

УДК 711.11

к.т.н., проф. Осетрін М.М., Дворко О.М.,  
Київський національний університет будівництва та архітектури

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРОСТОГО (НЕРЕГУЛЬОВАНОГО) ПЕРЕТИНУ ЗА ДОПОМОГОЮ ТАКСОНОМІЧНОГО МЕТОДУ

*Описується таксономічний метод для визначення коефіцієнта ефективності роботи простих перетинів і пропонується набір критеріїв для його попередньої оцінки.*

*Ключові слова: ефективність функціонування перетину, оцінка ефективності перетину, таксономічний метод дослідження, нерегульований перетин.*

Поняття «ефективність» у загальному розумінні означає відношення отриманого результату до витрачених ресурсів. Наприклад, економічна ефективність – це відношення економічного результату (ефекту) до затрат факторів виробничого процесу [1]. Оскільки дорожньо-транспортні перетини прямого економічного прибутку не дають, то дати оцінку ефективності планувальних рішень цих вузлів можна шляхом порівняльного аналізу варіантів існуючих споруд чи проектних рішень перетинів вулиць і доріг [2]. Головним завданням в оцінці ефективності роботи простого перетину є правильний вибір критеріїв оцінки, оскільки за різними критеріями ефективність роботи буде відрізнятися.

Над тим, чи ефективно будуть працювати дорожньо-транспортні вузли (зокрема нерегульовані перетини) або вся ВДМ міста в цілому, містобудівники і транспортники почали замислюватися вже у повоєнні роки, коли у деяких країнах Зах. Європи і колишньому СРСР були розроблені перші класифікації елементів ВДМ та нормативні документи, що регламентують вимоги до них. Однією із перших наукових робіт, у якій піднімається проблема підвищення функціонування транспортної інфраструктури, є робота польського математика З.Хеллвіга [3]. В цій науковій праці автор представив концепцію *показника рівня розвитку*, який можна інтерпретувати як *ефективність роботи деякої системи* (напр., транспортної).

У 1960-70-х рр. із розвитком обчислювальної техніки з'явилися методи таксономічного аналізу, які і досі широко застосовуються в різноманітних областях соціально-економічних і транспортних досліджень. Основою цих методів є термін *порівняльний багатовимірний аналіз (ПБА)*. Походження цього терміну пояснюється використанням в таксономічних методах поняття

багатовимірний об'єкт, під яким розуміють або статистичну одиницю, яка визначається набором значень ознак, або ознака, яка задається її значеннями на окремих статистичних одиницях.

Порівняльний багатовимірний аналіз включає в себе ряд методів, що служать для вияву закономірностей в статистичних множинах, одиниці яких описуються численним набором ознак [4]. Структура методів ПБА показана на рис.1:

