

*Л.В. ДЕРБУНОВИЧ*, д-р техн. наук, проф. каф. АУТС НТУ «ХПИ»  
*Л.С. АБРАМОВА*, канд. техн. наук, доцент кафедри ТС ХНАДУ  
*В.В. ШИРИН*, асп. кафедри ТС ХНАДУ

## **ДО ПИТАННЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВУЛИЧНО-ДОРЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА**

В статье рассматривается новый подход к определению обобщающего показателя эффективности функционирования транспортной сети методом таксономического анализа.

In the paper it considers the new approach for determine universal index of effectiveness functioning transport network means taxonomic analysis.

**Вступ.** В процесі вирішення актуальної задачі розподілу транспортних потоків на вулично-дорожній мережі великих міст виникає задача оцінки ефективності функціонування мережі за сукупністю існуючих критеріїв – екологічних, економічних, соціальних [1,2,3,4]. Одночасне застосування усієї сукупності критеріїв у рішенні задачі оцінки вулично-дорожньої мережі є вельми складним процесом, як з точки зору математичної постановки задачі, так і з боку обчислювальних методів та ресурсів. Різноманітна фізична природа загальних критеріїв із одночасно великою кількістю показників, а також з урахуванням ступеню їх впливу на ефективність, ускладнює задачу визначення оцінки ефективності вулично-дорожньої мережі та її елементів.

Необхідність визначення узагальнюючого показника ефективності руху транспортних засобів на перегонах та перехрестях вулично-дорожньої мережі (окрім транспортного попиту на перевезення) виникає також у процесі формування маршрутів руху міського пасажирського транспорту та при виборі напрямку руху індивідуальними транспортними засобами. Такий підхід дає можливість застосування узагальнюючого показника ефективності вулично-дорожньої мережі у системах управління дорожнім рухом у мегаполісах, що є необхідним в умовах постійного зростання інтенсивності транспортних потоків.

Головна мета запропонованого підходу вирішення задачі підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі з позиції оптимального управління дорожнім рухом полягає у визначенні узагальнюючого критерію, що дозволить об'єднати різноманітні вимоги до вибору маршрутів руху транспортних засобів.

**Постановка задачі.** Метою організації дорожнього руху являється: економічність, безпека (як соціальна, так і екологічна), а також комфортність руху. Головна мета системного підходу до задачі оцінки ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі полягає в поєднанні показників системи дорожнього руху на основі узагальнюючого показника.

Будь-яка управлінська дія, що сприяє підвищенню рівня ефективності функціонування транспортної мережі може бути оцінена по різних критеріях: зниження рівня аварійності, підвищення швидкості сполучення, поліпшення стану навколишнього середовища. Оптимальні з позиції одного з вказаних критеріїв варіанти управлінської дії, можуть виявитися нераціональними з погляду інших обраних критеріїв. Тому виникає задача визначення комплексної оцінки ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі.

Функцію вулично-дорожньої мережі можна сформулювати таким чином: вулично-дорожня мережа повинна забезпечувати транспортні зв'язки всіх генеруючих кореспонденції вузлів міста, відповідно до їх потреб, за умови відповідності мережі всім дорожньо-будівельним нормам і правилам та з урахуванням мінімізації дорожньо-транспортних витрат. Проведений аналіз існуючих сучасних досліджень транспортних систем дозволяє стверджувати, що переважно вони базуються на суб'єктивних оцінках експертів [1], а деякі показники не розраховуються в умовах високого ступеня невизначеності вихідних параметрів. Слід також відзначити, що отримання деяких окремих оцінних характеристик ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі вимагає розробки спеціальних методик визначення і розрахунку необхідних параметрів або проведення трудомістких обстежень, вимагаючих значних капітальних і ресурсних вкладень (як приклад, отримання достовірної матриці кореспонденцій на сьогодні є дуже складним завданням). Таким чином, слід на основі існуючих окремих показників ефективності елементів вулично-дорожньої мережі, розробити вдосконалений метод оцінки ефективності функціонування мережі, який дозволить набути конкретного кількісного значення.

**Аналіз літератури.** Зазначені вище задачі функціонування вулично-дорожньої мережі і організації ефективного управління транспортними потоками на ній зумовили необхідність розробки інтегрального критерію.

