УДК 681.518.5

Кондратенко В.Ю., Коробко О.В., Кондратенко Ю.П.

СПЕЦІАЛІЗОВАНА КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ РІДИННИХ ВАНТАЖІВ

Стаття присвячена дослідженню проблеми оптимізації процесів транспортування рідинних продуктів на морських нафтотранспортних комплексах. Наведено алгоритм оптимального вибору резервуарів для здійснення операцій відвантаження нафтопродуктів. Розв'язується задача планування і оптимізації маршрутів вантажопотоків на морських нафтових терміналах, що мають розгалужені системи трубопроводів і резервуарних парків. Запропонована структура й алгоритми спеціалізованої комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень (СППР) забезпечують вибір оптимального маршруту для транспортування рідинних вантажів та його корекцію у випадку фіксації системою аварійних ситуацій на окремих дільницях вантажних трубопроводів.

Ключові слова: *вантажопотік, оптимальний маршрут, СППР, корекція в реальному часі, алгоритм Дейкстри, цілочисельне програмування.*

Статья посвящена исследованию проблем оптимизации процессов транспортировки жидких продуктов на морских нефтетранспортных комплексах. Приведен алгоритм оптимального выбора резервуаров для осуществления операций отгрузки нефтепродуктов. Решается задача планирования и оптимизации маршрутов грузопотоков на морских нефтяных терминалах, имеющих разветвленные системы трубопроводов и резервуарных парков. Предложенная структура и алгоритмы специализированной компьютерной системы поддержки принятия решений обеспечивают выбор оптимального маршрута для транспортировки жидких грузов и его коррекцию в случае фиксации системой аварийных ситуаций на отдельных участках грузовых трубопроводов.

Ключевые слова: *грузопоток, оптимальный маршрут, СППР, коррекция в реальном времени, алгоритм Дейкстры, целочисленное программирование.*

The article is devoted to the study of shipping processes optimization problem for liquid products on oil terminals and marine stations. An algorithm of optimal tanks selection for loading is given. This article solves the problem of freight flow routes planning and optimisation at offshore oil terminals, with extensive system of pipelines and tanks. The proposed structure and algorithms for computer decision support system provides optimal routes forming for product transportation while the process of lading the marine tankers and their correction in case of occurring emergency situation on the separate zones of freight pipelines.

Key words: *freight flow, optimal route, DSS, correction in real time, Dijkstra's algorithm, integer programming.*

ВСТУП

Значна кількість нафтокомплексів України обладнана застарілими системами контролю та моніторингу стану вантажних трубопроводів, що не забезпечують належний рівень технологічної та екологічної безпеки при здійсненні транспортних операцій із рідинними вантажами. Використання подібних систем негативно позначається на економічному стані нафтових станцій, адже поганий контроль за процесами транспортування нафтопродуктів може призвести до значних втрат завдяки запізнілій фіксації пошкоджень, що призводять до розливу нафтопродуктів [12], пожежі тощо. З іншого боку своєчасне усунення аварійної ситуації,

особливо на морських нафтокомплексах [9; 10], може не тільки принести економічний зиск нафтотрейдерам, але й запобігти виникненню екологічної катастрофи.

Впровадження сучасних комп'ютерних систем [12] в сферу контролю й обліку продукції дає можливість не тільки зменшити витрати, пов'язані з аварійними ситуаціями, але й покращити якість обліку наявної на нафтобазі продукції. Так, використання алгоритмів оптимізації [1; 2] вибору резервуарів для розвантаження сприятиме підвищенню ефективності використання ресурсів існуючих резервуарних парків. Даний підхід дозволить позбутися резервуарів із залишками продукції, а отже уникнути додаткових операцій перекачування нафти між резервуарами.

Слід зазначити, що актуальність створення подібних систем підтримки прийняття рішень (СППР) зростає з ростом кількості операцій [8], що пов'язані з перекачуванням рідинних вантажів, а отже більшу доцільність має впровадження автоматичних систем контролю і обліку для нафтоперевантажувальних комплексів із великою кількістю резервуарних парків та розгалуженою системою вантажних трубопроводів.

Створення систем моніторингу та контролю стану вантажних трубопроводів є актуальним завданням для забезпечення високої ефективності транспортування різнотипних рідинних вантажів (продуктів). Головними напрямками досліджень в даній сфері є ідентифікація структурних особливостей розгалужених транспортних систем [15; 17], а також методи і засоби створення високоефективних систем диспетчерського контролю та управління розподіленими об'єктами лінійних ділянок газопроводу. Системи такого класу [4; 6], як правило, забезпечують телевимірювання і трансляцію технологічних параметрів, телеконтроль стану, телекерування вентильними вузлами, діагностику, архівування та документування інформації та дій оператора. Основною задачею при цьому залишається використання спеціалізованих комп'ютерних систем для забезпечення максимальної автоматизації процесів моніторингу транспортних операцій в системах розгалужених трубопроводів [5].

Введення в подібні системи функцій оптимізації [9; 10] технологічних операцій, що пов'язані з транспортуванням нафтопродуктів, природного газу та хімічних речовин існуючими трубопроводами, дозволить збільшити економічну привабливість зазначених систем автоматизованого контролю.

Метою даної статті є розробка алгоритмічно-програмного забезпечення спеціалізованих комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень з функціональними можливостями автоматизованих систем контролю і моніторингу для дистанційного керування і оптимізації процесів транспортування рідинних вантажів при використанні розгалужених мереж вантажних трубопроводів в реальному часі, в тому числі в умовах штатних та аварійних ситуацій.