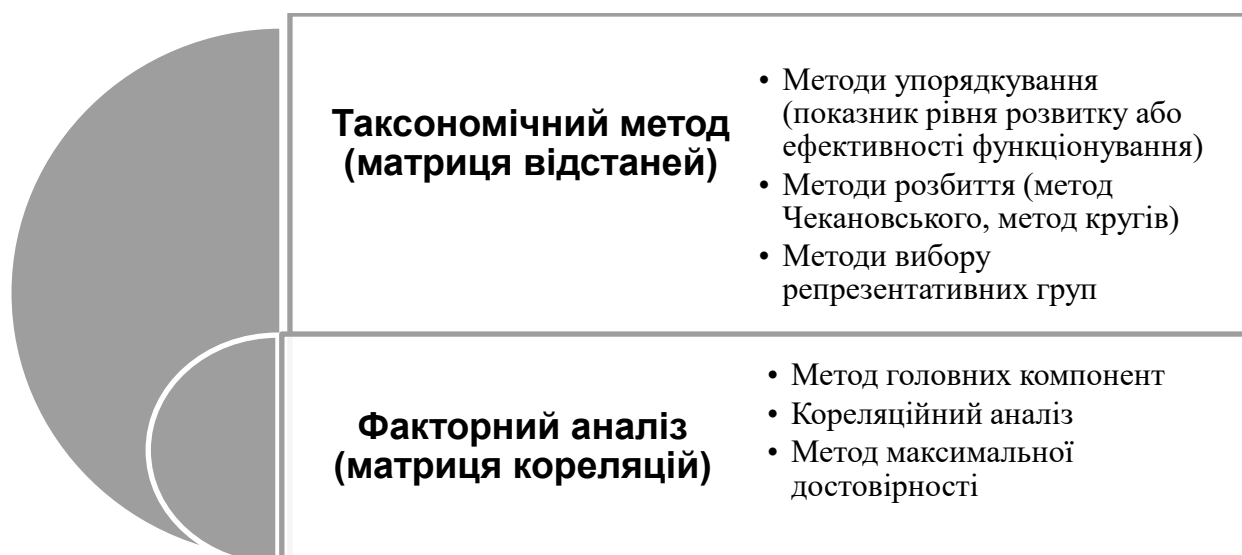


Рис.1 Структура методів ПБА

Для оцінки ефективності роботи простого перетину пропонується використання методу упорядкування (рис.1). Цей метод оцінки, який було запропоновано ще у 1970-ті рр. [3], характеризується відносною простотою обчислень, які можна автоматизувати за допомогою програмного забезпечення MS Excel, та невеликим набором ознак, які визначають типи перетинів. Хоча, чим більша кількість ознак, тим точніша загальна оцінка ефективності роботи вузла. У загальному вигляді блок-схема дослідження ефективності роботи транспортного вузла у матричній формі за допомогою таксономічних методів має вигляд:



Рис.2. Блок-схема оцінки ефективності роботи нерегульованого перетину

Вихідним і одночасно найважливішим кроком, який визначає правильність кінцевих результатів, є формування **матриці спостережень T**. Вона формується так: маємо множину із  $w$  елементів (напр., напрямки руху транспортного потоку на нерегульованому перетині), яка описується  $n$  ознаками (час на пересування, викиди шкідливих речовин і т.д.). Тоді кожному одиницю із множини  $w$  можна інтерпретувати, як точку  $n$ -вимірного простору із координатами, рівними значенням  $n$  ознак для розглядуваної одиниці.[5]. Матриця спостережень записується у наступному вигляді:

$$T = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1k} & \dots & t_{1n} \\ t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2k} & \dots & t_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{i1} & t_{i2} & \dots & t_{ik} & \dots & t_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{w1} & t_{w2} & \dots & t_{wk} & \dots & t_{wn} \end{pmatrix}$$

де  $w$  – число статистичних одиниць (об'єктів досліджень);  $n$  – число ознак;  $t_{ik}$  – значення ознаки  $k$  для одиниці  $i$ .

Ознаки, які входять в матрицю спостережень, неоднорідні, оскільки описують різні властивості об'єктів. Крім того, відрізняються одиниці їх виміру. Тому належить провести попереднє перетворення, що називається *стандартизацією ознак* – приведення їх до статистичної однорідності. Це перетворення кожної одиниці матриці T проводиться за формулою:

$$z_{ik} = \frac{x_{ik} - x_k^{\text{cep.}}}{s_k} \quad \text{причому:} \quad x_k^{\text{cep.}} = \frac{1}{w} \times \sum_{i=1}^w x_{ik}, \quad S_k = \sqrt{\left( \frac{1}{w} \times \sum_{i=1}^w (x_{ik} - x_k^{\text{cep.}})^2 \right)}$$

де  $k=1,2,\dots,n$ ;  $x_{ik}$  – значення ознаки  $k$  для одиниці  $i$ ;  $x_k^{\text{cep.}}$  – середнє арифметичне значення ознаки  $k$ ;  $z_{ik}$  – стандартизоване значення ознаки  $k$  для одиниці  $i$ .

Після стандартизації обчислюють коефіцієнти ієрархії кожної ознаки, що дозволяє розрізнити їх за важливістю. Вони встановлюються на основі якісного аналізу, і доцільність їх введення у модель оцінки ефективності визначається точністю дослідження.

Наступним кроком у розглядуваній процедурі є умовний поділ ознак матриці спостережень на **стимулятори** і **дестимулятори**. Ознаки, що зі зростанням свого значення підвищують ефективність функціонування перетину, вважають *стимуляторами*, а ознаки, що зі зростанням свого значення понижують ефективність, вважають *дестимуляторами*. Розподіл ознак на ці дві категорії служить основою для побудови т.зв. **еталону розвитку**, який являє собою точку  $P_0$  з координатами  $Z_{01}, Z_{02}, \dots, Z_{0n}$ ,

де  $z_{0s} = \max_r z_{rs}$  , якщо  $S \in I$  ;  $z_{0s} = \min_r z_{rs}$  , якщо  $S \notin I$ , звідки  $I$  – множина стимуляторів;  $z_{rs}$  – стандартизоване значення ознаки  $s$  для одиниці  $r$ .

