

УДК 656.025.2

## ЕЛЕКТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МІСЬКИХ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ

**В. Д. ДАНЧУК\*, В. І. КРИВЕНКО, Р. В. ОЛІЙНИК, С. М. ТАРАБАН**

*Кафедра електроніки та обчислювальної техніки, Національний транспортний університет, Київ, УКРАЇНА  
\*email: vdanchuk@ukr.net.*

**АНОТАЦІЯ** На основі виявлених аналогій в закономірностях перебігу процесів в електричних колах та міських автотранспортних потоків розглянуто (на прикладі міського кварталу) особливості електричного моделювання структурної конфігурації міської мережі та автотранспортних потоків. В середовищі NI Multisim зібрано електричну схему (модель) кварталу, на базі якої проведено електричне моделювання розподілу міських автотранспортних потоків на ділянках даного кварталу.

**Ключові слова:** квартал, автотранспортні потоки, електричне моделювання, електрична схема, вхідні/вихідні струми.

**АННОТАЦИЯ** На основе выявленных аналогий в закономерностях протекания процессов в электрических цепях и городских автотранспортных потоках рассмотрено (на примере городского квартала) особенности электрического моделирования структурной конфигурации городской сети и автотранспортных потоков. В среде NI Multisim собрано электрическую схему (модель) квартала, на базе которой проведено электрическое моделирование распределения городских автотранспортных потоков на участках данного квартала.

**Ключевые слова:** квартал, автотранспортные потоки, электрическое моделирование, электрическая схема, входные/выходные токи.

## ELECTRIC SIMULATION OF URBAN ROAD TRAFFIC FLOWS

**V. DANCHUK\*, V. KRYVENKO, R. OLIYNYK, S. TARABAN**

*Department of Electronics and Computer Science, National Transport University, Kyiv, UKRAINE*

**ABSTRACT** The features of electrical simulation of the structural configuration of urban road network and transport flows have been considered based on the identified similarities in the patterns of process operation in electric circuits and city road traffic flows. Given the topology and an implemented plan of traffic organization on road sections of urban areas, using NI Multisim a circuitry model of the quarter has been created, based on which an electric motor modeling of the distribution of urban streams in areas of the quarter has been conducted. However, simulations were carried out with different parameters of electric circuit sections. In particular, in the first case in the sections of a scheme the magnitude "normative" resistance was set; in the second case the value of an "actual" resistance was set. The "actual" resistance was calculated according to the real parameters of the actual carriage way sections of the urban quarter that allowed to create in the electrical model of the quarter the conditions of motor operation flows close to the real and accordingly - to conduct an adequate simulation of the distribution of road traffic flows in areas of the quarter. In addition, during the calculation of an "actual" resistance in the quarter sections the moving traffic lanes that are used for parking vehicles were taken into account.

**Keywords:** quarter, road traffic flows, electrical simulation, electric circuit, input/output currents.

### Вступ

Одна з суттєвих причин погіршення транспортної ситуації в містах, яка на сьогодні, виявилася типовою – це диспропорція, що склалася між темпами розвитку автопарку та темпами розвитку вулично-дорожньої мережі (ВДМ), що призводить до погіршення умов руху, виникненню заторів, зростанню затримок, і як наслідок до значного зростання витрат палива. Аналіз стану проблеми [1-10] і проведені попередні дослідження [11,12] дозволили встановити, що в умовах надзвичайно високих темпів автомобілізації країни розв'язок проблеми оптимальної завантаженості ВДМ міста можливий шляхом створення ефективних систем моніторингу за автотранспортними потоками [12], результати якого дозволяють прийняти оптимальне управлінське рішення. Прийняття подібних рішень не

можливе без наявності якісної інформаційної основи. Відсутність системного підходу на етапі накопичення, і систематизації інформації про стан завантаженості ВДМ не дозволяє моделювати і прогнозувати розвиток ситуації. Система моніторингу повинна передбачати наступні етапи: спостереження та вимірювання фактичних параметрів автотранспортних потоків, збір статистичної інформації про характер ВДМ, її геометричні параметри, наявність технічних засобів регулювання автотранспортних потоків; обробка результатів спостереження з метою виявлення і математичного опису функціональних залежностей і закономірностей в характері руху автотранспортних потоків; візуалізація, оцінка та аналіз отриманих результатів.

