

УДК 656.11

**Д.Ю.Сидоров**

**Національний університет «Львівська політехніка»  
ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ НА ДІЛЯНКАХ ВУЛИЧНО-  
ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЇЇ ЗМІНИ**

*У роботі наведено результати дослідження інтенсивності руху, проведених натурним методом, застосовуючи вибірковий облік руху для декількох років, на основі чого, використовуючи методи прогнозування, визначено загальні тенденції її зміни в умовах міського руху.*

**Ключові слова:** інтенсивність руху, транспортний потік, вулично-дорожня мережа, рівень автомобілізації, пропускна здатність.

*Рис 3. Табл 2. Літ 12*

**Д.Ю.Сыдоров**

**ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА УЧАСТКАХ УЛИЧНО-  
ДОРОЖНОЙ СЕТИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЕЕ ИЗМЕНЕНИЯ**

*В работе приведены результаты исследования интенсивности движения, проведенных натурным методом, применяя выборочный учет движения для нескольких лет, на основе чего, используя методы прогнозирования, определены общие тенденции ее изменения в условиях городского движения.*

**Ключевые слова:** интенсивность движения, транспортный поток, улично-дорожная сеть, уровень автомобилизации, пропускная способность.

**D.Sydorov**

**TRAFFIC INTENSITY ON THE ROAD NETWORK LINKS AND IT'S CHANGING  
FORECASTING**

*In the paper is shown the research results of traffic intensity, measured by full-scale method with using random choice for some years. Having the historical figures was forecasted the traffic intensity and defined common trends of its changing in city traffic conditions. Trends allow forecasting the time period, in which the road network without redesigning will service the traffic with proper comfort level*

**Key words:** traffic intensity, traffic flow, road network, level of car ownership, road capacity

**Постановка проблеми**

Сьогодні автомобільний рух перебуває на етапі росту у всьому світі, особливо в країнах, які розвиваються. У поєднанні з масовою інфраструктурою та хаотичним розвитком, це завдає шкоди здоров'ю людини та підвищує рівень небезпеки на дорогах. У містах швидкість транспорту падає з кожним роком, а у деяких з них, вона нижча за швидкість руху пішохода. У результаті заторів виникають тривалі затримки, непередбачені витрати часу на поїздки та високий рівень забруднення [1–3,8].

Все це спричинене зростанням рівня автомобілізації, що веде до збільшення інтенсивностей руху транспортних потоків та зміни залежностей між основними показниками у них. Особливо це відчутно на території великих, значних та найзначніших міст, зокрема у зонах, де забудова уже склалася і резервів для збільшення пропускної здатності немає.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Для сучасних міст рівень автомобілізації – 170 – 180 автомобілів на 1000 мешканців є оптимальним, виходячи з показників ступеня насичення руху, величини швидкості транспортних потоків, рівня завантаження та умов забруднення повітря. Розрахунковим для міст України є рівень автомобілізації 200 – 250 автомобілів на 1000 мешканців [6,8,9]. Проте, більшість міст відчувають значні проблеми транспорту за рівня автомобілізації, меншого від оптимального (Львів, Чернівці, Ужгород тощо), що пов'язано із їх історичною забудовою та одночасним накладанням ділового, культурного та житлового районів у центральній зоні, де є найбільша щільність вулично-дорожньої мережі з малою пропускною здатністю.

У той час, коли спостерігається постійне зростання інтенсивності транспортного потоку, пропускна здатність транспортних мереж практично не змінюється, а у багатьох випадках навіть зменшується, якщо врахувати процеси її руйнування з часом, збільшення частки територій вулиць та доріг, визначених для паркування тощо. За результатами настання таких явищ можна однозначно стверджувати про зростання рівня завантаження вулично-дорожньої мережі, при чому, не лише у центральних частинах міст, але й у периферійних районах [10–12]. Особливо гостро ця проблема відчувається у містах з радіальною планувальною схемою вулично-дорожньої мережі, де

основні магістральні вулиці сходяться у центрі, спричиняючи взаємодію між собою транспортних потоків найбільшої інтенсивності [4,7]. Сприяє погіршенню ситуації велика розрізненість транспортного потоку за складом, особливо на тій частині мережі, де велика частка наземного громадського транспорту (автобуси, тролейбуси, а у деяких містах і трамваї, які здійснюють рух у загальній структурі потоку), що рухається з низькими технічними швидкостями, здійснює посадку та висадку пасажирів на необлаштованих зупинних пунктах.