Як було вказано раніше, кожному елементу вулично-дорожньої мережі відповідають визначені критерії ефективності їх функціонування (соціальні, екологічні, економічні, енергетичні). Нами виділені основні, найбільш значущі показники, що дають можливість оцінки окремих елементів мережі. Елементами вулично-дорожньої мережі називатимемо перегони і перехрестя мережі, по яких відбувається рух транспортних потоків. Крім того слід виділити напрямки на мережі. Напрямок є певний набір елементів мережі, який забезпечує зв'язок між окремими частинами міста.

Ретельний аналіз існуючих досліджень функціонування вулично-дорожньої мережі, а також засобів оцінки її ефективності дозволяє виділити основні групи показників, а саме: соціальні, екологічні, економічні, енергетичні [1, 2, 3, 4]. Так, ефективність функціонування перехресть пропонується оцінювати показником безпеки перетину, сумарним конфліктним завантаженням, затримкою транспортного потоку. Оцінка перегонів можлива за показником відносної аварійності, середньою затримкою на перегоні, коефіцієнтом використання швидкісного режиму, обсягами викидів забруднюючих

речовин, коефіцієнтом завантаження ділянки рухом, коефіцієнтом насичення рухом.

**Мета роботи** полягає у визначенні комплексного показника ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі та її елементів. При переході до загальної оцінки функціонування вулично-дорожньої мережі виникає першочергова задача, що вимагає оригінальних рішень, а саме – вибір і узгодження параметрів, а також їх об'єднання.

Для отримання узагальненого показника ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі пропонується застосувати таксономічний аналіз [5, 6]. Таксономічний аналіз має низку переваг та являється дієвим інструментом, дозволяє включити в підсумковий критерій будь-яку кількість показників, причому з їх збільшенням зростає точність і повнота оцінки ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі.

Визначення узагальнюючого показника повинно починатися з визначення матриці спостережень з подальшою процедурою стандартизації.

**На першому етапі необхідно здійснити визначення елементів матриці спостережень  $X$ .**

Матриця спостережень складається окремо для перегонів і перехресть вулично-дорожньої мережі. Елементами являються відповідні критерії – для перехресть: показник безпеки перетину, сумарне конфліктне завантаження, затримка транспортного потоку і для перегонів: показник відносної аварійності, середня затримка на перегоні, коефіцієнт використання швидкісного режиму, коефіцієнт завантаження дороги рухом, коефіцієнт насичення рухом, дорожньо-транспортні витрати, обсяги викидів забруднюючих речовин, а саме окислу вуглецю, вуглеводню, окислу азоту.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ik} & \dots & x_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{t1} & x_{t2} & \dots & x_{tk} & \dots & x_{tn} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де  $n$  – число часних показників (соціальної, екологічної економічної груп);  $t$  – кількість елементів, для яких розраховувалися часні показники (перегонів або перехресть);  $x_{ik}$  – значення часного показника  $k$  для елемента  $i$ .

Значення показників, що входять в матрицю (1) підлягають стандартизації. Це перетворення проводиться відповідно до формули:

$$z_{ik} = \frac{x_{ik} - \bar{x}_k}{S_k} \quad (2)$$

$$\text{причому } \bar{x}_k = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t x_{ik}, \quad (3)$$

$$S_k = \left[ \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t (x_{ik} - \overline{x_k})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

где  $k = 1, 2, \dots, n$ ;  $x_{ik}$  – значення часного показника відповідної групи для елементу  $i$  (перегону або перехрестя);  $\overline{x_k}$  – середнє арифметичне значення часного показника;  $S_k$  – стандартне відхилення часного показника;  $z_{ik}$  – стандартизоване значення часного показника для елементу  $i$ .

Процедура стандартизації показників призводить не тільки до усереднювання одиниць вимірювання, але і до вирівнювання значень показників, оскільки включені в матрицю спостережень значення (1), неоднорідні і описують різні властивості перегонів або перехресть.