Розгортання якісної мережі моніторингу автотранспортних потоків у великому місті вимагає значних фінансових, матеріальних і часових ресурсів.

У такому випадку доцільно проводити імітаційне моделювання автотранспортних потоків [2, 5-10], яке на відміну від натурних методів, дозволяє на основі ретроспективних даних щодо параметрів дорожнього руху на окремих ділянках ВДМ (вибірково) адекватно відтворювати параметри руху у всій мережі міста, а отже дозволяє встановлювати розподіл автотранспортних потоків на ділянках мережі за інтенсивністю руху автотранспорту на цих ділянках.

### Мета роботи

Метою роботи є верифікація електричного моделювання міських автотранспортних потоків на базі електричної схеми (моделі) ВДМ, що відображає параметри структурної конфігурації елементів мережі та схему організації дорожнього руху на ділянках та перетинах міських вулиць та доріг.

### Виклад основного матеріалу

На прикладі кварталу Шевченківського району м. Києва (Рис. 1) розглядається електротехнічна модель дослідження автотранспортних потоків [13-16] та способи (методи) її реалізації. Відповідно до інвентаризаційної відомості міста квартал утворюють магістральні вулиці загальноміського та районного значення, а саме бул. Тараса Шевченка, вул. Михайла Коцюбинського, вул. Богдана Хмельницького та вул. Пирогова. Вуличні перехрестя кварталу мають Х-подібну та Т-подібну конфігурації, при цьому ділянки доріг, які утворюють ці структурні елементи мережі суттєво відрізняються одна від одної за організацією руху (на ділянках кварталу впроваджена організація одностороннього та двостороннього руху) та поздовжньо-поперечними характеристиками проїзних частин (за кількістю смуг руху, шириною однієї смуги тощо), що створює особливі умови для електричного моделювання автотранспортних потоків на ділянках кварталу, зокрема, в частині верифікації електротехнічної моделі дослідження автотранспортних потоків [13-16] та методів її реалізації.

Електротехнічна модель [13-16] має два підходи (способи) до інтерпретації структурної конфігурації ВДМ (фрагменту мережі) та автотранспортних потоків на ділянках відповідної мережі. Зокрема, кожна ділянка ВДМ у схемі електричної моделі може бути представлена як послідовне з'єднання діода та резистора, що в цілому для електричного кола відображатиме параметри конфігурації структурних елементів мережі та схему організації дорожнього руху на ділянках та перетинах міських вулиць та доріг. Таке уявлення ділянок міських вулиць та доріг дозволяє моделювати елементи ВДМ довільної конфігурації (різносмугові дороги, розв'язки, перехрестя тощо) у вигляді принципів електричних схем, при цьому враховувати дозволені на перехрестях напрямки руху

транспортних засобів, розглядати ділянки вулиць та доріг з двостороннім рухом як елементи, що мають окремі проїзні частини (що відокремлені одна від іншої розділювальною смугою), здійснювати оцінку завантаженості ВДМ автотранспортними потоками, в тому числі оцінку окремих ліній і вузлів міської мережі з точки зору перевантаження/недовантаження цих елементів.

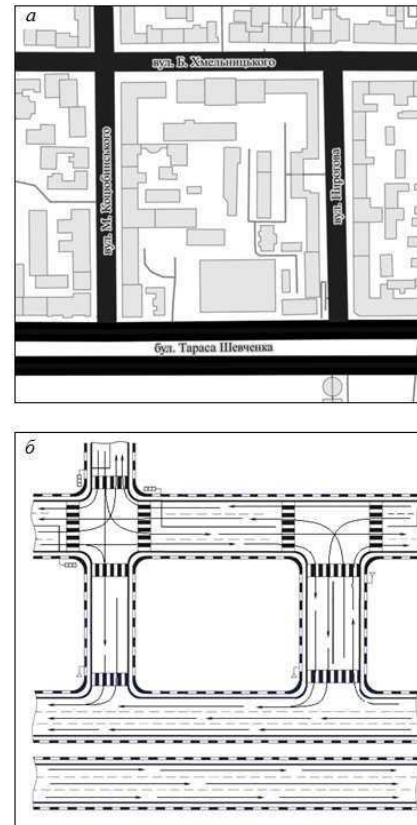


Рис. 1 – Квартал Шевченківського району м. Києва: а – топографічний план; б – план-схема організації дорожнього руху.

