

# ВПЛИВ ОСОБЛИВОСТЕЙ МАЛЮНКУ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ НА ДОВЖИНУ ЇЗДКИ МІЖ ЇЇ ВУЗЛАМИ НА ПРИКЛАДІ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ УКРАЇНИ

Доля К. В., Лифенко С. Е., Нестерко С. Г., Вяткін К. І.

## 1. Вступ

Забезпечення стабільного функціонування пасажирських транспортних систем можна вважати пріоритетним завданням для організаторів перевезень та перевізників. За умов забезпечення пасажирів можливістю у реалізації потреби з переміщення у найзручніший спосіб є основою для максимальної реалізації потенційної транспортної кореспонденції між вузлами транспортної мережі. До основних факторів, які впливають на фактичні показники обсягів перевезень пасажирів між вузлами транспортної мережі, можна віднести:

- потенційну кореспонденцію;
- вартість проїзду;
- час їздки;
- час доби їздки;
- комфортність їздки;
- регулярність та частість їздки;
- соціальні та економічні характеристики розвитку населення у транспортних вузлах.

Можна відзначити, що фактичні показники обсягів перевезень пасажирів потрібно корегувати з урахуванням характерних сезонних або добових коливань.

В свою чергу, міжміська пасажирська маршрутна транспортна система для забезпечення своєї діяльності використовує грошові ресурси, які надходять від перевезень. Планомірне надходження грошового ресурсу для забезпечення стабільного функціонування та розвитку міжміських пасажирських маршрутних транспортних систем безперечно є важливим. При цьому, не менш актуальним є розподіл грошових потоків між елементами транспортної системи в часі та кількості. За умов збалансованого руху фінансових потоків всередині системи, кількісної достатності даного ресурсу та його зваженого використання елементами системи можливе планування й розвиток галузі в цілому.

## 2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

*Об'єкт дослідження* – державна транспортна мережа на прикладі України. В даному дослідженні розглянуто існуючу мережу автомобільних шляхів, якими утворено сучасну транспортну мережу. Розглянута дорожня мережа складається з понад 70 тис. дуг та вузлів, якими описано траси міжобласного, регіонального, міжнародного та обласного значень. Це забезпечило можливість у винайденні найкоротших варіантів сполучень вузлів мережі.

Одним з найбільш проблемних місць є підвищення якості параметрів функціонування транспорту. Здебільш, науковцями розглядалися питання

оптимізації розкладів руху, вибору рухомого складу та винайдені оптимальних маршрутів [1, 2]. Транспортні мережі є складовою транспортних систем й забезпечують можливість перевезення товарів і пасажирів між своїми вузлами. Разом із цим, властивості транспортної мережі впливають на загальні показники функціонування транспортного процесу, а саме: щільність й інтенсивність потоку транспортних засобів, швидкість сполучення, довжина їздки.

### **3. Мета та задачі дослідження**

*Метою дослідження є визначення впливу особливостей рисунку транспортної мережі на довжину їздки між її вузлами.*

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Запропонувати підхід до визначення показника якості малюнку транспортної мережі.
2. Зробити оцінку ефективності існуючої дорожньої мережі визначенням поняття коефіцієнту прямолінійності та його розрахунку для обраної мережі.

### **4. Дослідження існуючих рішень проблеми**

На даному етапі розвитку наукових підходів щодо визначення параметрів функціонування транспорту запропоновано багато різноманітних підходів [3]. У роботі [4] визначено, що доступність реалізації пасажирських транспортних кореспонденцій значно впливає на стан соціального та економічного розвитку суспільства. Математично описано залежність транспортних кореспонденцій на маршрутах з урахуванням соціальних складових. В роботі [5] вирішене питання моделювання системи міжміських пасажирських перевезень. В визначених роботах відстань їздки вузлами транспортної мережі є фактором супротиву реалізації потенційної кореспонденції між містами.

Автором роботи [6] розглядалися фактори впливу на формування вартості залізничних вантажних перевезень. Визначено, що довжина перегону вантажної їздки прямо пропорційно збільшує витрати на транспортування. Дослідження собівартості й вартості залізничних перевезень розкрито й в роботі [7], в якій автор визначає необхідність зменшень довжин технологічних перегонів вагонів й сформованого складу для зменшення витрат на здійснення, як пасажирських, так і вантажних перевезень.

