

УДК 656.081

DOI: 10.15587/2312-8372.2017.93458

МОДЕЛЮВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ КОРЕСПОНДЕНЦІЙ МІЖ ОБЛАСНИМИ ЦЕНТРАМИ В УКРАЇНІ

Доля К. В.

1. Вступ

Сучасні транспортні системи потребують виважених рішень щодо їх розвитку, змін та адаптації до вимог середі функціонування цих систем. Середі функціонування транспортних систем є техногенною, штучно створена для задоволення потреб людства з перевезення пасажирів або вантажів. Для досягнення транспортною системою стану, при якому вона має можливість вдовольнити потреби з перевезень, необхідно зважено приймати рішення щодо змін елементів самої транспортної системи.

З впливом часу потребують перегляду й адаптації до сучасності всі елементи транспортних систем. Потрібно відзначити, що транспортні системи мають в собі елементи, виробництво яких потребує значних витрат часового, фінансового та людського ресурсів. Місце пасажирських транспортних систем у розвитку суспільства переоцінити неможливо. У зв'язку із цим рішення щодо реформування елементів транспортної системи мають прийматись опираючись на розрахунки проведені в умовах сучасності.

В питанні організації пасажирських перевезень пасажир являє собою основу всіх розрахунків. Відомо, що від обсягів й характеристик перевезень пасажирів залежить розклад руху, кількість та тип транспортних засобів, схеми руху транспортних засобів. Для перевізника обсяги перевезень обумовлюють грошові потоки підприємства. Важливість встановлення обсягів перевезень для пасажирської транспортної системи є значною.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єкт дослідження – сучасна міжміська пасажирська транспортна система в Україні. В даному дослідженні розглядаються міжміські пасажирські транспортні кореспонденції, які сформувались в існуючій системі.

Одним з найбільш проблемних місць є дослідження фактичних значень сталих міжміських кореспонденцій, яке полягає в отриманні донині не визначених корегувальних коефіцієнтів, що використовуються в розрахунку потенційної кореспонденції між містами. Отримані знання надають змогу в застосуванні розглянутого методу розрахунків кореспонденції між містами по відношенню до ринку пасажирських перевезень в Україні.

3. Мета та задачі дослідження

Мета роботи полягає у моделюванні транспортних міжміських пасажирських кореспонденцій шляхом формалізації адекватної функції тяжіння. Визначення параметрів функції тяжіння призведе до можливості

проведення розрахунків міжміських пасажирських кореспонденцій в межах дослідженої системи.

Для досягнення поставленої в роботі мети передбачається вирішити наступні задачі:

1. Експериментально встановити пасажирські транспортні кореспонденції між містами з різною кількістю мешканців.
2. Провести порівняння отриманих теоретичних та експериментальних даних.

4. Аналіз літературних даних

Питання щодо розрахунку транспортних кореспонденцій між населеними пунктами полягає у тому, що досі на достатньому рівні не досліджено закономірності параметрів пасажирських транспортних систем.

Авторами роботи [1] запропоновано залежність (1) для розрахунку пасажирських кореспонденцій між містами. Для встановлення кореспонденції між містами авторами [1] запропоновано застосування класичної гравітаційної моделі:

$$H_{ij} = d_{ij} H_{ei} H_{nj}, \quad (1)$$

де H_{ij} – потенційна кореспонденція між містами i та j , відповідно;

H_{ei} – кількість відправлень з міста i ;

H_{nj} – кількість прибуття в місто j ;

d_{ij} – функція тяжіння від міста i до міста j .

Недоліком даного методу є врахування, у якості фактору опору кореспонденції лише відстань між містами i та j .

Дослідниками [2] запропоновано інший метод розрахунку потенційних відправлень між містами i та j :

$$H_{ij} = \frac{P_i P_j}{L_{ij}^2}, \quad (2)$$

де L_{ij} – відстань між містами i та j ;

P_i та P_j – кількість мешканців міст i та j відповідно.

В даному випадку авторами не враховуються особливості пунктів призначення та відправлення.

Авторами роботи [3] запропоновано інший метод розрахунку H_{ij} – потенційної кореспонденції між містами, який наведено в рівнянні (3).

$$H_{ij} = S_{ij} d_{ij}, \quad (3)$$

де S_{ij} – потенціальне відправлення з міста i в місто j .

При цьому авторами роботи [3] не розглянуто складові функції тяжіння.

