

О.О. Воронков, С.М. Кобзан, О.Є. Поморцева

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

ГЕОІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ

У статті приведено характеристика об'єкта моделювання, визначено його особливості та вимоги до моделі. Як результат опрацювання інформаційної бази засобами геоінформаційного моделювання створено цифрову модель транспортної мережі з використанням програмного засобу QGIS. Як джерело вихідних просторових даних застосовано інтернет-ресурс OpenStreetMap. З використанням побудованої моделі вирішено низку завдань геоінформаційного аналізу.

Ключові слова: транспортна мережа, геоінформаційна система, моделювання, оптимізація маршруту, найкоротша відстань.

Постановка проблеми

Стійке та ефективне функціонування транспортної галузі є необхідною умовою високих та стійких темпів економічного зростання держави, забезпечення цілісності його території, просторової безпеки та підвищення якості життя населення. Всеосяжна і точна інформація про транспортну інфраструктуру має важливе значення для ефективного управління і планування транспортної мережі.

Геоінформаційне моделювання транспортної мережі є процесом створення цифрового відображення і аналізу транспортної інфраструктури з використанням географічної інформації. Це дозволяє зрозуміти взаємозв'язки та взаємодію різних компонентів мережі, включаючи дороги, вулиці, зупинки громадського транспорту та інші об'єкти. Геоінформаційне моделювання також надає засоби для аналізу потоків транспорту, прогнозування майбутнього розвитку мережі та планування відповідних заходів для поліпшення транспортної системи.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В огляді представлені ключові статті та дослідження, які дозволяють зрозуміти актуальні тенденції та досягнення у досліджуваній галузі.

У статті [1] розглянуто економіко-математичну гравітаційну модель прогнозу пасажирсько-транспортної взаємодії між містами досліджуваних територій та здійснено аналіз програмних продуктів для моделювання транспортних потоків. Робота [2] присвячена вирішенню проблеми перевантаженості транспортних мереж шляхом підвищення їх ефективності засобами геоінформаційних технологій. У публікації [3] представлено систему підтримки прийняття рішень на основі

геоінформаційних технологій для вирішення складних транспортних завдань. Автори зазначають, що функції мережного аналізу пропріетарного програмного забезпечення та програмного забезпечення з відкритим вихідним кодом надають менеджерам ефективні методи визначення найкоротшого маршруту пожежного доступу та доступних лісових масивів для наземних груп з урахуванням критичного часу реагування. У статті [4] зроблено спробу представити потенціал географічних інформаційних систем для моделювання транспортних технологій. Авторами визначено три складові транспортного моделювання, в яких просторова перспектива може значно сприяти більш ефективному процесу моделювання та одержанню більш надійних результатів. В роботі [5] наведено результати дослідження впливу пандемії COVID-19 на міський транспорт із використанням мультимодальних даних на прикладі міста Пекін у Китаї. Автори статті звернули увагу на те, що пандемія COVID-19 значно змінила мобільність та транспортну активність у містах по всьому світу. У їхньому дослідженні вони розглядають місто Пекін та досліджують, як епідемія вплинула на різні види міського транспорту, включаючи автомобілі, громадський транспорт та велосипеди. У публікації [6] представлено модель просторової взаємодії на основі відкритих даних для оцінки потенційних пасажирських потоків автобусів у великих міських районах.

У статті [7] подано аналіз міської доступності на основі траєкторних даних загального користування велосипедами з використанням геоінформаційних систем.

Авторами робіт [8-10] представлено геоінформаційні моделі, що дозволяють вивчати доступність громадського транспорту та

прогнозувати трафік у системі загального користування велосипедами.

Праця [11] демонструє метод оцінки часу поїздки з використанням даних GPS і геоінформаційних технологій.

У статті [12] представлені принципи планування громадського транспорту на основі ГІС, включаючи аналіз попиту, маршрутизацію та оптимізацію мережі.

У статті [13] розглянуто особливості застосування геоінформаційних систем. Визначені основні транспортні завдання, які можуть ефективно вирішуватися за допомогою ГІС. Сформульовані базові принципи ГІС технологій на транспорті. Обґрунтовано питання необхідності застосування ГІС в процесах прийняття рішень при управлінні об'єктами транспортної системи.

Мета статті

Мета статті полягає у представленні цифрової моделі транспортної мережі та вирішенню низки завдань геоінформаційного аналізу.