СТРУКТУРА СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Структурна схема спеціалізованої комп'ютерної СППР, що допомагає оператору в інтерактивних режимах обирати оптимальний шлях відвантаження нафтопродуктів, зображена на рис. 1. Реалізація алгоритмів автоматичного вибору резервуарів дозволяє оптимізувати процес відвантаження продукції відповідно до вимог мінімізації залишків рідинного вантажу у відвантажувальних резервуарах. Запропонована авторами структура комп'ютерної СППР забезпечує можливість людині-операторові в режимі реального часу здійснювати обчислення оптимального шляху відвантаження необхідного обсягу нафти в розгалуженій системі труболіній морських нафтотранспортних комплексів.

СППР також забезпечує можливість за допомогою розподіленої інформаційно-вимірювальної системи здійснювати автоматичний контроль стану системи вантажних трубопроводів та корекцію запланованого маршруту транспортування у випадку виявлення технологічних невідповідностей у стані окремих ділянок вантажних труболіній.

Слід відзначити, що для гарантування можливості реалізації транспортування відповідного рідинного вантажу оптимальним шляхом, СППР повинна здійснювати постійний контроль та аналіз всіх поточних параметрів, що можуть вплинути на ефективність процесу перекачування

продукції, в реальному часі. Розглянемо в подальшому окремо кожну з вищезазначених задач, що розв'язує спеціалізована комп'ютерна СППР, представлена на рис. 1.

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИБОРУ РЕЗЕРВУАРІВ

Кожен вид нафтопродуктів зберігається в кількох резервуарних парках морських нафтотранспортних комплексів та нафтобаз, що складаються з групи баків. В процесі вибору резервуарів, оптимальних для розвантаження, важливо враховувати можливий залишок продукту після завершення операції, адже кращим результатом вважається саме порожній бак.

Отже, постановка завдання вибору відвантажувальних резервуарів зводиться до того, що необхідно знайти такі k резервуарів з n (де n – загальна кількість резервуарів із зазначеним типом нафтопродукту), загальна сума мас продукту в яких буде максимально близькою до програмної (заданої для відвантаження) маси нафтопродукту.

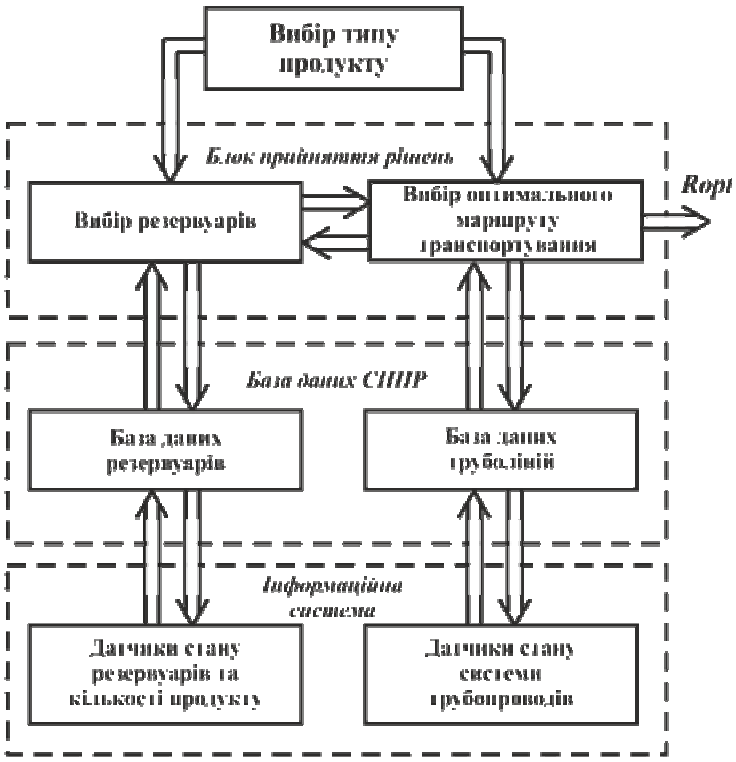

Рис. 1. Схема СППР оптимізації рідинних вантажопотоків

Цільову функцію для задачі вибору резервуарів сформулюємо у вигляді [7; 16]

$$\min \left(\sum_{i=1}^{n} c_i^j x_i^j - P^j \right), \tag{1}$$

де P^j – загальна маса *j-го* типу продукту, який необхідно відвантажити;

x_i^j – маса *j-го* типу продукту в *i-му* резервуарі;

$c_i^j = \{0;\ \ 1\}$ – коефіцієнт виключення;

Зміст коефіцієнта виключення полягає в наступному:

а) $c_i^j = \{0;\ \ 1\}$, коли статус *i-го* резервуару – «готовий до розвантаження»;

б) $c_i^j = 0$, коли *i-й* резервуар має статус «налагодження», «розвантаження заборонено», «в процесі розвантаження» або «аналіз зразків продукту»;

в) $c_i^j = 0$ – для всіх резервуарів, що включено до резервуарних парків, що не розглядаються, але мають необхідний тип продукту;

г) $c_i^j = 1$ – для резервуарів, що включені оператором до остаточних.

Вирішення поставленої задачі шляхом перебору всіх можливих комбінацій можливе лише для невеликої кількості резервуарів [18], адже загальна кількість комбінацій K_j в бінарному дереві

$$K_j = 2^{N_j}, \tag{2}$$

де N_j – кількість резервуарів з *j-м* типом нафтопродукту.