Як відомо, інтенсивність є одним із первинних показників, які характеризують умови руху потоків і визначається кількістю транспортних засобів, які пройшли поперечний переріз вулиці або дороги за одиницю часу [2,4,7,8]. Однією з її особливостей є те, що вона змінна у часі і ця зміна має стохастичний характер, тобто досліджені значення інтенсивності можуть суттєво відрізнятися протягом окремих годин доби (розрізняють періоди найбільш інтенсивного руху, які характеризуються піковим та між піковим навантаженням та періоди, коли рух на вулично-дорожній мережі практично відсутній), днів тижня, місяців року тощо. До того ж, значення величини інтенсивності для одних і тих же періодів за результатами досліджень можуть бути суттєво різними, а також транспортні потоки приблизно рівні за інтенсивністю, швидкістю та щільністю мають особливість відрізнятися за станом (вільний, частково зв'язаний та зв'язаний), який багато в чому обумовлений умовами руху [4,7,8].

Виходячи з цього, можна сказати, що транспортний потік – випадковий процес, а його характеристики є випадковими величинами і неперервно змінюються. Управління випадковими процесами є досить складне і потребує постійних досліджень, застосування математичного апарату та технічного забезпечення, тому випадкові за своєю природою характеристики транспортного потоку, часто розглядають як не випадкові (детерміновані) [8]. Такий підхід методологічно є доступним і дозволяє задовільно керувати дорожнім рухом.

#### **Невирішені раніше частини загальної проблеми**

Більшість закономірностей зміни інтенсивності руху та методів її прогнозування стосуються періодів, коли практично весь транспортний потік мав відомчу приналежність, здійснюючи рух заздалегідь укладеними маршрутами, тому прогнозувати багато чинників, які впливають на характеристики руху потоку було порівняно легше. Проте, з часом, така тенденція змінилася і визначення об'ємів руху потребує застосування великих за обсягом досліджень, які є надзвичайно трудомісткими, але їх проведення системно та повсюдно дасть можливість аналізувати та прогнозувати ефективність роботи проїзних частин, особливо на території великих та найбільших міст, де така проблема постала особливо гостро.

#### **Мета дослідження**

Наявність матеріалів з детальними результатами досліджень допоможе вивчити загальні тенденції та удосконалити залежності основних показників у транспортних потоках і дасть можливість правильного прогнозу щодо розвитку вулично-дорожньої мережі населених пунктів та якісної адаптації систем управління дорожнім рухом на них.

#### **Основні результати досліджень**

Зосередимо свою увагу на методології дослідження інтенсивності транспортних потоків, взявши для прикладу магістральну вулично-дорожню мережу міста Львова. Відповідно до неї, ці дослідження проведено у вівторок, середу і четвер протягом таких місяців: березня, квітня, травня, червня, вересня і жовтня у 2010 – 2013 роках на вулиці Городоцька, яка є магістраллю регульованого руху загальноміського значення. Заміри відбувались протягом 14 годин методом натурних досліджень способом неперервного обліку, у період між 7 та 21 годинами. Отримані значення інтенсивностей у зазначений час і дні наближаються до значення річної середньої величини денної інтенсивності. Пікові інтенсивності автомобільного транспорту визначено шляхом дво- та чотиригодинного дослідження вранці та у другій половині дня (відповідно між 7 – 11 годинами та 15 – 19 годинами). Результати цих досліджень наведено на рисунку 1.