В роботі [8] авторами надано визначення, за яким транспортна інфраструктура є транспортна мережа, яка складається з вузлів та дуг. В роботі [9] визначено, що моделі транспортної мережі має на меті опис транспортних комунікацій (автомобільних та залізничних доріг, водних й авіаційних маршрутів) у вигляді зв'язаного графу. Одночасно, авторами визначено, що маршрутна мережа складається з вузлів та дуг, а іноді містить й маршрути. Опіраючись на такі висновки, авторами [9] пропонується опис вузлів точками, дуг – полілініями й реалізувати такі моделі за допомогою географічних інформаційних систем. В роботі [10] наведено вирішення завдання моделювання транспортних процесів, яке у тому числі спирається на теорію графів, застосовану відносно дорожніх мереж. У даному випадку розглянуто в якості вузлів перехрестя, кінець та початок дуг (вулиць), а в якості розміру

графу прийнято фактичні відстані між вузлами – границями графу.

В роботі [11] запропоновано й реалізовано вирішення питання щодо аналізу транспортних мереж за допомогою застосування геоінформаційних технологій. Результатами розгляду сучасних інформаційних систем, що застосовуються в інженерних мережах займалися автори роботи [12]. На їхню думку, з запропонованих сучасністю систем для використання в роботі з інженерними мережами є системи автоматизованого проектування та геоінформаційні системи. Знайшли своє місце для застосування при аналізі транспортних мереж геоінформаційні системи й в роботі авторів [13]. Результатами свого дослідження автори визначили ефективність інтеграції математичних методів графового аналізу із геоінформаційними системами для планування транспортних мереж та управління дорожнім рухом. В роботі [14] розглянуто питання застосування геоінформаційних системи для вирішення завдань оцінки транспортного забезпечення регіону. Автором роботи [15] оцінено вплив розвитку транспортної мережі на економічний розвиток регіону, а в роботі [16] вирішено питання надання оцінки впливу транспортної інфраструктури на соціально-економічний розвиток регіону. За результатами проведеного дослідження автором роботи [17] отримано висновок щодо перспективності реалізації математичних методів редукції графів засобами ГІС в частині планування транспортних мереж. В роботі [17] авторами за допомогою засобів ГІС розглянуте питання оцінювання малюнку маршрутної мережі міста шляхом визначення загальної довжини мережі в квадратному кілометрі.

За результатами проведеного аналізу встановлено, що на даний час не достатньо вивчене питання визначення впливу параметрів дорожніх мереж на економічний та соціальний стан регіонів. Не в повній мірі також вивчено питання визначення якості рисунку дорожніх мереж й відповідності існуючих рисунків до оптимальних.

## 5. Методи дослідження

Для визначення показників ефективності дорожніх мереж, впливу розвитку дорожньої мережі на соціальні та економічні показники запропоновано використовувати методи системного аналізу. Фактичний стан розвитку дорожніх мереж запропоновано визначити із застосуванням засобів геоінформаційних систем на прикладі України.

Автором роботи [17] визначено щільність дорожньої мережі в якості її основного показника. Запропоновано обрахування сумарних суспільних витрат на перевезення за залежністю (1).

$$C_{\text{шт}}HT^{\text{ЗВ}} + C_6 \delta F_C = Z \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $C_{\text{шт}}$  – вартість години транспортного часу, грн./год.;  $Z$  – сумарні суспільні витрати на перевезення, грн.;

$H$  – кількість їздок на рік, од.;

$C_6$  – вартість будівництва та експлуатації одного кілометра дорожньої мережі, грн.;

$\delta$  – щільність транспортної мережі, 1/км;

$F_C$  – селітебна площа міста, км<sup>2</sup>;

$T^{se}$  – зведений час поїздки середньої дальності, год.

З наведеного зрозуміло, що дорожня мережа впливає на щільність й зведений час поїздки середньої дальності.

Не викликає сумніву, що зведений час поїздки середньої дальності залежить від довжини поїздки середньої дальності, яка в свою чергу обумовлюється особливостями рисунку дорожньої мережі.