В СППР (рис. 1) реалізовано більш доцільний спосіб пошуку рішення для (1) з використанням методів бінарного цілочисельного програмування, зокрема, методу гілок і меж [2; 3]. Виходом даної фази роботи спеціалізованої комп'ютерної СППР є бітовий масив *T*, що складається з синтезованих значень $c_i^j = \{0;\ 1\}$ коефіцієнтів виключення для кожного резервуару з *j-м* типом нафтопродукту.

Методику оптимального вибору резервуарів (рис. 2) розглянемо на наступному прикладі. Замовлення на відвантаження продукції складає масу 1150 тонн ($P^j = 1150$). Загальна маса продукту в обраних резервуарах повинна бути більшою або дорівнювати P^j. Попередньо обраний резервуарний нафтопарк (рис. 2) включає 10 резервуарів з необхідним типом продукту. Маса продукту в кожному з танків відповідно дорівнює (в одиницях маси – тонни): $Tank_1 = 596$, $Tank_2 = 143$, $Tank_3 = 13$, $Tank_4 = 87$, $Tank_5 = 24$, $Tank_6 = 59$, $Tank_7 = 331$, $Tank_8 = 663$, $Tank_9 = 332$, $Tank_{10} = 292$. Результуючий масив *T* має наступний вигляд:

$$T = \{0110001100\}, \tag{3}$$

тобто спеціалізована комп'ютерна СППР пропонує для розвантаження чотири резервуари, для яких значенння коефіцієнтів виключення $c_i^j = 1$, зокрема резервуари: $Tank_2$, $Tank_3$, $Tank_7$, $Tank_8$.

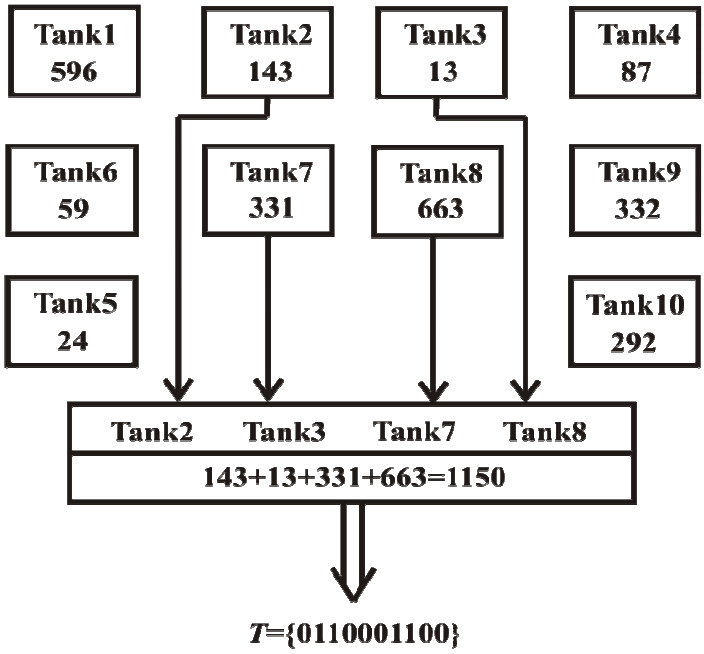

Рис. 2. Вибір оптимальних для відвантаження резервуарів

АЛГОРИТМ ПЛАНУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТУ

Загальну структуру системи трубопроводів на нафтоперевантажувальному комплексі доцільно представити у вигляді розгалуженого графу $G(Tank,S,L,W)$ з невід'ємною вагою ребер. На рис. 3 представлено компонент загального графа, адаптований до розглянутого вище прикладу вибору оптимальних для розвантаження резервуарів, де відповідно до (3) в якості початкових вершин графу

$$Tank = \{Tank_2, Tank_3, Tank_7, Tank_8\}, \tag{4}$$

позначено відібрані резервуари з *j-м* типом нафтопродукту. Коефіцієнти виключення в масиві *T* для цих резервуарів дорівнюють одиниці, $c_2^j = 1$, $c_3^j = 1$, $c_7^j = 1$, $c_8^j = 1$.

В якості кінцевих вершин *L* графу $G(Tank,S,L,W)$ позначені (рис. 3) вузли з'єднання трубопроводів із пунктами розвантаження (пірси, залізнодорожні платформи тощо)

$$L = \{L_1, L_2, L_3, L_4\}, \tag{5}$$

де L_m – пункт розвантаження нафтотранспортного комплексу, $m = 1...4$.

Для інших вершин графу (рис. 3) використані наступні позначення:

$$S = \{S_5, S_6, ..., S_{34}\}, \tag{6}$$

де S_h – клапан мережі труболіній, $h = 5...34$.

Для синтезу оптимального маршруту відвантаження R_{opt} доцільно використати алгоритми пошуку мінімального за довжиною маршруту між двома відповідними вершинами графу. На даний час існує значна кількість алгоритмів пошуку мінімального шляху на графах [3; 13], зокрема, до даного класу алгоритмів можна віднести хвильовий алгоритм, алгоритми Беллмана-Форда, Флойда-Уоршалла, Дейкстри [14] та їх модифікації.