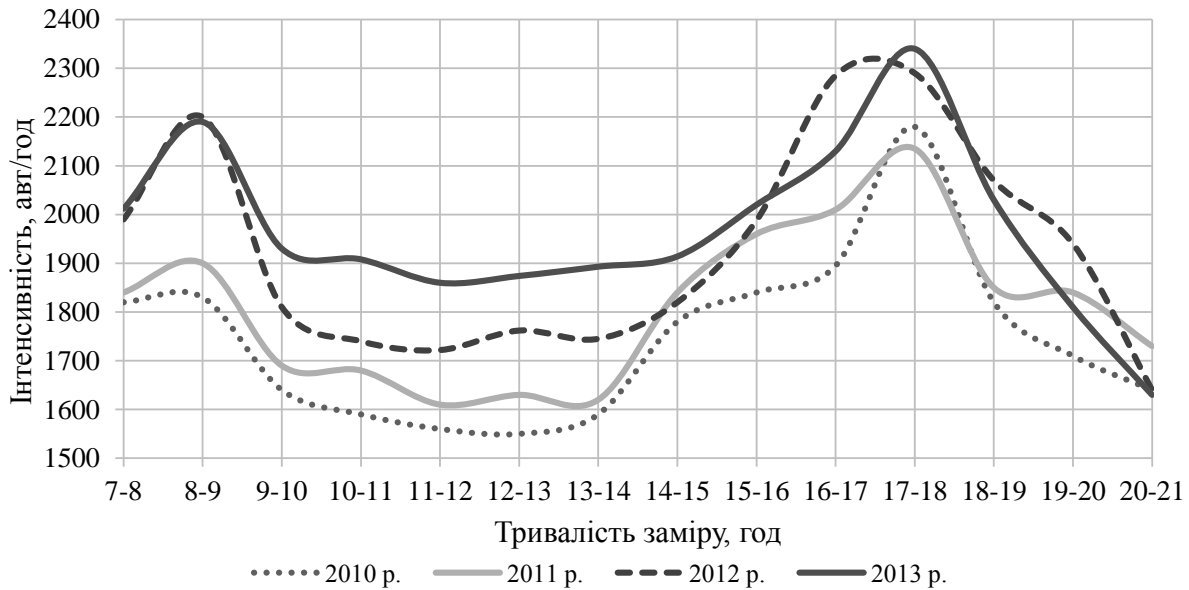


Рис. 1. Результати досліджень інтенсивності руху на ділянці вулиці Городоцька

Визначимо зв'язок між інтенсивностями в години вечірнього пікового періоду за досліджуваними роками шляхом побудови матриці нормованої кореляційної функції [5,7].

Математичне сподівання випадкового процесу  $X(t)$  називається не випадкова функція  $\tilde{M}_N(t)$ , значення якої за кожного значення аргументу  $t$  рівне математичному очікуванню відповідного випадкового процесу, тобто:

$$\tilde{M}_N(t_k) = \frac{\sum_{i=1}^n N_i(t_k)}{n}, \quad (1)$$

де  $n$  - кількість реалізацій випадкового процесу (кількість років, протягом яких проводяться дослідження);

$t_k$  - дискретні моменти часу,  $k = 1, 2, \dots, m$ ;

$m$  - кількість годин, що беруться до уваги.

На практиці під час визначення значень дисперсії і кореляційного моменту початок відліку рекомендується переносити по осі ординат найближче до математичного очікування, а розрахунок проводити за формулами:

$$\tilde{D}_N(t_k) = \left[ \sum_{i=1}^n \frac{N_i(t_k)^2}{n-1} - [\tilde{M}_N(t_k)]^2 \right] \frac{n}{n-1}, \quad (2)$$

$$\tilde{K}_N(t_k, t_l) = \left[ \sum_{i=1}^n \frac{N_i(t_k)N_i(t_l)}{n} - \tilde{M}_N(t_k)\tilde{M}_N(t_l) \right] \frac{n}{n-1}. \quad (3)$$

За необхідності можна визначити оцінку для нормованої кореляційної функції:

$$\tilde{\rho}_N(t_k, t_l) = \frac{\sum_{i=1}^n [N_i(t_k) - \tilde{M}_N(t_k)][N_i(t_l) - \tilde{M}_N(t_l)]}{\sum_{i=1}^n [N_i(t_k) - \tilde{M}_N(t_k)]^2}. \quad (4)$$

Функція  $\tilde{\rho}_N(t_k, t_l)$  аналогічна кореляційному моменту і визначає ступінь зв'язку між елементами  $n$  рядів та  $m$  стовпців. Ця функція також характеризує випадковий процес, оскільки для кожної пари дискретних значень аргументів  $\tilde{\rho}_N(t_k, t_l)$  вона рівна коефіцієнту кореляції  $|\tilde{\rho}_N(t_k, t_l)| \leq 1$ .

Відповідно, головна діагональ матриці нормованої кореляційної функції становить значення 1 і за аналогією з кореляційним моментом матриця симетрична відносно цієї діагоналі. Матриця має такий вигляд:

$$\tilde{p}_N(t_k, t_l) = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{p}_N(t_1, t_2) & \dots & \dots & \tilde{p}_N(t_1, t_m) \\ & 1 & \tilde{p}_N(t_2, t_3) & \dots & \tilde{p}_N(t_2, t_m) \\ & & 1 & \dots & \tilde{p}_N(t_3, t_m) \\ & & & 1 & \tilde{p}_N(t_{m-1}, t_m) \\ & & & & 1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Під час дослідження транспортного потоку отриманні середні годинні значення інтенсивностей протягом доби на ділянці вулиці Городоцька у 2010 – 2013 роках. Їх величина така: у 2010 р. – 25730 авт./добу; у 2011 р. – 26950 авт./добу; у 2012 р. – 28469 авт./добу; у 2013 р. – 29686 авт./добу.