Виклад основного матеріалу

Як об'єкт моделювання обрано транспортну мережу Лозівського району Харківської області. Лозівський район розташований на півдні Харківської області у степовій кліматичній зоні. Межує з Первомайським, Сахновщинським, Балаклійським, Барвінківським, Близнюківським районами Харківської області та Юр'ївським районом Дніпропетровської області.

Автотранспортне забезпечення в Лозівському районі забезпечено мережею восьми міських та двадцяти шести приміських пасажирських автобусних маршрутів загального користування, які обслуговують два автотранспортних підприємства та три фізичні особи-підприємці [14]. Транспортна система Лозівського району містить два крупних складники – залізницю та мережу автомобільних доріг. Лозова є крупним залізничним вузлом, який щодоби приймає до 40 поїздів обласного, міжобласного та міжнародного сполучення. Залізничний транспорт представляють десять організацій та структурних підрозділів Південної залізниці, експлуатаційна довжина залізничних ліній становить 87 км.

Транспортна мережа автомобільних доріг із твердим покриттям загального, обласного та місцевого значення має протяжність 474 км.

Користувачам транспортної інфраструктури необхідне середовище, в якому ГІС та пов'язані з ними технології повністю інтегровані, що дозволяє користувачам безперешкодно працювати на всіх етапах життєвого циклу. Споживачі вимагають швидкого, дружнього навколишнього середовища

дизайну до їх функцій роботи для того, щоб виконати її з максимальною ефективністю.

Особливість транспортних мереж, що полягає у їх територіальній розподіленості, робить їх ідеальним об'єктом для моделювання саме засобами геоінформаційних систем. Взагалі кажучи, геоінформаційні технології створюють оптимальну платформу для аналізу та обґрунтування комплексних рішень у сфері транспорту. Просторова складова є природною основою інтеграції завдань управління транспортною інфраструктурою, рішення розрахункових задач, задач оперативного управління, навігації та ін.

Формування моделі дорожньої мережі Лозівського району виконано на підставі даних інтернет-сервісу Open Street Map (OSM). Цей ресурс містить детальну і безкоштовну інформацію, доступ до даних OSM у ГІС-форматі інтегрований із програмним забезпеченням QGIS. Тому як інструмент моделювання застосовано саме цей програмний продукт.

Отримання даних полягає у попередньому визначенні топологічної області, для якої потрібні дані, тобто дані саме для території Лозівського району. Для цього за допомогою модуля «OSM place search» у QGIS створений векторний шар та завантажені до нього адміністративні межі Лозівського району з карти OSM.

На рисунку 1 представлена геоінформаційна модель транспортної мережі.



Рис. 1. Геоінформаційна модель транспортної мережі Лозівського району Харківської області

Створена модель дає змогу виконати мережевий аналіз, який є потужним інструментом дослідження та оптимізації транспортної інфраструктури, що сприяє більш ефективному управлінню дорожнім рухом та підвищенню якості життя. В даній роботі представлено результати основних видів мережевого аналізу.

На рисунку 2 представлений результат

моделювання найкоротшого шляху між селищами Святушине та Нестелівка Лозівського району.



Рис. 2. Результат моделювання найкоротшої відстані між двома населеними пунктами

	start_id	end_id	total_cost	start_coord	start ENTR	end_coord	end_exit_c	cost_on_gr
1	A	B	57997,2028472	36.558725, 49.2...	16,1582909	36.248362, 48.8...	8,6525409	57972,3920154

Рис. 3. Атрибути шару з результатами моделювання найкоротшої відстані між двома точками



Рис. 4. Результат моделювання найкоротших відстаней від населених пунктів району до районного центру

На рисунку 5 представлено таблицю атрибутів шару, створеного за результатом моделювання найкоротших відстаней від населених пунктів району до районного центру.

Аналізуючи таблицю відстаней можна зробити висновок, що найкоротшу відстань до районного центру має населений пункт Лісівське – 3,6 км, а найдовшу – населений пункт Зелений Гай – 50,5 км.

Таким чином, можливо говорити о придатності побудованої моделі для проведення різних видів аналізу транспортної мережі Лозівського району Харківської області, обраної для дослідження.

На рисунку 3 представлена таблиця атрибутів шару з результатами моделювання найкоротшого шляху між селищами Святушине та Нестелівка Лозівського району.

Так бачимо, що загальна довжина найкоротшого маршруту складає 57,972 кілометра.

Також в роботі проведено моделювання найкоротших відстаней від населених пунктів Лозівського району Харківській області до міста Лозова, як районного центру. Для цього було використано алгоритм мережевого аналізу «Найкоротший шлях (шар до точки)». Як шар мережі доріг застосований шар «Автомобільні дороги», а за шар вихідних пунктів – шар «Населені пункти». Результат моделювання наведено на рисунку 4.

