

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ТРАНСПОРТНОГО КЛАСТЕРА НА ЕКОЛОГІЮ МІСТА

Лямзін А.О., Ніколаєнко І.В.

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»  
вул. Університетська, 7, 87500, м. Маріуполь, Донецька область  
[alyamzin7791@gmail.com](mailto:alyamzin7791@gmail.com), [iryna.vnikolaienko@gmail.com](mailto:iryna.vnikolaienko@gmail.com)

У статті досліджується фізична природа рухомого складу як складника транспортного кластера та механізми визначення його екологічної стійкості. Рухомий склад розглянутий як фізичний багаторівневий об'єкт, що освоює природні ресурси і виділяє забруднюючі речовини в навколишнє середовище міста. Аналогом цього об'єкту запропоновано прийняти елементарну фізичну частку «фрідмон». Запропонована формула оцінки екологічної стійкості транспортного засобу як споживача «брудного ресурсу» в середовищі міста. Розглянуто залежність обсягу споживання «брудного ресурсу» від характеристик експлуатації двигуна рухомого складу. Дослідження умов експлуатації рухомого складу в навколишньому середовищі міста показало, що 80% автомобілів працюють у режимі холостого ходу поза межами штатного режиму роботи двигуна, що обумовлює зростання шкідливих викидів в атмосферу та ґрунт. Сформована та проаналізована дендрограма транспортного кластера за ступенем впливу на екологію міста. За даними дослідження рухомий склад поділено на п'ять основних груп: вагони, вантажні автомобілі з бензиновими двигунами, вантажівки з дизельними двигунами, автобуси з бензиновими двигунами, автобуси з дизельними двигунами. На прикладі вулично-дорожньої мережі м. Маріуполь розроблена графічна модель транспортного кластера на ділянці перед вузловим елементом. Запропонована формула оцінки забруднюючих речовин від транспортного кластера в навколишньому середовищі міста. Експертним шляхом встановлені значення коефіцієнтів вагомості різних показників властивостей транспортних засобів. Основними вимірниками прямого впливу на екологічну стійкість є забруднення води і ґрунту, теплове та шумове забруднення. До вимірників непрямого впливу віднесено тягово-швидкісні та гальмівні властивості транспортних засобів, потреби конструкційних і експлуатаційних матеріалів, трудовитрати та інше. *Ключові слова:* навколишнє середовище міста, екологічна стійкість, транспортний кластер, рухомий склад.

### **Estimation of the transport cluster impact on the city ecology. Lyamzin A., Nikolaienko I.**

The rolling stock physical nature as a component of the transport cluster and mechanism for determining of its ecological sustainability are researched in the article. Rolling stock considered as a physical multi-level object that exploits natural resources and releases pollutants into the city environment. An analog of this object is proposed to take an elementary physical particle "friedmon". The formula for assessing the environmental sustainability of a vehicle as a consumer of "dirty resource" in the city environment is proposed. The dependence of the amount of "dirty resource" consumption on the rolling stock engine operating characteristics is considered. The importance score values for different characteristics of vehicle indicators are expertly substantiated. The research of the rolling stock operating conditions in the city environment is showed that eighty percent of the vehicles are idling outside the standard engine operating mode, which causes an increase in polluting emissions into the atmosphere and soil. The transport cluster dendrogram by the impact degree on the city ecology is worked out and analyzed. According to the research rolling stock is divided into five basic groups: cars, trucks with gasoline engines, trucks with diesel engines, buses with gasoline engines, buses with diesel engines. On the example of Mariupol road network, the transport cluster graphical model on a section in front of roads intersection was developed. The formula for estimating pollutants from a transport cluster in the city environment is proposed. The cluster is characterized by its density, has heterogeneous time-space structure and damping speed before the intersection. Pollutants assessment in the atmosphere from the transport cluster is measured. The main measures of direct impact on environmental sustainability are: water and soil pollution, thermal and noise pollution. Indicators of indirect impact include: traction-speed and braking properties of vehicles, the need for structural and operational materials, labour costs, etc. *Key words:* city environment, ecological sustainability, transport cluster, rolling stock.

