

К. В. Колесніков, к.т.н, доцент,
e-mail: klsn@i.ua

А. Р. Карапетян, старший викладач,
e-mail: anait.r.karapetyan@gmail.com

В. Ю. Баган, магістрант
e-mail: Windbringer579@gmail.com

Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАДАЧІ МАРШРУТИЗАЦІЇ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ТА ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ

У статті представлені результати експериментального дослідження вдосконалених моделей та методів адаптивної маршрутизації та розподілу ресурсів за допомогою штучних нейронних мереж і генетичних алгоритмів.

Ключові слова: маршрутизація, адаптивна маршрутизація, багатокритеріальна оптимізація, генетичний алгоритм, нейронні мережі, мережі Хопфілда.

Постановка проблеми. Зростання кількості користувачів комп'ютерних мереж зумовлює зростання складності структур мереж і взаємодії між ними. Відповідно ускладнюється і пошук оптимальних шляхів у мережі для швидкої доставки запитів, тобто ускладнюється завдання маршрутизації.

Для розв'язання задач маршрутизації використовуються класичні алгоритми, які оперують одним параметром оптимізації. Однак кожен гілку мережі характеризують кілька параметрів (пропускна здатність, затримка, швидкість передачі, навантаження, надійність). Таким чином, у сучасних мережах з'явилась необхідність розв'язання задачі про найкоротші шляхи з кількома критеріями оптимізації. Тому виникає актуальна необхідність формування нових підходів та алгоритмів розв'язання задач пошуку оптимальних шляхів з багатьма критеріями.

Через складність структур сучасних комп'ютерних мереж задача маршрутизації не вирішується повною мірою. У більшості випадків це пов'язано з маршрутизаторами, які не справляються з підтриманням таблиць маршрутизації і вибором оптимальних маршрутів для даного класу трафіку. Тому виникає завдання дослідження існуючих алгоритмів маршрутизації з метою поліпшення їх характеристик або створення нових алгоритмів маршрутизації.

Аналіз останніх досліджень. До недавнього часу теоретичну базу для проектування і моделювання систем розподілу інформаційних потоків забезпечувала теорія телеграфіку, яка є однією з гілок теорії масового обслуговування, що отримала свій розвиток у роботах ряду авторів: А. К. Ерланг, Л. Клейнрок, Г. П. Башарин, А. Д. Харкевич, В. М. Вишневецький та ін. Найбільш поширеною моделлю потоку викликів у теорії телеграфіку є стаціонарний пуассонівський потік, відповідний для мереж з комутацією каналів. У роботах зарубіжних дослідників (W. Leland, D. Wilson, I. Noros, В. І. Нейман, Б. С. Цибаков, О. І. Шелухін, В. С. Заборовський, А. Я. Городецький) стверджується, що трафік у мережах з комутацією пакетів має так звану властивість «самоподібності». У результаті теоретичні розрахунки характеристик сучасних систем розподілу інформації за класичними формулами дають некоректні результати щодо довжин черг і часу затримок пакетів [1].

Таким чином, розробка моделей і алгоритмів маршрутизації, що враховують завантаженість ліній і «самоподібність» трафіку, є актуальною.

Метою роботи є дослідження ефективності використання мережних ресурсів у розподілених мережах за допомогою штучних нейронних мереж та генетичних алгоритмів.

Виклад основного матеріалу. Стандартна математична задача оптимізації формулюється таким чином.

Серед елементів x , що утворюють множину X , знайти такий елемент x^* , який доставляє мінімальне значення $f(x^*)$ заданої функції $f(x)$. Щоб коректно поставити завдання оптимізації, необхідно задати: допустиму множину X ; цільову функцію – відображення $f: X \rightarrow R$; $X \rightarrow$ критерій пошуку (max або min).

Якщо мінімізована функція не є опуклою, то часто обмежуються пошуком локальних мінімумів і максимумів – точок x_0 таких, що в деякому їх оточенні $f(x) \geq f(x_0)$ для мінімуму і $f(x) \leq f(x_0)$ для максимуму.

Якщо допустима множина $X = R^n$, то таке завдання називається завданням безумовної оптимізації, в іншому випадку – завданням умовної оптимізації.

Існує декілька методів оптимізації, які можна розділити на три групи: детерміновані; випадкові (стохастичні); комбіновані.