Іншими дослідниками [4] запропоновано використовувати залежність (4) для розрахунку потенційної кореспонденції між містами i та j .

$$H_{ij} = \frac{H_{ei} H_{ni} f(d_{ij})}{\sum_k A_k f(d_{ik})}, \quad (4)$$

де d_{ik} – комплексна функція тяжіння з пункту i в пункт j ;

A_k – калібрувальний коефіцієнт.

У даному випадку авторами запропоновано розглядати фактор опору кореспонденції, як комплексну функцію. Визначення або складові даної функції комплексного тяжіння не запропоновано.

Авторами [5] розглядалися питання розподілу кореспонденцій між містами на робочі та розважальні потоки та запропоновано двояко обмежену гравітаційну модель, яка обумовлює врахування робочих та розважальних кореспонденцій. В даному випадку, для розрахунку кореспонденцій між містами запропоновано залежність, яка має наступний вигляд:

$$H_{ij} = \frac{H_{ei} H_{ni} f(d_{ij}) X_i Y_i}{\sum_k A_k f(d_{ik})}, \quad (5)$$

де X_i та Y_j – балансуючі чинники.

Одночасно, авторами [6] запропоновано введення залежності (6), (7) для обрахування X_i та Y_j , які мають наступний вигляд:

$$X_i = \frac{1}{\sum_j H_j Y_j f(d_{ij})}, \quad (6)$$

$$Y_i = \frac{1}{\sum_j H_{ej} X_i f(d_{ij})}. \quad (7)$$

З огляду на запропонований підхід авторами не розкрито питання різниці між функцією тяжіння від пункту i до пункт j та комплексною функцією тяжіння з пункту i в пункт j . Як і у попередників, в залежності мають складові, встановлення яких потребує застосування емпіричних методів. Окрім того, в запропонованому методі кількість факторів для встановлення більша. Це призводить до невизначеності.

Авторами [7] в своїх роботах пропонується проведення обстеження наявних кореспонденції між містами для вирахування калібрувальних коефіцієнтів, які було ними введено в залежності.

Проведення досліджень не зупинилось на питанні встановлення методів розрахунку потенційної кореспонденції між містами. Так, авторами [5] було

запропоновано й метод розрахунку розподілу кореспонденції серед запропонованих засобів реалізації їздки залізницею та автобусним сполученням. На думку авторів [5], для встановлення розподілу потенційної кореспонденції пасажирів між містами доречно використання наступної залежності:

$$P_k = \frac{e^{U_k}}{\sum_z e^{U_k}}, \quad (8)$$

де p_k – частка поїздок зроблених в режимі k ;

U_k – корисність режиму k ;

Z – індекс ефективності всіх режимів;

$e - 2,718281\dots$

Також авторами [7] запропоновано засоби встановлення U_k та Z . Відповідно до їх стверджень розрахунок корисності режиму k (U_k) та індексу ефективності всіх режимів (Z) можна розрахувати за наступними рівняннями:

$$U_k = a_k + a_1 t + a_2 c + \dots, \quad (9)$$

де a – емпіричні константи;

t, c – фактори опору кореспонденції (час, вартість та ін.).

$$Z = \frac{\varphi_n \ln \sum_k e^{Z_k}}{\varphi_n + \mu_n}, \quad (10)$$

де Z_k – утиліта режиму на один рівень нижче;

φ_n, μ_n – константи для потоків відповідного рівня.

У викладеному матеріалі роботи авторами [8] передбачається проведення обстежень наявних кореспонденцій пасажирів між містами для встановлення фактичних значень емпіричних констант, факторів опору, балансуєчих коефіцієнтів та інших калібрувальних констант.

Можна зазначити, що авторами робіт [9, 10] також запропоновано проведення обстежень наявних кореспонденцій пасажирів для встановлення фактичних значень в запропонованих ними рівняннях.

5. Матеріали та методи дослідження

Для встановлення фактичних значень пасажиропотоків між містами в Україні було обрано інший спосіб, який полягає в отриманні відповідних кількісних показників з матеріалів обліку наданих пасажирам послуг з переміщення. До таких документів та матеріалів можна віднести відомості з системи продажу залізничних квитків ПАТ «Укрзалізниця» (Україна) [11]. На автомобільному транспорті в системі міжміських пасажирських перевезень

передбачено станційне обслуговування пасажирів.

