

10. Божко, Н. П. Оптимізація конструкції продольного профіля сортировочної горки [Текст] / Н. П. Божко // Совершенствование технических устройств и технологии управления процессом расформирования составов на сортировочных горках: межвуз. сб. науч. тр. №14 – Д.: ДИИТ, 1986. – С. 13-25.
11. Козаченко, Д. М. Новий вагонний уповільнювач УВСК українського виробництва [Текст] / Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора, М. І. Березовий, А. А. Гарбузов // Заліз. трансп. України – 2010. – № 2. – С. 34-38.
12. Бобровський, В. І. Математическа модель для оптимізації інтервального регулювання швидкості отцепов на горках [Текст] / В. І. Бобровський, Д. Н. Козаченко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2003. – № 3. – С. 3-8.
13. Муха, Ю. А. Посібник по застосуванню Правил і норм проектування сортировочних пристроїв [Текст] / Ю. А. Муха, Л. Б. Тишков, В. П. Шейкин і др. – М.: Транспорт, 1994. – 220 С.

*Розроблено метод оцінки пропускної здатності вулично-дорожньої мережі на основі методу узгодження мереж газопостачання й із врахуванням особливостей транспортно-планувальних систем міст. Метод дає можливість оцінювати існуючий стан системи й ефект від прийнятих заходів по її врегулюванню, не залежить від величини міста, дозволяє розглядати місто і зону його впливу як одне ціле*

*Ключові слова: пропускна здатність, вулично-дорожня мережа, система управління дорожнім рухом*

*Разработан метод оценки пропускной способности улично-дорожной сети на основе метода увязки сетей газоснабжения и с учетом особенностей транспортно-планировочных систем городов. Метод дает возможность оценивать существующее положение системы и эффект от принятых мер по ее урегулированию, не зависит от величины города, позволяет рассматривать город и зону его влияния как одно целое*

*Ключевые слова: пропускная способность, улично-дорожная сеть, система управления дорожным движением*

УДК 711.73

# ОЦІНКА ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ВУЛИЧНО- ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ

**М. С. Озтюкер**  
Асистент

Кафедра міського будівництва і господарства  
Луцький національний технічний університет  
вул. Потебні, 56, м. Луцьк, Україна, 43018  
E-mail: marina\_fomenko@pisem.net

## 1. Вступ

Велика концентрація населення у містах, а з нею некерований зріст автомобілізації призвів до перевантаження транспортних шляхів сучасного населеного пункту [1].

Застосування у теперішній час існуючих методів точкового розв'язання транспортної проблеми на окремих вузлах або перегонах вулично-дорожньої мережі не приносить бажаного результату або має короткостроковий ефект, бо це, як правило, направлене на ліквідацію негативної ситуації, що виникла [2].

Для подолання проблеми наступним етапом розвитку транспортного планування має стати розгляд вулично-дорожньої мережі і транспортного потоку по ній (тобто транспортно-планувальній системі) в єдиному комплексі й для міста в цілому.

## 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Для вирішення задачі оптимального функціонування транспортно-планувальної системи можливо застосувати альтернативний спосіб – підвищити ефективність управління транспортним потоком шляхом впровадження автоматизованої системи управління дорожнім рухом [3, 4]. Але необхідно зазначити, що ефективність застосування автоматизованих систем управління дорожнім рухом напряму залежить від адекватності моделі транспортного потоку, що закладена в алгоритм, прийнятих методів оцінки стану транспортно-планувальної системи та їх критеріїв [5, 6]. У попередніх роботах [7 – 9] було показано, що для дослідження великомасштабних мереж вулиць і доріг та вирішення питань їх ефективності найбільше підходять макроскопічні моделі. Аналіз можливих

аналогів транспортного потоку за його структурою й динамічними властивостями показав, що найбільш адекватно передає структуру потоку автотранспортних засобів газ. Тому серед цього класу моделей обрано газодинамічну аналогію, яку було перенесено з речовини «транспортний потік» – «газ» також і на середовища «транспортно-планувальна система» – «мережа газопостачання». До основних блоків алгоритму автоматизованої системи управління дорожнім рухом було віднесено:

- 1) збір інформації про об'єкт управління;
- 2) оцінка якості управління на основі отриманих даних;
- 3) прийняття відповідного рішення;
- 4) перевірка прийнятого рішення;
- 5) передача управлінської дії на об'єкт.