В той же час, міська мережа може бути представлена у вигляді іншої електричної схеми, в якій, зокрема, вуличні перехрестя моделюються вузлами, а ділянки доріг (між двома найближчими перехрестями) – опорами. При такій інтерпретації ВДМ, автотранспортний потік моделюється як сумарний (інтегрований) потік на кожній ділянці, незалежно від схеми організації руху (дозволені напрямків) на цих ділянках мережі.

З огляду на це, за кожним представленим методом, в середовищі NI Multisim було зібрано електричні схеми міського кварталу (див. Рис. 2). Наведені схеми містять такі елементи: джерела вхідних ( $J_i^{in}$ , де  $i = 1, 2, \dots, n$ ) та вихідних ( $J_i^{out}$ , де  $i = 1, 2, \dots, n$ ) струмів, які є аналогами вхідних та вихідних інтенсивностей автотранспортних потоків відповідно;

- опори ( $R_i$ , де  $i = 1, 2, \dots, n$ ), що відображають поздовжньо-поперечні характеристики ділянки кварталу;

- амперметри ( $A_i$ , де  $i = 1, 2, \dots, n$ ), які є індикаторами навантаженості ділянок кварталу.

Крім того, до складу елементів електричної схеми, яку зображено на Рис. 2а, окрім зазначених елементів, також входять ідеальні діоди, які розподіляють струм в напрямках відповідно до реалізованої схеми організації дорожнього руху на ділянках кварталу.

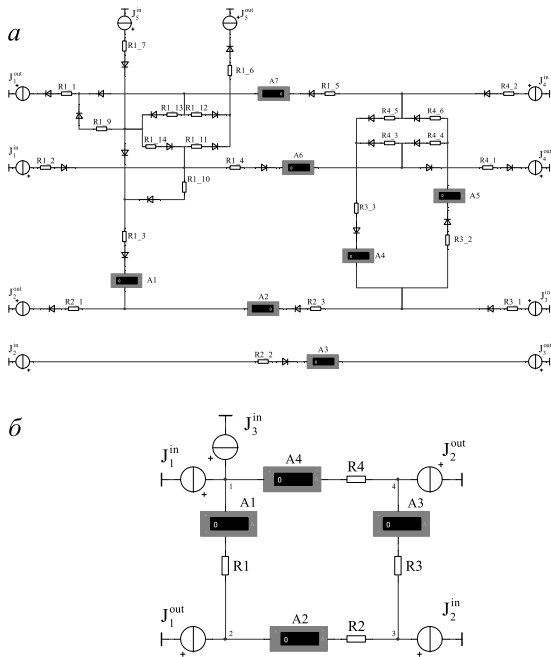


Рис. 2 – Електрична схема (модель) кварталу: а – інтерпретація у вигляді послідовного з'єднання діодів з резисторами; б – інтерпретація у вигляді змішаного з'єднання опорів.

Важливо відмітити, що метод електричного моделювання за яким інтерпретація міської ВДМ значно спрощується (електрична схема кварталу зображено на Рис. 2б) має в якості основного недоліку – обмеження на його застосування. Це обмеження, насамперед, стосується дослідження фрагментів ВДМ невеликого масштабу і, відповідно, пов'язане із неможливістю встановлення балансу між вхідними/вихідними струмами електричної моделі мережі такого розміру, зважаючи на незначну кількість ділянок вхідних/вихідних автотранспортних потоків відповідної мережі. Разом з тим, якщо розглядати фрагменти ВДМ більшого масштабу ця проблема вирішується наступним збільшенням відповідних ділянок, на що, безпосередньо, вказують результати попередніх досліджень [17, 18]. Однак, при моделюванні таких ВДМ (фрагментів мережі) з'являється необхідність постійного пошуку балансу між вхідними/вихідними струмами моделі, оскільки зміна періоду моделювання (яка супроводжується

відповідною зміною величини вхідних/вихідних струмів) призведе до порушення балансу між ступнями електричної моделі відповідної ВДМ.

Як видно з Рис. 2а, електрична схема кварталу має складну розгалужену структуру; це при тому, що квартал являється найменшою структурною одиницею житлового середовища. Якщо розглядати фрагменти ВДМ більшого масштабу, наприклад, мережу адміністративного району міста, то електрична схема, виявиться складною, розрахунок якої достатньо громіздкий та трудомісткий.

