

Кристончук М. Є., к.т.н., доц.; Меленчук Т. М., д.т.н., доц.

ЩОДО МЕТОДУ ВСТАНОВЛЕННЯ КІЛЬКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ ВЗАЄМНОГО ВПЛИВУ ОБ'ЄКТІВ ТРАНСПОРТОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Розглянуто один з методів обчислювальної геометрії, що дозволяє кількісно оцінити та отримати табульовані функції різних компонент та параметрів взаємного впливу об'єктів транспортної інфраструктури. Числові характеристики, одержані описаним методом, в подальшому використовуються в моделюванні процесів ефективного функціонування та взаємодії різних видів міського пасажирського транспорту з іншими видами зовнішнього транспорту міста, зокрема у транспортно-пересадочних вузлах.

Нині суспільство встановлює нові вимоги до транспортної системи міста. Населення міста потребує оптимізованих транспортних послуг, за допомогою яких можна було б отримати максимальну користь: мінімальна витрата часу та коштів, соціальна орієнтованість маршрутів тощо. Важливим чинником на мобільність населення в місті є структура єдиної транспортної мережі, збалансованість розвитку інженерно-транспортної інфраструктури, стратегія просторового розвитку міської території.

Автори [1-3] терміном «транспортна інфраструктура» описують підсистему, без якої неможливе функціонування будь-якого міста, у зв'язку з цим саме місто розглядається як високоефективна, організована система руху, яка раціонально взаємозв'язує простір і процеси, які впливають на соціальну діяльність мешканців міст. У роботах [1,4,5] до об'єктів транспортної інфраструктури відносять як саму вулично-дорожню мережу і маршрути транспорту на ній, так і рухомий склад і об'єкти обслуговування і сервісу, а також технічні засоби організації руху. Таким чином, об'єкти транспортної інфраструктури класифікують за такими групами [1-3]: вулично-дорожня мережа; зовнішній транспорт та транспортно-пересадочні вузли (автовокзали, вокзальні комплекси, автостанції); маршрутна мережа міського пасажирського транспорту, зупинки, рухомий склад; обслуговуючі об'єкти; об'єкти автосервісу; транспортні розв'язки і пішохідні переходи; технічні засоби регулювання дорожнім рухом; нові види об'єктів транспортної інфраструктури.

Одним із шляхів скорочення витрат часу населенням міст, що на даний час вважається основним критерієм ефективності функціонування міських пасажирських транспортних систем, удосконалення транспортно-планувальної організації пересадочних вузлів, які є елементом транспортної мережі міста і багато в чому визначають її належне функціонування. Дослідженням пересадочних вузлів займається багато авторів. В роботі авторів [4] систематизована класифікація транспортно-пересадочних вузлів та їх значення у функціонуванні міського транспортного комплексу, а в роботі [5] наведено результати досліджень раціонального розташування автобусних транспортно-пересадочних вузлів у містах. Однак, для переважної більшості міст, система управління транспортним комплексом є недосконалою, що дає підстави стверджувати про наявність резервів та гостру необхідність щодо її удосконалення. Ця система перебуває у стадії реорганізації і не відповідає сучасним вимогам управління багатокомпонентними інфраструктурними об'єктами, що є складовими загальної соціально-економічної та транспортної інфраструктури.

Мережа транспортно-пересадочних вузлів є важливим елементом просторово-планувальної організації міста. Транспортно-пересадочні вузли у складі мережі концентрують в собі інформацію про кількість, потужність, розподіл пасажиропотоків по мережі. Конфігурація і структура мережі впливає на функціонально-планувальну організацію окремого вузла, визначає його раціональне розташування у місті. Мережа транспортно-пересадочних вузлів являє собою відгалуження транспортних магістралей міст, завдяки її

розростанню розширюються зв'язки між центрами міст і приміськими територіями, містами-супутниками і агломераціями.

Одним із шляхів скорочення витрат часу населенням міст при поїздках на міському пасажирському транспорті є удосконалення транспортно-планувальної організації пересадочних вузлів, які є елементом транспортної мережі міста і багато в чому визначають її належне функціонування. При розташуванні вокзалу в місті необхідно враховувати сукупність інфраструктурних об'єктів у пунктах примикання або перетинання відповідних магістралей різних видів зовнішнього транспорту (залізничного, автомобільного), а також міського пасажирського транспорту, які спільно виконують операції по освоєнню транзитних, далеких, місцевих, приміських та міських перевезеннях пасажирів.

