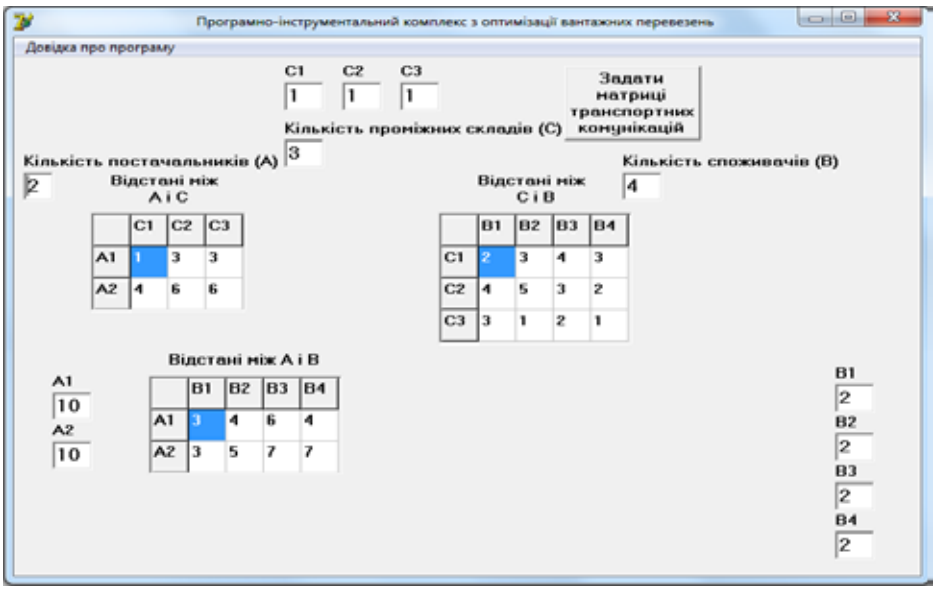

Рис. 4. Діалогове вікно 2-го кроку роботи ПК

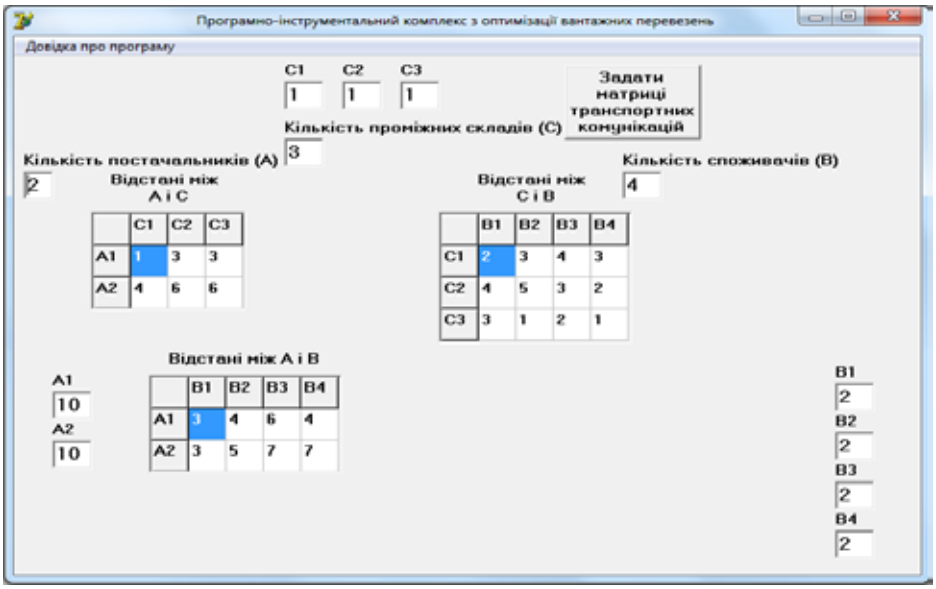

Рис. 5. Діалогове вікно 3-го кроку роботи ПК

його реалізації складає 55 *у.г.о.*; сумарна вартість (поточна) здійснення усіх трьох етапів доставки вантажу складає 136.6 *у.г.о.*

Після натискання клавіші ОК розв'язання БТЗ продовжується, і в результаті на рис. 7 представлено діалогове вікно з доставки вантажу по суті на *четвертому етапі*. На цьому рисунку (див. рис. 7) схематично представлені результати виконання цього останнього кроку роботи ПК, а саме: обсяги перевезення вантажу між ПП A_2 і ПС B_1 вартістю у 2.2 *у.г.о.* і сумарна вартість (остаточна) здійснення усіх чотирьох етапів доставки вантажу, яка складає 138.8 *у.г.о.*

Висновки. Для вирішення задачі організації незбалансованих вантажних перевезень було розроблено програмно-інструментальний комплекс, який включає етап переведення мережевого виду транспортної схеми до табличного вигляду і етап вирішення багатоетапної транспортної задачі з використанням сучасних інформаційних технологій. Програмно-інструментальний комплекс пройшов апробацію на автопідприємствах Асоціації міжнародних транспортних перевізників України. Комплекс показав свою ефективність при оптимізації вантажних перевезень – витрати на перевезення знизилися до 15% від попередніх витрат.