**Постановка проблеми.** Сучасні умови розвитку промисловості, економіки та суспільства міста зумовлюють необхідність всебічного дослідження та аналізу його транспортної системи з подальшою метою виявлення основних тенденцій та екологічних загроз, пошуку можливих шляхів зниження негативного впливу на навколишнє середовище міста.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженню проблем впливу автомобільного транспорту на розвиток міста та його екологію присвячено низку наукових доробків як вітчизняних, так і зарубіжних дослідників [2–5]. Ряд наукових робіт розкриває питання координованого регулювання дорожнього руху залежно від екологічних характеристик транспортного

потоків [2; 3]. Моделі прогнозування транспортних потоків використовуються для оцінки впливу на вулично-дорожню мережу та житлові райони [6–9].

Умови розвитку та функціонування сучасних міст залежать від наявності транспортних потоків, які складаються з транспортних кластерів із різними функціональними та цільовими характеристиками [1; 4]. Втім, незважаючи на чисельність публікацій із тематики екології міста, недостатньо вивченими є питання оцінки екологічної стійкості рухомого складу транспортних кластерів.

**Постановка завдання.** Метою статті є розробка методики оцінки впливу транспортного кластера на навколишнє середовище міста.

**Виклад основного матеріалу.** В сучасних умовах рухомий склад – це складна електротехнічна система, яка може бути розглянута як фізичний багаторівневий об’єкт, а саме як об’єкт, що освоює природні ресурси і виділяє забруднюючі речовини в навколишнє середовище міста. Аналогом такого фізичного об’єкту запропоновано прийняти елементарну фізичну частку «фрідмон». Визначення фрідмона надано М.А. Марковим у 1966 році: «фрідмон – це гіпотетична частинка, зовнішня маса і розміри якої малі, а внутрішні розміри і маса можуть перевершувати зовнішні у багато разів...». Не дивлячись на незначну масу, фрідмон є об’єктом, що може виділяти та поглинати необмежений обсяг ресурсу [5; 6].

Для отримання оцінки екологічної стійкості транспортного засобу як споживача «брудного ресурсу» в середовищі міста автори перетворили базову формулу розрахунку споживання умовного ресурсу фрідмоном (Г.В. Домогацький, І.М. Железних):

$$V_{сп.рес.} = V \cdot \frac{K_{свро5}}{\sqrt{K_{ек.н.}}} \cdot \frac{S_{мз}}{S_{енб}} \cdot \frac{m}{M} \cdot \frac{n_{ф}}{n_n}, \quad (1)$$

де  $V$  – обсяг двигуна уніфікованого транспортного засобу, [см<sup>3</sup>];

$K_{свро5}$  – кількість транспортних засобів, які відповідають екологічним критеріям Євро-5 і вище, [од.];

$K_{ек.н.}$  – кількість транспортних засобів, що відповідають екологічним критеріям менш ніж Євро-5, [од.];

$S_{ТЗ}$  – площа, яку займає рухомий склад, [м<sup>2</sup>];

$S_{енб}$  – габарити наближення будівель для автомобільного рухомого складу в умовах міста, [м<sup>2</sup>];

$m$  – маса уніфікованого транспортного засобу, [т];

$M$  – фактична маса транспортного засобу, [т];

$n_{ф}$  – фактичний обсяг споживання ресурсу транспортним засобом в умовах міста [од. вим.];

$n_n$  – нормативний обсяг споживання ресурсу транспортним засобом [од. вим.].

Порівняння показників, які визначають умови експлуатації рухомого складу в навколишньому середовищі міста, показало таке: 80% рухомого складу працює в режимі холостого ходу поза межами штатного режиму роботи двигуна, а обертаючий момент дорівнює 850 хв./об., що обумовлює зростання шкідливих викидів в атмосферу та ґрунт (рис. 1).

Для оцінки екологічної стійкості транспортних кластерів як «постачальника брудного ресурсу» автори будуть вважати, що кластер характеризується своєю щільністю, є неоднорідним за своєю структурою просторовим утворенням, яке має загасаючу на момент виміру швидкість руху ( $V = 5$  км/год). Найбільший вплив на вулично-дорожнє середовище від кластера здійснюється в районі перехрестя.

Графічна модель транспортного кластера, розроблена на прикладі вулично-дорожньої мережі м. Маріуполь на ділянці перед вузловим елементом, відображає параметричні характеристики кластера (рис. 2).