Наступним кроком в даній процедурі є диференціація ознак матриці спостережень. Всі змінні можна розділити на стимулятори і дестимулятори. Підставою розділення ознак на дві групи служить характер впливу кожного з них на ефективність вулично-дорожньої мережі. Ознаки, що позитивно впливають на ефективність називаються стимуляторами, на відміну від ознак, які негативно впливають і тому називаються дестимуляторами.

Розділення показників на стимулятори і дестимулятори служить основою для побудови еталону ефективності, який являє собою точку  $P_0$  з наступними координатами:

$$P_0(z_{01}, z_{02}, \dots, z_{0i}, \dots, z_{0n}), \quad (5)$$

де  $z_{0s} = \max z_{rs}$ , якщо  $s \in I$

$$z_{0s} = \min z_{rs}, \text{ якщо } s \notin I (s = 1, 2, \dots, n)$$

де  $I$  – безліч стимуляторів;  $z_{rs}$  – стандартизоване значення ознаки  $s$  для елементу  $r$ .

Відстань між окремими точками-одиницями і точкою  $P_0$ , представляючої еталон ефективності, позначається  $C_{i0}$  і розраховується таким чином:

$$C_{i0} = \left[ \sum_{i=1}^t (z_{is} - z_{os})^2 \right]^{\frac{1}{2}}, (i = 1, 2, \dots, t) \quad (6)$$

Отримані відстані належать вихідним величинам, використовуваними при розрахунку показника рівня ефективності  $d$ :

$$d_i = C_{i0} / C_o \quad (7)$$

де  $C_o = \overline{C_o} + 2S_o$  (8)

$$\overline{C_o} = \frac{1}{n} \sum_{s=1}^n C_{i0} \quad (9)$$

$$S_o = \left[ \frac{1}{n} \sum_{s=1}^n (C_{io} - \overline{C_o})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

Показник рівня ефективності  $d_i$  характеризується тим, що є величиною позитивною. Інтерпретація значення така: досліджуваний елемент тим більш ефективний, чим ближче значення показника  $d_i^*$  до нуля. На практиці рекомендується використовувати модифікований показник рівня ефективності:

$$d_i^* = 1 - C_{io} / C_o = 1 - d_i \quad (11)$$

З даної формули видно, що чим ближче значення показника рівня ефективності до одиниці, тим більше ефективний досліджуваний елемент вулично-дорожньої мережі.

Методика оцінки ефективності напрямів дозволяє одержати комплексні показники ефективності елементів вулично-дорожньої мережі. Отримані значення пропонується об'єднати в інтегральний показник рівня ефективності досліджуваних напрямів. Аналіз інтегральних показників дозволяє стверджувати про те, що на сьогодні при рішенні задач організації дорожнього руху застосовуються показники, що розробляються на основі «методу експертних оцінок». Раніше згадувалось основне обмеження даного методу, який полягає в можливому суб'єктивізмі в процесі отримання показників. Даний недолік пропонується виключити, застосувавши для отримання інтегрального показника «метод радара».

Застосування методу «радара» дає можливість з високою мірою достовірності і мінімальним впливом можливої суб'єктивності думок експертів одержати оцінний показник напрямів. Крім того, даний метод має ряд переваг в застосуванні. Так, окрім наочності результатів даного методу, в радар оцінки ефективності напрямів може бути включено будь-яку кількість показників ефективності, причому із збільшенням їх кількості зростає точність і повнота аналізу. Таким чином, основна перевага методу «радара» полягає в комплексності при зіставленні різнорідних показників.

Сутність визначення ефективності напрямів методом радара полягає в наступному: як інтегральний показник оцінки ефективності напрямів пропонується відносна площа радара ( $K$ ), побудованого усередині оцінного кола за порівнюваними показниками:

$$K = Sp / S, \quad (12)$$

де  $Sp$  – площа радара;  $S$  – загальна площа оцінного кола, рівна  $\pi R^2$ ;  $R$  – довільний радіус оцінного кола.

Радар ефективності напрямів будується з дотриманням наступних принципів:

- всі враховані показники мають однакову «вагу», тому коло ділиться радіальними оцінними шкалами на рівні сектори, число яких рівне числу оціночних параметрів. Значення кута  $\alpha = 360^\circ / n$ , де  $n$  – кількість показників;
- у міру віддалення від центру кола значення показника покращується, якщо показник являється стимулятором (тобто позитивно впливає на ефективність напрямку) і погіршується, якщо показник є дестимулятором;
- шкали на радіальних прямих градуюються так, щоб всі значення показників лежали усередині оціночного кола.