Зокрема, великий інтерес становлять еволюційні методи, які є стохастичними. Еволюційні методи ґрунтуються на прикладі робо-

ти еволюції і навчання, до таких методів відносять нейронні мережі, генетичні алгоритми.

Генетичний алгоритм – це евристичний алгоритм пошуку, використовується для вирішення завдань оптимізації та моделювання шляхом випадкового підбору, комбінування і варіації параметрів з застосуванням механізмів, що нагадують біологічну еволюцію, є різновидом еволюційних обчислень. Характерна особливість генетичного алгоритму – акцент на використанні оператора «схрещування», що виробляє операцію рекомбінації рішень-кандидатів, роль якої аналогічна ролі схрещування в живій природі [3].

Дослідження в галузі оптимізації із застосуванням генетичних алгоритмів є надзвичайно актуальними. В результаті проведених досліджень [4] виконано моделювання розробленого методу пошуку оптимальних маршрутів за допомогою генетичних алгоритмів.

Застосовуючи цей алгоритм при різних початкових умовах (чисельність популяцій, відсоток мутацій), проведено дослід. Отримані результати наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльна таблиця дослідів

Дослід 1		Дослід 2		Дослід 3	
Ітерація	Тривалість туру	Ітерація	Тривалість туру	Ітерація	Тривалість туру
6282	5144,85	8777	5998,4	9343	5737,99
14333	3634,53	13662	5348,55	20433	4333,22
25364	3026,23	24479	4464,12	25055	4058,96
31278	2742,6	41372	3318,84	40753	3461,64
39355	2581,27	62722	2898,17	51420	3244,98
48014	2286,55	85593	2597,13	71485	2951,9
79343	2203,49	101107	2553,54	83948	2843,87
88723	2146,63	135637	2505,06	105026	2739,95
115516	2127,27	886121	2504,18	146509	2555,04
142258	2114,02	1768136	2502,01	182131	2504,17
375044	2104,71	2213009	2476,38	206007	2475,27
1063165	2104,71	7825301	2426,3	4672430	2443,77
10000000	2104,71	10000000	2426,3	10000000	2443,77

Сформовані підходи дозволяють значно спростити розв'язання задачі маршрутизації у складних комп'ютерних системах.

Ще одним із підходів до вирішення задачі маршрутизації є використання нейронних мереж [2, 8].

Для розв'язання задачі оптимізації маршрутизації обрано алгоритм нейронної мережі Хопфілда з використанням функції енергії Ляпунова. Мережі Хопфілда є рекурентними мережами, або мережами зі зворотними

зв'язками і якнайкраще підходять для пошуку оптимального маршруту [9].

При дослідженні можливостей нейронних мереж для вирішення завдання маршрутизації було показано необхідність використання нейронної мережі Хопфілда [5].

При проведенні досліджень для прикладу використовувалася структура мережі, зображена на рис. 1.

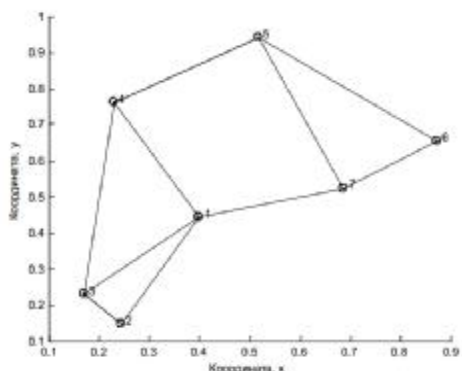


Рис. 1. Структура мережі для дослідження запропонованої функції оптимізації

Мережа складається з семи вузлів, джерело і пункт призначення знаходяться у вузлах з номерами 5 і 2.

Для функції активації використовується вдосконалена функція Ляпунова [6]:

$$E_{PKH} = \frac{\mu_1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left(v_{ij} \sum_{k=1}^N (1 - c_{ik}) c_{kj} \right) + \frac{\mu_2}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \gamma_{ij} v_{ij} + \frac{\mu_3}{2} \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^N v_{ij} + \sum_{j=1}^N v_{ji} - \varphi_i \right)^2 + \frac{\mu_4}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N v_{ij} (1 - v_{ij}) + \frac{\mu_5}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left(v_{ij} \sum_{k=1}^N v_{ki} \right) + \frac{\mu_6}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N v_{ij} h_{ij}, \quad (1)$$

де μ_n – деякі вагові коефіцієнти;

c_{ij} – «вартість» передачі пакетів між вузлами;

v_{ij} – частка інтенсивності потоку, що надходить;

a – коефіцієнт, що визначає крутизну активаційної функції.