### 3. Мета й завдання дослідження

Для виконання другого, третього і четвертого блоків алгоритму необхідний метод, який повинен базуватися на найбільш реалістичній моделі транспортного потоку і мати можливість не тільки оцінити існуючий стан, але й прорахувати результат від проведених заходів по вдосконаленню роботи транспортно-планувальної системи. Це визначає мету і завдання дослідження.

### 4. Основні положення методу оцінки пропускної здатності вулично-дорожньої мережі

Основним критерієм оцінки якості функціонування мережі міських вулиць і доріг є пропускна здатність.

Встановлення даної величини визначає «вузькі» місця мережі, дозволяє оцінити економічність і зручність пересувань, підібрати засоби організації руху. Пропускна здатність залежить від:

- а) кількості й типу перетинів на вулично-дорожній мережі;
- б) кількості й ширини смуг руху;
- в) типу покриття і його експлуатаційних якостей;
- г) повздожніх ухилів траси;
- д) габаритів, кількості видів і стану гальмівної системи автомобілів;
- е) погодних умов;
- є) якості освітлення вулиці;
- ж) використаних засобів по організації дорожнього руху.

Транспортно-планувальною практикою винайдено велике різноманіття способів її визначення від встановлення нормативних показників до використання моделей транспортного потоку. Але відсутній чіткий механізм для оцінки даного показника у динаміці функціонування транспортно-планувальної системи, що свідчить про необхідність розробки такого методу, в основі якого закладена відповідність величини транспортного потоку пропускній здатності вулично-дорожньої мережі. Базуючись на проведеному дослідженні теоретичного підґрунтя, було використано метод узгодження мереж газопостачання як основи для створення методу містобудівної оцінки пропускної здатності магістральної вулично-дорожньої мережі міста, що включає наступні етапи:

- а) складання умовної розрахункової схеми;
- б) дослідження існуючого стану вулично-дорожньої мережі й транспортного потоку;
- в) обчислення затримок на розрахункових ділянках мережі;
- г) перевірка виконання першого й другого законів Кірхгофа;
- д) аналіз рівня завантаження міських вулиць і доріг та величини швидкості руху;
- е) проведення організаційно-регулювальних заходів по реконструкції транспортно-планувальної системи;
- ж) повторне узгодження мережі.

Запропонований метод перевірено на транспортно-планувальній системі м. Луцька (центральна частина).

Для складання умовної розрахункової схеми вулично-дорожньої мережі використано теорію графів (рис. 1). Система даних для наповнення розрахункової схеми, за аналогією з методом узгодження мереж газопостачання, прийнята наступна:

