

аналізом Фішера, не ефективні для задач з великою кількістю класів. Цей недолік є характерним також для методу  $K$ -найближчих сусідів. Складністю тренувальної фази характеризуються сучасні популярні методи опорних векторів та генетичний алгоритм. Головним недоліком нечіткої логіки для класифікації є необхідність в апіорних оцінках. Тому серед цих методів значно вирізняється точністю та універсальністю нейромережевий підхід. Більшість недоліків наведених методів усунуто цим засобом. Також нейронні мережі вирізняються здатністю до динамічного оновлення, стійкістю до зашумлених даних та паралельною архітектурою. Тому розширення існуючих обмежень є актуальною задачею, розв'язання якої дасть змогу підвищувати ефективність класифікації методом нейронних мереж.

### Література

1. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М. : Изд-во "Финансы и статистика", 1989. – 607 с.
2. Han J. Data Mining: Concepts and Techniques / J. Han, M. Kamber. – Edition 2, San Francisco : Elsevier Inc., 2006. – 743 p.
3. Lippman R.P. An Introduction to Computing with Neural Nets / R.P. Lippman // IEEE ASSP Magazine. – 1987. – Vol. 3, № 4. – Pp. 4-22.
4. Michie D. Machine Learning, Neural and Statistical Classification / D. Michie, D.J. Spiegelhalter, C.C. Taylor. – New York : Overseas Press., 2009. – 298 p.
5. Seetha M. Artificial Neural Network and Other Methods of Image Classification / M. Seetha, I.V. Muralikrishna, B.L. Deekshatulu // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2008. – Vol. 4, № 11. – Pp. 1039-1053.

### **Бренич Я.В. Сравнительные оценки основных современных методов и средств классификации**

Сделан краткий обзор основных современных методов и средств, предназначенных для решения задачи классификации. Приведены существующие систематизации этих подходов. Описаны преимущества и недостатки семи популярных и широко используемых классификаторов. Проведен сравнительный анализ этих методов по пяти критериям: тип подхода, области решения, скорость тренировочной фазы, точность и общее представление подхода. Продемонстрированы преимущества нейросетевого подхода над другими описанными методами для решения задачи классификации.

**Ключевые слова:** задача классификации, методы и средства классификации, линейный дискриминантный анализ Фишера, метод  $K$ -ближайших соседей, деревья принятия решений, нейронные сети, метод опорных векторов, нечеткая логика, генетический алгоритм.

### **Brenych Ya.V. A comparison of some modern classification methods and tools**

The overview of some modern methods and tools which are suitable for solving classification problem is done. The systematizations of existing approaches are demonstrated. The advantages and limitations of the most popular seven methods are described. These methods are analyzed according to the five indications. They are type of approach, decision boundaries, training speed, accuracy and general performance. The advantages of neural networks over the other methods of classification are described.

**Keywords:** classification problem, classification methods and tools, Fisher's linear discriminant,  $K$ -nearest neighbor, decision trees, neural networks, support vector machines, fuzzy logic, genetic algorithm.

УДК 656.13.056.4.001.37

Ст. викл. Д.В. Руденко; студ. І.М. Мартиняк –  
Львівський ДУ безпеки життєдіяльності

## РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ ДИНАМІКИ РУХУ АВТОМОБІЛІВ ЧЕРЕЗ РЕГУЛЬОВАНІ ПЕРЕХРЕСТЯ З ВРАХУВАННЯМ УПРАВЛІННЯ СВІТЛОФОРНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

Запропоновано спосіб розрахунку значень цільової функції, який дає змогу здійснити пошук оптимальних параметрів управління світлофорними об'єктами на вулицях із двобічним рухом автотранспорту для міської вуличної мережі. Розроблена модифікація моделі динаміки руху автотранспортних засобів, що враховує необхідність дотримання безпечної відстані між автомобілями під час руху, дає змогу визначити раціональну тривалість фаз світлофорного регулювання для окремих напрямків, а також загальну тривалість циклу регулювання залежно від очікуваної інтенсивності руху на вулицях, що примикають до перехрестя.