Відстань між окремими точками-одиницями і точкою  $P_0$  (еталон розвитку) позначається  $c_{i0}$  і розраховується за формулою:

$$c_{i0} = \sqrt{\sum_{s=1}^n (z_{is} - z_{0s})^2}$$

Отримані відстані служать вихідними величинами для розрахунку показника ефективності функціонування  $d_i$ :

$$d_i = \frac{c_{i0}}{c_0}$$

звідки  $c_0 = \bar{c}_0 + 2S_0$  ;  $\bar{c}_0 = \frac{1}{W} * \sum_{i=1}^W c_{i0}$  ;

$$S_0 = \sqrt{\frac{1}{W} * \sum_{i=1}^W (c_{i0} - \bar{c}_0)^2}$$

Проте на практиці застосовують модифікований коефіцієнт ефективності  $d_i^*$

$$d_i^* = 1 - \frac{c_{i0}}{c_0}$$

Чим ближче знаходиться цей показник до 1, тим ефективніша одиниця. Далі застосовують «метод радару», за допомогою якого визначається **інтегральний показник** ефективності  $K$ . Інтегральним показником ефективності перетину є відносна площа радару, побудованого всередині оціночного круга по вищевказаних показниках  $d_i^*$  для кожного напрямку руху.

Пропонується виділити наступні критерії, за якими буде проведено попередню оцінку ефективності роботи нерегульованого перетину:

1. Транспортні витрати на проїзд, млн грн.;
2. Затримка руху на перетині, с;
3. Довжина черги 95% забезпеченості, м;
4. Коефіцієнт зниження швидкості;
- 5-11. Викиди шкідливих речовин – відповідно CO, NO<sub>2</sub>, CH, SO<sub>2</sub>, Pb, CH<sub>2</sub>O (г/с) та шумове забруднення, дБА;
12. Шум прискорення за напрямками, м/с<sup>2</sup>;
13. Показник безпеки руху на перетині;
14. Рівень завантаженості перетину;
15. Комфортність руху;

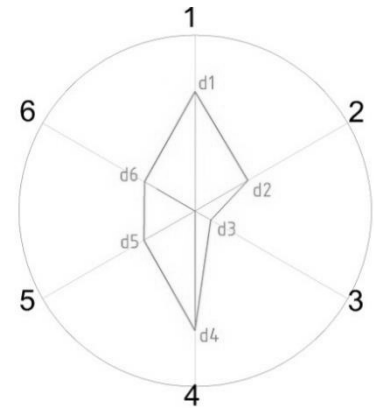


Рис.3. Радар ефективності роботи нерегульованого перетину

16. Коефіцієнт оглядовості;

17. Пропускна здатність перетину за напрямками, авт/год.

Було проведено аналіз стану ВДМ центральної зони м.Києва (рис.6) за допомогою інтернет-сервісу Яндекс.Панорами, що дозволив виявити і систематизувати існуючі нерегульовані перетини за геометричною ознакою (рис. 4 і 6). Загалом кількість простих перетинів в центральній зоні м.Києва складає 75 вузлів. Більшість із них представлені найпростішим типом - примикання другорядної вулиці до головної під кутом  $87-90^\circ$  (тип 2, рис.4). У період з 19 червня по 16 листопада 2015 р. були проведені натурні обстеження характерних типів перетинів (8 вузлів). В ході цих обстежень було зафіксовано величини інтенсивності руху транспорту та пішоходів, проведено заміри швидкостей руху транспорту і час проходження перетину. Ці дані дозволяють розрахувати шум прискорення, коефіцієнти безпеки напрямів руху і т.д.