На рис. 1 зображено запропоновану модель транспортної мережі України з урахуванням трас міжобласного значення. В запропонованій моделі в якості транспортних вузлів було прийнято міста обласні центри, а дугами прийнято траси автомобільних доріг, якими забезпечується сполучення між містами.

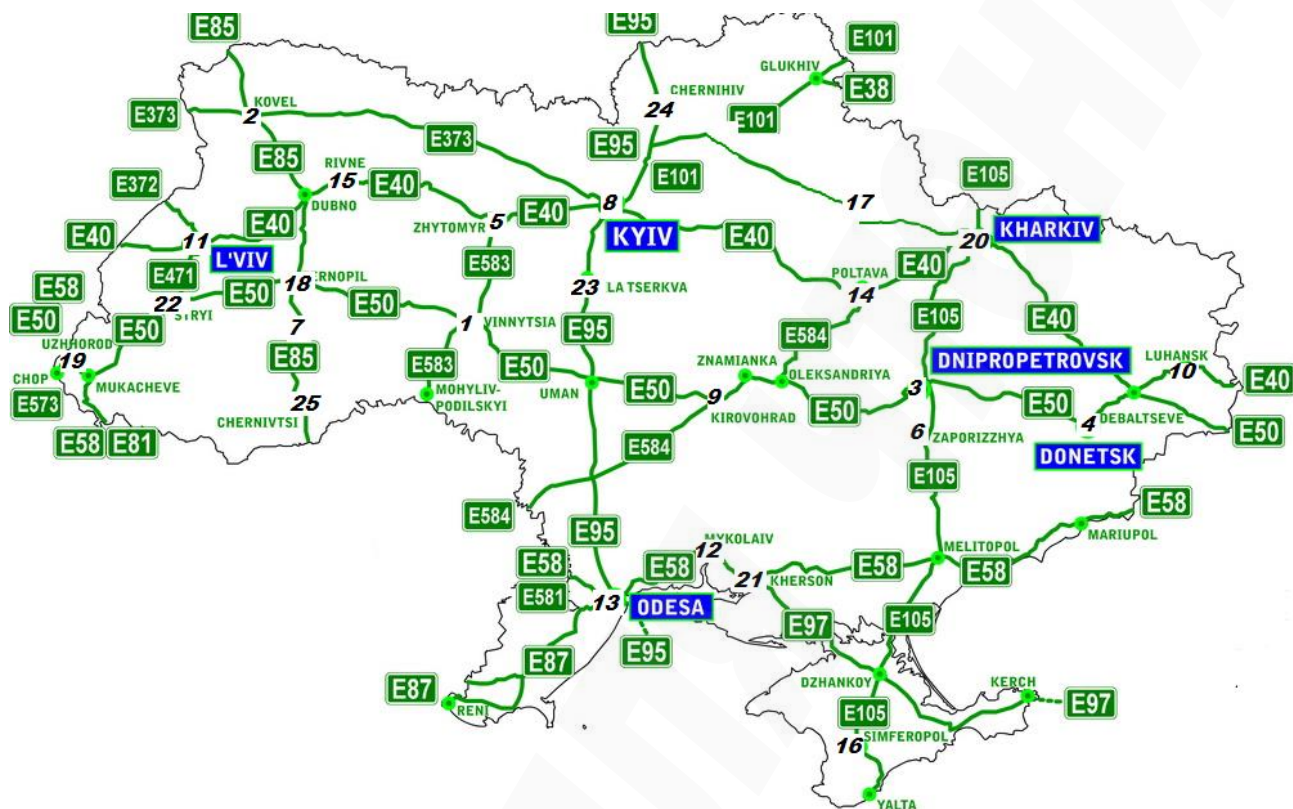


Рис. 1. Модель транспортної мережі України з урахуванням трас міжобласного значення

З наведеної на рис. 1 моделі було отримано кількісні показники відстаней між обласними центрами та номери обласних центрів. Це забезпечило надало можливість розрахувати матрицю найкоротших відстаней.

В якості залежності для розрахунку кореспонденції пасажирів між містами від пункту i до пункт j було обрано залежність (1). В даному випадку пропонується функцію тяжіння кореспонденції між містами розрахувати за наступною залежністю:

$$d_{ij} = \frac{a}{L_{ij}^x}, \quad (11)$$

де a – емпірична константа;

L_{ij} – відстань між містами i та j ;

x – калібрувальний коефіцієнт.