**Ключові слова:** управління дорожнім рухом, світлофорні об'єкти.

**Вступ.** В міру розвитку дорожнього руху дедалі більше людей утягується в його сферу: водії автомобілів, мотоциклів, різного роду самохідних механізмів, а також пасажери й пішоходи. Фактично все населення значну частину часу виступає в ролі учасників дорожнього руху. Від поведінки учасників руху залежить безпека і, отже, швидкість. Масова підготовка населення до правильної орієнтації у складних умовах сучасного дорожнього руху – також неодмінна умова його удосконалювання.

Характерні в цьому відношенні дослідження деяких закордонних фахівців [12, 11]. Незважаючи на те, що у цих працях розглянуто переважно інженерні проблеми, автори критично оцінили стан такої складової організації дорожнього руху, як людський фактор. Посилаючись на необхідність використання можливостей як технічних, так і гуманітарних наук і висловлюючи думку про те, що часто не технічні параметри руху, що підлягають точному розрахунку, а звичай, звички й випадковість в поведінці людини, котра бере участь у дорожньому русі, є критичними факторами, від яких залежить остаточне рішення.

**Виклад основного матеріалу.** Особливістю дорожнього руху як об'єкта управління є неповна керованість, суть якої полягає в тому, що навіть за наявності в системі керування повної інформації про транспортні потоки і можливість доведення керуючих впливів до кожного водія, ці впливи у багатьох випадках можуть мати тільки дорадчий характер. Ця особливість робить дуже проблематичним досягнення глобального екстремуму будь-якого критерію управління.

Цільовою функцією управління дорожнім рухом можуть бути прийняті: загальний час проїзду, число зупинок за одну поїздку, коефіцієнт пропуску, середня затримка екіпажа за цикл, середні простой через затримки [9], швидкість руху, число ДТП, об'єм шкідливих викидів в атмосферу [10], інтенсивність руху [4] і т.ін. Більшість перерахованих характеристик дорожнього руху є взаємозалежними, але назвати одну з них основною чи навіть однозначно ранжувати їх не є можливим [5, 8].

Характерною рисою дорожнього руху як об'єкта управління є складність, і навіть неможливість виміру практично всіх характеристик якості управ-

ліній. Так, оцінка величини транспортної роботи потребує або наявності даних транспортних потоків на всіх напрямках руху, або використання даних аерофотознімання, або проведення трудомісткого ручного обстеження. На Україні ситуація ускладнюється відсутністю надійних і недорогих технічних засобів (давачів), призначених для одержання даних про транспортні потоки [7, 2].

Оцінка якості управління дорожнім рухом і проектними рішеннями у сфері організації дорожнього руху, особливо для складних об'єктів, комплексних схем організації руху міст із населенням понад 500 тис. жителів, тимчасових схем організації руху на період перекриття значних ділянок вуличної мережі пов'язана з необхідністю урахування достатньо великої кількості даних для вирішення суперечностей непевності об'єктивного і суб'єктивного характеру. Здебільшого ці труднощі обумовлені відсутністю надійних методів прогнозування розподілу транспортних потоків у межах району, охопленого світлофорною мережею автоматизованої системи управління дорожнім рухом (далі – АСУДР), за різноманітних варіантів прийнятих управлінських рішень. Це, водночас, пов'язано з наявністю значного числа факторів, що впливають на інтенсивність руху автомобільного транспорту і розподіл транспортних потоків за ділянками вуличної мережі.