Визначення відстаней між групами автотранспортних одиниць досліджуваного кластера

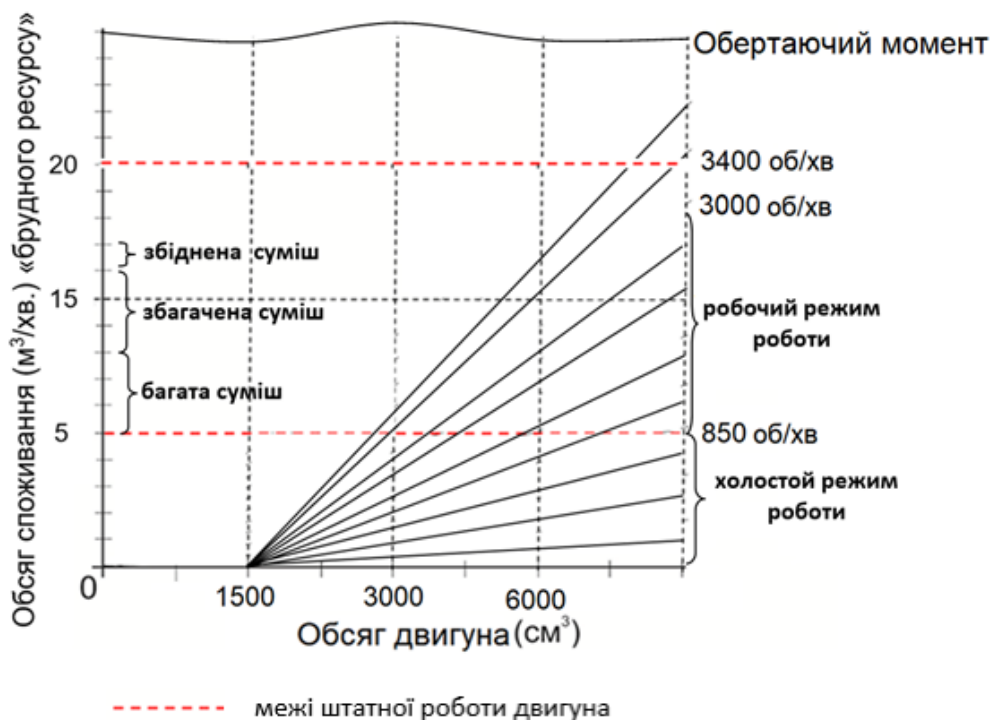


Рис. 1. Залежність обсягу споживання «брудного ресурсу» від характеристик експлуатації двигуна рухомого складу

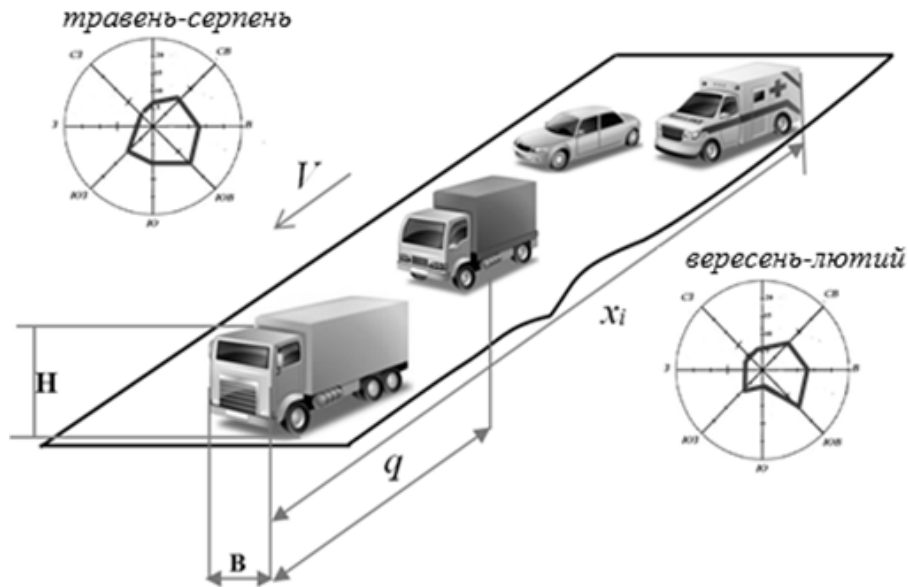


Рис. 2. Графічна модель, що відображає параметричні характеристики транспортного кластера