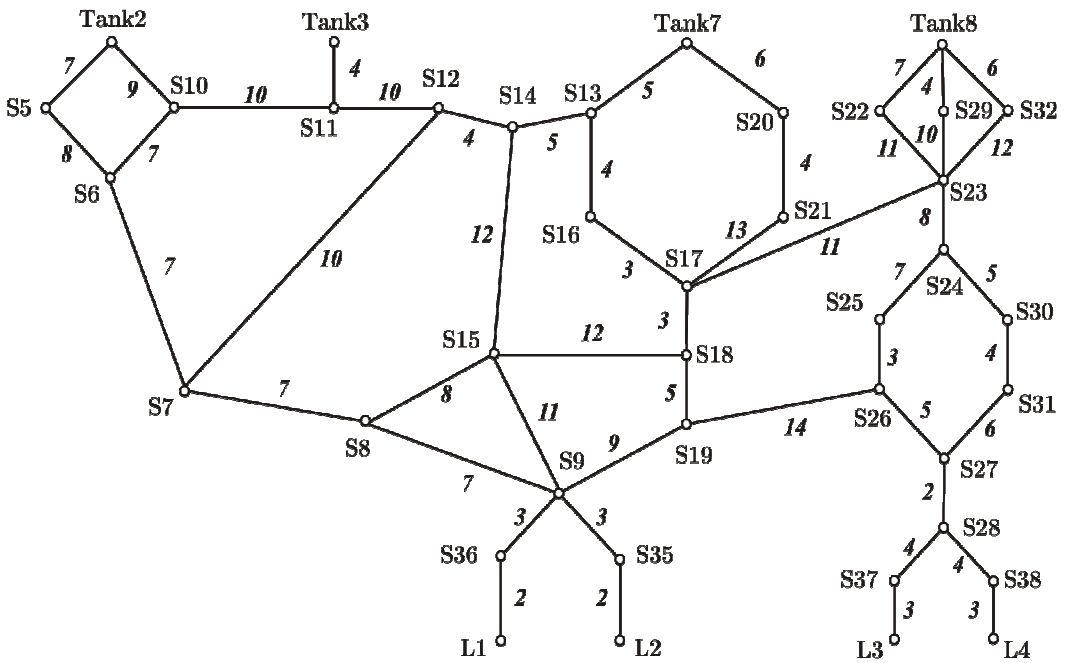

Рис. 3. Граф $G(Tank,S,L,W)$ розгалуженої системи вантажних труболіній

Прийнявши в якості визначального критерію для виробу алгоритму пошуку мінімального шляху на графах максимальну швидкодію, авторами проведено порівняльний аналіз зазначених вище алгоритмів. Приклади програмної реалізації для алгоритмів Флойда-Уоршалла та Дейкстри відповідно наведено на рис. 4 та 5. При цьому на рис. 4 показано оптимальний маршрут:

$$R_{opt}^{R7-B3} = \{R_7, V_{15}, V_{24}, V_{28}, V_{34}, V_{42}, V_{46}, V_{37}, B_3\} \quad (7)$$

транспортування конкретного виду нафтопродукту від відвантажувального резервуару R_7 до буферного резервуару B_3, а на рис. 5 показано оптимальний маршрут:

$$R_{opt}^{R1-P11} = \{R_1, V_2, V_{18}, V_{25}, V_{31}, V_{36}, V_{40}, V_{43}, V_{45}, V_{44}, V_{47}, P_{11}\} \quad (8)$$

транспортування конкретного виду нафтопродукту від відвантажувального резервуару R_1 до пірсу P_{11}. На графах, представлених на рис. 4 і рис. 5 введені наступні позначення: $R1...R8$ – відвантажувальні резервуари, $P11...P42$ – пірси, $V1...V56$ – клапани, $B1...B3$ – буферні резервуари.

При проведенні досліджень встановлено, що кращим за обраним критерієм є алгоритм Дейкстри. Саме тому, в розробленій авторами СППР вирішення поставлених перед системою задач здійснено на основі застосування алгоритму Дейкстри [1; 3], з реалізацією матриці суміжностей [13; 14]. Елементами матриці є довжини окремих ділянок труболіній, що розділені клапанами та іншими технологічними компонентами S_h вантажного трубопроводу. Дані компоненти – множина вершин графу (6).

Розглянемо більш детально особливості програмної реалізації алгоритмів планування і оптимізації маршрутів транспортних вантажопотоків.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СППР

База даних (БД) розробленої системи підтримки прийняття рішень зберігає інформацію щодо стану системи трубопроводів та резервуарів. Специфічною особливістю труболіній нафтобази є нерівномірність об'ємів різних ділянок трубопроводу, що залежить від розташування резервуарів, клапанів, діаметрів та довжин труб тощо. Структура запропонованої бази даних розроблена з метою забезпечення зручності редагування даних щодо стану мережі трубопроводів, і містить дві таблиці: таблицю імен і ідентифікаторів вершин $\{Tank, S, L\}$ графу $G(Tank, S, L, W)$, і таблицю взаємозв'язків між вершинами $w[i, j] \in W$, що визначені відповідними ідентифікаторами.

В якості ваги ребра $w[i, j]$ обрано обсяг ділянки труболінії, що відокремлена відповідними вузлами нафтопроводу. В якості вершин в базі даних представлені резервуари, пірси, пункти розвантаження нафтопродуктів, а також всі клапани трубопроводу нафтобази. Розроблене програмне забезпечення СППР (рис. 1) забезпечує ефективне функціонування системи в двох режимах: режимі «off-line» (пошук оптимального маршруту з використанням БД як статичного джерела інформації) та слідкуючому режимі (автоматичний контроль змін у БД і внесення необхідних коректив до визначеного оптимального шляху в разі потреби).

Під час процесу перекачки нафтопродуктів може виникнути аварійна ситуація [8; 19; 20], що пов'язана з пошкодженням окремої ділянки труболіній. Зазначена аварія буде зафіксована датчиками інформаційно-вимірювальної системи (рис. 1) і вага ребра, що відповідає пошкодженій ділянці, буде змінена на надвелике значення для усунення даної ділянки з подальших розрахунків оптимального маршруту R_{opt}. В слідкуючому режимі СППР постійно перевіряє стан таблиці взаємозв'язків між вершинами розробленої БД. Якщо система фіксує зміни в даній таблиці, то СППР в автоматичному режимі ініціює коригування оптимального маршруту перекачування нафтопродукту R_{opt}.