Висновки

Представлена у даній статті геоінформаційна модель є придатною для проведення дослідження стану та вирішення питань розвитку та управління транспортною мережею Лозівського району харківської області.

Геоінформаційне моделювання має кілька переваг у порівнянні з іншими підходами до аналізу та планування транспортних систем:

1. Облік просторових даних: ГІС дозволяє враховувати географічні обмеження та особливості території під час моделювання транспортної мережі. Це дозволяє отримувати більш реалістичні та точні результати з огляду на особливості місцевості, наприклад, рельєф, річки, парки та інші перешкоди.

2. Інтеграція різних даних: Геоінформаційне моделювання дозволяє інтегрувати різні типи даних, такі як дані про транспортну інфраструктуру, географічні дані, дані про пасажиропотоки, час поїздок та інші соціально-економічні чинники. Це забезпечує більш повну та всебічну картину транспортної ситуації та допомагає приймати більш обґрунтовані рішення..

3. Візуалізація та аналіз: ГІС надає потужні інструменти візуалізації, які дозволяють аналізувати та розуміти дані про транспортну мережу в наочній формі. Це спрощує процес прийняття рішень та дозволяє дослідникам та планувальникам представляти складні проблеми у зрозумілій та

зручній формі.

Кратчайший путь — всего объектов: 88, отфильтровано: 88, выделено: 1

	osm_id	fclass	population	name	start	end	cost
1	337568306	village	52	Бакшарівка	36.5992926, 49.0...	36.316551, 48.8...	0,48442608165...
2	337575214	village	60	Барабашівка	36.2416609, 49.0...	36.316551, 48.8...	0,23491496226...
3	337584177	locality	0	Берестове	36.3264757, 48.8...	36.316551, 48.8...	0,22886301405...
4	337573165	village	36	Благодатне	36.5851469, 49.0...	36.316551, 48.8...	0,29994658528...
5	337572910	village	141	Богомолівка	36.550831, 49.0...	36.316551, 48.8...	0,29205315340...
6	337571105	village	209	Браїлівка	36.34277, 49.12...	36.316551, 48.8...	0,26635745768...
7	337579663	village	61	Братолубівка	36.436161, 48.9...	36.316551, 48.8...	0,11030058715...
8	337574241	village	201	Бритаї	36.500137, 49.0...	36.316551, 48.8...	0,24140635132...
9	337566046	village	658	Бунакове	36.520962, 49.2...	36.316551, 48.8...	0,48103741503...
10	337585135	hamlet	7	Варламіївка	36.0760872, 48.8...	36.316551, 48.8...	0,27416016169...
11	337585169	village	135	Василівка	36.1152016, 48.8...	36.316551, 48.8...	0,26089888219...
12	337578479	village	427	Веселе	36.392208, 48.9...	36.316551, 48.8...	0,11219535402...
13	337574021	locality	0	Вишневе	36.38843, 49.06...	36.316551, 48.8...	0,24642529300...
14	337577882	village	37	Вільне	36.333508, 48.9...	36.316551, 48.8...	0,11342439733...
15	337575171	village	176	Водолага	36.279598, 49.0...	36.316551, 48.8...	0,18903967260...
16	337575266	village	413	Герсєванівка	36.334881, 49.0...	36.316551, 48.8...	0,17423891919...
17	337580672	village	81	Герсєванівське	36.3731621, 48.8...	36.316551, 48.8...	0,05329180398...
18	337578089	village	67	Городнє	36.515121, 48.9...	36.316551, 48.8...	0,21956141685...
19	337566876	village	2	Горохівка	36.5007222, 49.0...	36.316551, 48.8...	0,49042831257...
20	337576170	village	3	Григоросове	36.159658, 49.0...	36.316551, 48.8...	0,19006090617...
21	337574707	village	18	Дивізійне	36.2616589, 49.0...	36.316551, 48.8...	0,20783936612...
22	337578953	village	85	Довгове	36.414871, 48.9...	36.316551, 48.8...	0,11402278463...
23	337582780	village	1004	Домаха	36.2973365, 48.8...	36.316551, 48.8...	0,18323149544...
24	337568991	village	1165	Єлизаветівка	36.382599, 49.1...	36.316551, 48.8...	0,34614007127...