Для спрощення зображення електричної схеми, в таких програмних середовищах, як NI Multisim, Electronic Workbench та ін., окремі елементи (фрагменти) електричної схеми можуть бути перетворені, при використанні опції Create Subcircuit, на окремі блоки (підсхеми) з зовнішніми затисками. Це означає, що елементи електричної схеми ВДМ (див. Рис. 1а), зокрема ті, що стосуються моделювання перетину вулиць та доріг (в одному та більше рівнях) можуть бути перетворені у відповідні блоки.

Якщо ж опцію Create Subcircuit застосувати до елементів електричної схеми кварталу, то це дозволить отримати значно простішу й зручнішу для користування електричну модель даного фрагменту мережі (див. Рис. 3).

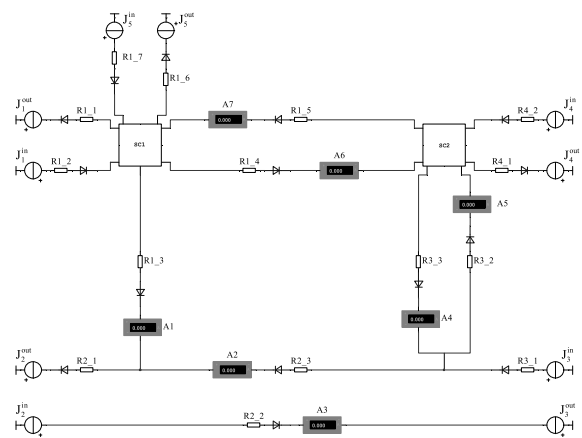


Рис. 3 – Електрична схема кварталу після застосування опції Create Subcircuit

Для моделювання інтенсивності автотранспортних потоків на базі побудованих моделей кварталу необхідно оперувати даними щодо поздовжньо-поперечних характеристик ділянок кварталу (такі дані необхідні для встановлення опорів гілок електричної схеми) та даними щодо інтенсивності автотранспортних потоків на ділянках кварталу – аналогах вхідних  $J_i^{in}$  і вихідних  $J_i^{out}$  джерел струму.

З огляду на це, розглянемо процедуру формування та обробки зазначених даних, яку було реалізовано, зокрема, для запуску моделі з більш складною інтерпретацією лінійних, функціональних

та організаційних зв'язків структурних елементів кварталу (див. Рис. 2а).

**Обговорення результатів**

Аналіз поздовжньо-поперечних характеристик проїзної частини ділянок кварталу, включаючи розрахункові швидкості та інтенсивності руху транспорту на цих ділянках відповідно до категорій вулиць та доріг, за якими визначаються нормативи їх проектування в плані, поздовжньому та поперечному профілях проводився на основі інвентаризаційної відомості м. Києва, нормативних документів [17, 18] та картографічного сервісу «Яндекс. Карти». За результатами цього аналізу розраховано значення опорів  $R_i$  (див. Табл.1) електричної схеми (див. Рис. 2а), зокрема, для кожної ділянки схеми встановлено «нормативний» опір – на підставі інвентаризаційної відомості міста та відповідної нормативно-технічної документації [17, 18], і «фактичний» опір – на підставі аналогічних документів та картографічного сервісу «Яндекс. Карти» (з використанням опції «Панорамний перегляд вулиць»); останній, як було встановлено, більш коректно відображає поздовжньо-поперечні характеристики ділянок кварталу. Крім того при розрахунку «фактичного» опору на ділянках кварталу враховувались смуги руху, що фактично «відводяться» для паркування транспортних засобів.

Для забезпечення моделі наявними вхідними/вихідними струмами, на відповідних ділянках кварталу проводились обстеження інтенсивності автотранспортних потоків. Обстеження проводились одночасно на всіх ділянках в період – 7:00-22:00 год., та в дні тижня для яких зберігається закономірність добового ходу інтенсивності автотранспортних потоків. Наведений період доби включає фази пікових (максимальних) завантажень доріг, що дозволяє коректно провести верифікацію електротехнічної моделі дослідження автотранспортних потоків [13-16] та методів її реалізації.