Вона дозволяє не тільки знаходити маршрут, але й регулювати кількість дуг.

Коефіцієнт μ_1 і відповідна складова функції впливають на швидкість пошуку мінімальної вартості передачі пакетів по маршруту з вузла s у вузол d . Введення складової функції при коефіцієнті μ_2 обумовлено використанням тільки існуючих зв'язків. Наприклад, деякі дуги в графі можуть бути відсутніми, тому відповідний коефіцієнт c_{ij} дорівнюватиме нескінченності. У цьому випадку γ_{ij} дорівнюватиме 1. У свою чергу, це призведе до збільшення функції (1), а це неприпустимо при вирішенні задачі мінімізації. При вирішенні задач маршрутизації це гарантує виключення неіснуючих шляхів за рахунок блокування включення в маршрут неіснуючих каналів.

Доданок з коефіцієнтом μ_3 введено для виконання умови збереження потоку у вузлі. Доданок з коефіцієнтом μ_4 вводиться для забезпечення виконання умови $v_{ij} \in \{0,1\}$,

не дозволяючи отримати перевагу якомусь нейрону. Для реалізації процесу пошуку рішення задачі знаходження найкоротшого шляху необхідно визначити алгоритм зміни ваг зв'язків у нейронній мережі. Для цього визначимо матрицю ваг у мережі $U = \|u_{ij}\|$.

В окремому випадку зміну ваг зв'язків у нейронній мережі можна проводити, використовуючи такий вираз:

$$\frac{\partial u_{ij}}{\partial t} = -u_{ij} - \frac{\partial E}{\partial v_{ij}}.$$

Це дозволить, використовуючи метод градієнтного спуску, мінімізувати функцію (1) і знайти стійкий стан мережі Хопфілда, що відповідатиме найкоротшому шляху між вузлами s і d [10].

Для проведення дослідження можливостей штучної нейронної мережі Хопфілда при вирішенні задачі знаходження шляху найменшої довжини були використані структури з кількістю вузлів 5, 10, 15 і 20.

Для дослідження можливості розв'язання задачі пошуку найкоротшого шляху при моделюванні в системі MATLAB були задані значення коефіцієнтів і змінних, наведені в табл. 2 і 3.

Таблиця 2

Коефіцієнти для розв'язання задачі пошуку шляху мінімальної довжини

Параметр	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	a
Значення	950	2500	1900	100	500	50

Таблиця 3

Результати проведених досліджень

Кількість вузлів у мережі, N	s	d	Оцінка кількості правильних рішень, %	$P_{\min}$	$P_{\max}$
5	1	5	97,2	0,51	1,68
	2	3	100	0,11	1,28
	3	5	84,2	0,79	1,6
	5	4	99,9	0,33	1,59
	4	2	88,9	0,61	1,77
10	1	10	3	0,47	1,68
	2	7	10	0,34	1,59
	5	3	99	0,34	1,79
	3	9	87	0,37	1,63
	6	4	92	0,22	1,59
15	1	15	90	1,77	2,14
	6	12	87	2,32	3,22
	14	6	93	3,18	3,85
	7	12	92	1,87	3,73
	4	6	90	2,77	3,14
20	1	20	87	3,32	4,22
	5	17	93	3,18	4,85
	18	3	92	2,87	5,73
	17	4	93	3,18	7,85
	4	11	92	3,87	6,73

В результаті проведених досліджень були отримані наступні результати, зображені на рис. 2–8.