За даних умов справедливе ствердження, що оптимальним зведеним часом поїздки середньої дальності є мінімальний такий час. Мінімізацію зведеного часу поїздки середньої дальності можна забезпечити збільшенням швидкості їздки або зменшенням її дальності.

Швидкість їздки є кількісним відображенням комплексу взаємодії набору факторів, серед яких технічні можливості транспортного засобу, дорожні характеристики, кількість й характер зупинок і таке інше. Зменшення дальності їздки досягається визначенням найкоротшого з варіантів маршруту їздки. При плануванні варіантів схем маршрутів сучасні математичні підходи, здебільшого використовують теорію графів.

Проведемо розрахунок матриці найкоротших відстаней між обласними центрами України. Для цього використаємо програмне забезпечення ArcGIS (США) й моделі автомобільних та залізничних мереж України. Наступним етапом розрахуємо географічні відстані між обласними центрами України. Результати розрахунків зведено у табл. 1.

**Таблиця 1**

Матриця географічних та дійсних відстаней між вузлами транспортної мережі України

№ транспортно ого вузла	Відстань між транспортними вузлами в існуючій мережі, км						
	1	2	3	---	23	24	25
1	0,00	615,58	902,68	---	354,36	396,61	285,03
2	484	0,00	287,09	---	367,02	604,27	884,40
3	693	209	0,00	---	654,11	852,00	1171,50
4	115	500	705	---	359,11	290,92	366,35
5	519	77	193	---	442,41	693,60	959,79
---	---	---	---	---	---	---	---
21	419	272	419	---	388,88	721,19	809,73
22	111	595	804	---	496,94	476,51	180,75
23	258	241	446	---	0,00	363,98	636,07
24	318	429	603	---	236	0,00	657,26
25	217	673	879	---	467	522	0,00
№ транспортно ого вузла	1	2	3	---	23	24	25
	Географічна відстань між транспортними вузлами існуючої мережі, км						

За отриманими результатами можна провести розрахунок коефіцієнту прямолінійності дослідженої дорожньої мережі:

$$k_{ПРМЕР} = 1 - (L_{мар\ min} / L_{geo}), \quad (2)$$

де  $k_{ПРМЕР}$  – коефіцієнт прямолінійності дорожньої мережі;

$L_{мар\ min}$  – мінімальна довжина маршруту між вузлами мережі, км;

$L_{geo}$  – географічна відстань між вузлами, км.

Проведено розрахунки показників коефіцієнту прямолінійності дорожньої мережі для кожного з вузлів дослідженої мережі, результати зведено в табл. 2.