До таких факторів належать:

- топологічні характеристики, що відбивають геометричну структуру вуличної мережі і параметри її окремих елементів (наприклад, ширина проїжджої частини, конфігурація перехресть, транспортних розв'язок);
- фактори, пов'язані власне з організацією руху (однобічний рух, заборони маневрів на перехрестях, заборони руху вантажного транспорту);
- фактори, обумовлені наявністю світлофорного регулювання (схеми пофазного роз'їзду й параметри світлофорного регулювання, характеристики регульованих напрямків, наявність координованого управління світлофорними об'єктами);
- характеристики дорожнього покриття, що відбивають його стан і впливають на умови й швидкість руху транспорту;
- фактори, пов'язані з наявністю пішохідних потоків і організацією руху пішоходів (дислокація нерегульованих і регульованих пішохідних переходів, наявність пішохідних огорожень);
- фактори, пов'язані з рухом маршрутного громадського транспорту (інтенсивність руху маршрутних автобусів і тролейбусів, дислокація зупинок трамваїв у разі розташування трамвайної полотнини на одному рівні з проїжджою частиною й частота руху трамваїв);
- фактори, пов'язані з парковкою транспортних засобів на проїжджій частині, що створює перешкоди рухові транспортного потоку [3].

Очевидно, що врахувати все різноманіття цих факторів експертним шляхом для побудови прогнозних розподілів потоків можна лише для невеликих ділянок вуличної мережі. Оптимізація автоматизованого управління в складних схемах організації руху потребує створення й використання комп'ютерних моделей.

Найважливішим параметром, що характеризує якість функціонування автоматизованої системи управління дорожнім рухом у містах з історично сформованою схемою вулично-дорожньої мережі, є пропускна спроможність регульованих перехресть – максимально можлива кількість автомобілів, які можуть пройти через перетин дороги за одиницю часу за умов "жорсткого" світлофорного регулювання. Пропускна спроможність регульованих перехресть зале-

жить від характеру складних взаємодій у людину – машинній системі: дорога – автомобіль – водій. При цьому варто враховувати, що стан дороги може істотно змінюватися через метеорологічні умови (туман, ожеледь). У потоці автомобільного руху можуть знаходитися транспортні засоби різних типів (легкові і вантажні автомобілі різних марок, автобуси, тролейбуси), що також впливає на загальну динаміку транспортного потоку.

Під час пошуку оптимального управління світлофорними об'єктами необхідно враховувати динамічні властивості транспортних потоків, які здебільшого і визначають пропускну спроможність елементів вуличної мережі. Як відомо, у фазі червоного сигналу світлофора біля перехрестя формується група автомобілів, що очікують зеленого сигналу для перетинання перехрестя. Група автомобілів вирушає за лідером – першим автомобілем у групі. При цьому швидкість, з якою лідер і наступні за ним автомобілі перетинають лінію перехрестя, на початку і наприкінці зеленої фази, істотно різняться. Швидкість першого лідируючого автомобіля залежить тільки від його динамічних характеристик. Усі інші автотранспортні засоби під час руху в потоці, рухаються зі швидкістю, що забезпечує інтервал безпеки між наступними один за одним автомобілями.

За відсутності обмежень зміна швидкості  $V$  першого транспортного засобу – лідируючого в потоці, після включення сигналу світлофора, що дає змогу рух, може бути представлено залежністю (1).

$$\frac{dV}{dt} = rV, \quad (1)$$

де:  $r$  – коефіцієнт пропорційності, що залежить від швидкісних якостей автомобілів,  $c^{-1}$ ;  $V_i$  – швидкість у момент часу  $t$ .

Для другого і всіх інших автомобілів у потоці положення щодо перехрестя  $s_i$  і швидкість руху  $V_i$  і знайдемо з виразів

$$s_i = \begin{cases} s_i^0 + \int_0^{\tau_i} V_i d\tau, & \text{якщо } s_i - s_{i-1} > L_i; \\ s_{i-1} - L_i, & \text{якщо } s_i - s_{i-1} \leq L_i \end{cases};$$

$$\tau_i = \begin{cases} 0, & \text{якщо } t \leq i \cdot \Delta T, \\ t - i \cdot \Delta T, & \text{якщо } t > i \cdot \Delta T, \end{cases} \quad (2)$$

$$L_i = aV_i + bV_i^2; \quad V_i = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \tau_i = 0, \\ \frac{V_{i,\max}}{1 + D \cdot e^{-r\tau_i}}, & \text{якщо } \tau_i > 0, \\ 60, & \text{якщо } V_i \geq 60 \end{cases}$$

де:  $i=2, 3, \dots, n$  – порядковий номер автомобіля в потоці;  $\tau_i$  – час руху  $i$ -го автомобіля, с;  $V_i$  – швидкість руху  $i$ -го автомобіля, км/г;  $V_{i,\max}$  – максимальна швидкість руху  $i$ -го автомобіля, км/г;  $s_i^0$  – вихідне положення  $i$ -го автомобіля за  $\tau_i=0$  щодо перехрестя, м;  $\Delta T = 1$  с – середній час запізнювання реакції водіїв під час старту з місця.