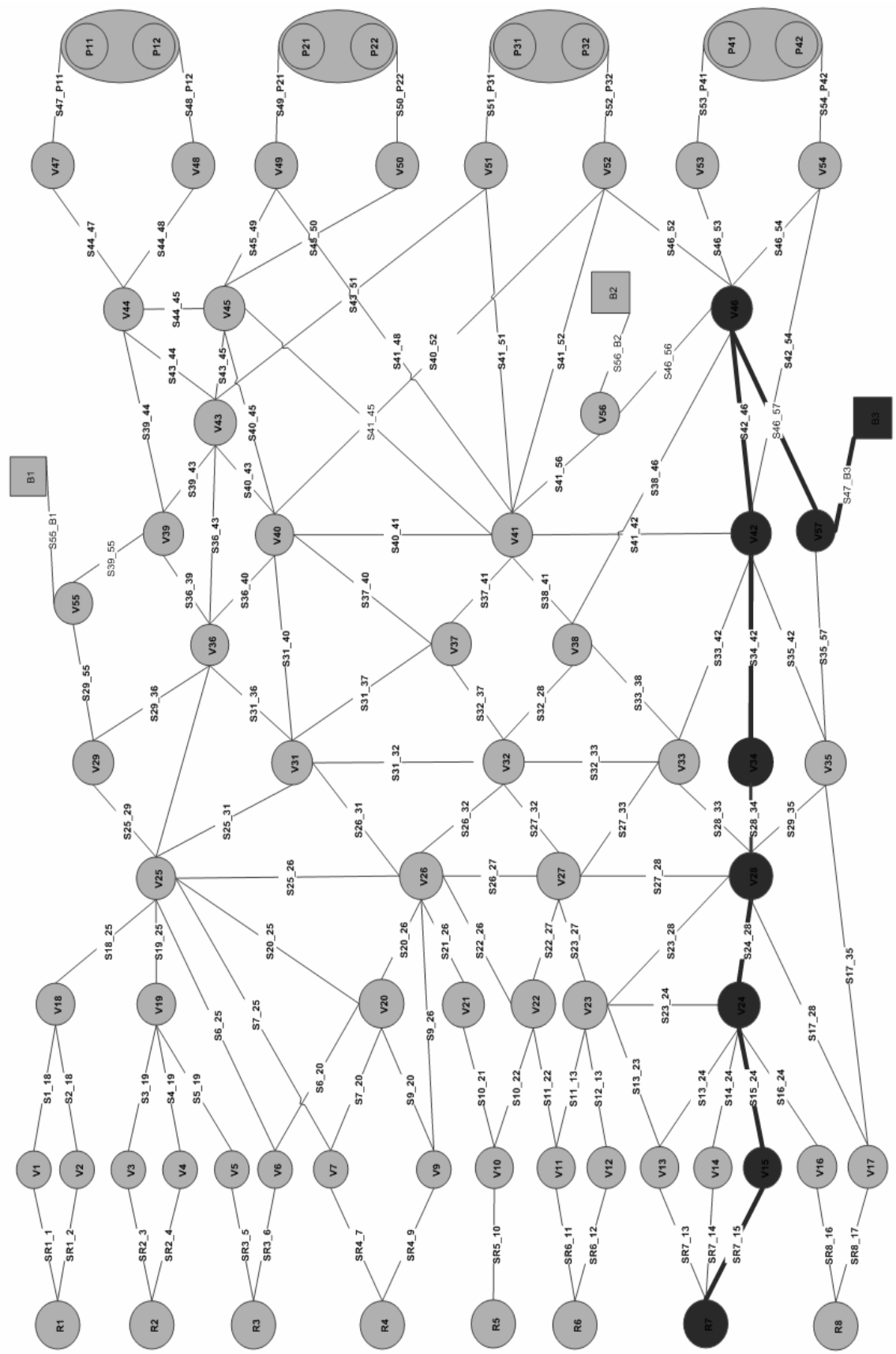

Рис. 4. Результати моделювання алгоритму Флойда-Уоршалла

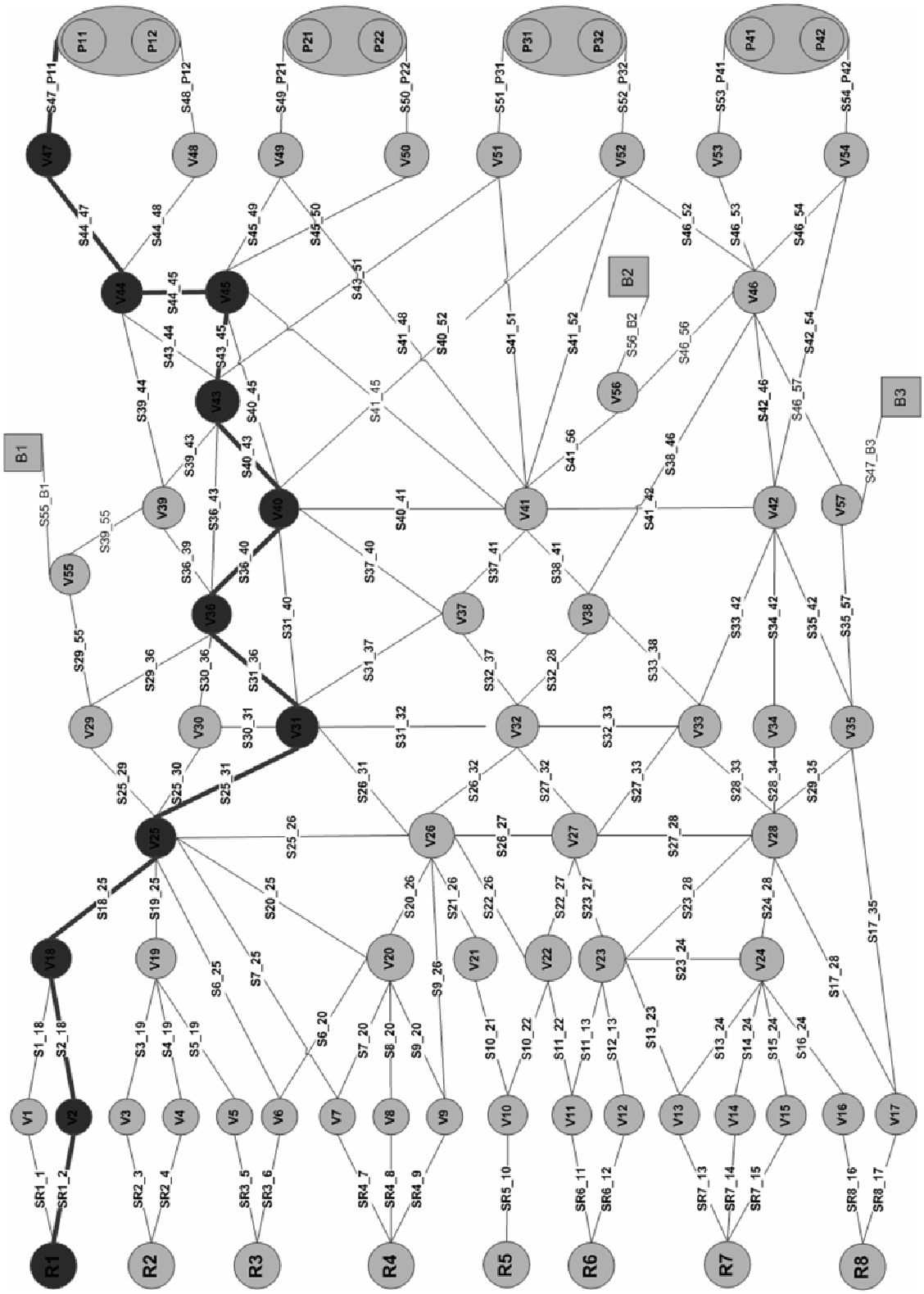

Рис. 5. Результати моделювання алгоритму Дейкстри

МОДЕЛЮВАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СППР В АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Відвантаження нафтопродуктів відбувається окремо для кожного резервуару. Оптимальний маршрут транспортування нафтопродукту R_{opt} обчислюється на кожній стадії, а його контроль проводиться постійно під час здійснення операції. Так, для випадку відвантаження нафтопродукту з резервуарів (рис. 3)

$$Tank = \{Tank_2, Tank_3, Tank_7, Tank_8\}, \tag{9}$$

до пункту розвантаження L_1 оптимальними будуть наступні шляхи:

$$R_{opt}^{T2-L1} = \{Tank_2, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{36}, L_1\}, \tag{10}$$

$$R_{opt}^{T3-L1} = \{Tank_3, S_{11}, S_{12}, S_7, S_8, S_9, S_{36}, L_1\}, \tag{11}$$