**Таблиця 2**

Розрахункові значення коефіцієнту прямолінійності дорожньої мережі

$k_{ПРМЕР}$  для кожної пари вузлів дослідженої системи

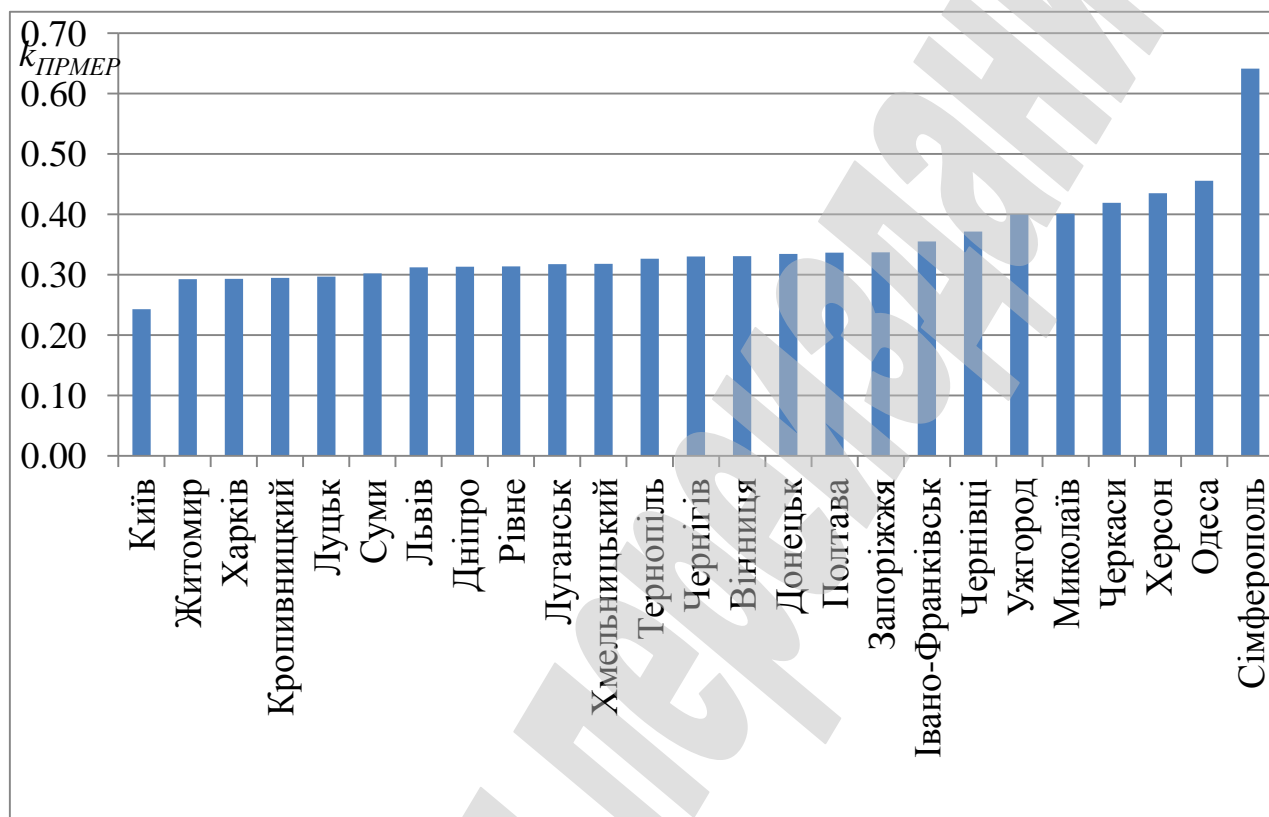
№ транс портного вузла	Значення коефіцієнту прямолінійності дорожньої мережі $k_{ПРМЕР}$													
	1	2	3	4	5	6	7	---	20	21	22	23	24	25
1	0,00	0,27	0,30	0,40	0,33	0,37	0,34	---	0,34	0,33	0,28	0,37	0,25	0,31
2	–	0,00	0,37	0,36	0,26	0,30	0,37	---	0,40	0,27	0,27	0,52	0,41	0,31
3	–	–	0,00	0,34	0,31	0,32	0,36	---	0,41	0,33	0,30	0,47	0,41	0,33
4	–	–	–	0,00	0,40	0,24	0,11	---	0,23	0,33	0,20	0,39	0,29	0,23
5	–	–	–	–	0,00	0,35	0,41	---	0,31	0,36	0,32	0,50	0,39	0,39
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
22	–	–	–	–	–	–	–	---	–	–	0,00	0,36	0,25	0,23
23	–	–	–	–	–	–	–	---	–	–	–	0,00	0,54	0,36
24	–	–	–	–	–	–	–	---	–	–	–	–	0,00	0,26
25	–	–	–	–	–	–	–	---	–	–	–	–	–	0,00

Отримані значення коефіцієнту прямолінійності дорожньої мережі для кожної пари вузлів дослідженої системи надають відомості щодо якості малюнку розглянутої мережі. Фактичні значення якості малюнку дорожньої мережі визначають пріоритетні напрями її розвитку. За допомогою залежності (1) визначено розрахунок сумарних суспільні витрати на перевезення. Вартість години транспортного часу є складовою даної залежності та є похідною, у тому числі, від пробігу транспортних засобів. Цим обумовлено можливість визначення потенційних суспільних витрат на перевезення відносно окремих транспортних вузлів дорожньої мережі.