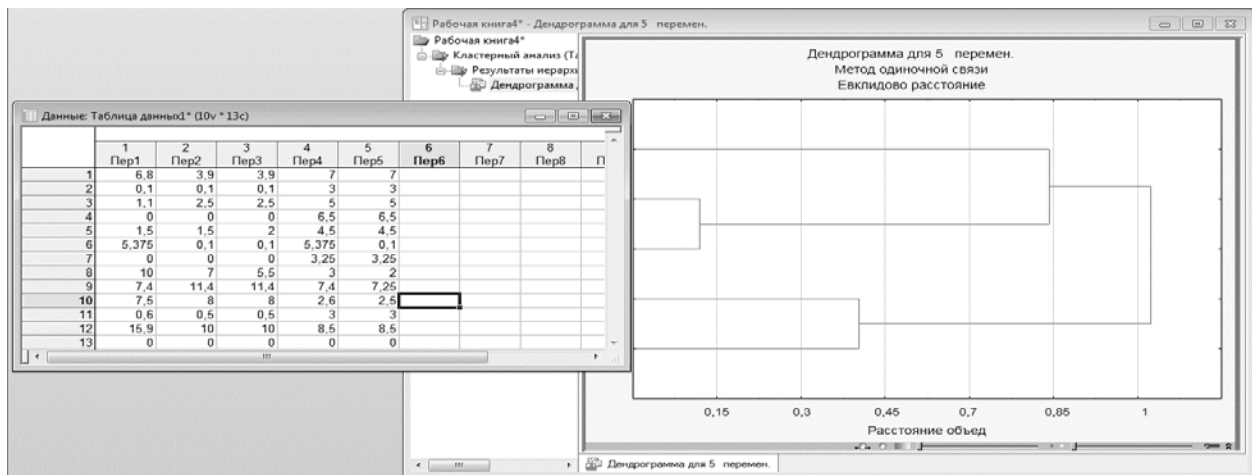


Рис. 3. Дендрограма транспортного кластера за ступенем впливу на екологію міста

здійснюється за допомогою програмного продукту Statistica. Розрахункова функція виглядає так:

$$d(r, s) = \min \left[ \text{dist}(X_{ri}, X_{sj}) \right], \quad (2)$$

$$i \in (1, \dots, n_r), j \in (1, \dots, n_s)$$

де  $n_r$  – число складників (пасажирських транспортних засобів) у кластері  $r$ , [од.];

$n_s$  – число складників (вантажних транспортних засобів) у кластері  $s$ , [од.];

$x_{ri}, x_{sj}$  – відповідно  $i$ -й та  $j$ -й об'єкти у кластерах  $r$  і  $s$ , [м].

Оцінка прямого та непрямого впливу автотранспорту, що формує транспортний кластер, на навколишнє середовище міста наведена у вигляді дендрограми (рис. 3).

Рухомий склад поділено на групи: 1 – легкові автомобілі, 2 – вантажні автомобілі з бензиновими двигунами, 3 – вантажні з дизелями, 4 – автобуси з бензиновими двигунами, 5 – автобуси з дизелями.

Аналіз дендрограми транспортного кластера за ступенем впливу на навколишнє середовище міста (рис. 3) дозволяє зробити висновок, що прямий вплив від діяльності транспорту становить близько 48,55%, а основні забруднювачі – вантажівки з дизельними двигунами і легкові автомобілі (табл. 1).

Таблиця 1

**Складники транспортного кластера  
(на прикладі м. Маріуполь)**

| Межі складових транспортного кластера |       | Рухомий склад, що досліджується |
|---------------------------------------|-------|---------------------------------|
| від, %                                | до, % |                                 |
| 82,4                                  | 100   | Вантажний транспорт з дизелями  |
| 33,1                                  | 72,5  | Легкові транспортні засоби      |

Оцінка забруднюючих речовин в атмосфері від транспортного кластера може бути визначена так:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot x_i \cdot H \cdot B}{N \cdot v} \left( \Phi[\theta(A_j)] \cdot M \right), \quad (3)$$

де  $w_i$  – коефіцієнт ізоефективності згідно існуючого класу безпеки речовини, до якого вона належить;

$x_i$  – загальна довжина кластеру, що є «носієм»  $i$ -ої речовини, [м];

$B$  – ширина рухомого складу (згідно ISO 612-1978 дорівнює 2,6 м);

$H$  – висота рухомого складу (згідно ISO 612-1978 дорівнює 4 м);

$N$  – кількість рухомого складу в досліджуваному кластері, [од].;

$v$  – швидкість кластеру, [м/с];

$\Phi[\theta(A_j)]$  – функція значущості обраного екологічного критерію  $j$  з існуючої множини критеріїв;

$A_j$  – фактична середньодобова (середньорічна) концентрація  $i$ -ої речовини, [мг/м<sup>3</sup>];

$M$  – умовна вага забруднювача як хімічного елемента, який впливає на ступінь екологічної безпеки міста (експертна оцінка).