У великих містах з розвинутою транспортною інфраструктурою можливі наступні основні поєднання взаємодіючих видів транспорту: залізничний, включаючи регіональні (експресні) і приміські лінії – міський рейковий транспорт (метрополітен, трамвай); залізничний – наземний міський транспорт; метрополітен - наземний міський транспорт тощо.

Аналіз розташування транспортно-пересадочних вузлів у містах [6] вказує, що головні вузли знаходяться переважно поблизу загальноміського центру (і в самому центрі), а також в серединній, рідше, у периферійній зонах міста (див. рис. 1).

На розташування транспортно-пересадочних вузлів на плані великого міста з переростанням їх в суспільно-транспортні центри багато в чому впливає розташування вокзалів різних видів зовнішнього транспорту (залізничного, морського, річкового, автомобільного і повітряного), що є також найважливішими міськими пересадочними вузлами.

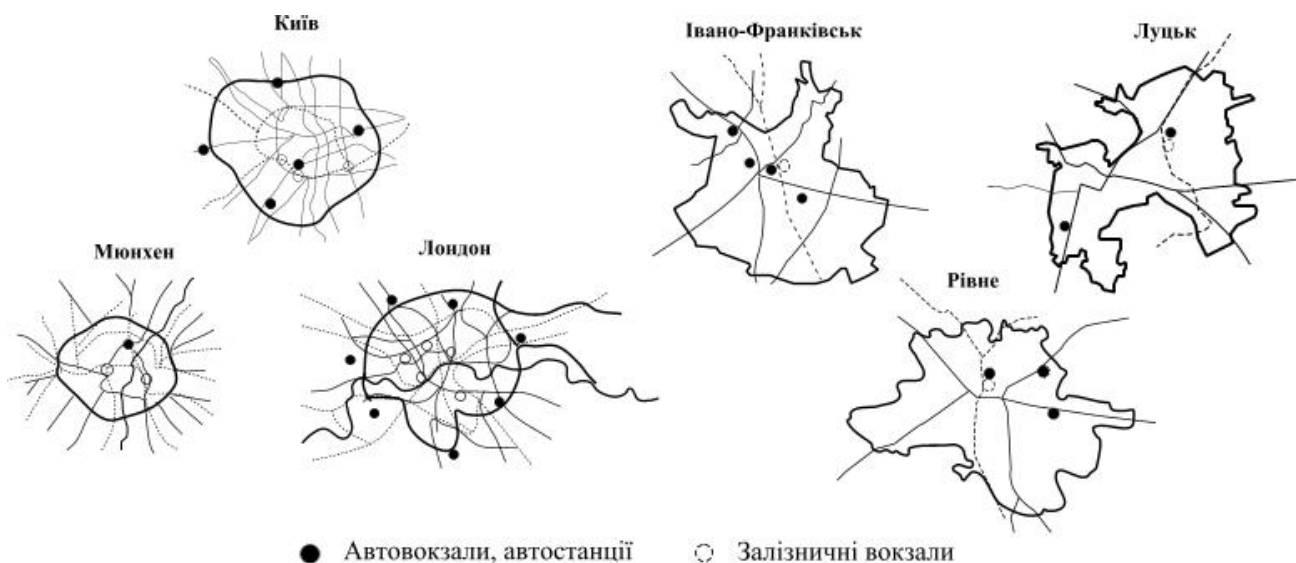


Рис. 1 – Приклади розташування транспортно-пересадочних вузлів та вокзалів на плані найзначніших та середніх міст

Основний обсяг пасажирських перевезень в зоні впливу найзначніших міст припадає на рейковий, переважно залізничний, та автобусний види транспорту. При цьому, якщо автобусні маршрути з передмість і віддалених місць (рейсові, туристичні, міжміські) закінчуються, як правило, в периферійних зонах міста, то пасажирські електропоїзди прибувають на кінцеві головні станції (вокзали), розташовані частіше поблизу центру міста.

Відсутність потенційних можливостей зміни характеристик вулично-дорожньої мережі чи умов організації руху по ній при зростаючих транспортних навантаженнях стримує, насамперед, темпи економічного розвитку міста. В цьому контексті, важливими стають процеси виявлення проблемних ділянок вулично-дорожньої мережі та пошуку можливих резервів для забезпечення адекватності роботи елементів транспортної інфраструктури.

