

УДК 711.11

к.т.н., професор Осетрін М.М.,

n.osetrin@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7015-4679,

Дворко О.М., oleksiy91@ukr.net, код ORCID: 0000-0002-6385-4463,

Київський національний університет будівництва та архітектури

## **МОДЕЛЬ ОЦІНКИ РОБОТИ НЕРЕГУЛЬОВАНОГО ПЕРЕТИНУ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТА**

*Розкрито поняття нерегульованого перетину на ВДМ міста та збір вихідних даних для його проектування. Проводиться класифікація об'єкту дослідження за всіма ознаками. Описано визначення значущих факторів впливу на роботу нерегульованого перетину за допомогою багатовимірного регресійного аналізу. Пропонується введення концепції рівня обслуговування для оцінки ефективності роботи нерегульованих перетинів на ВДМ міста.*

*Ключові слова: вулично-дорожня мережа, нерегульований перетин, категорійність магістралі, багатовимірний регресійний аналіз, затримка руху, рівень обслуговування.*

### **Об'єкт і предмет дослідження**

Об'єктом дослідження є простий (нерегульований) перетин на вулично-дорожній мережі (ВДМ) міста. Предметом дослідження є принципи і методи функціонально-планувальних рішень простих перетинів на ВДМ міста.

*Нерегульованим перетином* міських вулиць і доріг називають перетинання або примикання їх на ВДМ міста, що не має засобів світлофорного регулювання.

*Простим перетином* міських вулиць і доріг називають перетинання або примикання їх на ВДМ міста, що не мають напрямних споруд і елементів (острівців, розмітки тощо), які організують дорожній рух.

### **Збір вихідних даних і класифікація простих перетинів**

Перед вибором основної моделі роботи нерегульованого перетину необхідно класифікувати об'єкт дослідження за набором критеріїв, які повинні характеризувати умови роботи перетину. Умови функціонування нерегульованих перетинів на ВДМ міста Києва можна розділити на планувальні і транспортні, які у свою чергу поділяються на наступні підтипи:

*Планувальні умови* – функціонально-планувальна зона міста та геометрія перетину.

*Транспортні умови* – категорія магістралей, що перетинаються; пріоритетність транспортних потоків; склад транспортного потоку.

Автором у період 2015-2017 рр. за допомогою інтернет-сервісів Яндекс. Панорами, Google.Карти та OpenStreetMap було проаналізовано ВДМ міста

Києва і зібрано дані щодо положення нерегульованих перетинів. Було розроблено схему нерегульованих перетинів на ВДМ м. Києва та проведено їх класифікацію за планувальними і транспортними ознаками.

*За територіальним положенням* – житлова, парково-рекреаційна, комунально-складська, промислова.

*За геометричною схемою* – примикання двох вулиць, перетинання двох вулиць та складний перетин (три та більше вулиць).

*За категорійністю магістралей*, що перетинаються (згідно [1]): «житлова вулиця – житлова вулиця (ЖВ-ЖВ)», «житлова вулиця – вулиця районного значення (ЖВ-РМ)», «житлова вулиця – магістраль загальноміського значення (ЖВ-ЗММ) (тільки примикання)».

*За пріоритетністю руху транспорту*: *рівнозначні та нерівнозначні* нерегульовані перетини. Пріоритетність транспорту та пішоходів в зоні нерегульованого перетину визначається згідно Правил дорожнього руху України [2]. За результатами збору даних було встановлено, що 85% усіх нерегульованих перетинів на ВДМ м. Києва – нерівнозначні.

*За складом транспортного потоку* – з перевагою легкового транспорту, вантажного транспорту, міського пасажирського транспорту та велосипедного/ІЕТЗ (індивідуальний екологічний транспортний засіб). Встановлено, що 85-90% транспортного потоку на нерегульованих перетинах м.Києва – легковий транспорт.

Тому, на основі цієї класифікації вихідними даними (умовами роботи перетину) для моделі ОЕФНП будуть наступні чинники, на які буде орієнтована модель:

- Функціонально-планувальна зона: житлова (сельбищна);
- Геометрична схема: примикання та перетинання під прямим кутом;
- Категорійність вулиць: ЖВ-ЖВ, ЖВ-РМ, ЖВ-ЗММ;
- Пріоритетність руху: нерівнозначний;
- Склад ТП: легковий транспорт.