Обмеження в моделі (2), накладаються на швидкість руху і відстань між транспортними одиницями

$$V_i \leq 60, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$s_{i-1} - s_i \geq L_i(V_i), \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

де:  $L_i$  – мінімальна відстань безпеки між автомобілями, м; 60 – обмеження швидкості в населених пунктах, км/г.

Величину відстані безпеки  $L_i$  приймемо рівною гальмовому шляху, що регламентовано ГОСТ 22895-77. У таблиці наведено розрахункові залежності з зазначеного стандарту для визначення довжини гальмового шляху автотранспортних засобів.

Табл. Визначення гальмового шляху

Тип автотранспортного засобу	Величина сталого уповільнення, м/с <sup>2</sup>	Формула для визначення гальмового шляху $L$ , м
Легкові автомобілі	7,0	$L = 0,1V + V^2/182$
Автобуси з повною масою понад 5 т	6,0	$L = 0,15V + V^2/156$
Вантажні автомобілі	5,5	$L = 0,15V + V^2/143$
Автопоїзд із загальною масою понад 12 т	5,5	$L = 0,18V + V^2/143$

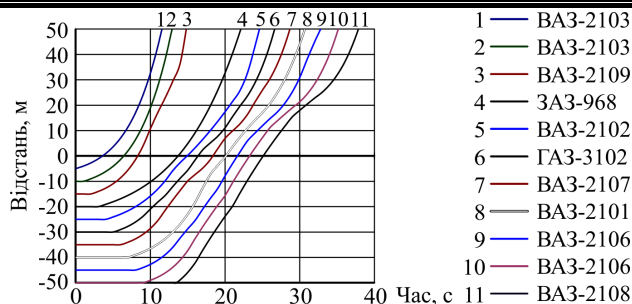


Рис. Динаміка руху автомобілів через регульоване перехрестя: 1, 2...11 – номер автомобіля в черзі

Наведемо результати моделювання динаміки руху автомобілів різних типів через регульоване перехрестя після включення зеленого сигналу світлофора (рис.). Обчислення інтегралів у системі рівнянь (2) і (3) виконували з застосуванням квадратурних формул Ньютона – Котеса.

Величина  $s_i = 0$  відповідає моменту перетину автомобілями лінії перехрестя. При цьому прийнято: середня довжина автомобілів плюс інтервал між автомобілями, що стоять у ряді, перед стартом дорівнюють 5 м; перший автомобіль знаходиться на відстані 5 м від перехрестя за пішохідним переходом; другий автомобіль – на відстані 10 м і т.д. Так, п'ятий автомобіль (ВА3-2102), що знаходиться на відстані 25 м від лінії перехрестя, стартує тільки на 5-й секунді і досягає лінії перехрестя на 15-й с після включення зеленого сигналу світлофора. У разі тривалості включення зеленого сигналу світлофора, яка дорівнює 35 с, пропускна здатність однієї смуги руху становить 11 автомобілів за один цикл регулювання.

Розроблена модифікація моделі динаміки руху автотранспортних засобів, що враховує необхідність дотримання відстані безпеки між автомобілями під час руху, дає змогу визначити раціональну тривалість фаз світлофорного регулювання для окремих напрямків, а також загальну тривалість циклу регулю-

вання залежно від очікуваної інтенсивності руху на вулицях, що примикають до перехрестя.