Аналіз параметрів просторового взаємовпливу об'єктів інфраструктури [2,5,7] вказує, що кожний об'єкт має n -мірну просторову орієнтацію (див. рис. 2), тобто кожна одиниця характеризується одномірним розподілом значень інтенсивності зв'язків P_{ij} : $P_{11}, P_{12}, \dots, P_{1l}, \dots, P_{1k}$, де P_{11} - зв'язки всередині об'єкта або іншої елементарної одиниці; $2, \dots, l, \dots, k$ - множина інших одиниць, з якими присутні зв'язки.

На основі розподілу зв'язків можна одержати поле розсіювання початкових і кінцевих кореспондуючих пунктів.

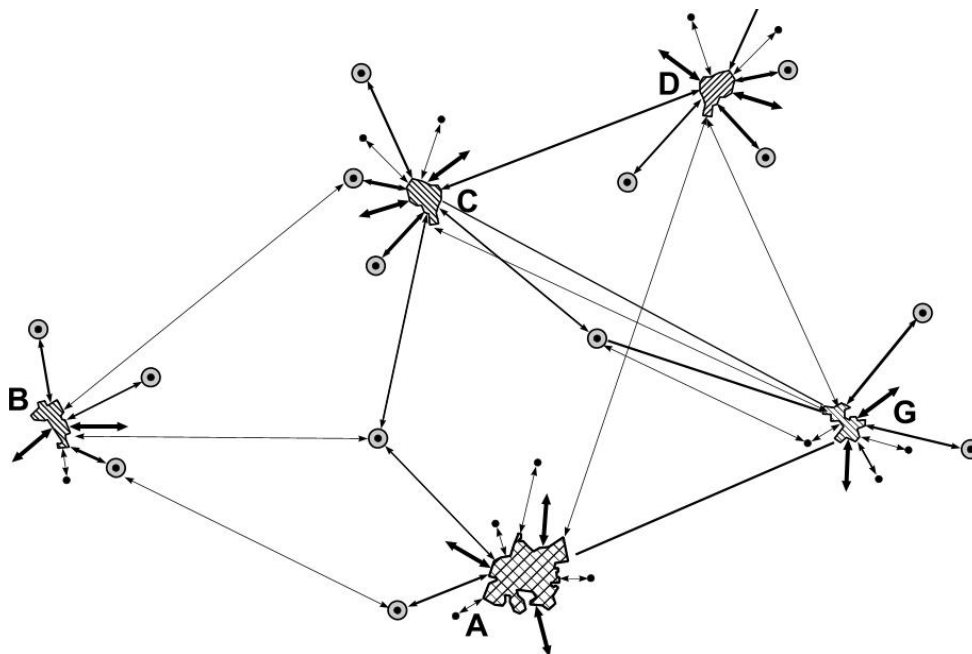


Рис. 2 – Схема n -мірної просторової орієнтації зв'язків між інфраструктурними об'єктами

Показники взаємовпливу є неоднорідними, та їх складно описати функціональними залежностями. Це пов'язано з великою неоднорідністю характеристичних параметрів кожного окремого об'єкта. Тому, для встановлення кількісних показників доцільно використати методику [7-11], основні положення якої наведені нижче.

Територію дослідження можна подати у вигляді множини точкових інфраструктурних об'єктів $\{P_i\}$ з набором параметрів, що їх характеризують.

Побудова графової моделі базується на припущеннях:

- вершини графа – інфраструктурні об'єкти (подані як точкові), з визначеними на основі обробки геоінформаційних даних координатами x_i, y_i й характеристичними параметрами ψ_i (потужність, кореспонденції пасажирів, кількість маршрутів, пропускна здатність тощо);
- ребра графа – транспортні шляхи, що сполучають інфраструктурні об'єкти;
- зони близькості (зони взаємного впливу) будуємо без урахування ваги v_i вершин або ребер графа.

Цей підхід передбачає три етапи виконання робіт:

- визначення регіону обстеження та підготовка вихідних даних;
- побудова нерегулярної моделі;
- побудова регулярної моделі.