Функція  $\Phi[\theta(A_j)]$  ставить у відповідність кожному значенню  $x$  якесь дійсне число – параметр

Таблиця 2

**Вагомість показників експлуатаційних властивостей транспортних засобів в умовних групах (експертні оцінки)**

| Вимірювачі                                     | Вагомість вимірників, % |            |            |            |            |
|--|-------------------------|------------|------------|------------|------------|
|  | 1                       | 2          | 3          | 4          | 5          |
| <b>Непрямий вплив на екологічну стійкість</b>  |                         |            |            |            |            |
| Гальмівні властивості                          | 6,8                     | 3,9        | 3,9        | 7,0        | 7,0        |
| Керованість, стійкість                         | 0,1                     | 0,1        | 0,1        | 3,0        | 3,0        |
| Оглядовість, освітлення                        | 1,1                     | 2,5        | 2,5        | 5,0        | 5,0        |
| Травмобезпека                                  | 0                       | 0          | 0          | 6,5        | 6,5        |
| Вібронавантаженість                            | 1,5                     | 1,5        | 2,0        | 4,5        | 4,5        |
| Ергономічність салону                          | 5,375                   | 0,1        | 0,1        | 5,375      | 0,1        |
| Габарити салону                                | 0                       | 0          | 0          | 3,25       | 3,25       |
| Потреба конструкційних матеріалів              | 10,0                    | 7,0        | 5,5        | 3,0        | 2,0        |
| Потреба експлуатаційних матеріалів             | 7,4                     | 11,4       | 11,4       | 7,4        | 7,25       |
| Трудовитрати                                   | 7,5                     | 8,0        | 8,0        | 2,6        | 2,5        |
| Пристосованість до надання транспортних послуг | 0,6                     | 0,5        | 0,5        | 3,0        | 3,0        |
| Тягово-швидкісні властивості                   | 15,9                    | 10,0       | 10,0       | 8,5        | 8,5        |
| Маневреність, прохідність                      | 0                       | 0          | 0          | 0          | 0          |
| <b>Прямий вплив на екологічну стійкість</b>    |                         |            |            |            |            |
| Забруднення води                               | 2,54                    | 3,14       | 3,29       | 2,18       | 2,2        |
| Забруднення ґрунту                             | 1,0                     | 1,0        | 1,0        | 1,0        | 1,25       |
| Теплове забруднення                            | 2,0                     | 2,0        | 1,5        | 2,385      | 2,375      |
| Шумове забруднення                             | 6,9                     | 6,9        | 7,4        | 5,35       | 5,5        |
| Електромагнітне забруднення                    | 2,0                     | 2,0        | 1,5        | 2,385      | 2,375      |
| Забруднення повітря сумарне                    | 22,96                   | 28,36      | 29,71      | 19,72      | 22,3       |
| <b>у тому числі:</b>                           |                         |            |            |            |            |
| СО   | 3,0                     | 3,5        | 4,15       | 2,75       | 2,5        |
| СН   | 10,0                    | 10,5       | 7,35       | 5,5        | 4,25       |
| NO <sub>x</sub>                                | 7,35                    | 10,35      | 8,3        | 8,17       | 8,0        |
| Тверді частки                                  | 0,5                     | 0,5        | 5,56       | 0,5        | 4,5        |
| SO <sub>2</sub>                                | 1,56                    | 2,46       | 2,8        | 1,75       | 2,0        |
| РЬ   | 0,05                    | 0,05       | 0,05       | 0,05       | 0,05       |
| Споживання енергоресурсів                      | 6,0                     | 5,0        | 5,0        | 4,0        | 2,25       |
| Вплив на біоту і відчуження земель             | 0                       | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Водоспоживання                                 | 1,1                     | 1,1        | 1,1        | 0,5        | 0,5        |
| Споживання кисню повітря                       | 0,5                     | 0,5        | 0,5        | 0,5        | 0,5        |
| Пускові властивості                            | 4,0                     | 5,0        | 5,0        | 4,0        | 4,0        |
| <b>ВСЬОГО</b>                                  | <b>100</b>              | <b>100</b> | <b>100</b> | <b>100</b> | <b>100</b> |