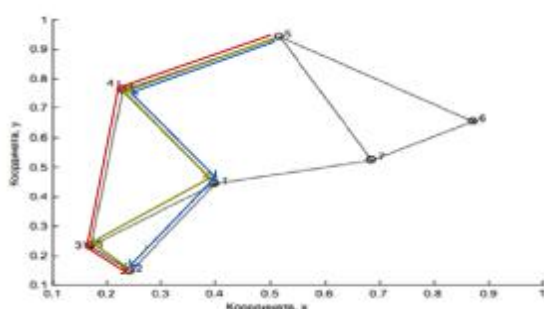
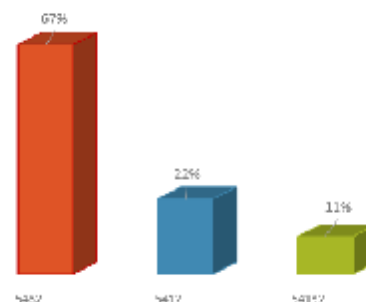


Рис. 2. Граф що відображає маршрути

Використовуючи значення $\mu_6 = 500$, алгоритм знаходить найкоротший шлях по кількості вузлів, але без урахування ваги; отримані результати зображені на рис. 3.

Рис. 3. Результати рішення задачі маршрутизації при використанні функції Ляпунова з $\mu_6 = 500$

Використовуючи $\mu_6 = 100$, алгоритм знаходить ще один шлях зі збільшеною кількістю вузлів, але також без урахування ваги. Отримано результати, зображені на рис. 7, тому потрібно брати значення більше 100 та менше 500.

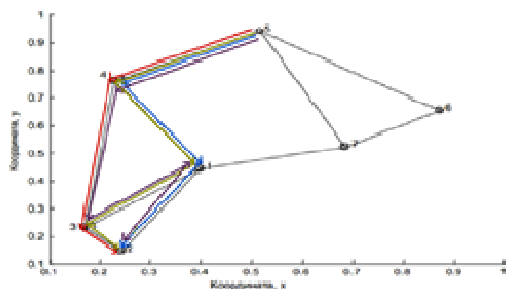


Рис. 4. Граф що відображає маршрути

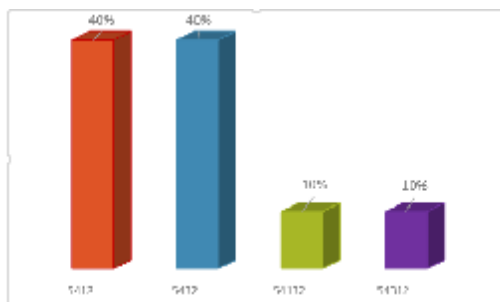
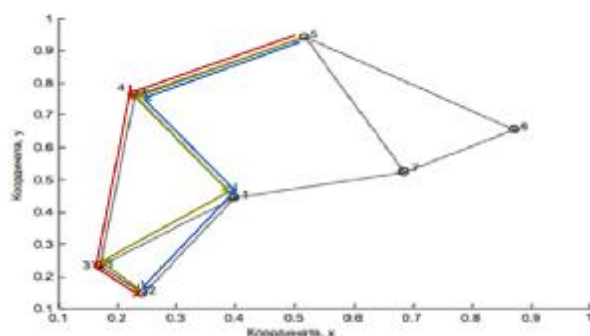
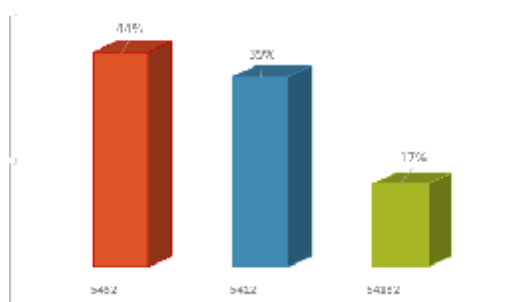
Рис. 5. Результати рішення задачі маршрутизації при використанні функції Ляпунова з $\mu_6 = 100$ 

Рис. 6. Маршрути графа

Рис. 7. Результати рішення задачі маршрутизації при використанні функції Ляпунова з $\mu_6 = 250$

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок про те, що коефіцієнтові μ_6 необхідно приймати значення 250, тому що

при цьому зберігається висока швидкість збіжності алгоритму і забезпечується висока ймовірність вирішення завдання пошуку маршруту мінімальної «вартості» і з найменшою кількістю дуг.

Так, у випадку, якщо для оптимізації використовується вираз (1), то отримуємо результат, зображений на рис. 8.