Проаналізувавши рисунок 1, встановлено, що найбільш завантажений період часу – це проміжки між 15 – 16 год., 16 – 17 год., 17 – 18 год., 18 – 19 год. Знайдемо відносні значення інтенсивностей руху для цих періодів доби та запишемо у вигляді таблиці 1.

Відносну інтенсивність руху ТЗ знаходимо за формулою:

$$N(t) = \frac{N_t}{N_{доб}}, \quad (6)$$

де  $N_t$  - інтенсивність транспортного потоку за годину ( $t_i$ ), авт./год.;  $N_{доб}$  - інтенсивність транспортного потоку, авт./добу.

Таблиця 1

**Відносні значення інтенсивностей транспортного потоку у найбільш завантажені години доби протягом 2010 – 2013 років**

Рік	Години доби			
	15 – 16 год.	16 – 17 год.	17 – 18 год.	18 – 19 год.
2010	0,071	0,074	0,085	0,071
2011	0,077	0,079	0,083	0,072
2012	0,077	0,089	0,089	0,080
2013	0,078	0,082	0,090	0,078

Дані для кожного року можна розглядати як реалізацію неперервного випадкового процесу з дискретним часом. Використовуючи формули (1) та (2), визначимо їх ймовірнісні характеристики.

Визначені результати  $\tilde{M}_N(t)$  та  $\tilde{D}_N(t)$  зводимо в таблицю 2.

Таблиця 2

**Результати ймовірнісних характеристик відносних значень інтенсивностей**

Характеристики випадкового процесу	Найбільш завантажені години доби			
	15 – 16 год.	16 – 17 год.	17 – 18 год.	18 – 19 год.
$\tilde{M}_N(t)$	0,076	0,081	0,087	0,075
$\tilde{D}_N(t)$	0,0000084	0,0000395	0,0000105	0,00002106

Використовуючи отримані значення  $\tilde{M}_N(t)$ , розрахуємо кореляційний момент для різних пар значень аргументу  $(t_{15}, t_{16}), (t_{16}, t_{17}), (t_{16}, t_{18}), \dots, (t_{19}, t_{19})$  відповідно до формули (3).

Отримані результати для кореляційного моменту зведемо у матрицю, відповідно до формули (5):

$$\tilde{K}_N(t_k, t_l) = \begin{bmatrix} \tilde{K}_N(t_{15-16}, t_{15-16}) & \tilde{K}_N(t_{15-16}, t_{16-17}) & \tilde{K}_N(t_{15-16}, t_{17-18}) & \tilde{K}_N(t_{15-16}, t_{18-19}) \\ \tilde{K}_N(t_{16-17}, t_{15-16}) & \tilde{K}_N(t_{16-17}, t_{16-17}) & \tilde{K}_N(t_{16-17}, t_{17-18}) & \tilde{K}_N(t_{16-17}, t_{18-19}) \\ \tilde{K}_N(t_{17-18}, t_{15-16}) & \tilde{K}_N(t_{17-18}, t_{16-17}) & \tilde{K}_N(t_{17-18}, t_{17-18}) & \tilde{K}_N(t_{17-18}, t_{18-19}) \\ \tilde{K}_N(t_{18-19}, t_{15-16}) & \tilde{K}_N(t_{18-19}, t_{16-17}) & \tilde{K}_N(t_{18-19}, t_{17-18}) & \tilde{K}_N(t_{18-19}, t_{18-19}) \end{bmatrix},$$

$$\tilde{K}_N(t_k, t_l) = \begin{bmatrix} 0.0000084 & 0.0000139 & 0.0000053 & 0.0000099 \\ 0.0000139 & 0.0000395 & 0.0000141 & 0.0000273 \\ 0.0000053 & 0.0000141 & 0.0000105 & 0.0000132 \\ 0.0000099 & 0.0000273 & 0.0000132 & 0.0000211 \end{bmatrix}$$

Поділимо кожен елемент матриці на добуток коренів чисел головної діагоналі, що належать цьому ряду і стовпцю. Кінцевий результат матриці нормованої кореляційної функції запишеться так:

$$\tilde{K}_x(t_k, t_l) = \begin{bmatrix} 1 & 0.76 & 0.57 & 0.75 \\ 0.46 & 1 & 0.70 & 0.95 \\ 0.57 & 0.70 & 1 & 0.89 \\ 0.75 & 0.95 & 0.89 & 1 \end{bmatrix}$$

Із цієї матриці побудуємо графік залежності коефіцієнта кореляції від годин доби (рис. 2).

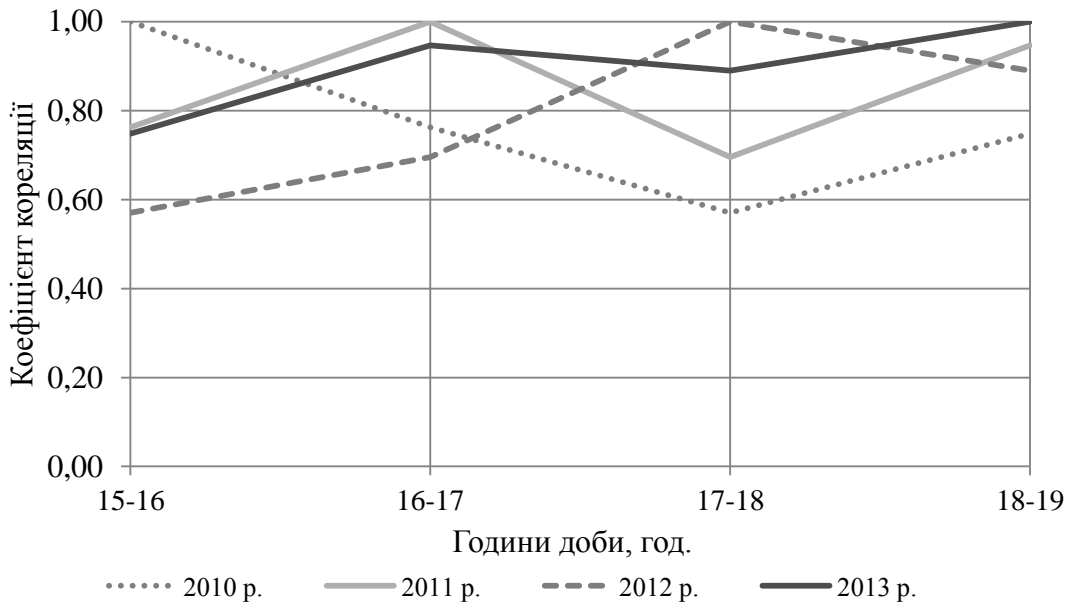


Рис. 2. Графік коефіцієнта кореляції інтенсивності транспортного потоку для пікового періоду у різні роки

Знання даних попередніх та сучасного стану є недостатнім, тому необхідні знання про динаміку росту інтенсивності для майбутніх періодів, щоб знати перспективні вимоги до вулично-дорожньої мережі з метою забезпечення її оптимальної роботи. Такі відомості можна здобути шляхом прогнозування.

Найбільш перспективним методом прогнозування інтенсивності руху є метод за формулою складних відсотків [5,7,8]:

$$N_n = N_0 \cdot (1 + \beta)^n, \quad (7)$$

де  $N_n$  - величина перспективної інтенсивності руху в  $n$ -му році;

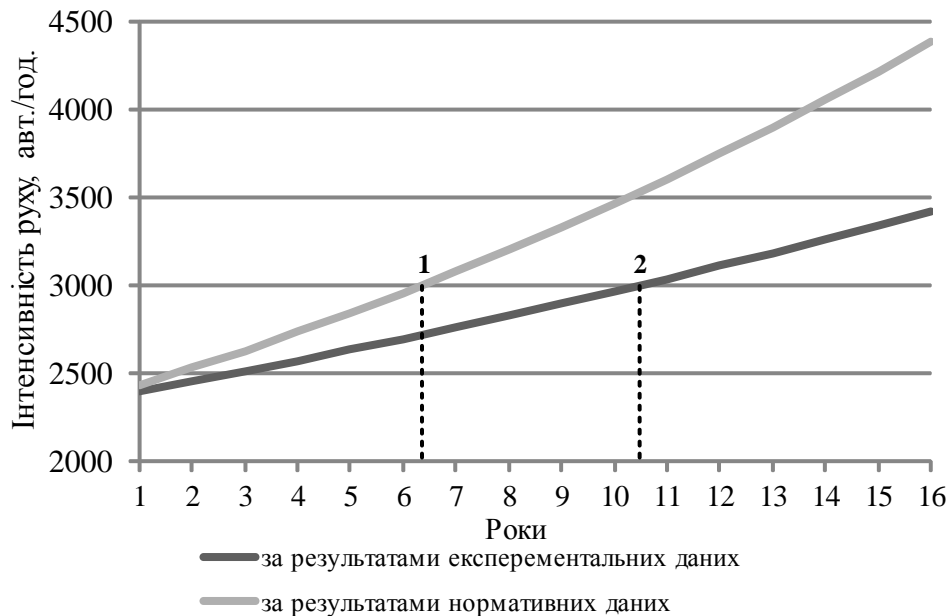
$N_0$  - величина інтенсивності руху у вихідному році;

$\beta$  - коефіцієнт щорічного приросту інтенсивності руху;

$n$  - розрахунковий рік ( $n=1, 2, \dots, n$ ).

Для ділянки вулиці Городоцька, розрахункова теоретична пропускна здатність якої складає 3000 од./год., проведемо розрахунок періоду, протягом якого інтенсивність руху у піковий період, зберігаючи існуючі темпи зростання, досягне рівня пропускної здатності, використовуючи формулу (7). Відповідно до аналізу інтенсивності руху на цій ділянці коефіцієнт щорічного її приросту складає 2,4%, а нормативно прийнятий для міст України складає 3–5% (приймаємо

нормативно закладений для Львова згідно генплану – 4%). Результати розрахунку експериментального та нормативного прогнозу наведемо у вигляді рисунка 3.



**Рис. 3. Результати прогнозування рівня інтенсивності руху:  
1, 2 – досягнення величини інтенсивності рівня пропускної здатності на магістральній вулиці на основі прогнозування за нормативними та експериментальними даними**

### Висновки

Правильний вибір методології досліджень інтенсивності руху для будь-яких ділянок вулично-дорожньої мережі дає можливість з високою ймовірністю визначити її значення для різних періодів, а також тенденції зміни. Використання сучасних методів прогнозування, які застосовуються у транспортних системах, дає можливість вивчити тенденції зміни рівня завантаження проїзних частин і розрахувати період, коли результати їх роботи будуть неефективними, тобто затримки руху, показники аварійності та інші оптимальні та раціональні критерії вказуватимуть на неможливість досягти результатів організаційними методами не лише в межах перехресть, але і на ділянках вулиць між ними.

1. Banister D. Transport planning / D. Banister. – London : Spon Press, 2002. – 317 p.
2. Moughtin C. Urban design: street and square / C. Moughtin. – Oxford : Architectural Press, 2003. – 320 p.
3. Hall P. Urban and regional planning / P. Hall. – London and New York : Routledge, 2002. – 237 p.
4. Врубель Ю. А. Потери в дорожньому русі / Ю. А. Врубель. – Минск : БНТУ, 2003. – 380 с.
5. Доля В.К. Прогнозування параметрів транспортних систем. / В.К. Доля, Я.В. Санько, Т.О. Самісько. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 312 с.
6. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень: ДБН 360-92\*\*. – [Чинний від 2002-04-19]. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2002. – 92 с. – (Національний стандарт України).
7. Поліщук В. П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху / В. П. Поліщук, О. П. Дзюба. – К.: Знання України, 2008. – 175 с.
8. Системологія на транспорті. Організація дорожнього руху [Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. та ін.]; за ред. М. Ф. Дмитриченка. – К.: Знання України, 2007. – 452 с. – (5 кн./ Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. та ін.; кн. 4).
9. Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів: ДБН В.2.3-5-2001. – [Чинний від 2001-10-01]. – К.: Укрархбудінформ, 2001. – 50 с. – (Національний стандарт України).
10. Ройко Ю. Я. Щодо визначення оптимальної довжини ділянки вулично-дорожньої мережі міста / Ю. Я. Ройко // Технологічний аудит і резерви виробництва. – 2012. – № 5/1 (7) / Матеріали міжнародної наукової конференції «Наукова періодика слов'янських країн у умовах глобалізації». – Ч.1. – К., 2012. – С. 43 – 44.
11. Ройко Ю. Я. Щодо визначення пропускної здатності елементів міської магістралі / Ю. Я. Ройко, М. Ю. Євчук // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – Вип. 5(194) Ч.1. – С.161 – 164.
12. Санько Я. В. Дослідження закономірностей формування структури вулично-дорожньої мережі / Я. В. Санько, Ю. Я. Ройко // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2013. – Вип. 4/1(12). – С. 40 – 42.

Стаття надійшла до редакції 11.04.2014