На першому етапі проводиться підготовка вихідних даних про просторове розміщення (визначення координат x_i та y_i) множини точкових об'єктів та їх параметрів ψ_i - які підлягають дослідженню.

Другий етап - побудова нерегулярної моделі, передбачає побудову графової моделі транспортних зв'язків. Основними параметрами задачі є координати об'єктів та значення досліджуваного параметра для вершин графа.

Завдання побудови зон близькості чи взаємного впливу потребує визначення всіх точок площини, для яких відстань s до об'єктів множини $\{P_i\}$ є мінімальною. У випадку, коли всі об'єкти подано як точкові, дана задача визначається як задача побудови діаграм Вороного [10,11] - багатокутників, утворених відрізками перпендикулярів, проведених до середини сторін, що сполучають дві найближчі сусідні точки.

Триангуляція Делоне і діаграма Вороного є взаємно двоїстими (див. рис. 3).

Для заданої точки $P_i \in \{P_1, \dots, P_N\}$ на площині багатокутником Вороного називається геометричне місце точок на площині, які знаходяться до P_i ближче, ніж до будь-якої іншої заданої точки $P_j, j \neq i$. Сукупність багатокутників Вороного утворюють векторну мережу. Діаграмою Вороного для заданої множини точок $\{P_1, \dots, P_N\}$ є сукупність усіх багатокутників Вороного цих точок (рис. 3, а).

Для деяких із заданих точок відповідні багатокутники Вороного будуть нескінченними фігурами. Тому всю площину доцільно обмежити деяким регіоном – тобто визначити область інтересів.

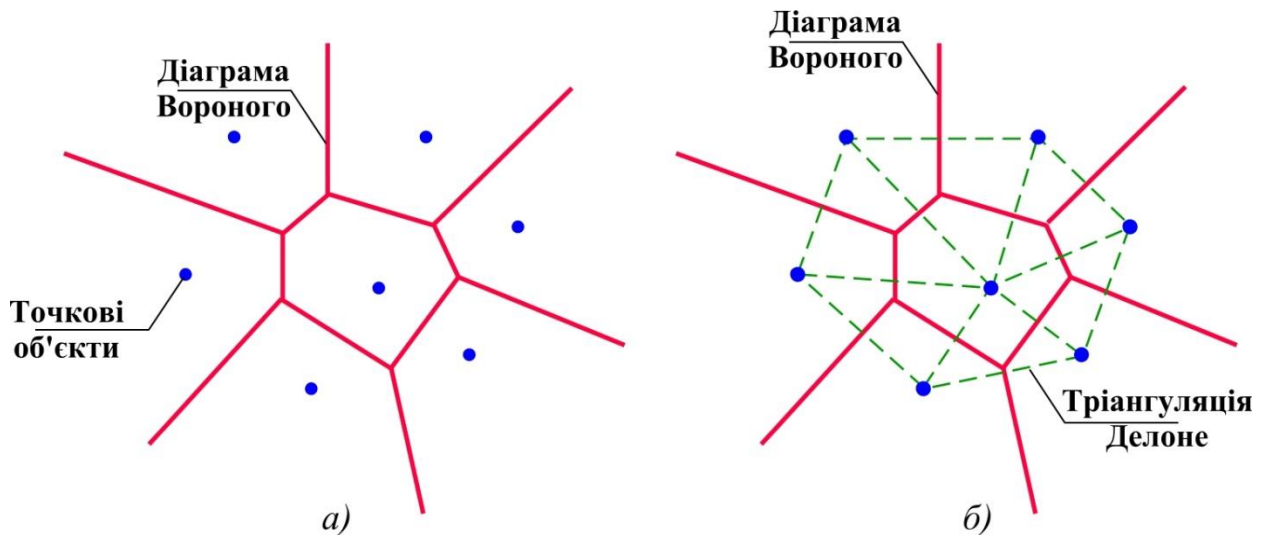


Рис. 3 – Діаграма Вороного:
а) приклад діаграми; б) двоїста до діаграми триангуляція Делоне

Характеристичний параметр ψ'_i для i -го полігону визначаємо за формулою

$$\psi'_i = \psi_i / F_i, \quad (1)$$

де F_i - площа полігону, до якого належить i -та вершина графа.

Площу полігону визначаємо за координатами його вершин:

$$F_i = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^k x_i \cdot (y_{i+1} - y_{i-1}) \right|, \quad (2)$$

при $y_0 = y_k, y_{k+1} = y_1$.