$$R_{opt}^{T7-L1} = \{Tank_7, S_{13}, S_{16}, S_{17}, S_{18}, S_{19}, S_9, S_{36}, L_1\}, \tag{12}$$

$$R_{opt}^{T8-L1} = \{Tank_8, S_{29}, S_{23}, S_{17}, S_{18}, S_{19}, S_9, S_{36}, L_1\}, \tag{13}$$

Довжини розрахованих оптимальних маршрутів відповідно дорівнюють:

$$\text{Довжина } R_{opt}^{T2-L1} = 41, \text{ Довжина } R_{opt}^{T3-L1} = 43, \tag{14}$$

$$\text{Довжина } R_{opt}^{T7-L1} = 34, \text{ Довжина } R_{opt}^{T8-L1} = 47, \tag{15}$$

На рис. 6 зображено результати симуляції розробленої СППР для випадку формування оптимального маршруту R_{opt} між початковою ($Tank_7$) та кінцевою (L_1) вершинами графу $G(Tank, S, L, W)$. Отриманий оптимальний шлях позначено пунктирною лінією. Змінимо вагу ребра $w[S_{16}, S_{17}]$ графа $G(Tank, S, L, W)$ з початкової 3 до 700, тим самим штучно створимо аварійну ситуацію «розрив ланки трубопроводу» на секції $S_{16} - S_{17}$.