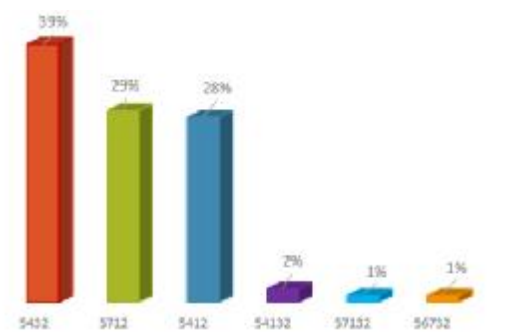


Рис. 8. Результати рішення задачі маршрутизації при використанні виразу (1) без регулювання кількості використовуваних дуг

Висновки. З отриманих результатів видно, що графи можуть містити рішення з чотирьох, п'яти і шести дуг, а при використанні виразу вдосконаленої функції Ляпунова рішення містять тільки маршрути з чотирьох і п'яти дуг. При цьому нейронна мережа в ході пошуку маршрутів прагне знаходити більше рішень, які містять шлях меншої довжини з меншою кількістю дуг.

Запропонований вид функції здатен вирішувати задачу маршрутизації з перебуванням шляху мінімальної вартості і з використанням мінімальної кількості дуг.

На основі виконаних досліджень зроблено висновок, що еволюційні алгоритми є досить потужним математичним інструментом і можуть з успіхом застосовуватися для вирішення широкого класу прикладних задач, включаючи ті, які важко або навіть взагалі неможливо вирішити іншими методами. Час збіжності таких алгоритмів може змінюватись залежно від необхідної точності та динаміки зміни мережі.

Перспективним напрямом є використання еволюційних алгоритмів оптимізації для створення сучасних протоколів маршрутизації, які враховують як характеристики мережевих з'єднань, так і обладнання.

Сформовані підходи дозволяють значно спростити (а для деяких окремих випадків є єдиним варіантом) розв'язання задачі маршрутизації у розподілених комп'ютерних мережах.

Список літератури

1. Гладков Л. А. Генетические алгоритмы : учеб. пособие / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик. – 2-е изд. – М. : Физматлит, 2006. – 320 с.
2. Wieselthier J. E. A neural networks approach to routing without interference in multihop networks / J. E. Wieselthier, C. M. Barnhart, A. Ephermides // *IEEE Transactions on Comm.* – 1994. – Vol.42, no.1. – P. 166–177.
3. Rosenberg R. S. Simulation of genetic populations with biochemical properties / R. S. Rosenberg // *Mathematical Biosciences*. – 7. – P. 223–257.
4. Колесніков К. В. Застосування нейронних мереж Хопфілда до задач адаптивної маршрутизації даних в телекомунікаціях / К. В. Колесніков, А. Р. Карапетян, О. В. Кравченко // *Автоматика*. – Т. 2. – Харків : ХНУРЕ, 2010. – С. 168–169.
5. Колесніков К. В. Генетичні алгоритми для задач багатокритеріальної оптимізації в мережах адаптивної маршрутизації даних / К. В. Колесніков, А. Р. Карапетян, Т. А. Царенко // *Вісник НТУ «ХПІ»*. – 2013. – № 56 (1029). – С. 44–50.
6. Колесніков К. В. Використання нейромережових моделей для знаходження оптимального шляху в мережах з адаптивною маршрутизацією пакетів даних / К. В. Колесніков, О. Г. Нікулін, А. Р. Карапетян // *Вісник. Нові рішення в сучасних технологіях*. – № 56. – Харків : НТУ «ХПІ», 2013. – С. 50–56.
7. Галушкин А. И. Нейрокомпьютеры в разработке военной техники США / А. И. Галушкин // *Зарубежная радиоэлектроника*. – 1995. – № 6. – С. 4–21.
8. Білоус Р. В. Особливості прикладного застосування генетичного алгоритму пошуку оптимальних шляхів на графі / Р. В. Білоус, С. Д. Погорілий // *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. – 2010. – Т. 12, № 2. – С. 81–87.
9. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника : теория и практика / Ф. Уоссерман. – М. : Мир, 1990.

10. Hopfield J. J. Neural computation of decisions in optimization problems / J. J. Hopfield, D. W. Tank // *Biol Cybern.* – 1985. – V. 52, № 3. – P. 141–152.