На третьому етапі здійснюємо побудову регулярної моделі. Для переходу від нерегулярної до регулярної моделі досліджуваного параметра виконаємо триангуляцію Делоне і застосуємо метод обернених зважених відстаней.

Виходячи з головної властивості - двоїстості діаграми Вороного до триангуляції Делоне, побудувати останню можна, з'єднавши відрізками ті вихідні точки, для яких многокутники Вороного дотикаються хоча б кутами (див. рис. 3, б).

Після завершення триангуляції сукупність точкових інфраструктурних об'єктів і транспортних зв'язків утворює нерегулярну мережу.

Завданням є побудова регулярної мережі для досліджуваного параметра з достатньо малим розміром комірки (квадратна сітка), що необхідно для картографування цього параметра. Для цього будемо вторинну регулярну квадратну сітку (рис. 4) із стороною з довільним лінійним розміром. Треба знайти значення функції досліджуваного параметра в кожному вузлі цієї сітки. Задача розв'язується методом обернених зважених відстаней [7,9]. Функція досліджуваного параметра за цим методом набуває виду:

$$\psi(x, y) = \frac{\psi'_1 \cdot w_1 + \psi'_2 \cdot w_2 + \psi'_3 \cdot w_3}{w_1 + w_2 + w_3}, \quad (3)$$

де $\psi'_1, \psi'_2, \psi'_3$ - середнє значення величини досліджуваного параметра (визначене на попередньому етапі) в точках (вершинах) трикутника, якому належить біжуча точка; w_1, w_2, w_3 - ваги, визначені за співвідношенням:

$$w_i = \frac{1}{l_i^2}, \quad (4)$$

де l_i - відстань від відповідних вершин трикутника до біжучого вузла вторинної сітки (див. рис. 4); (x, y) - координати вузла.