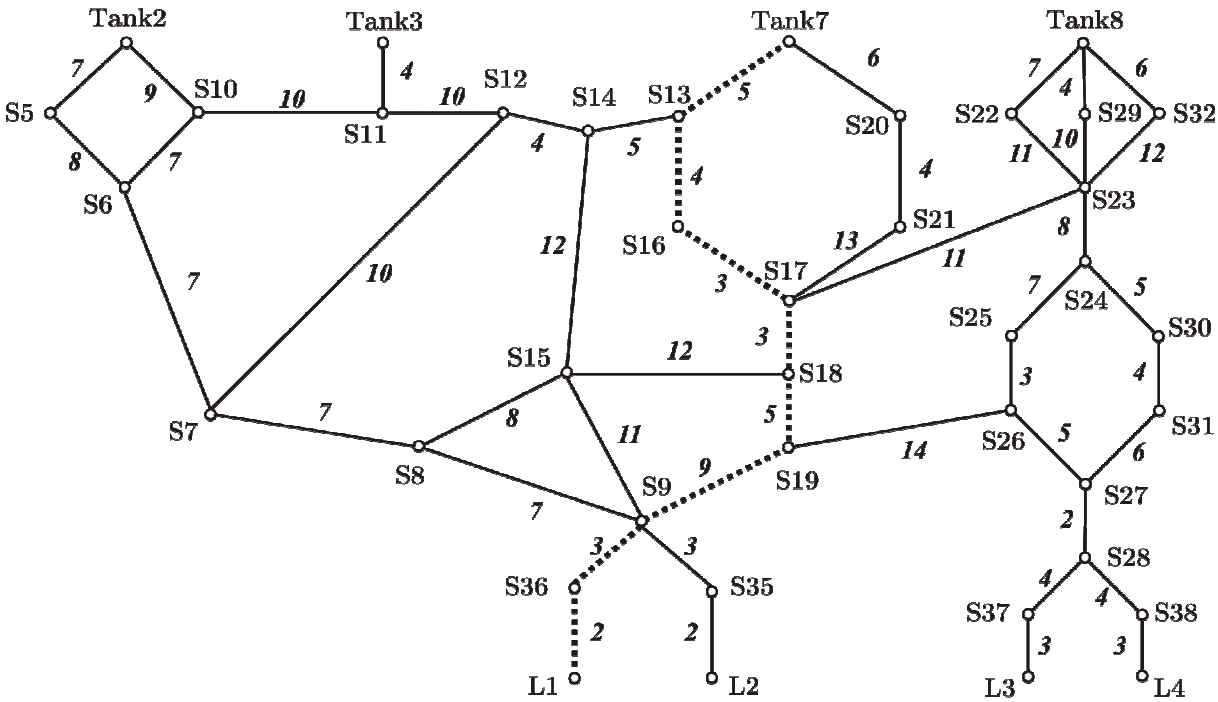

Рис. 6. Оптимальний маршрут відвантаження на графі $G(Tank, S, L, W)$

СППР в слідкуючому режимі автоматично ініціює корекцію попередньо знайденого маршруту R_{opt}. Скорегований маршрут R'_{opt}

$$R'^{T7-L1}_{opt} = \{Tank_7, S_{13}, S_{14}, S_{15}, S_9, S_{36}, L_1\}, \tag{16}$$

буде оптимальним в умовах лише створеної аварійної ситуації. Слід також зазначити, що його довжина є більшою за початкову і складає:

$$\text{Довжина } R'^{T7-L1}_{opt} = 38. \tag{17}$$

Новий скоригований маршрут та аварійна ділянка наведені на рис. 7.

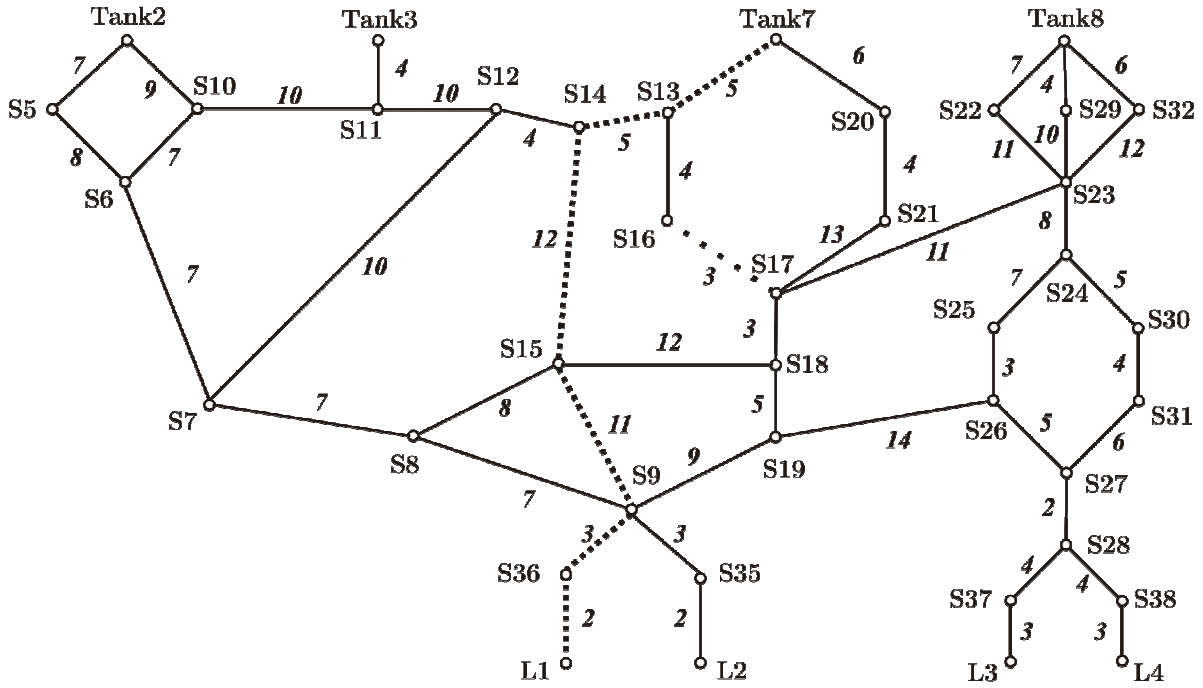

Рис. 7. Скоригований маршрут відвантаження на графі $G(Tank, S, L, W)$

ВИСНОВКИ

Запропонована авторами автоматична система підтримки прийняття рішень на базі нових комп'ютерних технологій дозволяє в інтерактивному режимі здійснювати операції планування оптимального маршруту відвантаження рідинних нафтопродуктів. Завдяки використанню структурованої бази даних для зберігання як поточної, так і архівної інформації в системі підтримки прийняття рішень, реалізовано два режими функціонування: статичний та з автоматичною корекцією знайденого маршруту.