#### **Показники, за якими характеризують ефективність роботи нерегульованого перетину**

Для оцінки роботи нерегульованого перетину на ВДМ міста використовуються декілька параметрів, що знайшли поширення у світовій практиці. Ці параметри описуються також і в Highway Capacity Manual [6]. До цих показників відносять рівень затримки  $d$ , затримка руху пішоходів  $d_n$ , довжина черги 95%-ї забезпеченості  $Q_{95}$ , рівень шкідливих викидів  $M$ , показник безпеки перетину  $G$  та дорожньо-транспортні витрати  $D$ . В ході дослідження необхідно встановити залежність цих величин від вихідних умов методом багатовимірного регресійного аналізу.

Для нерегульованого перетину основним показником ефективності роботи є *затримка руху транспорту* та *затримка пішоходів* на нерегульованому переході. За цими двома параметрами визначають **рівень обслуговування – Level of service (LOS)**. Поняття «рівень обслуговування» взято із теорії масового обслуговування [5]. У більшості публікацій показник рівня обслуговування визначається як «якісна характеристика, що відображає такі сукупні фактори як швидкість руху, час поїздки, свободу маневрування, безпеку та зручність керування автомобілем». У табл.1 приведена шкала LOS за рівнем затримки руху автомобілів для нерегульованих перетинів (autoLOS), що регламентовані відповідними нормативами США [5, 6, 7]. У таблиці 2 – аналогічний показник для пішоходів на нерегульованому пішохідному переході в зоні нерегульованого перетину (pLOS) [6].

Табл. 1.

## Показники LOS за рівнем затримки руху

HCM-2010 (США)		HBS-2001 (Німеччина)	
LOS	Затримка, с/авт	LOS	Затримка, с/авт
A	0 – 10	A	<10
B	10 – 15	B	<20
C	15 – 25	C	<30
D	25 – 35	D	<45
E	35 – 50	E	>45
F	>50	F	-

Табл. 2.

## Показники pLOS за рівнем затримки руху

HCM-2010 (США)		
pLOS	Затримка, с/піш	Пояснення
A	0 – 5	Безконфліктний пішохідний потік
B	5 – 10	Іноді невелика затримка, обумовлена трафіком
C	10 – 20	Затримка помітна для пішоходів, але не викликає незручностей
D	20 – 30	Затримка помітна і викликає роздратування, можливість прийняття пішоходом ризикованого маневру
E	30 – 45	Затримка підходить до межі толерантності, можлива ризикована поведінка
F	>45	Затримка переходить толерантний рівень, пішоходи здійснюють ризиковані маневри

Для решти показників градації за рівнем обслуговування немає. Їх можна визначити через взаємозв'язок між ними згідно таблиці 3

Табл. 3.

Показники LOS та їх взаємозв'язок з іншими видами оцінок [5, 6]

Елементи ВДМ	Критерії, що використовуються для оцінки LOS	Можливості використання критерію для інших оцінок		
		Стан повітря	Рівень шуму	Економічна оцінка
Нерегульовані перетини	Затримка	+	-	+
	Довжина черги	+	+	+
	Коеф. завантаження	+	-	+

### Вибір значущих факторів

1 Планувальні фактори:

- 1.1 Радіус заокруглення на поворотах  $R$ ,  $m$ ;
- 1.2 Поздовжній ухил проїзної частини  $i_{\text{позд}}$ , долі/‰
- 1.3 Відстань від найближчого світлофора  $D$ ,  $км$
- 1.4 Кут примикання чи перетинання  $\alpha$ , °
- 1.5 Ширина проїзної частини  $B$ ,  $m$
- 1.6 Ширина пішохідного переходу  $b$ ,  $m$

2 Транспортні фактори:

- 2.1 Інтенсивність руху напрямку  $N$ ,  $авт/год$
- 2.2 Інтенсивність руху пішоходів, через пішохідний перехід  $N_{\text{пш}}$ ,  $піш/год$
- 2.3 Інтенсивність руху велосипедистів у зоні нерегульованого перетину  $N_v$ ,  $в/г$
- 2.4 Швидкість руху транспорту на даному напрямку  $v$ ,  $км/год$
- 2.5 Швидкість руху пішоходів  $v_{\text{пш}}$ ,  $км/год$
- 2.6 Частка легкових автомобілів у потоку  $\eta$ , долі
- 2.7 Граничний інтервал  $t_g$ ,  $с$
- 2.8 Інтервал слідування  $t_f$ ,  $с$

Ступінь впливу вихідних умов на показники роботи нерегульованого перетину на ВДМ м.Києва визначимо методом багатовимірної регресійного аналізу (БРА).