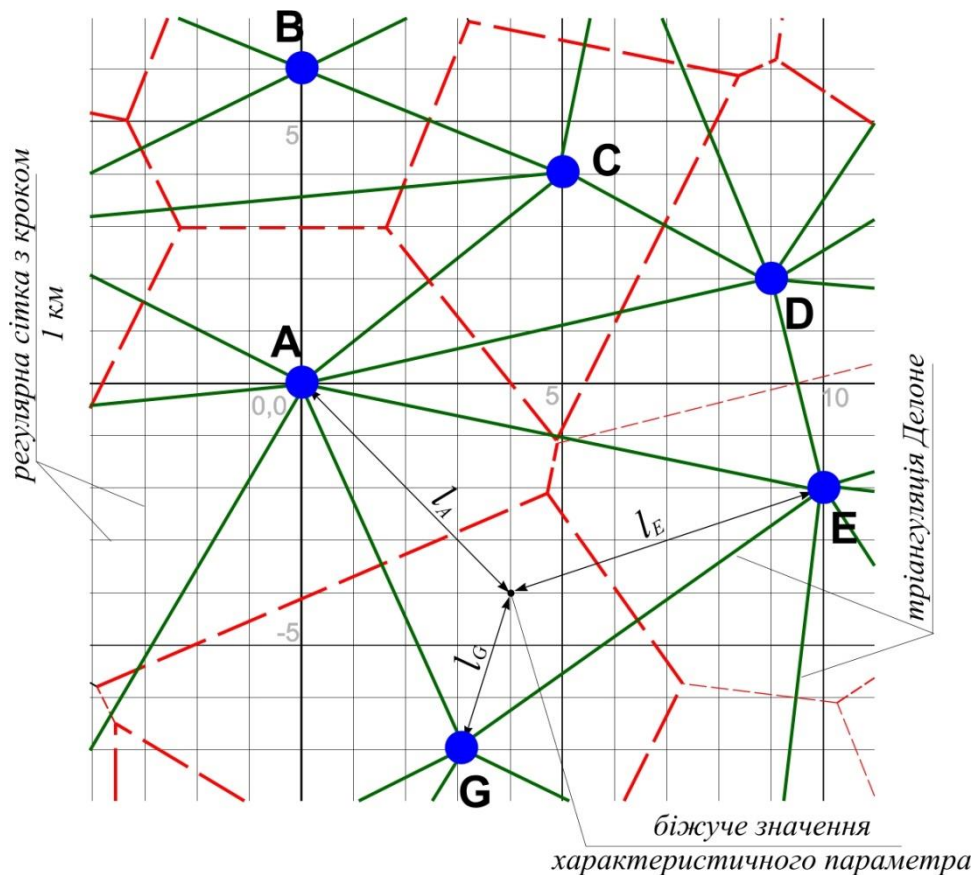


Рис. 4 – Перехід від нерегулярної моделі до регулярної

У результаті виконання наведеної вище послідовності операцій одержуємо табульовану функцію досліджуваного параметра (характеристичних параметрів) для області просторової взаємодії інфраструктурних об'єктів і проводимо візуалізацію розрахункових параметрів у вигляді графічних залежностей або у формі тривимірної поверхні.

Таким чином, використання методу обчислювальної геометрії, з побудовою діаграми Вороного та виконанням триангуляції Делоне можливим є одержання табульованих характеристичних параметрів для неоднорідних зон взаємного впливу інфраструктурних об'єктів з нечітким функціональним зв'язком. Використання пакету обробки статистичних даних STATISTICA 6.0 дозволяє будувати діаграму Вороного для множини точок на основі вихідних даних, якими є координати точок. Обробку та візуалізацію результатів зручно проводити за допомогою модуля SURFER 6.0.

Список літературних джерел

1. Рейцен Е. О классификации улично-дорожной сети в городах Украины / Е. Рейцен, И. Савченко // Містобудування та територіальне планування. Вип.16. – К. : КНУБА, 2003. – С. 199-203.
2. Рейцен Е. Оптимизация размещения и строительства объектов транспортной инфраструктуры в транспортных коридорах Украины / Е. Рейцен, Н. Верескун // Містобудування та територіальне планування. Вип. 9. – К. : КНУБА, 2001. – С. 239-250.
3. Міські транспортно-пересадочні вузли і логістика / Є.О. Рейцен, К.О. Томкевич // Містобудування та терит. планув. – 2004. – Вип. 17. – С. 276-291.
4. Щурова В. А. Роль мережі транспортно-пересадкових вузлів у функціонально-планувальній структурі міста / В. А. Щурова // Містобудування та терит. планув. – 2002. – Вип. 13. – С. 248-255.
5. Горбачев П. Ф. Рациональное размещение автобусных транспортно-пересадочных узлов в городах / П. Ф. Горбачев, В. Ф. Далека, І. Г. Гузненков // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – №3 (52). – С. 4-6.
6. Кристопчук М. Є. До питання розміщення міських транспортно-пересадочних вузлів / М. Є. Кристопчук, З. В. Бичко // Комунальне господарство міст. Науково-технічний збірник – Вип. 103 Серія „Технічні науки та архітектура” Харків: ХНАМГ, 2012. – С. 374-378.
7. Кристопчук М. Є. Соціально-економічна ефективність пасажирської транспортної системи приміського сполучення: Монографія. – Рівне : НУВГП, 2012. – 158 с.
8. Ильман В. М. Алгоритмы триангуляции плоских областей по нерегулярным сетям точек // Алгоритмы и программы, ВИЭМС. – 2005. – Вып. 10 (88). – С. 3–35.
9. Доля В. К. Дослідження транспортної мережі регіону методом побудови функції щільності населення / В. К. Доля, П. М. Грицюк, М. Є. Кристопчук // Комунальне господарство міст. Науково-технічний збірник. Вип. 69. Серія „Технічні науки та архітектура” К. : „Техніка”, 2006. – С. 205-211.
10. Saka A. A. Model for determining optimum bus-stop spacing in urban areas. Journal of Transportation Engineering, n. 127 (3), pp. 195-199, USA, 2001.
11. Homero F. Oliveira, Mirian B. Goncalves, Eduardo S. Cursi, Antonio G. Novaes Development of a Computational System to Determine the Optimal Bus-stop Spacing in order to Minimize the Travel Time of All Passengers / Dynamics in Logistics: Second International Conference, LDIC 2009, Bremen, Germany, August 2009, - Springer-Verlag Berlin Heidelberg . – 2011. – pp. 15-25.

Кристопчук Михайло Євгенович – к.т.н., доцент, в.о. завідувача кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування

Меленчук Тетяна Михайлівна – д.т.н., доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування