

УДК 658.7:519.9

О.В. Дорохов

Харківський національний економічний університет, Харків

## МАРШРУТИЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ФАРМАЦЕВТИЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖНОГО ПІДХОДУ

Розглянуто організацію доставки фармацевтичної продукції від підприємств - оптових посередників - в роздрібну аптечну мережу. Обґрунтовано можливість та доцільність застосування нейромережного підходу для оптимізації маршрутів транспортування замовлених лікарських засобів. Наведено формальну постановку та розв'язання завдання. Виконано комп'ютерне моделювання маршрутів перевезень від оптовиків до аптек-клієнтів за критеріями мінімізації часу руху та пробігу транспортних засобів на маршруті.

**Ключові слова:** транспортування фармацевтичної продукції, комп'ютерна маршрутизація перевезень, нейромережне моделювання.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Раціональна, економічно та технологічно обґрунтована організація транспортного забезпечення виробничо-комерційної діяльності оптового фармацевтичного підприємства в сучасних конкурентних ринкових умовах в Україні є актуальним та складним завданням. Підвищення вимог до перевезень при виконанні замовлень споживачів, зокрема, стосовно збереження вантажів, своєчасності їх доставки клієнтам-аптекам, практично щоденна зміна обсягів замовлень та структури клієнтів визначають важливість оперативного розв'язання питань планування та управління ван-

тажними перевезеннями при виконанні замовлень оптовою фармацевтичною фірмою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Оперативне планування транспортного обслуговування замовлень пов'язане зі значною кількістю різноманітних за походженням та змістом завдань.

Розв'язання всіх цих завдань спрямоване на економічно ефективно використання наявних транспортних ресурсів (як власних, так і залучених) для виконання замовлень з точки зору їх перевезень (доставки споживачеві). Класифікація наявних завдань оперативного планування транспортного забезпечення виконання замовлень, зображена на рис. 1. Серед наведених завдань важливе місце займають питання маршрутизації перевезень.



Рис. 1. Класифікація завдань транспортного забезпечення виконання замовлень

Робота транспорту за раціональними маршрутами спрощує оперативне планування, забезпечує регулярність перевезень, підвищує продуктивність рухомого складу, ефективність як самих перевезень, так і логістичного обслуговування взагалі.

**Виділення невирішених частин проблеми.** Завдання, пов'язані з визначенням маршрутів, відносяться до складних комбінаторних оптимізаційних задач, які, зазвичай, не мають простих аналітичних розв'язань. При цьому складність обчислень експо-

ненційно зростає при збільшенні пунктів на маршрутах, що викликає застосування різноманітних евристичних алгоритмів і процедур.

**Формулювання цілей статті.** Тому метою роботи обрано вивчення доцільності використання класичних та нових методів маршрутизації перевезень вантажів стосовно фармацевтичної продукції, зокрема, при обслуговуванні аптечних закладів-клієнтів оптовими фармацевтичними посередницькими підприємствами, а також практич-

ного застосування відповідних комп'ютерних моделей і програм.

### Основна частина

Альтернативою існуючим класичним, традиційним методам вирішення завдань маршрутизації є використання нейромережних моделей, котрі дозволяють при значному зменшенні часу отримати якісні субоптимальні розв'язання. Зокрема, для рішення цієї комбінаторно-оптимізаційної задачі доцільне використання нейронних мереж Хопфілда [1].

Розглянемо основні теоретичні принципи і можливості та відповідні формулювання для побудови моделей і організації обчислень при розв'язанні задач маршрутизації (комівояжера) за допомогою нейромережного підходу.