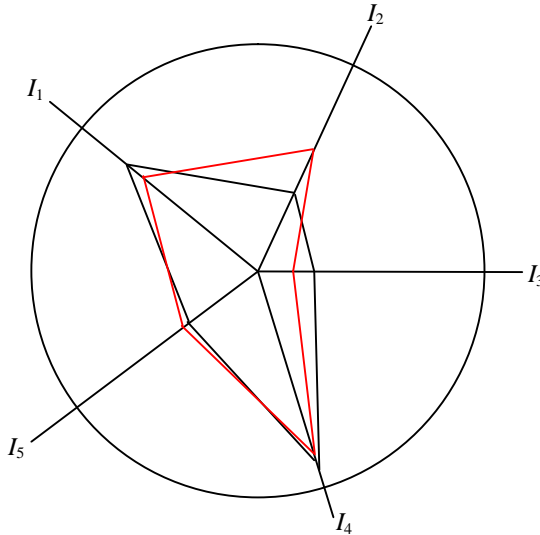


Рис. 1. Радар ефективності напрямів

Площа радара, у свою чергу, визначається по формулі:

$$S_p = \frac{1}{2} \sin \alpha (a_1 \times a_2 + a_2 \times a_3 + \dots + a_{n-1} \times a_n + a_n \times a_1) \quad (13)$$

де  $a_1, \dots, a_n$  – значення показників, переведені в одиниці довжини;  $\alpha$  – кут між найближчими показниками.

Як вихідні параметри для побудови «радарів» альтернативних напрямів приймаємо значення комплексних показників ефективності перегонів і перехресть вулично-дорожньої мережі, що відносяться до альтернативних напрямів.

Таким чином, чим ефективніше даний напрямок, тим більша площа, яку займає радар. Отже, кількісне значення інтегральної оцінки ефективності ближче до одиниці.

**Висновки.** В результаті дослідження була розроблена методика отримання інтегральної оцінки ефективності напрямів. Основною перевагою запропонованої методики являється:

- можливість включення в інтегральну оцінку ефективності різних показників оцінки елементів вулично-дорожньої мережі, причому, чим більше число показників застосовано, тим більш повним являтиметься інтегральний показник;
- наглядність одержуваних результатів;
- виключення можливості суб'єктивізму в підсумковій інтегральній оцінці.

Застосування запропонованої методики дає можливість всебічно оцінити напрямки руху транспортних засобів по вулично-дорожній мережі, надає практичну значимість отриманих результатів при визначенні маршрутів руху міського пасажирського транспорту, організації вантажних перевезень. Водночас, запропоноване рішення може бути застосоване у системах управління дорожнім рухом у містах у якості керуючого впливу на вибір напрямку пересування індивідуальними транспортними засобами

**Список літератури:** 1. *Клинковштейн Г.И., Сытник В.Н., Смирнов С.И., Зырянов В.В., Рузский А.В., Шемякин И.В.* Методы оценки качества организации дорожного движения. М.: МАДИ. 1987. 2. *Абрамова Л.С., Ширін В.В.* Методи підвищення ефективності методи підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міста. Харків: ХНАДУ Автомобільний транспорт, 2006. 3. *Хомяк Я.В.* Проектирование сетей автомобильных дорог. - М.: Транспорт, 1983. – 208 с. 4. Матеріали Народи високого рівня з транспорту, навколишньому середовищу та охороні здоров'я. Керівний комітет ОПТОСОЗ (Третя сесія, 11 – 12 квітня 2005 року). 5. *Тищенко А.Н., Головка О.С.* Стратегия управления развитием предприятия. – Харьков, 2003.–198с. 6. *Плюта В.* Сравнительный многомерный анализ в экономических исследованиях: методы таксономии и факторного анализа / Пер. с пол. В.В. Иванова. – М.: Статистика, 1980.-151с.

*Надійшла в редколегію 9.12.08*