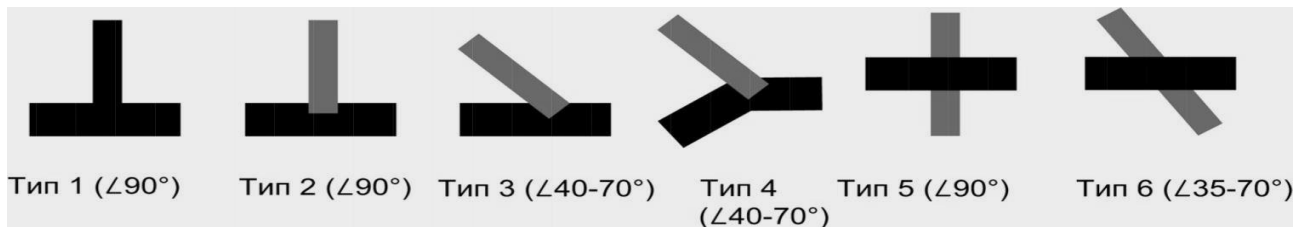


Рис.4. Типи нерегульованих перетинів у центральній зоні м.Києва



Рис.5. Центральна зона м. Києва

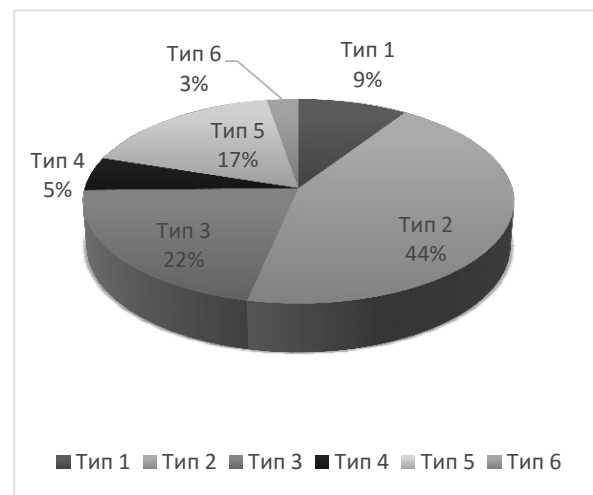


Рис.6. Розподіл нерегульованих перетинів на ВДМ м.Києва у I зоні за типами

На рис. 7-12 показано розрахунок коефіцієнта ефективності роботи перетину вул.Є.Коновальця – вул. Літньої (рис.7) у Печерському районі м. Києва.



Рис.7. Перетин вул.Є. Коновальця – вул. Літня в Печерському районі м.Києва (тип 2)

П'ятниця, 19.06.2015; 12:00-13:00. I зона									
Розрахунок інтенсивності руху на вузлі вул.Є.Коновальця - вул.Літня									
Напрямок	N авт (за 20 хв.)	K1	K2	K3	K4	K5	N ср.доб	N, авт/год	
3 2	9	3	15,57632	0,897	0,915	1,03	356	30	
1 2	201	3	15,57632	0,897	0,915	1,03	7940	675	
1 3	76	3	15,57632	0,897	0,915	1,03	3002	255	
2 1	248	3	15,57632	0,897	0,915	1,03	9797	833	
2 3	10	3	15,57632	0,897	0,915	1,03	395	34	
3 1	35	3	15,57632	0,897	0,915	1,03	1383	118	
							22873	1944	
Розрахунок статичної складності вузла вул.Клименка - вул.Освіти					Розрахунок динамічної складності вузла вул.Клименка - вул.Освіти				
Перетини	Об'єдн.	Розгал.	Мст		Перетини	Об'єдн.	Розгал.	Мдин.	
3		3	3	27	254	343	204	2503	
Дійсна складність									
Мст/Мдин = 2503/27 = 92,7									

Рис.8. Розрахунок годинної і середньо-болої інтенсивності руху на вузлі і складності вузла

Розрахунок пропускної здатності лівих напрямів				
Напрямок	Гран. інтервал Δt <sub>гр</sub> , с	Гран. інтервал Δt, с	Інт. по головн. напрямі(в дві сторони) M, авт/год	N, авт/год
3 1	7	3,1	1508	111
2 3	7	3,1	1508	111
Пропускна здатність правих напрямів				
3 2	5	2,9	1508	264

Інтервали Δt<sub>гр</sub> і Δt беремо із табл.4.1 та 4.2 "Практикум із дисципліни ОДР" X,2011, О.О.Лобашов