## 6. Результати досліджень

З проведених розрахунків можна обчислити середнє значення коефіцієнту

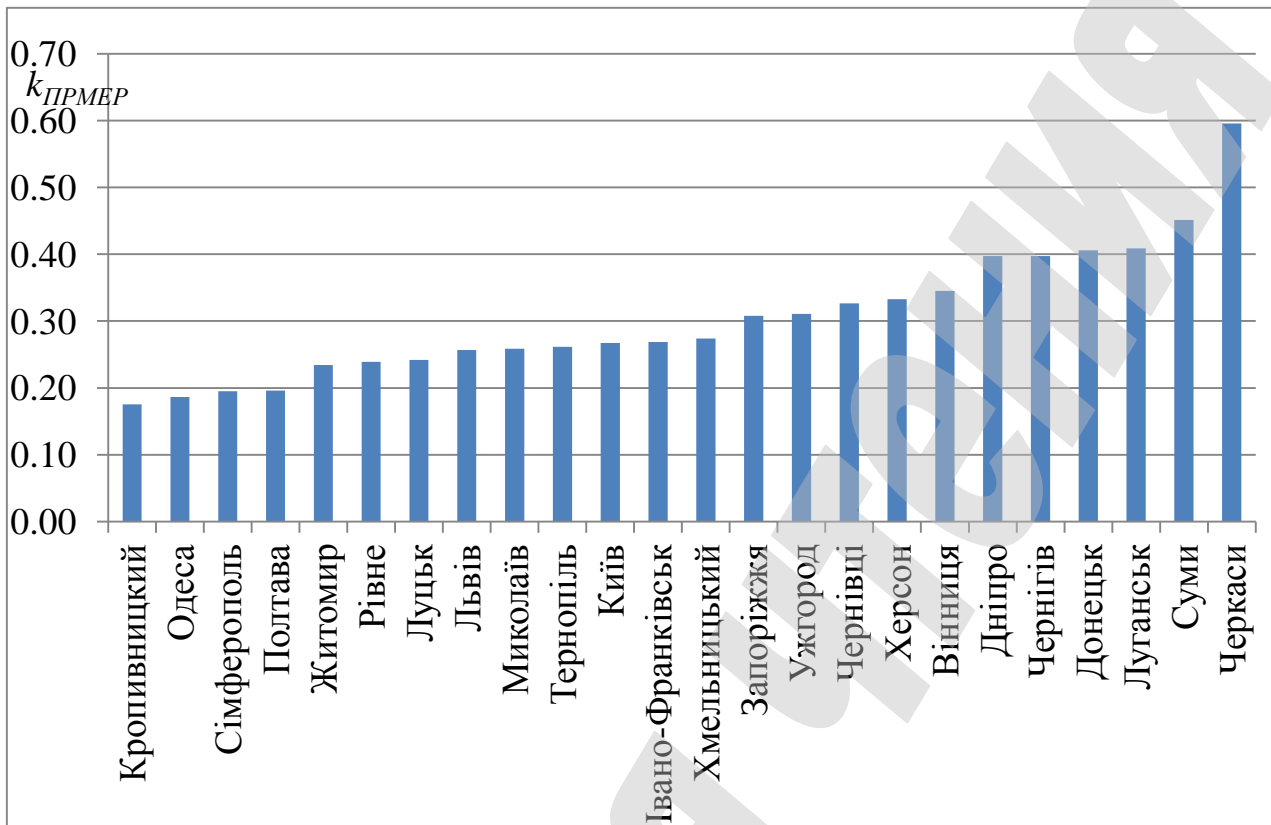
прямолінійності дорожньої мережі  $k_{ПРМЕР}$  для кожного з вузлів. За результатами отриманих значень побудовано гістограму, наведену на рис. 1, в якій міста – обласні центри України відповідають транспортним вузлам дослідженої мережі.



**Рис. 1.** Значення середнього коефіцієнту прямолінійності дорожньої мережі України

З рис. 1 можна зробити висновок, що перевезення в Херсон, Одесу чи Сімферополь здійснюються за маршрутами, які в середньому на 44 %, 46 % та 64 % більші, аніж можливі у разі наявності відповідної дорожньої мережі. Оптимальний рисунок дорожньої мережі має по відношенню до Києва, Житомиру та Харкова. У даному випадку значення коефіцієнту прямолінійності дорожньої мережі  $k_{ПРМЕР}$  0,24; 0,29 та 0,29 відповідно.

Аналогічно проведені розрахунки значення коефіцієнту прямолінійності дорожньої мережі  $k_{ПРМЕР}$  для м. Харкова відносно інших обласних центрів країни. За отриманими результатами побудовано діаграму, надану на рис. 2.