За результатами експерименту для кожної ділянки кварталу побудовано профіль розподілу інтенсивності автотранспортних потоків, що чисельно відповідає вхідному/вихідному струму електричної моделі (див. Рис. 4). Незважаючи на ранкову мінливість, автотранспортні потоки розглядаються як квазістаціонарні, оскільки час релаксації їх інтенсивності значно перевищує час знаходження транспортних засобів в межах міського кварталу. Для елімінації впливу технічних засобів регулювання дорожнього руху (дорожніх знаків, розмітки, обладнання, світлофорів тощо) на характер динаміки інтенсивності автотранспортного потоку, в зазначених розподілах зміну інтенсивності задано з дискретністю 20 хвилин, що значно перевищує тривалості циклу світлофорного регулювання на ділянках кварталу.

Таблиця 1 – Опори електричної схеми кварталу (див. Рис. 2а)

«НОРМАТИВНИЙ» ОПІР					
$R_{1\_01}$	0,112	$R_{1\_09}$	0,004	$R_{3\_02}$	0,067
$R_{1\_02}$	0,112	$R_{1\_10}$	0,005	$R_{3\_03}$	0,067
$R_{1\_03}$	0,067	$R_{1\_11}$	0,004	$R_{4\_01}$	0,031
$R_{1\_04}$	0,061	$R_{1\_12}$	0,005	$R_{4\_02}$	0,031
$R_{1\_05}$	0,061	$R_{1\_13}$	0,005	$R_{4\_03}$	0,006
$R_{1\_06}$	0,096	$R_{2\_01}$	0,017	$R_{4\_04}$	0,004
$R_{1\_07}$	0,096	$R_{2\_03}$	0,029	$R_{4\_05}$	0,008
$R_{1\_08}$	0,004	$R_{3\_01}$	0,015	$R_{4\_06}$	0,008
«ФАКТИЧНИЙ» ОПІР					
$R_{1\_01}$	0,224	$R_{1\_09}$	0,013	$R_{3\_02}$	0,556
$R_{1\_02}$	0,224	$R_{1\_10}$	0,018	$R_{3\_03}$	0,556
$R_{1\_03}$	0,227	$R_{1\_11}$	0,013	$R_{4\_01}$	0,061
$R_{1\_04}$	0,123	$R_{1\_12}$	0,018	$R_{4\_02}$	0,061
$R_{1\_05}$	0,123	$R_{1\_13}$	0,005	$R_{4\_03}$	0,014
$R_{1\_06}$	0,343	$R_{2\_01}$	0,017	$R_{4\_04}$	0,004
$R_{1\_07}$	0,343	$R_{2\_03}$	0,029	$R_{4\_05}$	0,019
$R_{1\_08}$	0,004	$R_{3\_01}$	0,015	$R_{4\_06}$	0,008

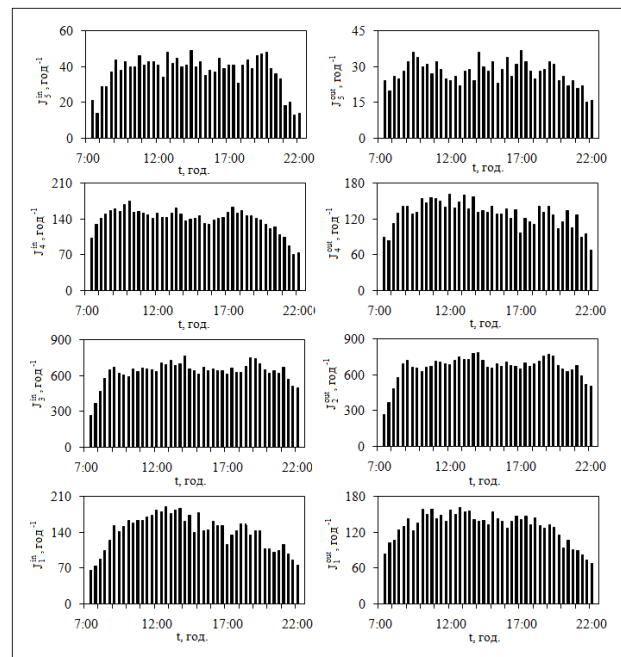


Рис. 4 – Розподіли вхідних/вихідних струмів для моделі кварталу протягом аналізованого періоду