Рис.9. Розрахунок пропускної здатності ліво- і правосторонніх потоків

Матриця спостережень T																	
Напрямок	tt.1 гр/с	tt.2 с	tt.3 м	tt.4	tt.5 r/c	tt.6 r/c	tt.7 r/c	tt.8 r/c	tt.9 r/c	tt.10 r/c	tt.11 дБА	tt.12 м/с2	tt.13	tt.14	tt.15	tt.16	tt.17
3 1	0,137027	7,79599	0,27482	0,239069	0,029741	0,001025	0,00279	3,369E-05	4,9E-05	1,93E-05	49,357606	0,35276	0,97	1,0672536	0,29829	0,63	111
3 2	0,137027	7,61714	0,06542	0,239069	0,007648	0,000264	0,00072	8,663E-06	1,2E-05	4,95E-06	43,45935	0,35276	1,55	0,1135691	0,41031	0,59	264
2 1	0,948994	9,74049	3,26750	0,381332	0,213032	0,007587	0,02121	0,0002397	0,00034	0,000142	60,119136	0,35619	3,30	4,165	0,02228	0,56	200
2 3	0,251419	7,31174	0,06549	0,381332	0,008498	0,000293	0,0008	9,625E-06	1,4E-05	5,5E-06	43,916925	0,35619	2,54	0,3075138	0,26329	0,69	111
1 3	0,337509	8,12873	0,66414	0,463345	0,065101	0,002315	0,00649	7,32E-05	0,0001	4,31E-05	52,429509	0,45778	9,99	0,9653371	0,33956	0,70	264
1 2	1,582602	8,92630	2,19949	0,463345	0,173539	0,006123	0,01704	0,0001955	0,00028	0,000114	59,30115	0,45778	11,40	3,375	-0,01272	0,80	200
tt. max	0,6	8,25340	1,08948	0,361249	0,082926	0,002934	0,00817	9,339E-05	0,00013	5,48E-05	51,430613	0,38891	4,96	1,6656123	0,22017	0,6617	191,57
Σ	0,5321919	0,8347217	1,2191334	0,092855	0,061128	0,002885	0,00807	9,129E-05	0,00013	5,39E-05	6,6172436	0,04872	4,1420213	1,5422188	0,15904	0,0795	62,986
Стандартизована матриця T																	
Напрямок	tt.1 гр/с	tt.2 с	tt.3 м	tt.4	tt.5 r/c	tt.6 r/c	tt.7 r/c	tt.8 r/c	tt.9 r/c	tt.10 r/c	tt.11 дБА	tt.12 м/с2	tt.13	tt.14	tt.15	tt.16	tt.17
3 1	-0,805604	-0,547983	-0,668223	-1,318652	-0,655566	-0,661692	-0,6673	-0,654050	-0,65084	-0,659862	-0,313274	-0,74206	-0,962332	-0,387986	0,4912	-0,3985	-1,2861
3 2	-0,805604	-0,762237	-0,839986	-1,318652	-0,927894	-0,925603	-0,9244	-0,928188	-0,92794	-0,925395	-1,204620	-0,74206	-0,823384	-1,006370	1,1955	-0,9019	1,1524
2 1	0,720099	1,781543	1,786534	0,216756	1,603696	1,612480	1,6162	1,602823	1,60525	1,614193	1,313013	-0,67157	-0,400231	1,620644	-1,2443	-1,2795	0,1338
2 3	-0,590660	-1,128115	-0,839928	0,216756	-0,917419	-0,915452	-0,9145	-0,917644	-0,91728	-0,915182	-1,135471	-0,67157	-0,584083	-0,880613	0,2712	0,3566	-1,2861
1 3	-0,428894	-0,149350	-0,348889	1,101896	-0,219720	-0,214787	-0,2092	-0,221252	-0,22553	-0,217306	0,150953	1,41363	1,214600	-0,454070	0,7507	0,4824	1,1524
1 2	1,910663	0,806142	0,910492	1,101896	1,116903	1,109054	1,0991	1,118311	1,11634	1,103552	1,189398	1,41363	1,555430	1,108395	-1,4643	1,7409	0,1338

Рис.10. Формування матриці спостережень T і стандартизація показників

Комплексний показник ефективності напрямків руху $d_i^*$					
Напрямок	$C_{10}$	$C_{0_{сер}}$	$S_0$	$C_0$	$d_i^*$
3 1	4,04016586	5,67708614	2	10,0274712	0,59709
3 2	3,76994978				0,62404
2 1	9,07729008				0,09476
2 3	3,66709003				0,63430
1 3	5,31333447				0,47012
1 2	8,19468663				0,18278