Керуючими впливами для світлофорів можуть бути такі параметри:

- швидкість руху автотранспортних засобів на окремих ділянках магістралі;
- час циклу регулювання  $T$ , с;
- тривалість фази зеленого сигналу  $t_3$ , с;
- тривалість фази жовтого сигналу  $t_{жс}$ , с;
- зсув  $\Delta t_{0,m}$  початку циклу регулювання кожного світлофора відносно до обраного нульового світлофора, при цьому  $0 \leq \Delta t_{0,m} < T$ .

Тривалість червоного сигналу знаходимо зі співвідношення

$$t_k = T - t_3 - 2 t_{жс}$$

Ефективність управління світлофорними об'єктами характеризується величинами сумарних затримок транспортних засобів для двох напрямків руху.

Зупинка автомобіля на перехресті перед очікуванням зеленого сигналу світлофора, крім згаданих проблем, спричиняє і забруднення атмосфери шкідливими речовинами, які містяться у викидах автотранспорту.

Як цільову функцію світлофорного управління можна прийняти функціонал:

$$F = \sum_{(i,j) \in M} Z_{ij} \{ \Delta t_{0,i}, \Delta t_{0,j}, (T, t_{жс}, t_3)_i, (T, t_{жс}, t_3)_j, l_{ij}, V_{ij}, P_{ij} \} + \sum_{(k,j) \in M} R_{kj} \{ \Delta t_{0,j}, \Delta t_{0,i}, (T, t_{жс}, t_3)_j, (T, t_{жс}, t_3)_i, l_{kj}, V_{kj}, P_{kj} \}, \quad (4)$$

де:  $Z_{ij}$  і  $R_{kj}$  – сумарні затримки автотранспорту на перегоні з відстанню  $l_{ij}$  у прямому напрямку, а  $l_{kj}$  – зворотному напрямку, с;  $T$  – час циклу регулювання, с;  $t_3$  – тривалість фази зеленого сигналу, с;  $t_{жс}$  – тривалість фази жовтого сигналу, с;  $\Delta t_{0,m}$  – зсув початку циклу регулювання кожного світлофора стосовно обраного нульового світлофора,  $0 \leq \Delta t_{0,m} < T$ ;  $V$  – обмеження швидкості чи швидкість руху, що рекомендується, км/г;  $P$  – кількість рядів для руху транспорту;  $M$  – множина номерів світлофорних об'єктів на магістралі.

У реальних АСУ дорожнім рухом величини  $T$ ,  $t_3$  і  $t_{жс}$  приймають однаковими для усіх світлофорів одного плану координації, що дає змогу звести задачу оптимізації до пошуку оптимальних значень  $\Delta t_{0,m}$ , які забезпечують за заданих параметр  $l$ ,  $V$  і  $P$  усіх перегонів, найменший сумарний час затримок автотранспортних засобів на всій магістралі.

Представимо магістраль із двостороннім рухом у вигляді відрізка, що розбитий на окремі перегони в деяких відомих точках. Нехай  $L$  – загальна довжина магістралі, а  $l_{ij}$  – відстань між сусідніми  $i$  і  $j$  перехрестями,  $(i, j) \in M$ , на кожному з яких встановлений світлофорний об'єкт. За такої розбивки

$$L = \sum_{\substack{(i,j) \in M \\ i \neq j}} l_{ij}$$

Для розрахунку складових функціонала  $F$  необхідно і достатньо розробити процедуру розрахунку затримок автотранспорту на перегоні між сусідніми  $i$  і  $j$  перехрестями магістралі,  $(i, j) \in M$ . При цьому необхідно врахувати можливі затримки на перегоні для всіх автотранспортних засобів, що проходять перегін