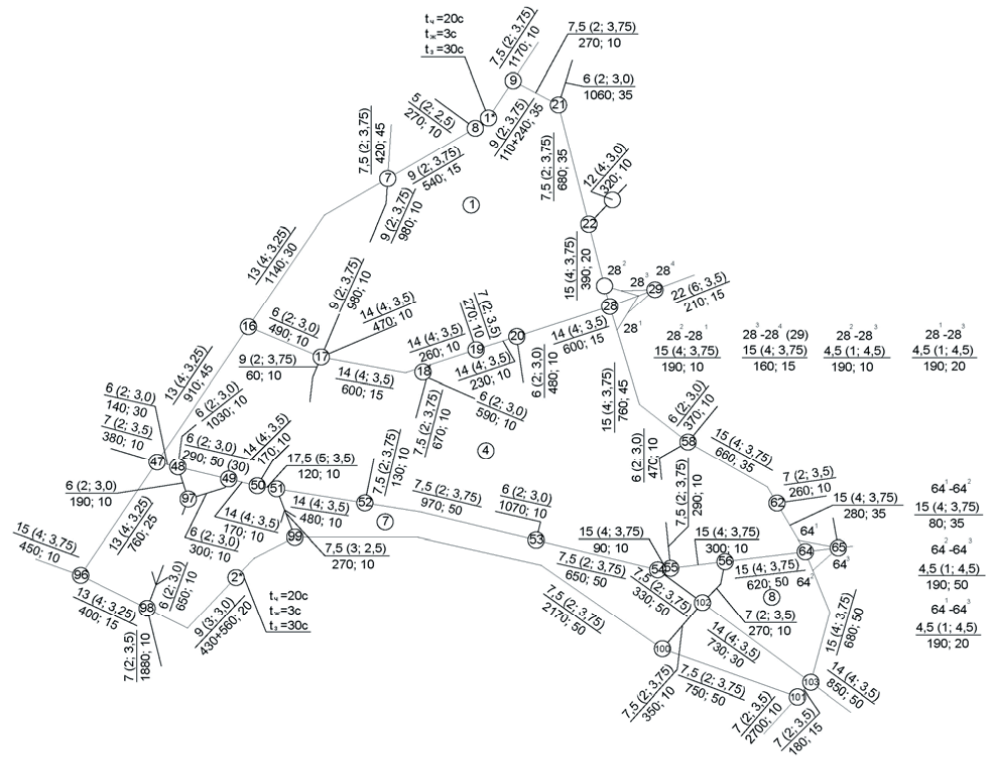


Рис. 1. Розрахункова схема центральної частини вулично-дорожньої мережі м. Луцька

- а) характеристики мережі: довжина перегонів; ширина проїжджої частини; кількість смуг руху; ширина однієї смуги руху; повздовжній ухил перегону; тип і стан покриття;
- б) характеристики транспортного потоку: швидкість; інтенсивність; склад потоку;
- в) тип перехресть за інтенсивністю й організацією руху.

Для дослідження характеристик та умов дорожнього руху використані такі джерела інформації: матеріали натурних досліджень і вивчення містобудівної документації.

Перед виконанням обчислення затримок руху на мережі виконані наступні дії: розбито мережу на замкнуті контури (кільця), окремо виділено загальний контур для всієї обраної частини магістральної мережі міста; на кожному контурі виділено два перехрестя, які розділили кожен контур на приблизно рівні частини (при цьому уявлялося, що необхідно проїхати від умовної точки 1 до умовної точки 2 по двом півкільцям); т. я. рух по міським вулицям і дорогам є двостороннім (за виключенням окремих ділянок), викреслено контури для прямого (від ум. т. 1 до ум. т. 2) (рис. 2, а) та зворотного напрямків (від ум. т. 2 до ум. т. 1) (рис. 2, б); як у методі узгодження мережі газопостачання для порівняння затримок руху по двом півкільцям рух за годинниковою стрілкою прийнято зі знаком «+», проти годинникової стрілки – зі знаком «-».

Для визначення практичного значення пропускної здатності використовується методика, в якій фактичні умови руху враховуються за допомогою коефіцієнтів:

$$P = P_{\max} \times K, \quad (1)$$

де  $K$  – підсумковий коефіцієнт зниження пропускної здатності, що дорівнює добутку окремих коефіцієнтів (кількість смуг руху  $k_c$  (1 – 1; 2 – 1,9; 3 – 2,7; 4 – 3,5); склад транспортного потоку в залежності від кількості вантажних автомобілів  $k_v$  (від 1 до 0,72); тип покриття проїжджої частини  $k_r$  (від 1 до 0,3); повздовжній ухил  $k_{in}$  (від 1 до 0,6); ширина смуги руху  $k_{sh}$  (від 1 до 0,9); перехрестя  $\alpha$ );  $P_{\max}$  – максимальна теоретична пропускна здатність, обчислена за формулою (2).

$$P = \frac{3600 \times v}{L} \quad (2)$$

(прив. авт./год),

де  $v$  – розрахункова швидкість руху (м/с);

$L$  – динамічний габарит (м).

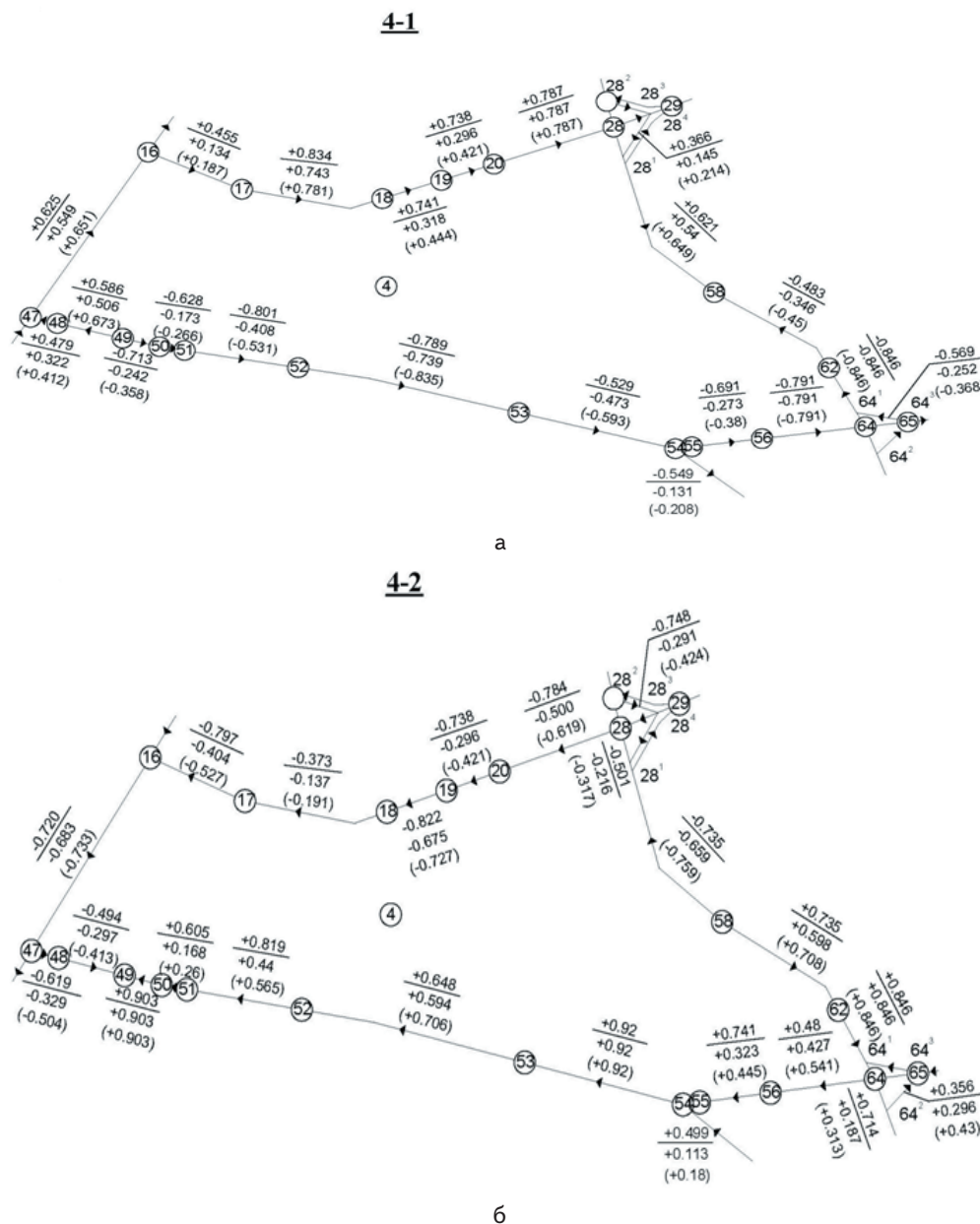


Рис. 2. Приклад представлення півкілець контуру 4 (над кожним перегонем наведені коефіцієнти затримок для фактичної, розрахункової та максимізуючої пропускну здатність швидкостей): а – у прямому напрямку; б – у зворотному напрямку

Вплив перехресть обчислюється за формулами:

$$\alpha_{np} = \frac{\hat{L}_i / v_i}{\hat{L}_i / v_i + \left( \frac{v_i}{2a} + \frac{v_i}{2b} + \frac{1}{n} (e^{nt} - nt - 1) \right)}, \quad (3)$$

$$\alpha_p = \frac{\hat{L}_i / v_i}{\hat{L}_i / v_i + \left( \frac{v_i}{2a} + \frac{v_i}{2b} + \frac{t_c + 2t_{ж}}{2} \right)}, \quad (4)$$

$$\alpha_{cp} = \frac{\hat{L}_i / v_i}{\hat{L}_i / v_i + d}, \quad (5)$$

де  $\alpha_{np}$  – коефіцієнт затримок для нерегульованого перехрестя;  $\alpha_p$  – коефіцієнт затримок для перехрестя із жорстким режимом регулювання;  $\alpha_{cp}$  – коефіцієнт затримок для саморегульованого перехрестя;  $\hat{L}_i$  – довжина ділянки вулично-дорожньої мережі між перехрестями, м;  $v_i$  – швидкість транспортного потоку по  $i$ -ій полосі, м/с;  $n$  – інтенсивність руху головного напрямку або напрямку, що перетинається ( $n=N/3600$ ), авт./с;  $t$  – інтервал, що перетинається ( $n=N/3600$ ), авт./с;  $t$  – інтервал, недостатній для перетину  $t < \tau$ , с;  $\tau$  – допустимий для перетину інтервал (при перетині потоків – 12 с; при злитті – 5 с; при переплетенні – 4 с), с;  $e$  – основа натурального логарифма,  $e=2,7$ ;  $a$  – коефіцієнт гальмування,  $a=0,8 - 1,2$  м/с<sup>2</sup>;  $b$  – коефіцієнт розгону,  $b=0,6 - 1,5$  м/с<sup>2</sup>;  $t_c$  – тривалість червоного сигналу, с;  $t_{ж}$  – тривалість жовтого сигналу, с;  $d$  – середня затримка автомобіля при вході на кільце, с [10 – 13].

Значення затримок порівняно з фактичним рівнем на вулично-дорожній мережі. Встановлено:

- а) на нерегульованих перехрестях – фактичне значення перевищує теоретичне на 4,1 %;
- б) на регульованих перехрестях – фактичне значення перевищує теоретичне на 1,8 – 4 %;
- в) на саморегульованих перехрестях – фактичне значення нижче теоретичного на 5,1 – 7,9 %.

Перевірено виконання першого й другого законів Кірхгофа.

Встановлено, що перша закономірність (сума вхідних і вихідних потоків = 0) виконується для всіх перетинів. При перевірці другого закону (сума знижень напружень для всіх замкнутих контурів = 0) виявлено, що нульова або близька до неї різниця в рівні затримок при проїзді по умовним маршрутам не свідчить про рівнозначність функціонування півкілець. Адже при цьому різниця в часі проїзду може різнитися істотно. Отже, ця закономірність справедлива тільки для визначеного часу проходження по півкілцям, що обчислюється з врахуванням затримок.

Через те, що транспортний потік є набагато складнішим явищем ніж потік газу, відповідно для перевірки функціонування транспортно-планувальної системи й оцінки пропускної здатності не достатньо виконання першого й другого законів Кірхгофа. Адже,

при перевірці перегонів за рівнем завантаження й величиною фактичної швидкості виявлено, що швидкості руху занадто низькі, а пропускна здатність практично вичерпана.

Що стосується коефіцієнта затримок  $K$ , то чим ближче він наближається до одиниці, тим менший вплив від негативних чинників (в першу чергу це перехрестя) на пропускну здатність мережі. Встановлені значення виявляють ділянки, що функціонують незадовільно й тому потребують прийняття рішення щодо необхідних заходів по організації та регулюванню руху.

З 79 (у двох напрямках) обстежених ділянок, 35 (44 %) має коефіцієнт завантаження в межах норми, але на 12 (15 %) ділянках при будь-яких значеннях швидкості (для аналізу причин незадовільного функціонування у роботі було використано фактичну швидкість, розрахункову (60 км/год) і максимізуючу пропускну здатність (40 км/год)) дана характеристика вище нормативного значення, що свідчить про вичерпання пропускної здатності й необхідність прийняття заходів по реконструкції. Задовільні значення швидкості (від 30 км/год і вище) спостерігаються на 32 ділянках (40,5 %).

Перевірка прийнятих заходів по вдосконаленню функціонування транспортно-планувальної системи виявила, що всі півкілця частини магістральної мережі м. Луцька узгоджені між собою, тобто працюють рівнозначно.

При цьому коефіцієнти завантаження для всіх ділянок  $z \leq 0,85$ . Швидкості руху залишені фактичні, адже визначення змін цієї величини можливе тільки при повторних замірах після проведення заходів по реконструкції мережі через складність прогнозу поведінки водіїв за нових умов.

До загальних рекомендацій щодо удосконалення роботи транспортно-планувальної системи м. Луцька віднесено: заборону паркування на проїжджій частині й організацію паркінгів, що дозволить звільнити по 1 смузі в кожному напрямку для проїзду; виділення окремих смуг руху для громадського транспорту та обладнання карманів на зупинках; відокремлення транспортного потоку від пішохідного в місцях інтенсивного руху; ремонт й утримання в задовільному стані покриття міських вулиць і доріг, що надасть можливість водіям підвищити швидкість руху й зменшити психоемоційне навантаження; вдосконалення існуючих і використання додаткових технічних засобів по організації та регулюванню дорожнього руху.

## 5. Висновки

Застосування методу не залежить від величини міста, адже його розмір буде тільки впливати на об'єм даних. Також сучасне містобудування не обмежується рамками одного міста, а розглядає сукупність населених пунктів, що об'єднані між собою системою соціально-економічних зв'язків, які, в свою чергу, представлені транспортними потоками й величиною пасажирських і вантажних перевезень. Тому транспортно-планувальну систему сучасного міста

необхідно розглядати у взаємозв'язку із зоною його впливу.

Практичне використання методу оцінки пропускної здатності магістральної вулично-дорожньої мережі дає змогу оцінювати транспортно-планувальну систему міста на першочергових стадіях містобудівного проектування, на сьогоднішній мо-

мент і на перспективу, в т. ч. розробляти комплексні схеми організації дорожнього руху, а також перевіряти ефект від розміщення функціональних зон у генеральних планах населених пунктів і регіональних об'єктів.

Також розроблений метод дає теоретичне підґрунтя для розробки імітаційних моделей управління транспортним потоком і систем моніторингу в режимі он-лайн.

#### Література

1. Dobbs, R. Urban World: Cities and the Rise of the Consuming Class [Текст] / Dobbs R., Remes J., Manyika J., Roxburgh Ch. and others. – New York, USA: McKinsey Global Institute – 2012. – Режим доступу: [www.mckinsey.com/insights/mgi/research/urbanization/urban\\_world\\_cities\\_and\\_the\\_rise\\_of\\_the\\_consuming\\_class](http://www.mckinsey.com/insights/mgi/research/urbanization/urban_world_cities_and_the_rise_of_the_consuming_class) – Назва з екрану.
2. Strategies for Balancing Urban Transport Share to Improve Mobility and Reduce Road Congestion [Текст] / [PIARC Technical Committee B.3 – Improved Mobility in Urban Areas]. – Paris, France: PIARC – 2013. – 125 p. – Режим доступу: <http://www.piarc.org/en/publications/technical-reports/>. – Назва з екрану.
3. Strategies for Road Network Operations [Текст] / [PIARC Technical Committee B.2 – Road Network Operations]. – Paris, France: PIARC – 2012. – 90 p. – Режим доступу: <http://www.piarc.org/en/publications/technical-reports/>. – Назва з екрану.
4. Falconer, G. Smart City Framework. A Systematic Process for Enabling Smart+Connected Communities [Текст] / G. Falconer, S. Mitchell. – San Jose, USA: Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG) – 2012. – 11 p.
5. Traffic Engineering Handbook [Текст] / [editor J. L. Pline]. – Washington, USA: Institute of Transportation Engineers – 1999. – 704 p.
6. Highway Capacity Manual [Текст] / [National Research Council]. – Washington, USA: [без вид.] – 2000. – 1138 p.
7. Дьомін, М. М. Гідродинамічна модель як макропідхід для управління транспортним потоком / М. М. Дьомін, М. С. Фоменко // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник / відпов. ред. М. М. Осетрін. – К., КНУБА, 2011. – № 40. – С. 386 – 394.
8. Фоменко, М. С. Аналогія між дорожньо-транспортною системою міст України та мережею газопостачання // Збірник тез доповідей III Міжнародної конференції «Науково-технічне та організаційно-економічне сприяння реформам у будівництві і житлово-комунальному господарстві». – Макіївка: ДонНАБА, 2012. – С. 54 – 56.
9. Фоменко, М. С. Транспортний потік як об'єкт управління // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник / відпов. ред. М. М. Осетрін. – К., КНУБА, 2012. – № 45. – С. 293 – 299.
10. Гук, В. И. Элементы теории транспортных потоков и проектирования улиц и дорог: учебное пособие / В. И. Гук. – К.: УМК ВО, 1991. – 254 с.
11. Современные кольцевые пересечения / [Зедгенизов А. В., Лагерева Р. Ю., Левашев А. Г.]. – Иркутск, РФ: [б. изд.], 2009. – 103 с.
12. Фишельсон, М. С. Транспортная планировка городов: [учеб. пособие для студ. авт.-дор. спец. высш. учеб. заведений] / М. С. Фишельсон. – М.: Высшая школа, 1985. – 240 с.
13. Хомяк, Я. В. Проектирование сетей автомобильных дорог / Я. В. Хомяк. – М.: Транспорт, 1983. – 207 с.