Необхідна умова моделювання – це рівність вхідних та вихідних струмів:

$$\sum_{i=1}^n J_i^{in}(t) = \sum_{i=1}^n J_i^{out}(t) \quad (1)$$

Дана умова перевірялась за формулою:

$$E(t) = \frac{\sum_{i=1}^n J_i^{in}(t) - \sum_{i=1}^n J_i^{out}(t)}{\sum_{i=1}^n J_i^{in}(t)} \cdot 100\% \quad (2)$$

Причини розходження між вхідними та вихідними автотранспортними потоками обумовлені наявністю у відповідній ВДМ об'єктів тяжіння (житлові будинки, установи, підприємства обслуговування та інші громадські будівлі і споруди) та перевантаженістю цієї мережі. Емпіричні дослідження сумарних вхідних та вихідних автотранспортних потоків протягом аналізованого періоду (7:00-22:00 год.) показало, що розходження цих потоків не перевищує 4% (див. Рис. 5). Оскільки, розходження вхідних/вихідних потоків однозначно залежить від масштабу мережі, то очевидно, що при моделюванні макромасштабних об'єктів мережі ці розходження стануть суттєвими.

Оскільки для моделі кварталу баланс (1) виконується, це дозволило в середовищі NI Multisim провести електричне моделювання розподілу цих потоків на ділянках даного кварталу. При цьому, моделювання здійснювалось з різними параметрами ділянок електричної схеми (див. Табл. 1). Зокрема, в першому випадку на ділянках схеми задавалась величина «нормативного» опору; в другому – величина «фактичного» опору.

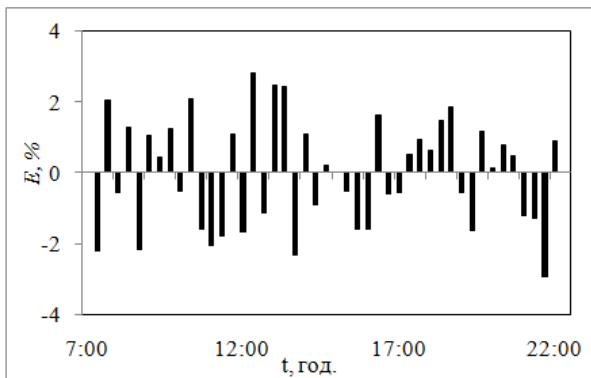


Рис. 5 – Розходження між сумарними вхідними/вихідними автотранспортними потоками кварталу

Порівняння модельних даних з даними експерименту (натурні спостереження за інтенсивністю автотранспортних потоків на ділянках кварталу) показало на неоднозначність отриманих результатів. Так, у першому випадку моделювання (на ділянках електричної схеми задавався «нормативний» опір) інтенсивності автотранспортних потоків за моделлю (покази амперметрів) значно розходяться з результатами експерименту. Середнє значення відносної похибки для різних ділянок варіювалось в межах від 20 до 170%. Залучення в модель значень «фактичного» опору суттєво покращила результати моделювання, а саме – похибка моделювання не перевищила 10%. Розподіл відносної похибки результатів моделювання представлено на рис. 6 (для електричної схеми з «нормативними» опорами –  $\bar{\epsilon}_n$ , та «фактичними» опорами –  $\bar{\epsilon}_f$ ).

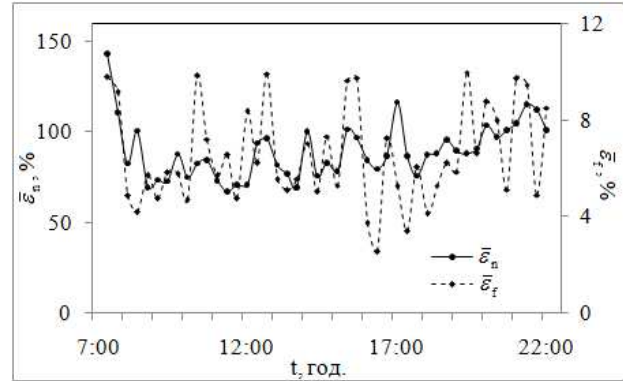


Рис. 6 – Розподіл відносної похибки між результатами моделювання та експерименту протягом аналізованого періоду (для електричної схеми з «нормативними» опорами –  $\bar{\epsilon}_n$ , та «фактичними» опорами –  $\bar{\epsilon}_f$ ).