Рис.11. Розрахунок комплексного показника ефективності перетину  $d^*$



Рис.12. Радар ефективності роботи перетину

Обрахувавши комплексні показники ефективності роботи простого перетину, можна вирахувати інтегральний показник ефективності роботи  $K$ , який вираховується за формулою:

$$K = S_r / S$$

де

$S_r = 0.5 * \sin \alpha * (a_1 * a_2 + a_2 * a_3 + \dots + a_n * a_{n-1})$  – площа радару;

$S = \pi R^2$  – площа оціночного круга

Отже, інтегральний показник ефективності роботи перетину обчислюється:

$$K = 0.3793 / \pi = 0.1207$$

Провівши попередню оцінку ефективності роботи перетинів, встановлено, що в центральній зоні м.Києва коефіцієнт ефективності роботи перетинів майже однаковий (тобто умови роботи перетинів майже не відрізняються).

Загалом, задачею дослідження є встановлення взаємозв'язку між планувальною ознакою перетинів та умовами їх роботи на ВДМ в цілому, перевівши це на «мову показників» - кожній ознаці, яка характеризує роботу перетину, відповідає свій показник (в чисельному вимірі). Такий підхід надасть можливість зробити комплексну оцінку ефективності ВДМ м.Києва та виявить вплив вузлів ВДМ із нерегульованою схемою руху (яких у великих містах, в т.ч. і у м.Києві близько 40% серед усіх типів перетинів) на загальну ефективність роботи ВДМ. На основі цього можна буде виділити пріоритетні критерії ефективності роботи перетинів залежно від планувальної зони міста, категорійності магістралей, геометричного типу перетину та ін.

## ВИСНОВКИ

Сьогодні для міста Києва є актуальною проблема забезпечення пропускнуої здатності як ВДМ в цілому, так і її окремих вузлів. Для оцінки ефективності роботи нерегульованих перетинів було запропоновано метод регресійного аналізу, який, як і інші методи оцінки ефективності транспортних вузлів, повинен мати широке застосування у галузі міського господарства. На основі цього методу можна будувати моделі оцінки ефективності роботи перетинів, які будуть давати доволі високу точність результатів у поєднанні із відносно невеликим обсягом оброблюваної інформації. Цей процес легко автоматизується з використанням програмного комплексу MS Excel.

### Список використаної літератури:

1. Щербаков А.И. «Совокупная производительность труда и основы её государственного регулирования. Монография». - М.: Издательство РАГС, 2004.- 15 с.
2. Осетрін М.М. «Міські дорожньо-транспортні споруди» Навч. Посібник для студентів ВНЗ. – К, ІЗМН, 1997. - 69 с.
3. Хеллвіг. «Застосування таксономічних методів до типологічного поділу країн залежно від їх рівня розвитку та структури зайнятого населення», Статистичний огляд, №4, 1968.
4. Веслав Плюта. «Сравнительный многомерный анализ в экономическом моделировании». М, "Статистика", 1980. - 23 с.
5. Веслав Плюта. «Сравнительный многомерный анализ в экономических исследованиях». М, Финансы и статистика, 1989 г., стр. 23-27;
6. Рихтер К.Ю. «Транспортная эконометрия», М, Транспорт, 1982 г. - 45 с.
7. Иванов Ю.Б. «Конкурентоспособность предприятия: оценка, диагностика, стратегия. - Харків, ХНАДУ, 2004 г. - С. 86-88, 119-130.
8. Ширин В.В. «Повышение эффективности функционирования улично-дорожной сети города», дис.к.т.н., Х, ХНАДУ, 2012 г., стр. 120-125.
9. Брайловский Н.О. «Проблемы повышения эффективности функционирования транспортных сетей городов», автореф. дис.к.т.н. - М, МАДИ, 1983. стр. 8;
10. ДБН 360-92\*\* «Планування і забудова міських та сільських поселень. - К.: Укрархбудінформ, 2002.
11. ДБН В.2.3-5-2001 «Вулиці та дороги міських та сільських населених пунктів», К., 2001.

### Аннотация

В данной статье кратко описывается таксономический метод для определения коэффициента эффективности простых пересечений и предлагается набор критериев для ее предварительной оценки.

### Annotation

This article briefly describes the taxonomic method to determine the efficiency of simple cross-sections and propose a set of criteria for evaluation.