Множинна лінійна регресія є узагальненням лінійної регресії з урахуванням більш ніж однієї незалежної змінної. Базовою моделлю БРА є вираз [3, 4]:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_p X_{ip} + \varepsilon_i \quad (1)$$

де  $Y_i$  –  $i$ -та залежна змінна

$\beta_0$  – параметр

$\beta_j$  – параметри, що підлягають оцінці (коефіцієнти регресії),  $j = 1, 2, 3, \dots, p$

$X_{ij}$  –  $j$ -та незалежна змінна при оцінці  $i$ -тої залежної змінної,  $j = 1, 2, 3, \dots, p$

$\varepsilon_i$  –  $i$ -та незалежна однаково розподілена нормальна похибка.

Цей самий вираз можна записати у матричному вигляді [4], якщо залежних змінних декілька:

$$Y = X^T B + U \quad (2)$$

де  $Y$  – вектор, що описує залежні змінні

$X$  – матриця незалежних змінних

$T$  – транспонована матриця

$B$  – матриця коефіцієнтів регресії

$U$  – вектор випадкових похибок

### Приклад регресійної моделі залежності затримки руху для лівого повороту на нерегульованому перетині

Для прикладу визначення регресійної залежності показників ефективності функціонування нерегульованого перетину від умов їх роботи оцінимо регресію затримки руху на лівоповоротному напрямку 3-2 (рис. 1). В якості залежної змінної виступає затримка руху  $d$ , в якості незалежних – радіус повороту  $R$ , кут примикання  $\alpha$ , ширина проїзної частини  $B$  (планувальні фактори), інтенсивність руху  $N$ , інтенсивність руху пішоходів  $N_{пiш}$ , інтенсивність руху головного напрямку  $N_{гол}$ , відсоток легкового транспорту  $\eta$  та граничний інтервал  $t_g$  (транспортні фактори). Усі розрахунки виконаємо за допомогою програмного комплексу Statistica. Вихідними даними для регресійного аналізу будуть натурні обстеження, виконані автором, а також матеріали Генерального плану м. Києва до 2020 року [8].

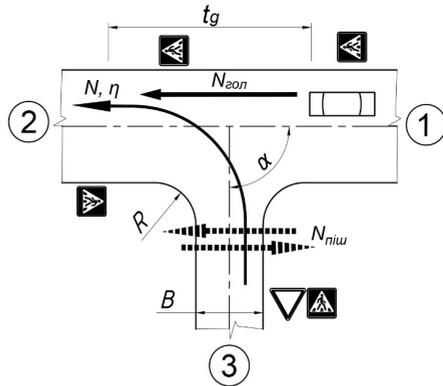


Рис. 1. Схема плануально-транспортних умов роботи нерегульованого перетину

Для простоти розрахунків виконаємо регресію окремо для планувальних і транспортних умов. Тобто, в кінцевому результаті ми повинні отримати два рівняння регресії:

$$d = f(R, \alpha, B) \quad (3); \quad d = f(N, N_{\text{пінш}}, N_{\text{голд}}, \eta, t_g) \quad (4)$$

Основними етапами БРА у ПК Statistica є [9]:

1. Визначення залежної і незалежних змінних;
2. Побудова кореляційної матриці;
3. Вибір факторів за коефіцієнтом  $\beta$  (див. ф-лу 1);
4. Таблиця рівнів значущості;
5. Аналіз залишків;
6. Оцінка прийнятності моделі в цілому;
7. Аналіз коефіцієнтів детермінації;
8. Прогнози

	1 d, c/авт	2 R, м	3 кут, град	4 B, м
1	329,94	12	90	6
2	70,43	5	90	5
3	12,02	12	68	6,5
4	62,13	5	90	5,5
5	1789,79	10	90	8
6	9,72	6	75	6,9
7	40,04	8	90	7
8	29,93	10	90	5,35
9	9,38	7	90	5,5
10	162,93	4,5	90	5,5
11	218,01	12	80	9,87
12	14,43	15	50	9,8
13	1046,37	12	90	8
14	9,68	4,5	45	12,7
15	14,7	12	90	7
16	10,72	12	90	8,75
17	13,46	7	90	8,5
18	21,8	7	90	7
19	9,98	15	90	7,3
20	16,22	5	85	7,1
21	131,09	7	45	7
22	80,18	7	90	9
23	134,1	5	90	7,5
24	34,63	6	90	11
25	32,21	6	90	8

Рис. 2. Набір даних для БРА – залежні (d) та незалежні змінні (R,  $\alpha$ , B) (етап 1, [9])

	Intercept	b*	Std Err. of b*	b	Std Err. of b	t(23)	p-value
R, м	0,198804	0,204352	23,4152	24,0686	0,972851	0,340748	

Рис. 3. Визначення коефіцієнту детермінації  $R^2$  (етап 7, [9]).