Рис. 5. Атрибутивні дані шару найкоротших відстаней

4. Прогнозування та оптимізація: Геоінформаційні моделі дозволяють проводити прогнозування та оптимізацію транспортних систем, що сприяє оптимізації маршрутів, дозволяє покращити планування громадського транспорту, вирішити проблему заторів та підвищити ефективність транспортної інфраструктури.

5. Підтримка прийняття рішень: Геоінформаційне моделювання забезпечує фактичні дані та аналітичні інструменти для прийняття обґрунтованих рішень у галузі транспортного планування та управління. Це допомагає владі та організаціям оптимізувати транспортні системи та підвищити якість обслуговування для населення.

Література

1. Олещенко, Л.М. Геоінформаційна модель пасажирсько-транспортної взаємодії мегаполіса з прилеглими

територіями [Електронний ресурс] / Л.М. Олещенко, О.О. Железняк // АВІА-2013 : XI Міжнародна науково-технічна конференція, 21-23 травня 2013 р. – Київ: НАУ, 2013. – С. 275-278. Режим

доступу: <https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/9967/1/15.pdf>

2. Зацерковний В.І. Побудова моделі транспортно-дорожньої мережі Чернігівської області за допомогою геоінформаційних технологій [Електронний ресурс] / В.І. Зацерковний, І.В. Тишаєв, О.В. Кобрін // Наукоємні технології, 2016, 2: 162-168. Режим доступу: <http://surl.li/jqsad>

3. Akay, A.E., Podolskaia, E.S., Aricak, B. (2022). Spatial Modeling of Transport and Resources Accessibility for Protecting Forest Ecosystems Against Forest Fires. In: Suratman, M.N. (eds) *Concepts and Applications of Remote Sensing in Forestry*. Springer, Singapore. 99-114. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4200-6_5

4. Loidl, Martin & Wallentin, Gudrun & Cyganski, Rita & Graser, Anita & Scholz, Johannes & Haslauer, Eva. (2016). GIS and Transport Modeling-Strengthening the Spatial Perspective. *ISPRS International Journal of Geo-Information*.

5. 84. <https://doi.org/10.3390/ijgi5060084>

5. Xu, C., Li, M., & Deng, M. (2021). Evaluating the impact of COVID-19 on urban transportation using multimodal data: A case study of Beijing, China.
6. Gao, S., Zhang, J., & Liu, Y. (2020). Estimating potential bus passenger flows in a large urban area: A spatial interaction model based on open data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(4), 238.
7. Li, G., Cheng, W., & He, Z. (2018). Urban accessibility analysis based on shared bicycle trajectory data. *International Journal of Geographical Information Science*, 32(12), 2357-2376.
8. Yu, M., & Kwan, M. P. (2019). Assessing the impacts of bikeshare station placement on transit accessibility: A case study of Chicago's Divvy bikeshare system. *Journal of Transport Geography*, 78, 153-165.
9. Chen, D., Huang, S., & Zhang, Y. (2017). Predicting short-term passenger demand using deep learning method for bike-sharing systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 85, 591-607.
10. Liu, X., Wang, Y., & Hu, Y. (2015). Traffic prediction in a bike-sharing system using a hybrid model. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, 362-377.
11. Zhang, W., Liu, X., Li, L., & Li, Y. (2016). Travel time estimation on urban road network using taxi GPS data. *Journal of Geographical Sciences*, 26(12), 1727-1744.
12. Chen, C., & Li, X. (2012). Public transport network planning based on GIS. *Procedia Engineering*, 29, 3074-3080.
13. Суворова Н. О. Аналіз застосування ГІС в управлінні транспортними системами / Н. О. Суворова // *Technical sciences The scientific heritage (Budapest, Hungary)* VOL 1, No 60 (60) (2021) p.55-60.
14. Офіційний сайт Лозівської міської ради [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://lozovarada.gov.ua/>