**Рис. 2.** Значення коефіцієнту прямолінійності дорожньої мережі  $k_{ДРМЕР}$  для м. Харкова

З рис. 2 можна зробити висновки, що в існуючій дорожній мережі України, можливо побудувати такі маршрути між містами Харків та Кіровоград, який на 18 % довший, ніж географічна відстань між даними вузлами мережі. Одночасно із цим, досліджена дорожня мережа пропонує організацію сполучення між містами Харків та Черкаси із значенням коефіцієнту прямолінійності дорожньої мережі 0,6.

## 7. SWOT-аналіз результатів дослідження

*Strengths.* Серед сильних сторін даного дослідження можна віднести можливість застосування визначеного коефіцієнту прямолінійності дорожньої мережі при оцінці варіантів розміщення місць виготовлення продукції. Це забезпечить можливість мінімізації транспортної складової в кінцевій вартості продукції, що матиме позитивні соціально-економічні наслідки. Отримано нові відомості про донині не вивчені характеристики дорожньої мережі України.

*Weaknesses.* До недоліків проведеного дослідження та отриманих результатів можна віднести незабезпечення врахування факту наявної в Україні мережі залізничних шляхів. Однак, слід зазначити, що метою роботи було визначено вивчення впливу малюнку дорожньої мережі на основні показники функціонування транспортного процесу. Враховуючи факт отримання більшого розповсюдження автомобільних аніж залізничних шляхів, можна вважати, що мета роботи є виконаною. Також, під час дослідження розглянуто найкоротші варіанти сполучень транспортних вузлів, що реалізовано із урахуванням можливості їздки по всіх автомобільних шляхах. Це призводить до встановлення найкоротших маршрутів, які

назавжди є найшвидшими. Слід визначити, що впровадження отриманих результатів дослідження не нестиме додаткових фінансових навантажень на транспортні підприємства або пасажирів.

*Opportunities.* Точно розраховане значення коефіцієнту прямолінійності дорожньої мережі надає можливість забезпечити планування розвитку об'єктів інфраструктури транспорту. Для забезпечення потреб населення країни в задоволенні потреб транспортування в межах дослідженої системи. Одночасно мається можливість підвищення якості фінансових потоків виробництв за рахунок оптимізації розподілу ресурсів.

*Threats.* Є труднощі, пов'язані із застосуванням отриманих результатів дослідження. Це пов'язано із процесами оптимізації обраної моделі дорожньої мережі введенням в неї додаткових дуг. Пропонується реалізація потреб з переміщення між вузлами мережі за найкоротшим з варіантів сполучення, що може призвести до користування дугами мережі із відносно низькою швидкістю сполучення. Це може призвести до збільшення загального часу їздки.

## 8. Висновки

1. Для визначення показників ефективності дорожніх мереж, впливу розвитку дорожньої мережі на соціальні та економічні показники запропоновано використовувати методи системного аналізу. Фактичний стан розвитку дорожніх мереж визначити із застосуванням засобів геоінформаційних систем на прикладі України. При плануванні варіантів схем маршрутів сучасні математичні підходи, здебільшого, використовують теорію графів. Проведено розрахунок матриці найкоротших відстаней між обласними центрами України. У результаті дослідження показано, що перевезення в Херсон, Одесу чи Сімферополь здійснюються за маршрутами, які в середньому на 44 %, 46 % та 64 % більші, аніж можливі у разі наявності відповідної дорожньої мережі

2. Визначено, що якість рисунку транспортної мережі можна описати коефіцієнтом прямолінійності. Надано визначення коефіцієнту прямолінійності дорожньої мережі. Розрахунками значень встановлено, що у розглянутій мережі даний коефіцієнт приймає значення від 0,24 до 0,64. Досліджена дорожня мережа пропонує організацію сполучення між містами Харків та Черкаси із значенням коефіцієнту прямолінійності дорожньої мережі 0,6.