у двох напрямках. Час руху головного автомобіля по перегону в кортежі, сформованому в точці  $i$ , можна описати рівнянням

$$t_{ij} = \frac{l_{ij}}{V_{ij}}. \quad (5)$$

Фазу світлофорного сигналу, у якій головний автомобіль потоку у прямому напрямку підійде до перехрестя  $j$ , можна визначити з використанням відрізка часу  $\tau_{ij}$  як залишку від ділення  $t_{ij}/T$ . Час приходу головного автомобіля групи до світлофорного об'єкта  $j$  визначимо щодо нульової точки відліку часу, прийнятого для нульового контролера:

$$\delta_{ij} = \Delta t_{0i} + \tau_{ij} + (T - t_s), \quad \delta = \begin{cases} \delta_{ij}, & \text{якщо } \delta \geq \Delta t_{0j}; \\ \delta_{ij} + T, & \text{якщо } \delta < \Delta t_{0j}. \end{cases} \quad (6)$$

На основі величини  $\delta$ , визначимо затримку автотранспортних засобів перед перехрестям  $j$

$$Z_{ij} = \begin{cases} \tau_{ij,z} = N_{\max} \cdot \tau_z, & \text{якщо } \Delta t_{0j} \leq \delta < \Delta t_{0j} + (T - t_s) \text{ [червоний сигнал]} \\ \tau_{ij,z} = (N_{\max} - N_p) \cdot (T - t_s), & \text{якщо } \Delta t_{0j} + (T - t_s) \leq \delta < \Delta t_{0j} \text{ [зелений сигнал]} \end{cases} \quad (7)$$

де:  $N_{\max} = (-1,1 + 0,45 \cdot t_s) \cdot K_p$ ;  $N_p = (-1,1 + 0,45 \cdot \tau_g) \cdot K_p$ ;  $N_{\max}$  – кількість автомобілів, що перетинають регульоване перехрестя, є лінійною функцією від тривалості зеленого сигналу світлофора і визначається розрахунком [6];  $\tau_z$  – час чекання першим автомобілем зеленого сигналу світлофора, с;  $\tau_g$  – час від моменту підходу головного автомобіля потоку до перехрестя до закінчення фази зеленого сигналу світлофора, с;  $K_p$  – кількість смуг на цьому перегоні.

Час приходу головного автомобіля групи до світлофорного об'єкта  $j$  у протилежному напрямку також будемо визначати щодо нульової точки відліку за часом, прийнятої для нульового контролера:

$$\delta_{kj} = \Delta t_{0i} + \tau_{kj} + (T - t_s), \quad \delta = \begin{cases} \delta_{kj}, & \text{якщо } \delta \geq \Delta t_{0j}; \\ \delta_{kj} + T, & \text{якщо } \delta < \Delta t_{0j}, \end{cases} \quad (8)$$

Відповідно, затримка автотранспортних засобів перед перехрестям  $j$

$$R_{kj} = \begin{cases} \tau_{kj,z} = N_{\max} \cdot \tau_z, & \text{якщо } \Delta t_{0j} \leq \delta < \Delta t_{0j} + (T - t_s) \text{ [червоний сигнал]} \\ \tau_{kj,z} = (N_{\max} - N_p) \cdot (T - t_s), & \text{якщо } \Delta t_{0j} + (T - t_s) \leq \delta < \Delta t_{0j} \text{ [зелений сигнал]} \end{cases} \quad (9)$$

Отже, поставлену задачу розрахунку сумарних затримок автотранспорту на двобічній магістралі вирішено на основі запропонованої алгоритмічної моделі, яка описує рух автомобілів у потоці, із застосуванням розробленої уніфікованої процедури розрахунку затримок автотранспорту на перегоні між сусідніми  $i$  і  $j$  перехрестями вулиці. При цьому враховано затримки на перегоні для всіх автотранспортних засобів, що проходять перегін у двох напрямках.

**Висновок.** Розроблено: модель динаміки руху автомобілів через регульовані перехрестя, що дає змогу визначити пропускну здібність регульованих перехресть; алгоритмічну модель управління світлофорними об'єктами в режимі "зеленої хвилі" на вулицях з однобічним рухом, що дає змогу визначити запізнення початку циклу регулювання для світлофорних об'єктів, які забезпечують безперешкодне проходження автомобілів по магістралі.