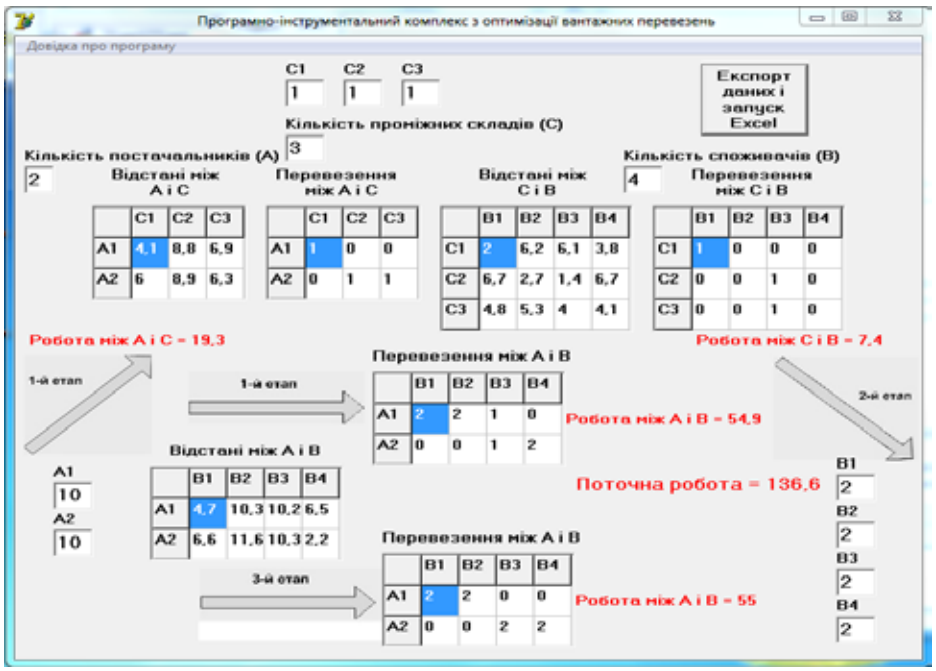

Рис. 6. Діалогове вікно 4-го кроку роботи ПК

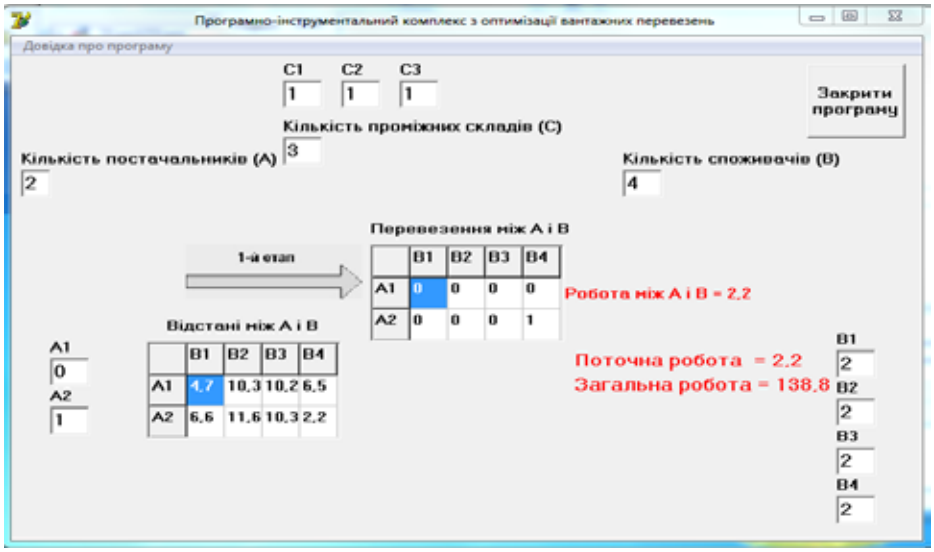

Рис. 7. Діалогове вікно 4-го етапу розв'язання БТЗ

Список літератури:

1. Четверухін Б.М. Дослідження операцій в транспортних системах. Київ : УТУ, 2000. 91 с.
2. Гудман С., Хидетниеми С. Введение в разработку и анализ алгоритмов. Москва : Мир, 1981. С. 309–320.
3. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки. Київ : Вища школа, 1986. 447 с.
4. Прокудін Г.С. Моделі і методи оптимізації перевезень у транспортних системах. Київ : НТУ, 2006. 224 с.
5. Improvement of the Methods for Determining Optimal Characteristics of Transportation Networks / G. Prokudin et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2016. N. 6/3 (84). P. 54–61. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.85211.
6. Application of Information Technologies for the Optimization of Itinerary when Delivering Cargo by Automobile Transport / O. Prokudin et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2018. №. 2/3 (92). P. 51–59. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.128907.

Kyselov V.B., Prokudin G.S., Polishchuk V.P., Chupaylenko O.A. ORGANIZATION OF UNBALANCED FREIGHT TRANSPORTATION ON TRANSPORT NETWORKS

Ukraine's transport system is part of a single European transport system, but much work remains to be done to bring the national transport system in line with international standards. When carrying out cargo transportation, a situation often arises when the volumes of cargo transported from suppliers exceed the capacity of consumers' warehouses. In this case, there is a need to use intermediate points for temporary storage of surplus cargo, and requires a multi-stage transport problem. Also, often the matrix of transport correspondence between suppliers, consumers and intermediate points is not set explicitly, but simply introduced a map of their location, ie the transport task is set using the transport network. Such situations require research to address the problems of unbalanced freight and the creation of advanced transport technologies that will increase the efficiency of the transport system using modern information technology.

The processes of unbalanced cargo transportation are investigated in the work and the methods which allow to develop optimum plans of cargo transportations are developed. A software and tool complex has been developed, which includes the transfer of the network type of the scheme of cargo transportation to the tabular form, which allows to effectively solve the multi-stage transport problem using modern information technologies. With the help of the use of software and tools the problem of optimal organization of unbalanced transportation of goods in transport systems is solved. The use of software and tools in real transport systems allows the manager to quickly choose the most effective option for optimizing freight traffic on transport networks, using the developed computer program.

Key words: *transport task, optimization, unbalanced freight transportation, software and tools.*