Запропоновані алгоритми дозволяють обрати оптимальні для відвантаження резервуари, базуючись на критерії мінімізації залишкового продукту. Реалізовані функції контролю стану нафтотранспортної системи дозволяють скоротити ризики, пов'язані з аварійними ситуаціями, завдяки можливості корекції маршруту в реальному часі.

В подальшому доцільно дослідити можливість створення системи з розподіленими диспетчерськими пунктами для забезпечення постійної синхронізації даних на кількох реалізаціях системи. Дане нововведення значно спростить процедуру впровадження системи на реально діючих нафтоперевантажувальних комплексах, скоротивши кількість ліній передачі даних та їх загальну довжину, що в свою чергу позитивно вплине на гарантоздатність функціонування запропонованої спеціалізованої комп'ютерної СППР.

ЛІТЕРАТУРА

1. Асанов М.О., Баранский В.А., Расин В.В. Дискретная математика: графы матроиды, алгоритмы. – Ижевск: НИЦ«РХД», 2001. – 228 с.
2. Ахо А., Хопкрофт Дж., Ульман Дж. Построение и анализ вычислительных алгоритмов. – М.: Мир, 1979. – 536 с.
3. Глибовець М.М. Основи комп'ютерних алгоритмів. – Київ: Вид. дім «КМ Академія», 2003. – 452 с.
4. Головань К.В. Знанняорієнтовані моделі автоматизованого робочого місця диспетчерського управління магістральним трубопровідним комплексом: Автореферат дисертації на здобуттянаукового ступеня кандидата технічних наук / К.В. Головань – Вид. Центр «ХАІ». – 2006. – 20 с.
5. Грищенко А.З. Автоматизация компрессорных станций магитральных газопроводов / А.З. Грищенко, И.Н. Богаенко, Ю.И. Артемов и др. – К.: Техника, 1990. – 128 с.
6. Гура Л.О. Газоперекачувальні станції магістральних газопроводів / Л.О. Гура. – Х.: НТУ «ХПІ», 2006. – 181 с.
7. Иванов Б.Н. Дискретная математика. Алгоритмы и программы. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 288 с.
8. Кондратенко Ю.П., Коробко О.В., Кондратенко В.Ю., Курікша Д.С. СППР для оптимізації транспортних вантажопотоків з гарантобезпечною корекцією маршрутів в реальному часі // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Вип. 5 (39), 2009. – С. 9-15.
9. Кондратенко Ю.П., Тимченко І.В. Математична модель для формування оптимального плану перевантаження нафти в морських портах // Матеріали XIV Міжн. конф. з автоматичного управління, Севастополь, 2007, Част. 2. – С. 193-195.
10. Кондратенко Ю.П., Підопригора Д.М. Моделювання динамічних характеристик танкера в ході технологічного процесу бункерування суден // Автоматизація виробничих процесів. – 2003. – № 1 (16), 2003. – С. 25-32.
11. Коробко О.В., Махмуд Мохаммед Салем Аль-Суод. Особливості застосування SCADA TRACE MODE для автоматизації технологічних процесів // Інформаційно-керуючі системи і комплекси: Матеріали Всеукр. наук.-техн. конф. – Миколаїв: НУК, 2008. – С. 21-25.
12. Коробко А.В., Курикша Д.С., Подопрыгора Д.Н., Аль Массарвех М. Расчет истечения высоковязкой жидкости при переменном уровне // Електротехніка і електромеханіка: Матеріали Всеукр. наук.-техн. конф. – Миколаїв: НУК, 2007. – С. 90-94.
13. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978. – 432 с.
14. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. – М.: Мир, 1981. – 324 с.
15. Нефедов Л.И. Синтез территориально-распределенной системы мониторинга транспорта газа / Л.И. Нефедов, М.В. Шевченко, О.В. Василенко // Технология приборостроения. – 2009. – № 1. – С. 28-31.
16. Окулов С.М. Программирование в алгоритмах. – М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2004. – 341 с.
17. Петров Э.Г. Территориально-распределенные системы обслуживания / Э.Г. Петров, В.П. Писклакова, В.В. Бескоровайный. – К.: «Техніка», 1992. – 208 с.
18. Шикин Е.В., Шикина Г.Е. Исследование операций. – М.: ТК Велби, 2006. – 280 с.
19. Kondratenko Y.P., Klymenko L.P., Pidoprygora D.M. A New Concept of Decision Support Systems for Control of Bunkering Technological Processes // The Fifth Intern. Scientific Forum «Aims for Future of Engineering Science», AFES-2004 Proceeding, Paris, France. – 2004. – PP.496-501.
20. Kondratenko Y.P., Korobko O.V., Kondratenko V.Y. Decision Making and Optimization of Transport Operations with Real Time Freight-Flow Correction // Pattern Recognition and Information Processing PRIP'2009. Proceedings of the 10th International Conference (19-21 May, 2009, Minsk, Belarus). – PP. 267-271.

© Кондратенко В.Ю., Коробко О.В.,
Кондратенко Ю.П., 2010

Стаття надійшла до редколегії 28.03.10 р.