References

1. Gladkov, L. A., Kureichik, V. V. and Kureichik, V. M. (2006), Genetic algorithms. 2nd ed. Moscow: Fizmatlit, 320 p. [in Russian].
2. Wieselthier, J. E., Barnhart, C. M. and Ephermides, A. (1994), A neural networks approach to routing without interference in multihop networks. *IEEE Transactions on Comm.*, 42 (1), pp. 166–177.
3. Rosenberg, R. S. Simulation of genetic populations with biochemical properties, *Mathematical Biosciences*, (7), pp. 223–257.
4. Kolesnikov, K. V., Karapetyan, A. R. and Kravchenko, O. V (2010), Application of Hopfield neural networks for problems of adaptive routing data in telecommunications. *Avtomatika*, (2), Kharkiv : KhNURE, pp. 168–169 [in Ukrainian].
5. Kolesnikov, K. V., Karapetyan, A. R. and Tsarenko, T. A. (2013) Genetic algorithms for multicriterion optimization problems in networks of adaptive routing data. *Visnyk NTU "KhPI"*, 59 (1029), pp. 44–50 [in Ukrainian].
6. Kolesnikov, K. V., Nikulin, O. G. and Karapetyan, A. R. (2013), The use of neural network models for finding the optimal way in networks with adaptive routing of data packets. *Visnyk. Novi rishennya v suchasnyh tehnologiyah*, (56), Kharkiv : NTU "KhPI", pp. 50–56 [in Ukrainian].
7. Galushkin, A. I. (1995) Neurocomputers in the development of US military equipment. *Zarubezhnaya radioelektronika*, (6), pp. 4–21 [in Russian].
8. Bilous, R. V. and Pogorilyy, S. D. (2010), Features of applied use of genetic algorithm for the search of optimal ways on the graph. *Reyestratsiya, zberigannya i obrobka danyh*, 12 (2), pp. 81–87 [in Ukrainian].
9. Uosserman, F. (1990), Neurocomputing equipment : theory and practice. Moscow: Mir [in Russian].
10. Hopfield, J. J. and Tank, D. W. (1985), Neural computation of decisions in optimization problems. *Biol. Cybern.*, 52 (3), pp. 141–152.

K. V. Kolesnikov, *Ph.D., associate professor*,
e-mail: klsn@i.ua

A. R. Karapetyan, *senior lecturer*,
e-mail: anait.r.karapetyan@gmail.com

V. Yu. Bahan, *undergraduate*
e-mail: Windbringer579@gmail.com

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

THE ANALYSIS OF THE INVESTIGATION RESULTS ON THE REALIZATION OF ROUTING TASK BASED ON NEURAL NETWORKS AND GENETIC ALGORITHMS

There appears a necessity to solve tasks concerning the shortest ways with several optimization criteria. For this reason the task of the formation of new approaches and algorithms for the solution of problems of optimal rooting in networks becomes an actual one.

The object of the study is to research the efficiency of the use of net resources in the distributed networks by means of artificial neural networks and genetic algorithms.

As a result of the researches the modeling of the developed method of route optimization by means of genetic algorithms has been done. The researches have been performed using the presented algorithm with various preconditions (populations sizes, mutation percentage). The conclusion is made based on the two last researches: the first minimal determined value with 3 % error between them was found less than in 5 seconds. The following solutions differ by less than 1 % error. It is possible to speed up the work of algorithm by assigning right sizes of original population and mutation percentage. One more approach to solve the routing task is the use of neural networks. Hopfileld's neural network algorithm with the use of Lyapunov's function has been chosen to solve the task of routes optimization.

Using the gradient descent method it has allowed to minimize the function and to find the stable state of Hopfileld's network which corresponds to the shortest way between the nodes.

To research the possibilities of Hopfileld's neural network when solving the task of finding the shortest way the structures with numbers of nodes 5, 10, 15 and 20 were used. The obtained results show that graphs can contain the solutions consisting of four, five and six arrows and that the solutions contain only routes of four and five arrows when the expression of improved Lyapunov's function is used. At the same time the neural network in the course of routes search is aimed to find more solutions containing the shortest way with the smallest number of arrows.

Keywords: *routing, adaptive routing, multicriterion optimization, genetic algorithm, neural networks, Hopfield nets.*

*Рецензенти: В. М. Рудницький, д.т.н, професор,
М. П. Мусієнко, д.т.н, професор*