## Література

1. Dolya, V. Pasazhyrski perevezennia [Text] / V. Dolya. – Kharkiv: Fort, 2011. – 503 p.
2. Mahjoub, Y. I. Modeling a bus network for passengers transportation management using colored Petri nets and (max, +) algebra [Text] / Y. I. Mahjoub, E. H. C. El-Alaoui, A. Nait-Sidi-Moh // Procedia Computer Science. – 2017. – Vol. 109. – P. 576–583. doi:[10.1016/j.procs.2017.05.344](https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.05.344)
3. Dolya, C. Investigation of approaches to modeling of intercity passenger transportation system [Text] / C. Dolya, A. Botsman, V. Kozhyna // Technology audit and production reserves. – 2017. – Vol. 4, No. 2 (36). – P. 24–28. doi:[10.15587/2312-8372.2017.108889](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.108889)



4. Dolya, C. Modeling of passenger transport correspondence between regional centers in Ukraine [Text] / C. Dolya // Technology audit and production reserves. – 2017. – Vol. 1, No. 2 (33). – P. 44–48. doi:[10.15587/2312-8372.2017.93458](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.93458)
5. Dolya, C. Modeling of intercity passenger transportation system [Text] / C. Dolya // Technology audit and production reserves. – 2017. – Vol. 2, No. 2 (34). – P. 37–43. doi:[10.15587/2312-8372.2017.100465](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.100465)
6. Nekrasova, O. I. Formirovanie tarifov transportnyh predpriatii na rynke gruzovyh zheleznodorozhnyh perezovok [Text] / O. I. Nekrasova. – Vladivostok: Admiral Nevelskoy Maritime State University, 2011. – 174 p.
7. Mihaltsev, E. V. Sebestoimost' zheleznodorozhnyh perezovok [Text] / E. V. Mihaltsev. – Gosudarstvennoe transportnoe zheleznodorozhnoe izdatel'stvo, 1957. – 415 p.
8. Semina, I. A. The nature and characteristics of the concept of «transport infrastructure» [Text] / I. A. Semina, L. N. Folomejkina, D. F. Salkaeva // Sworld Collected Works. – 2012. – Vol. 35, No. 3. – P. 41–45.
9. Skvortsov, A. V. Geographical information system in road industry: Reference encyclopedia of roadman. Vol. VI [Text] / A. V. Skvortsov, P. I. Pospelov, V. N. Boykov, S. P. Krysin. – Informavtodor, 2006. – 372 p. doi:[10.17273/book.2006.2](https://doi.org/10.17273/book.2006.2)
10. Gasnikov, A. V. Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie transportnyh potokov [Text] / A. V. Gasnikov, S. L. Klenov, E. A. Nurminskii, Ya. A. Holodov, N. B. Shamrai; ed. by A. V. Gasnikov. – Moscow: Moscow Physical Technical Institute, 2017. – 362 p.
11. Sarychev, D. S. Primenenie grafovyyh modelei dlia analiza inzhenernyh setei [Text] / D. S. Sarychev, A. V. Skvortsov, S. G. Sliusarenko // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2002. – No. 275. – P. 70–74.
12. Sarychev, D. S. Sovremennye informatsionnye sistemy dlia inzhenernyh setei [Text] / D. S. Sarychev // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2003. – No. 280. – P. 358–361.
13. Purtov, A. M. Integratsiia tehnologii GIS i metoda reduksii grafov dlia analiza transportnyh setei [Text] / A. M. Purtov // Omskii nauchnyi vestnik. – 2011. – No. 1 (97). – P. 164–168.
14. Sarancha, M. A. Otsenka transportnoi obespechennosti territorii Udmurtskoi Respubliki s ispol'zovaniem GIS dlia tselei turistsko-rekreatsionnyh issledovaniy [Text] / M. A. Sarancha // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya «Biologiya. Nauki o Zemle». – 2010. – No. 2. – P. 64–68.
15. Ilina, E. A. Otsenka vliianiia razvitiia transportnoi seti na ekonomicheskoe razvitie regiona [Text] / E. A. Ilina // Ars Administrandi. – 2013. – No. 2. – P. 91–97.
16. Golskaia, Yu. N. Otsenka vliianiia transportnoi infrastruktury na sotsial'no-ekonomicheskoe razvitie regiona [Text]: PhD thesis / Yu. N. Golskaia. – Ekaterinburg, 2013. – 24 p.
17. Purtov, A. M. Integration of GIS technology and method of graph reduction analysis of transport networks [Text] / A. M. Purtov // Omskii nauchnyi vestnik. – 2011. – No. 1 (97). – P. 164–168.