## Література

- ГОСТ 22895-77 "Тормозные системы автотранспортных средств. Технические требования".
- Ересов В.И. Влияние не стационарности транспортных потоков на эффективность светофорного регулирования / В.И. Ересов, А.Б. Зайцев, А.В. Кунах // Автошляховик України. – 2000. – № 2. – С. 17-19.
- Загоруй О.О. До питання про вплив паркування на пропускну здатність вулично-дорожньої мережі / О.О. Загоруй // Безпека дорожнього руху України : наук.-техн. вісник. – К. : Вид-во ТОВ "Журнал "Радуга". – 2003. – № 1-2 (15). – С. 36-38.
- Коробкін В.Ф. Причины та умови скоєння дорожньо-транспортних пригод з вини працівників органів внутрішніх справ за період 1997-2001 роки / В.Ф. Коробкін, О.М. Смаглий // Безпека дорожнього руху України : наук.-техн. вісник. – К. : Вид-во ТОВ "Журнал "Радуга". – 2003. – № 1-2 (15). – С. 12-18.
- Михайленко В.И. Теоретические основы контроля и управления движением на автомобильных дорогах / В.И. Михайленко. – К. : Изд-во УМК ВО, 1991. – 112 с.
- Нувович А.А. Моделирование транспортного потока на регулируемых магистралях / А.А. Нувович, А.Е. Колесников, В.Д. Гогунский // Моделирование в прикладных научных исследованиях : матер. 7-го семинара. Одес. политехн. ун-т. – Одесса : Изд-во ОГПУ, 2000. – С. 66-70.
- Белов В.Д. Организация движения на улицах и дорогах / В.Д. Белов, В.Б. Бриллинг, Р.Ф. Лукашук, Ю.Д. Шелков. – М. : Изд-во "Транспорт", 1970. – 212 с.
- Полищук В.П. Проектирование автоматизированных систем управления на автомобильных дорогах : учебн. пособ. / В.П. Полищук. – К. : Изд-во КАДИ. – 1983. – 95 с.
- Положенко П.М. Щодо питання оптимізації світлофорного регулювання на перехрестях вулично-шляхової мережі / П.М. Положенко // Безпека дорожнього руху України : наук.-техн. вісник. – 1999. – № 1(2). – С. 90-97.
- Юдін В.П. "Внесок" автомобільного транспорту в забруднення повітряного басейну міста Запоріжжя / В.П. Юдін, І.М. Райда // Автошляховик України. – 1999. – № 3. – С. 16-17.
- Gartner N.H. Optimal traffic assignment with elastic demands / N.H. Gartner // Transportation Science, 1982. – № 14. – Pp. 123-128.
- Wardrop J.G. Some theoretical aspects of road traffic research / J.G. Wardrop // Proceedings of Institute of Civil Engineering, 1952. – № 1. – Pp. 12-18.

### **Руденко Д.В., Мартиняк І.М. Разработка модели динамики движения автомобилей через регулируемые перекрестки с учетом управления светофорных объектов**

Предложен способ расчета значений целевой функции, что позволит осуществить поиск оптимальных параметров управления светофорных объектов на улицах с двусторонним движением автотранспорта для городской уличной сети. Разработана модификация модели динамики движения автотранспортных средств, учитывающий необходимость соблюдения расстояния безопасности между автомобилями при движении, позволяет определить рациональную продолжительность фаз светофорного регулирования для отдельных направлений, а также общую продолжительность цикла регулирования в зависимости от ожидаемой интенсивности движения на улицах, примыкающих к перекрестку.

**Ключевые слова:** управление дорожным движением, светофорные объекты.

### **Rudenko D.V., Martynyak I.M. The development model of the dynamics of the vehicles through intersections regulated with regard to control light object**

The method of calculating the value of the objective function that will search for the optimal parameters control light object on the streets with two-way vehicular traffic to the local street network. Developed modification of the model of the dynamics of movement of vehicles, taking into account the need to respect the safety distance between cars when driving, to determine the duration of the phases of rational traffic light control for specific areas as well as the overall cycle regulation based on the expected traffic in the streets adjacent to the intersection.

**Keywords:** traffic, traffic lights objects.