З урахуванням залежності (5) рівняння (1) набуває наступного вигляду:

$$H_{ij} = \left(\frac{a}{L_{ni}^x} \right) H_{oi} H_{np} \quad (12)$$

де L_{ij} – відстань між містами i та j ;
 x – калібрувальний коефіцієнт.

При проведенні розрахунків потенційної кореспонденції між містами за залежністю (1) було обрано наступні значення емпіричної константи – a : 1; 5; 35; 65; 95; 125 та 155. Значення калібрувального коефіцієнту x , в проведених розрахунках, приймали наступні кількісні показники: –0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 1,9 та 2,5.

Відповідно до обраних значень емпіричної константи та калібрувального коефіцієнту було проведено розрахунки потенційної кореспонденції між містами i та j для всіх можливих комбінацій між a та x .

Отримані розрахункові значення H_{ij} – потенційної кореспонденції між містами i та j було зведено в табл. 1.

Таблиця 1

Розрахункові значення потенційної кореспонденції між містами

№ з/п	№ транспортного вузла i	№ транспортного вузла j	H_{ij} при $a=1, x=1,0$, сот. доб.	H_{ij} при $a=1, x=1,4$, сот. доб.	...	H_{ij} при $a=155, x=1,6$, сот. доб.	H_{ij} при $a=155, x=1,8$, сот. доб.	H_{ij} при $a=155, x=1,9$, сот. доб.	H_{ij} при $a=155, x=2,5$, сот. доб.
1	8	22	19,31	17,77	...	16,83	15,79	15,23	11,57
2	8	15	71,07	66,98	...	63,99	60,46	58,52	45,52
...
27	22	14	134,60	4,04	...	11,15	9,34	8,53	4,86
28	22	8	11,83	136,01	...	132,81	135,32	136,55	143,47

Відповідність та оцінку значення розрахункової потенційної кореспонденції H_{ij} між містами i та j до фактичного значення кореспонденції пасажирів отриманого за результатом проведеного дослідження здійснено за залежністю (13). Отримане значення ε – відхилення отриманого розрахункового кількісного показника від фактичного у відсотках надає можливість в здійсненні аналізу якості використання комбінації значення емпіричної константи – a та значення калібрувального коефіцієнту – x .

$$\varepsilon = \frac{|H_{ij} - H'_{ij}|}{H_{ij}} \quad (13)$$

Результати розрахунків за залежністю (13) зведено в табл. 2.

Таблиця 2

Відхилення розрахункових значень потенційної кореспонденції між містами від фактичного отриманого за результатом проведеного дослідження у відсотках

№ з/п	№ транспортного вузла i	№ транспортного вузла j	ε при $a=1$ та $x=-0,8$	ε при $a=1$ та $x=1,4$...	ε при $a=155$, $x=1,6$	ε при $a=155$, $x=1,8$	ε при $a=155$, $x=1,9$	ε при $a=155$, $x=2,5$
1	8	22	0,26	0,09	...	0,03	0,03	0,07	0,29
2	8	15	0,04	0,04	...	0,00	0,06	0,09	0,29
...
27	22	14	0,33	0,02	...	0,02	0,02	0,03	0,05
28	22	8	2,23	0,30	...	132,81	135,32	136,55	143,47
$\varepsilon_{\text{ср}}$			2,0	0,24	...	0,11	0,10	0,15	0,41

Отримане значення $\varepsilon_{\text{ср}}$ демонструє середнє відхилення отриманих розрахункових кількісних показників від фактичних у відсотках при застосуванні певної комбінації значень емпіричної константи – a та значення калібрувального коефіцієнту – x .

6. Результати досліджень

Отримані результати розрахунків з табл. 2 надали можливість емпірично встановити параметри функції тяжіння, при яких розрахункові значення потенційної кореспонденції наближуються до фактичних. В дослідженому процесі надання послуг з перевезень пасажирів між містами на маршрутах загального користування мають місце такі кореспонденції пасажирів, які можна розрахувати із застосуванням гравітаційної моделі, наведеної в рівнянні (12). За отриманими показниками відхилень розрахункових значень потенційної кореспонденції між містами від фактично отриманого за результатом проведеного дослідження визначено, що калібрувальний коефіцієнт x , в умовах дослідженої транспортної системи, для проведення відповідних розрахунків має приймати значення від 1,6 до 1,8.