Таким чином, на основі виявлених аналогій в закономірностях перебігу процесів в електричних колах та міських автотранспортних потоків [13-16] розглянуто особливості застосування методу електричного моделювання (на прикладі міського кварталу) зі складною інтерпретацією лінійних, функціональних та організаційних зв'язків елементів (ділянок вулиць та доріг) структурної конфігурації ВДМ.

## Висновки

На прикладі кварталу Шевченківського району м. Києва проведено верифікацію електротехнічної моделі [13-16] та методів її реалізації. Отримані результати вказують на те, що електрична модель якісно функціонує у випадку коли на ділянках електричної схеми задається величина «фактичного» опору. Оскільки цей опір розраховується за реальними параметрами проїзних частин ділянок відповідної ВДМ, це дозволяє в електричній моделі мережі відтворювати умови функціонування автотранспортних потоків, максимально наближені до реальних і, відповідно, – здійснювати адекватне моделювання завантаженості міської ВДМ автотранспортними потоками.

## Список літератури

- 1 **Agafonov, A. A.** City transport motion parameters forecasting by satellite monitoring data and statistics / **A. A. Agafonov, A. V. Chernov, A. V. Sergeev** // PRIA-2013. – 2013. – Vol. 2. – P. 489-491.
- 2 **Altinkaya, M.** Urban Bus Arrival Time Prediction: A Review of Computational Models / **M. Altinkaya, M. Zontul** // *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)* – 2013. – Vol. 2, No. 4. – P. 164-169.

- 3 **Bera, S.** Estimation of origin-destination matrix from traffic counts: the state of the art / **S. Bera, K. V. Krishna Rao** // *European Transport*. – 2011. – Vol. 49, P. 3-23.
- 4 **Bin, Y.** Bus arrival time prediction using support vector machines / **Y. Bin, Y. Zhongzhen, and Y. Baozhen** // *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*. – 2007. – Vol. 10, No. 4, P. 151-158.
- 5 **Cascetta, E.** Transportation Systems Analysis: Models and Applications. / **E. Cascetta** // *New York: Springer*. – 2009. – 752 p.
- 6 **Daganzo, C. F.** The Lagged Cell-Transmission Model / **C. F. Daganzo** // In: **Ceder, A. (ed), Proceedings of the 14th International Symposium on Transportation and Traffic Theory. – 1999. – P. 81-104.**
- 7 **Fambro, D.** Application of subset autoregressive integrated moving average model for short-term freeway traffic volume forecasting / **D. Fambro, S. Lee** // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. – 2007. – P. 179-188.
- 8 **Faouzi, N.** Data fusion in intelligent transportation systems: Progress and challenges / **N. Faouzi, H. Leung and A. Kurian** // *A survey, Information Fusion*. – 2011. – Vol. 12, №. 1. – P. 4-10.
- 9 **Ghosh, B.** Multivariate Short-Term Traffic Flow Forecasting Using Time-Series Analysis / **B. Ghosh, B. Basu, M. O'Mahony** // *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*. 2009. – Vol. 10, No. 2. – P. 246-254.
- 10 **Hoogendoorn, S. P.** State-of-the-art of vehicular traffic flow modeling / **S. P. Hoogendoorn, P. H. Bovy** // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part I: Journal of Systems and Control Engineering*. – 2001. – Vol. 215, No. 4. – P. 283-303.
- 11 **Тарабан, С. М.** Сучасний стан та тенденції розвитку вулично-дорожньої мережі м. Києва / **С. М. Тарабан** // *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. – К.:НТУ. – 2013. – Вип. 90. – С. 24-32.
- 12 **Данчук, В. Д.** Мережа моніторингу автотранспортних потоків у вулично-дорожній мережі великого міста / **В. Д. Данчук, Р. В. Олійник, С. М. Тарабан** // *Вісник НТУ*. – 2014. – №30(1). – С. 86-94.
- 13 **Данчук, В. Д.** Електротехнічна модель дослідження транспортних потоків / **В. Д. Данчук, В. І. Кривенко, Р. В. Олійник, С. М. Тарабан** // *Вісник НТУ*. – 2010. – № 21(2). – С. 28-32.
- 14 **Данчук, В. Д.** Електротехнічна модель розподілу транспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста / **В. Д. Данчук, В. І. Кривенко, Р. В. Олійник, С. М. Тарабан**. // *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Науковий журнал*. – К.:НТУ. – 2011. – Вип. 8. – С. 45-49.
- 15 UA 86586 U / Аналогова модель транспортної системи / **В. Д. Данчук, Р. В. Олійник, С. М. Тарабан** - у 2013 06237; заявл. 20.05.2013; опубл. 10.01.2014.
- 16 UA 85069 U / Спосіб регулювання та завантаження вулично-дорожньої мережі міста транспортними потоками / **В. Д. Данчук, Г. В. Карандаков, В. І. Кривенко, Р. В. Олійник, С. М. Тарабан** - у 2013 05607; заявл. 30.04.2013; опубл. 11.11.2013.
- 17 ДБН 360-92\* «Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень» – К.:Укрархбудінформ. – 1993. – 107 с.
- 18 ДБН В.2.3-5-2001 «Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів».