References

1. Oleshchenko, L., Zhelezniak, O. (2013) Heoinformatsiina model pasazhyrsko-transportnoi vzaemodii mehapolisa z prylyhlymy terytoriiamy. AVIA-2013 : KhI Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia, 21-23 travnia 2013 r6 275-278. Retrieved from: <https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/9967/1/15.pdf>
2. Zatserkovnyi, V., Tishaiev, I., & Kobrin, O. (2016). Pobudova modeli transportno-dorozhnoi mrezhzi Chernihivskoi oblasti za dopomohoiu heoinformatsiinykh tekhnolohii. *Naukoiemni tekhnolohii*, (2), 162-168. Retrieved from: <http://surl.li/jqsad>
3. Akay, A.E., Podolskaia, E.S., Aricak, B. (2022). Spatial Modeling of Transport and Resources Accessibility for Protecting Forest Ecosystems Against Forest Fires. In: Suratman, M.N. (eds) *Concepts and Applications of Remote Sensing in Forestry*. Springer, Singapore. 99-114. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4200-6_5
4. Loidl, Martin & Wallentin, Gudrun & Cyganski, Rita & Graser, Anita & Scholz, Johannes & Haslauer, Eva. (2016). GIS and Transport Modeling-Strengthening the Spatial Perspective. *ISPRS International Journal of Geo-Information*.
5. 84. <https://doi.org/10.3390/ijgi5060084>
5. Xu, C., Li, M., & Deng, M. (2021). Evaluating the impact of COVID-19 on urban transportation using multimodal data: A case study of Beijing, China.
6. Gao, S., Zhang, J., & Liu, Y. (2020). Estimating potential bus passenger flows in a large urban area: A spatial interaction model based on open data. *ISPRS International Journal of*

Geo-Information, 9(4), 238.

7. Li, G., Cheng, W., & He, Z. (2018). Urban accessibility analysis based on shared bicycle trajectory data. *International Journal of Geographical Information Science*, 32(12), 2357-2376.
8. Yu, M., & Kwan, M. P. (2019). Assessing the impacts of bikeshare station placement on transit accessibility: A case study of Chicago's Divvy bikeshare system. *Journal of Transport Geography*, 78, 153-165.
9. Chen, D., Huang, S., & Zhang, Y. (2017). Predicting short-term passenger demand using deep learning method for bike-sharing systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 85, 591-607.
10. Liu, X., Wang, Y., & Hu, Y. (2015). Traffic prediction in a bike-sharing system using a hybrid model. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, 362-377.
11. Zhang, W., Liu, X., Li, L., & Li, Y. (2016). Travel time estimation on urban road network using taxi GPS data. *Journal of Geographical Sciences*, 26(12), 1727-1744.
12. Chen, C., & Li, X. (2012). Public transport network planning based on GIS. *Procedia Engineering*, 29, 3074-3080.
13. Suvorova N. (2021) Analysis of GIS application in transport systems management. *Technical sciences The scientific heritage (Budapest, Hungary)*, VOL 1, No 60 (60), p.55-60.
14. Ofitsiinyi sait Lozivskoi miskoi rady. Retrieved from: <https://lozovarada.gov.ua/>

Рецензент: доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем К.А. Мамонов, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

Автор: ВОРОНКОВ Олексій Олександрович
кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – voronkov.oleksii@kname.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6905-0098>

Автор: ПОМОРЦЕВА Олена Євгенівна
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – elenapomor7@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4746-0464>

Автор: КОБЗАН Сергій Маркович
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – s.kobzan@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5257-8117>

GEOINFORMATION MODEL OF THE TRANSPORT NETWORK

O. Voronkov, S. Kobzan, O. Pomortseva

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

The article presents a geo-informational model of the transport network of the Lozovsky district of the Kharkiv region. An analysis of the modeling object was carried out and it was determined that the transport system of the Lozovsky district contains two main components - a network of railway tracks and a network of highways. There are also waterways, but they are not suitable for transportation tasks. At the same time, geoinformation technologies, by their purpose, have descriptive and analytical functions that allow modeling and analysis of any objects. The Internet resource Open Street Map was selected as a data source for spatial modeling of the transport system of the Lozovsky district. This resource contains detailed and free information, access to Open Street Map data in geoinformation format integrated with QGIS software. Therefore, this software product was used as a modeling tool. Using the modules of the software tool selected for modeling, the following layers of the model were created: "District boundaries", "Roads", "Railway", "Railway stations", "Waterways" and "Populations", each of which has attribute data that characterize the properties of the elements of the corresponding layer. As an example of the use of the built model, the main types of network analysis were performed, namely, the shortest routes between settlements located within the selected modeling area were calculated. Modeling of the shortest distances from settlements located on the selected territory to the district center of Lozovsky district of Kharkiv region was also performed. Conclusions were made about the suitability of the built model for analysis and solving issues of optimization of transport infrastructure. The resulting model can be used as a means of supporting decision-making when forming a development strategy. In addition, it has been determined that geographic information modeling is a powerful tool for analyzing and visualizing geographically distributed data and has a wide range of applications, providing great opportunities for analyzing and improving the management of geographic information, including for the study and modeling of transport networks.

Keywords: transport network, geoinformation system, modeling, route optimization, shortest distance.