Як видно із рис. 3, коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,0395$ , що є менше допустимого 0,3 [3], що говорить про те, що регресійна модель, складена на основі цього масиву даних (ф-ла 3), працювати не буде. Із цього можна зробити декілька висновків:

- Затримка руху не корелює із планувальними факторами;
- Недостатній масив даних для БРА;
- Недостатня точність зібраних автором даних.

Аналогічним чином проведемо БРА для транспортних факторів. На основі проведеного моделювання було встановлено, що рівень значимості (етап 6, [9])  $p\text{-value} = 0,028 < 0,3$ , але коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,19$ . Модель з таким низьким  $R^2$  не годиться для роботи і прогнозування. Висновки робимо аналогічні:

- Затримка руху не корелює із транспортними факторами;
- Недостатній масив даних для БРА;
- Недостатня точність зібраних автором даних

### Висновки

Загалом, із поставленої задачі можна зробити загальні висновки:

1. Набрати достатній масив даних для моделювання;
2. Підвищити точність натурних обстежень і, як наслідок, зібраних даних на нерегульованому перетині – інтенсивність руху транспорту та пішоходів, швидкість руху, геометричні параметри перетину.

### Список літератури

1. Державні будівельні норми. Вулиці та дороги населених пунктів. ДБН В.2.3-5:2018 – Чинний від 1.09.2018. - К.: Мінірегіонбуд України, 2018. - 61 с.
2. Правила дорожнього руху. Постанова, Перелік, Правила від 10 жовтня 2001 р. №1306// Офіційний веб-портал Верховної Ради України. - URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-п/page> (Дата звернення: 30.06.2018)
3. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. - Москва, Транспорт, 2001. – 365 с.
4. Шеффе Г. Дисперсионный анализ, пер. с англ. - Москва, Транспорт, 1963. - 250 с.
5. Трофимов А.В. Оценка условий организации дорожного движения на базе системы показателей уровней обслуживания (Level of service) – Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени развития, №22. – Иркутск: НИ ИГТУ, 2014. – 161 с.
6. Highway Capacity Manual-2010, TRB – Washington, D.C., 2010. - 1189 p.
7. Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS 2001). – Forschungsgesellschaft für Strassen und Verkehrswesen, Koeln, Januar 2002.
8. Департамент містобудування та архітектури м.Киева. Генеральний план міста Києва до 2020 року (діючий). URL: <https://kga.gov.ua/generalnij-plan/genplan2020> (Дата звернення: 5.12.2018).
9. СТАТИСТИКА (КОРРЕЛЯЦІОННО-РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ НА ПЕРСОНАЛЬНОМ КОМПЬЮТЕРЕ) Методические указания к практическим занятиям для студентов всех форм

обучения специальности «Менеджмент», КГУ, - Калининград, 1999 - 35 ст.  
URL: <http://www.ict.edu.ru/ft/004853/stat.pdf> (Дата звернення: 5.12.2018)

к.т.н., профессор Осетрин Н.Н., Дворко А.Н.,  
Киевский национальный университет строительства и архитектуры

## **МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ РАБОТЫ НЕРЕГУЛИРОВАННОГО ПЕРЕСЕЧЕНИЯ НА УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДА**

В данной статье раскрыто понятие нерегулируемого пересечения на УДС города и сбор исходных данных для его проектирования. Проводится классификация объекта исследования по всем признакам. Описаны определения значимых факторов влияния на работу нерегулируемого пересечения с помощью многомерного регрессионного анализа. Предлагается введение концепции уровня обслуживания для оценки эффективности работы нерегулируемых пересечений на УДС города.

Ключевые слова: улично-дорожная сеть, нерегулированное пересечение, категорийность магистрали, многомерный регрессионный анализ, задержка движения, уровень обслуживания.

Ph.D, professor Osyetrin N.N., Dvorko O.N.,  
Kyiv National University of Construction and Architecture

## **EVALUATION MODEL OF FUNCTIONING OF UNREGULATED INTERSECTIONS IN THE CITY'S ROAD-STREET NETWORK**

This article describes the concept of unregulated intersection on the city's road-street network (RSN) and the collection of source data for its design. Classification of the object of study is carried out on all grounds. The definition of significant factors of influence on the work of unregulated intersection by means of multivariate regression analysis is described. It is proposed to introduce a level of service concept for assessing the performance of unregulated intersections at the city's RSN.

Keywords: road-street network, unregulated intersections, category of street, multivariate regression analysis, control delay, level of service.