Одночасно з розрахункових даних можна зробити висновок, що $\varepsilon_{\text{ср}}$ не залежить від кількісного показника a . Таке ствердження також підтверджується проілюстрованою поверхнею розподілу функції $\varepsilon_{\text{ср}}$. В результаті проведеної роботи можна стверджувати, що функція розрахунку потенційної кореспонденції між містами i та j набуває наступного вигляду:

$$H_{ij} = \left(\frac{1}{L_{ni}^x} \right) H_{oi} H_{nr} \quad (14)$$

Потрібно визначити, що обстеження не охопили частку пасажирів, які реалізують потреби в кореспонденції на персональному транспорті й авіаційному транспорті. За результатами обговорень визначено необхідність уточнення функції тяжіння d_{ij} між містами i та j з урахуванням економічного стану суспільства. Тобто провести дослідження з врахуванням у якості фактору

опору не лише відстань, а й вартість проїзду у порівнянні із доходами громадян. Також мають підстави для проведення додаткових досліджень й їх подальшої обробки за для отримання функції прогнозування, із більшою якістю розрахунків. Проведені дослідження не містять відомостей щодо швидкості, часу та вартості проїзду.

З урахуванням наведеного отримані результати можна використовувати для проведення зазначених розрахунків кореспонденції пасажирів між містами в Україні. Попре все, отримані результати є важливими для розуміння сучасних процесів в галузі транспорту. Потрібно відзначити, що обраний фактор опору кореспонденції, а саме L , можна приймати як сильно корельований із часом та вартістю поїздки. Це призводить до врахування цих факторів в отриманій моделі функції тяжіння d_{ij} між містами i та j . До досягнень в отриманих результатах дослідження можна віднести доведення можливості застосування обраної гравітаційної моделі до ринку міжміських пасажирських перевезень в Україні.

7. SWOT-аналіз результатів дослідження

Strengths. Серед сильних сторін даного дослідження можна віднести доведення можливості застосування обраної гравітаційної моделі до системи міжміських пасажирських перевезень в Україні. Отримано нові відомості про донині не вивчені корегувальні коефіцієнти, які використовуються під час розрахунку кореспонденції пасажирів між містами і є індивідуальні для кожної транспортної системи. На користь даного ствердження свідчать сучасні наукові досягнення, викладені в розглянутій літературі. Саме з даних обставин в практичних умовах використання гравітаційних моделей для розрахунку показників функціонування системи не є можливим без попереднього винаходження згаданих коефіцієнтів. Використання отриманих даних відносно оптимальних значень винайдених параметрів значень складових функції тяжіння забезпечує можливість розрахунку якісних показників функціонування та планування параметрів розглянутої транспортної системи. З урахуванням наведеного отримано нові відомості про досліджену систему, в частині прогнозування кореспонденції між містами. Отримані результати можна використовувати для проведення зазначених розрахунків кореспонденції пасажирів між містами в Україні. Це вигідніше в порівнянні з аналогами завдяки:

- проведення аналізу фактичних показників не потребує залучення додаткових ресурсів;
- можливе збільшення продуктивності за рахунок оптимізації використання фінансових ресурсів підприємств для забезпечення виробничого процесу із задоволення потреб населення з переміщення;
- зменшення зносу основних засобів виробництва.

Weaknesses. До недоліків проведеного дослідження та отриманих результатів можна віднести незабезпечення врахування факту наявної пасажирської кореспонденції між містами, які реалізуються з використанням легкових транспортних засобів. Однак, слід зазначити, що метою роботи було визначено вивчення кореспонденції пасажирів, яка реалізується на маршрутах

загального користування. Також, під час отримання даних щодо сталих кореспонденцій не було враховано коливання кореспонденцій пов'язані із сезонними змінами в рухливості населення. Разом із цим в роботі розраховано значення функції тяжіння, які забезпечують похибку розрахункових даних до дійсних в межах 10 %. Слід визначити, що впровадження в пасажирську транспортну систему отриманих результатів дослідження не нестиме додаткових фінансових навантажень на транспортні підприємства або пасажирів.

Opportunities. Точно розраховане значення пасажирської міжміської транспортної кореспонденції на маршрутах загального користування надає можливість забезпечити планування взаємодії між системами різних видів транспорту. Для забезпечення потреб населення країни в задоволенні потреб її мешканців з пересування в межах дослідженої системи. Одночасно мається можливість підвищення якості фінансових потоків виробництв за рахунок оптимізації розподілу ресурсів в часі по всій пасажирській системі.