Для певної групи клієнтів (з відомими відстанями між ними) необхідно знайти найкоротший маршрут відвідування кожного з них лише один раз із поверненням до вихідної точки (місця відправлення вантажу оптовою фармацевтичною фірмою). Позначимо клієнтів, котрим необхідно доставити замовлені лікарські засоби, як А, В, С, D, E. Відповідно, відстані між ними складатимуть  $L_{AB}$ ,  $L_{AC}$ ,  $L_{AD}$ , ...,  $L_{BC}$ ,  $L_{BD}$ , ...,  $L_{DE}$ . Розв'язанням є упорядкована множина з  $n$  - пунктів розташування замовників. Послідовність їх відвідування можна представити матрицею  $n \times n$ , рядки якої відповідають клієнтам, а стовпці – порядку відвідування. Наприклад, в нашому випадку, матриця послідовності відвідування замовників може мати вигляд:

	1	2	3	4	5	
A	0	0	0	0	1	
B	0	1	0	0	0	
C	0	0	1	0	0	
D	1	0	0	0	0	
E	0	0	0	1	0	

В цьому разі послідовність відвідування клієнтів D-B-C-E-A. Відповідно, довжина маршруту складає  $L_{DB} + L_{BC} + L_{CE} + L_{EA}$

В кожному стовпці матриці може бути лише одна одиниця, а всі інші елементи дорівнюють нулю, що відповідає відвідуванню лише одного клієнта в кожний момент часу, а також відвідуванню кожного клієнта лише один раз.

Матрицю вигляду (1) можна розглядати, як стан нейронної мережі з  $N = n^2$  нейронів. Завдання полягає в визначенні одного з  $n! / 2 * n$  маршрутів (такого, котрий має найменшу довжину).

Стан кожного нейрону відбивають два індекси (що відповідають клієнтові та порядку його відвідування на маршруті). Наприклад,  $Y_{D1} = 1$  показує, що клієнт D відвідується першим.

При дослідженні стану та динаміки нейронних мереж широко застосовується аналіз на екстремум (максимум-мінімум) так званої енергетичної функції [2, 3]. Головна її властивість полягає у тому, що в процесі зміни станів нейронної мережі ця функція зменшується та досягає певного локального мінімуму, в котрому надалі зберігає постійну енергію. Це дає змогу розв'язувати відповідні завдання оптимізації, якщо їх представити та формалізувати, як завдання мінімізації енергії (обґрунтувати та побудувати відповідну функцію енергії) [4].

Для розв'язання завдання пошуку маршруту побудуємо енергетичну функцію, в котрій стан з мінімальною енергією відповідає найкоротшому маршруту. В загальному випадку для завдання, що розглядається, вона має наступний вигляд [5]:

$$E = \frac{1}{2} \sum_i \sum_j w_{ij} Y_i Y_j - \sum_j I_j Y_j + \sum_j T_j Y_j. \quad (2)$$

де  $E$  – енергія мережі;

$w_{ij}$  – вага від виходу  $i$ -го нейрону до входу  $j$ -го нейрону;

$Y_j$  – вихід  $j$ -го нейрону;

$I_j$  – зовнішній вхід  $j$ -го нейрону;

$T_j$  – поріг  $j$ -го нейрону.

Зміна енергії внаслідок зміни стану  $j$ -го нейрону може бути визначена як:

$$\delta E = \left( \sum_{i \neq j} w_{ij} Y_i + I_j - T_j \right) \cdot \delta Y_j, \quad (3)$$

де  $\delta Y_j$  – зміна виходу  $j$ -го нейрону.

Кожному стану нейронної мережі відповідає певна величина (значення) енергії. Стійкий стан мережі має меншу енергію, ніж нестійкий. Часова еволюція мережі відповідає процесу зміни станів системи в пошуках мінімуму енергії та зупинка (стабілізація мережі) в цьому стані.

Для системи, що розглядається, функція енергії повинна задовольняти певним вимогам. Зокрема, вона повинна підтримувати стійкі стани в формі матриці (1). Також, з усіх можливих розв'язань, функція енергії повинна підтримувати ті, котрі відповідають найкоротшим маршрутам. Цим вимогам відповідає (при  $Y_{xj} = 0,1$ ) функція енергії наступного вигляду:

$$E = \frac{A}{2} \sum_x \sum_i \sum_{j \neq i} Y_{xi} Y_{xj} + \frac{B}{2} \sum_i \sum_x \sum_{k \neq x} Y_{xi} Y_{ki} + \frac{C}{2} \left( \sum_x \sum_i Y_{xi} - n \right)^2 + \frac{D}{2} \sum_x \sum_{k \neq x} \sum_i d_{xk} Y_{xi} (Y_{k,i+1} + Y_{k,i-1}). \quad (4)$$

Перші три складові виразу (4) задовільняють першу вимогу, четверта – підтримує другу вимогу.

Перша складова дорівнює нулю, якщо кожний рядок матриці містить лише одну одиницю.

Друга складова дорівнює нулю, якщо кожний стовбчик матриці містить лише одну одиницю.

Третя складова дорівнює нулю, якщо в матриці (1) міститься  $n$  одиниць. Таким чином, без врахування четвертої складової, функція енергії мінімальна ( $E=0$ ) в усіх станах, що можуть бути представлені матрицею (1) з лише однією одиницею в кожному стовбчику та рядку. Всі інші стани мають більшу енергію.

Четверта складова виразу (4) підтримує найбільш короткі маршрути та чисельно дорівнює найкоротшому з них.

Перетворення шляхом розкриття виразів у дужках, а також порівняння коефіцієнтів при квадратичних і лінійних складових виразу (4) та загальної формулі енергії (2) дають можливість визначити матрицю зв'язків та зовнішню взаємодію у вигляді:

$$w_{x_i, k_j} = -A\delta_{xk}(1 - \delta_{ij}) - B\delta_{ij}(1 - \delta_{xk}) - C - DL_{xk}(\delta_{j,i+1} + \delta_{j,i-1}), \quad (5)$$

де  $\delta_{ij} = 1$ , якщо  $i=j$ , а в інших випадках  $\delta_{ij} = 0$ . При цьому кожний нейрон має зміщуючу вагу  $I_{x_i} = C_n$ . Перша складова в (5) визначає зв'язки нейронів в кожному рядку, друга – всередині кожного стовбчика, третя і четверта – глобальні зв'язки. Як і в (4), перші три складові визначають загальні обмеження для будь-якої задачі комівояжера і призводять мережу до кінцевого (фінального) стану у вигляді (3). Четверта складова визначає, яке з  $n \cdot \frac{1}{2} * n$  можливих фінальних станів системи відповідає найкоротшому маршрутові.

Наведені теоретичні обґрунтування та відповідне програмне забезпечення, що реалізує їх шляхом створення і розрахунку відповідної нейронної мережі, були застосовані для пошуку оптимальних маршрутів обслуговування клієнтів-замовників фармацевтичної продукції при доставці їм замовлень (як в межах м. Харкова, так і при міжобласних перевезеннях).

На рис. 2 наведено один з побудованих маршрутів розвезення замовлень оптовою фармацевтичною фірмою на Салтівському напрямку м. Харкова.

Використана при розрахунках матриця відстаней між кожною парою пунктів маршруту (аптек – отримувачів замовлень) наведена в табл. 1. При цьому першим номером позначено оптове підприємство, що виконує замовлення аптек-клієнтів (№№ 2 – 13).

В умовах щоденної зміни структури, складу, обсягів замовлень традиційне прийняття рішень про маршрути перевезень (на підставі досвіду роботи менеджерів і водіїв автотранспорту) виявилось малоєфективним.

Таблиця 1

Матриця відстаней (у км) між парами пунктів на маршруті

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	9,1	8,6	8,5	9,7	11	9,8	11	10	8	9	9,9	8,7
2		0	2,1	1,3	4,9	5,1	3,5	5,8	7,1	4,9	0,1	3,6	5,9
3			0	0,8	2,8	3,2	1,6	3,8	5	2,9	2	1,7	3,9
4				0	3,6	3,8	2,3	4,6	5,8	3,7	1,2	2,4	4,7
5					0	1,6	2,6	1	2,3	1,7	4,8	2,7	2
6						0	2	2,3	3,6	3,2	5,1	2,1	3,3
7							0	3,5	4,8	2,7	3,5	0,1	3,6
8								0	1,5	2,6	5,8	3,6	2,7
9									0	2,1	7,1	4,9	2,1
10										0	4,9	2,8	1
11											0	3,6	5,9
12												0	3,7
13													0

Єдиним засобом оперативного вирішення задач маршрутизації є використання спеціалізованого комп'ютерного забезпечення на базі сучасних математичних методів оптимізації (лінійного програмування, спеціальних методів маршрутизації, нейромережного підходу тощо).

Комп'ютерна маршрутизація дає можливість визначити мінімальні відстані між обслуговуваними пунктами і мінімальний час в дорозі. Результати для внутрішньоміського маршруту, представленого на рис. 2, наступні. Довжина маршруту – 30,29 км. Час перебування на маршруті – 40 хв. Порядок об'їзду аптек на маршруті за №№: 1-10-13-9-8-5-6-12-7-3-4-2-11-1.

Напрямок руху (прямий або зворотній), якщо відсутні додаткові умови стосовно терміну доставки вантажу у певні аптеки, визначається шляхом додаткового розрахунку сумарної ваги виконаних замовлень (вона має бути більшою) при проходженні половини маршруту за відстанню.

При аналізі отриманих маршрутів слід враховувати тимчасові обмеження на рух по тих чи інших ділянках міської транспортної мережі, що входить до маршруту. Також слід мати на увазі, що фактичний час перебування на маршруті включає також витрати на вивантаження товару.

Для міжміських маршрутів слід враховувати, що в населених пунктах можуть бути кілька пунктів розвантаження. Тому виникає задача комбінування таких маршрутів з внутрішньоміськими розв'язними маршрутами, що є значно складнішою і потребує подальших досліджень. Крім того, при оптимізації за часом руху на практиці слід враховувати вимоги до прибуття вантажу в певний пункт у визначений термін доставки, вимоги до обмеження безперервного робочого часу водіїв з точки зору безпеки руху та охорони праці тощо.

## Висновки

Наведено загальну класифікацію завдань транспортного забезпечення виконання замовлень, прийнятну для обслуговування замовлень з доставки

фармацевтичної продукції від оптових посередників в аптечну мережу.

Запропоновано застосування нейромережного

підходу для моделювання завдань маршрутизації перевезень фармацевтичної продукції. Наведено математичну постановку задачі.

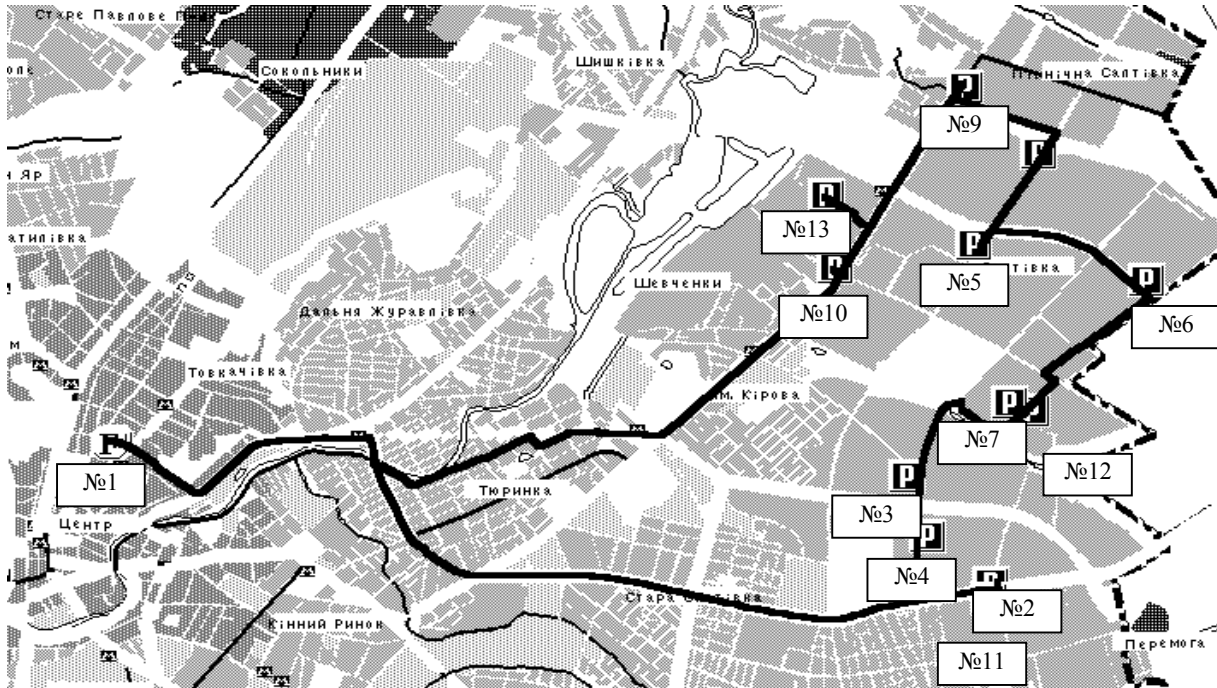


Рис. 2. Розташування аптек на маршруті доставки фармацевтичної продукції у Салтівському напрямку м. Харкова

Із використанням комп'ютерної програми виконано моделювання внутрішньоміського маршруту перевезень лікарських засобів в аптеки за обраними критеріями (час руху, пробіг на маршруті, завантаження автомобіля, стан дорожньої мережі тощо).

### Список літератури

1. Гордиенко Е.К. Искусственные нейронные сети. Основные определения и модели / Е.К. Гордиенко, А.А. Лукьяница // *Техническая кибернетика*. – 1994. – №5. – С. 79-91.
2. Мнушко З.М. Развитие логистического моделирования деятельности оптовых фармацевтических предприятий на вітчизняному ринку / З.М. Мнушко, С.А. Куценко, Л.П.

Дорохова // *Фармац. журн.* – 2005. – № 5. – С. 3-7.

3. Громо́вик Б.П. Логістичні технології у фармації / Б.П. Громо́вик // *Фармац. журн.* – 2002. – №1. – С. 8-19.

4. Щербаков М.А. Искусственные нейронные сети / М.А. Щербаков. – Пенза: ПГТУ, 1996. – 45 с.

5. Cooper J., Browne M., Peters M. *European Logistics: Markets, Management and Strategy*. – Cambridge: T.J. Press Ltd, 1994. – 331 p.

Надійшла до редколегії 12.02.2009

**Рецензент:** канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співр. О.О. Можасв, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

### МАРШРУТИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА

А.В. Дорохов

Рассмотрена организация доставки фармацевтической продукции от предприятий - оптовых посредников в розничную аптечную сеть. Обоснована возможность и целесообразность использования нейросетевого подхода для оптимизации маршрутов транспортирования заказанных лекарственных средств. Приведена формальная постановка и решение задачи. Выполнено компьютерное моделирование маршрутов перевозок от оптовиков в аптеки-клиенты по критериям минимизации времени движения и пробега транспортных средств на маршруте.

**Ключевые слова:** транспортирование фармацевтической продукции, компьютерная маршрутизация перевозок, нейросетевое моделирование.

### ROUTING OF PHARMACEUTICAL PRODUCTION'S TRANSPORTATION ON THE BASIS OF THE NEURAL NETWORKS APPROACH

O.V. Dorokhov

The organization of drugs delivery from the enterprises – wholesale intermediaries to the retail pharmacies network is considered. The opportunity and expediency for using of the neural networks approach for optimization of routes for transportation of the ordered medical products is proved. Formal statement and the decision of the problem is resulted. It is executed computer modelling of routes for drugs transportations from wholesalers to the drugstores-clients by criteria of minimization of movement time and vehicles run on a route.

**Keywords:** transportation of pharmaceutical production, computer routing of transportations, neural networks modelling.