**Bibliography (transliterated)**

- 1 **Agafonov, A. A., Chernov, A. V., Sergeev, A. V.** City transport motion parameters forecasting by satellite monitoring data and statistics // *PRIA-2013, 2013, 2*, 489-491.
- 2 **Altinkaya, M., Zontul, M.** Urban Bus Arrival Time Prediction: A Review of Computational Models // *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 2013, **2**(4), 164-169.
- 3 **Bera, S., Krishna Rao K. V.** Estimation of origin-destination matrix from traffic counts: the state of the art // *European Transport*, 2011, **49**, 3-23.
- 4 **Bin, Y., Zhongzhen, Y., Baozhen, Y.** Bus arrival time prediction using support vector machines // *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*, 2007, **10**(4), 151-158.
- 5 **Cascetta, E.** Transportation Systems Analysis: Models and Applications // *New York: Springer*, 2009, 752 p.
- 6 **Daganzo, C. F.** The Lagged Cell-Transmission Model // In: **Ceder, A. (ed), Proceedings of the 14th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, 1999, 81-104.**
- 7 **Fambro, D., Lee, S.** Application of subset autoregressive integrated moving average model for short-term freeway traffic volume forecasting // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2007, 179-188.
- 8 **Faouzi, N., Leung, H., Kurian, A.** Data fusion in intelligent transportation systems: Progress and challenges // *A survey, Information Fusion*, 2011, **12**(1), 4-10.
- 9 **Ghosh, B., Basu, B., O'Mahony, M.** Multivariate Short-Term Traffic Flow Forecasting Using Time-Series Analysis // *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 2009, **10**(2), 246-254.
- 10 **Hoogendoorn, S. P., Bovy, P. H.** State-of-the-art of vehicular traffic flow modeling // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 2001, **215**(4), 283-303.
- 11 **Taraban, S. M.** The current state and trends of the road network of Kyiv // *Roads and road construction*. - Kyiv, NTU, 2013, **90**, 24-32.
- 12 **Danchuk, V. D., Oliynyk, R. V., Taraban, S. M.** Network of monitoring of road traffic flows in road network of large cities // *Visnyk NTU*, 2014, **30**(1), 86-94.
- 13 **Danchuk, V. D., Kryvenko, V. I., Oliynyk, R. V., Taraban, S. M.** Electrical model of the traffic // *Visnyk NTU*, 2010, **21**(2), 28-32.
- 14 **Danchuk, V. D., Kryvenko, V. I., Oliynyk, R. V., Taraban, S. M.** Electrical model of distribution of traffic flows in a road network of the city // *Project management, systems analysis and logistics. Science magazine*. Kyiv: NTU, 2011, **8**, 45-49.
- 15 UA 86586 U / Analog model of transport system / **Danchuk V. D., Oliynyk R. V., Taraban S. M.** - u 2013 06237; appl. 05/20/2013; publ. 01.10.2014.
- 16 UA 85069 U / Method of regulation and load of road network of the city traffic / **Danchuk V. D., Kryvenko V. I., Oliynyk R. V., Taraban S. M.** - u 2013 05607; appl. 04/30/2013; publ. 11.11.2013.
- 17 ДБН 360-92 \* "Urban Planning. Planning and development of urban and rural settlements" – Kyiv: Ukrarhbuildinform, 1993, 107 p.
- 18 ДБН В.2.3-5-2001 "Transport facilities. Streets and roads in settlements.

Надійшла (received) 13.10.2015