Threats. Є труднощі, пов'язані із застосуванням отриманих результатів дослідження. Це пов'язано із тим, що для застосування обраної моделі розрахунку потенційної кореспонденції мається потреба в визначенні кількості відправлень та кількості прибуття в пункти транспортної системи. Можливе настання такого стану системи, при якому вона вимагатиме від транспортних підприємств надання більших об'ємів транспортних послуг.

8. Висновки

1. Експериментально встановлено пасажирські транспортні кореспонденції між містами з різною кількістю мешканців. Отримано кількісні показники пасажирських транспортних кореспонденцій. Встановлено, що міжміські пасажирські транспортні кореспонденції можна прогнозувати. Доведено, що гравітаційне моделювання пасажирських транспортних кореспонденцій є прийнятним для дослідженої системи.

2. Проведене порівняння отриманих теоретичних та експериментальних даних. За результатами порівняння встановлено статичну похибку розрахунків. В проведеному дослідженні було встановлено раніш невідомі параметри функції тяжіння, що забезпечує можливість в прогнозуванні кореспонденції пасажирів в дослідженій системі.

Література

1. Khan, A. M. II. Intercity passenger transportation: energy efficiency and conservation case study [Text] / A. M. Khan // Transportation Planning and Technology. – 1981. – Vol. 7, № 1. – P. 1–9. doi:[10.1080/03081068108717200](https://doi.org/10.1080/03081068108717200)

2. Friman, M. Implementing Quality Improvements in Public Transport [Text] / M. Friman // Journal of Public Transportation. – 2004. – Vol. 7, № 4. – P. 49–65. doi:[10.5038/2375-0901.7.4.3](https://doi.org/10.5038/2375-0901.7.4.3)

3. Crozet, Y. The Prospects for Inter-Urban Travel Demand [Text] / Y. Crozet // The Future for Interurban Passenger Transport. – Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD), 2010. – P. 57–94.

doi:[10.1787/9789282102688-3-en](https://doi.org/10.1787/9789282102688-3-en)

4. Nokandeh, M. M. Determination of Passenger-Car Units on Two-Lane Intercity Highways under Heterogeneous Traffic Conditions [Text] / M. M. Nokandeh, I. Ghosh, S. Chandra // Journal of Transportation Engineering. – 2016. – Vol. 142, № 2. – P. 4015040. doi:[10.1061/\(asce\)te.1943-5436.0000809](https://doi.org/10.1061/(asce)te.1943-5436.0000809)

5. Schwieterman, J. Intercity Buses: 2015 Was A Smooth Ride [Electronic resource] / J. Schwieterman // New Geography. – 02.10.2016. – Available at: \www/URL: <http://www.newgeography.com/content/005157-intercity-buses-2015-was-a-smooth-ride>

6. Borndorfer, R. Integrated Optimization of Rolling Stock Rotations for Intercity Railways [Text] / R. Borndorfer, M. Reuther, T. Schlechte, K. Waas, S. Weider // Transportation Science. – 2016. – Vol. 50, № 3. – P. 863–877. doi:[10.1287/trsc.2015.0633](https://doi.org/10.1287/trsc.2015.0633)

7. Li, T. A Demand Estimator Based on a Nested Logit Model [Text] / T. Li // Transportation Science. – 2016. – P. 41–59. doi:[10.1287/trsc.2016.0671](https://doi.org/10.1287/trsc.2016.0671)

8. Prasolenko, O. The Human Factor in Road Traffic City [Text] / O. Prasolenko, O. Lobashov, A. Galkin // International Journal of Automation, Control and Intelligent Systems. – 2015. – Vol. 1, № 3. – P. 77–84.

9. Grigorova, T. Transport Fatigue Simulation of Passengers in Suburban Service [Text] / T. Grigorova, Yu. Davidich, V. Dolya // International Journal of Automation, Control and Intelligent Systems. – 2015. – Vol. 1, № 2. – P. 47–50.

10. Grigorova, T. Assessment of elasticity of demand for services of suburban road passenger transport [Text] / T. Grigorova, Yu. Davidich, V. Dolya // Technology audit and production reserves. – 2015. – № 3/2 (23). – P. 13–16. doi:[10.15587/2312-8372.2015.44768](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.44768)

11. JSC «Ukrzaliznytsia» [Electronic resource]. – Available at: \www/URL: <http://www.uz.gov.ua/>