цінності  $\theta(x)$ . Причому  $x$  краще  $x'$  за умови, що  $\theta(x) > \theta(x')$ , а  $x$  рівноцінно  $x'$  тільки у випадку виконання умови:

$$\theta(x) > \theta(x') \quad (4)$$

Якщо функція адитивна, то для всіх  $i = 1, \dots, n (n > 3)$  параметр цінності можна навести так:

$$\theta(X_1, \dots, X_n) = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot \theta_i(X), \quad (5)$$

де  $\theta_i$  – показники властивостей, виражені значеннями в безрозмірному вигляді;

$\gamma_i$  – вагові (за шкалою) коефіцієнти, що характеризують ціннісні співвідношення між показниками і задовольняють умови:

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i = 1, \quad (6)$$

Значення коефіцієнтів вагомості окремих показників властивостей транспортних засобів як складників транспортних кластерів встановлені експертним шляхом (Табл. 2).

У таблиці 2 наведені коефіцієнти вагомості для п'яти груп транспортних засобів як і в дендрограмі. Отримана кількісна оцінка кластерів, утворюючих транспортний потік, дозволяє підкреслити важливість проблеми, що досліджується, та необхідність розробки механізму прогнозу впливу транспортних кластерів на екологічну систему вулично-дорожнього середовища міста.

**Головні висновки.** У статті проведено дослідження рухомого складу як складника транспортного кластера в міській системі розроблена графічна модель кластера на прикладі вулично-дорожньої мережі м. Маріуполь. Дендрограма транспортного кластера за ступенем впливу на екологію міста сформована на основі аналізу залежності обсягу споживання «брудного ресурсу» від характеристик експлуатації двигуна рухомого складу. За допомогою експертних оцінок представлені групи непрямих і прямих показників експлуатаційних властивостей транспортних засобів і значення коефіцієнтів їх вагомості.

#### Література

1. Лямзін А.О., Ніколаєнко І.В. Прогнозування впливу транспортних потоків на вулично-дорожню мережу міста // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського: Серія технічні науки. Київ, 2018. Том 29 (68) № 1. Частина 3. С. 109–114.
2. Поліщук В.П., Бакуліч О.О. Застосування координованого регулювання дорожнім рухом залежно від екологічних характеристик транспортного потоку // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів : зб. наук. пр. / Український транспортний університет. Київ, 1998. Вип. 5. С. 214.
3. Поліщук В.П., Дзюба О.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху. Київ : Знання України, 2008. 175 с.
4. Хрутьба В.О. Формування критеріїв оцінки екологічних проектів забезпечення сталого розвитку транспортно-дорожнього комплексу // Вісник Національного транспортного університету. 2014. № 29 (2). С. 113–123.
5. Stathopoulos A., Karlftis M.G. A multivariate state space approach for urban traffic flow modeling and prediction // Transportation Research Part C : Emerging Technologies. 2003. Vol. 11, № 2. P. 121–135.
6. Edussuriya Pr., Chan A., Malvin A. Urban morphology and air quality in dense residential environments: correlations between morphological parameters and air pollution at street-level // Journal of Engineering Science and Technology. 2014. Vol. 9, № 1. P. 64–80.
7. The application of space-time ARIMA model on traffic flow forecasting / S.-H. Lin, H.-Q. Huang, D.-Q. Zhu, T.-Z. Wang // Machine Learning and Cybernetics, 2009 International Conference on. 2009. Vol. 6. P. 408–412.
8. Min W, Wynter L. Real-time road traffic prediction with spatiotemporal correlations // Transportation Research. Part C : Emerging Technologies. 2011. Vol. 19, № 4. P. 606–616.
9. Guorong, G., Yanping L. Traffic Flow Forecasting based on PCA and Wavelet Neural Network // Information Science and Management Engineering (ISME). 2010. Vol. 1. P. 158–161.