

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2020.2-60.2>

УДК 656.025.4

**І. Ю. Леснікова**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій та міжнародної логістики Університету митної справи та фінансів

**Н. В. Халіпова**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій та міжнародної логістики Університету митної справи та фінансів

**Є. В. Маленко**, старший викладач кафедри транспортних технологій та міжнародної логістики Університету митної справи та фінансів

**А. А. Зборщенко**, студент Університету митної справи та фінансів

## **ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА МІСЬКИХ І МІЖМІСЬКИХ МАРШРУТАХ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

*Стаття присвячена аналізу стану пасажирських перевезень на основі існуючої транспортної мережі для міст Дніпропетровської області, визначенню моделей та методів розрахунку матриці кореспонденцій пасажирського транспорту. Задача маршрутизації вирішена за умов відповідності вихідної величини трудової ємності районів, отриманої у результаті розподілу кореспонденцій за гравітаційною моделлю для двох сформованих транспортних мереж області. Даний підхід може бути корисним при з'ясуванні ваги окремих населених пунктів регіону при проектуванні дорожньо-транспортної інфраструктури, ремонті доріг та планування маршрутного з'єднання між містами та селами.*

**Ключові слова:** матриця пасажирських кореспонденцій; маршрутизація пасажирських перевезень.

*Статья посвящена анализу состояния пассажирских перевозок на основе существующей транспортной сети городов Днепропетровской области, определению моделей и методов расчета матрицы соответствия пассажирских перевозок. Задача маршрутизации решается в условиях соответствия первоначальной величины трудовой возможности районов, полученной в результате распределения корреспонденции по гравитационной*

**© І. Ю. Леснікова, Н. В.Халіпова, Є. В.Маленко, А. А. Зборщенко, 2020**

---

модели для двух сформированных транспортных сетей региона. Такой подход может быть полезен для того, чтобы выяснить значимость некоторых населенных пунктов региона при проектировании дорожно-транспортной инфраструктуры, ремонте дорог и планировании маршрутного сообщения между городами и селами.

Ключевые слова: матрица пассажирских корреспонденций; моделирование пассажирских перевозок.

*The article is devoted to the analysis of the state of passenger transportation on the basis of the existing transport network for cities in the Dnipropetrovsk region, the definition of models and methods for calculating the matrix of passenger transport correspondence. The problem of calculations of the correspondence matrix for two formed city and intercity transport networks of the Dnepropetrovsk region is solved. Based on the obtained results, possible models for passenger transport routes within the region are proposed.*

*The relevance of the approaches presented in this article is to substantiate the parameters of transportation on urban and interurban routes of Dnipropetrovsk region, which is one of the largest industrial, economic, cultural and historical centers of the country and has a high population density - 100 people / km<sup>2</sup>.*

*Currently, with the increase of the population of megapolises, obviously, the load on their transport systems is growing. In each of them, a fundamentally important task is to monitor and regulate traffic flows, i.e. movements within this system. Mathematically, the movement of passengers within the transport system is described by a matrix of correspondence.*

*The article calculates two matrices of passenger correspondence by gravity method according to the input data. The first - the cities of Dnipropetrovsk region with the largest population, the second - the settlements of Dnipropetrovsk region, which are located around the city of Dnipro and have a small population. The analysis of the results showed that the number of moving working population, is directly proportional to the total population of the city, village, their area and regional significance. The more developed industry, economy, science, culture, the greater the population moves between important cities for the region. The largest settlements of the Dnipropetrovsk region, between which there is a transport connection are the Dnipro, Kryvyi Rih, Kamianske, Nikopol and Pavlohrad; the smallest - Spaske, Loboykivka, Chaplynka.*

*The routing problem is solved under the conditions of correspondence of the initial value of the labor capacity of the districts and the labor capacity obtained as a result of the distribution of correspondence according to the gravitational model. This approach can be useful in determining the weight of individual*

---

*settlements of the region when designing road and traffic infrastructure, repairing roads and planning a route connection between cities and villages.*

*The results of the study are of scientific and practical significance, because they can be used in the design and improvement of transport infrastructure of Dnipropetrovsk region, certain categories of roads in the planning of bus and rail services between cities and villages. Substantiated parameters of urban and interurban passenger traffic make it possible to determine the time of transportation, the number of bus trips and the required number of buses and their dimensions per day. It is desirable to establish the end points of the routes between the largest cities, because this is the connection with the largest number of displaced people. However, the location of small settlements should be considered to meet the transport needs of the entire population of Dnipropetrovsk region with minimal costs and maximum profits.*

*Keywords: matrix of passenger correspondence; modeling of passenger transportation routes.*

**Постановка проблеми.** Основною задачею міжміських та міських пасажирських перевезень є забезпечення транспортом населення, удосконалення перевізного процесу, та покращення якості обслуговування пасажирів [1]. В різних регіонах України існують проблеми у системі пасажирського транспорту, пов'язані із утворенням заторів, незадовільним станом доріг, підвищенням ціни за проїзд, зменшенням безпеки руху та якості надання послуг та ін. [2]. Недостатньо ефективного функціонування транспортно-дорожнього комплексу, низькі темпи впровадження ресурсозберігаючих технологій перешкоджають нормальному функціонуванню міст та їх подальшому розвитку.

Актуальність викладених в даній статті підходів полягає в обґрунтуванні параметрів перевезень на міських і міжміських маршрутах Дніпропетровської області, яка є одним з найбільших промислових, економічних, культурних та історичних центрів країни, та має велику щільність населення – близько 100 осіб/км<sup>2</sup>.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** З розвитком урбанізації, розширенням економіки та зміною кількості населення міст питання аналізу, класифікації та розрахунків пасажирських потоків стає все більш актуальним. Визначення характеристик пересувань населення, як одних з ключових показників для розвитку міських територій, є предметом багатьох дос-

---

ліджень, що проводилися у вітчизняній і закордонній практиці транспортно-го планування. Основним джерелом даних для створення моделі наближеною до реальності є матриця кореспонденцій [3].

Проблему розподілу пасажирських переміщень по вулично-дорожній мережі міста досліджували низка вчених, серед яких Грановський Б.І., Горбачов П.Ф., Гецович Є.М., Любий Є.В., Гончаренко С.Ю., Ю. Шеффі, Н. Оппенхайм, Ж. Ортузар та ін. [4-8].

Відповідно до традиційного підходу, процес транспортного планування системи пасажирських перевезень складається з чотирьох етапів: генерування пересувань (trip generation) – оцінка загальних обсягів прибуття та відправлення з кожної транспортної зони території планування; кореспонденції пересувань (trip correspondence) – отримання матриць кореспонденцій, які визначають обсяги пересувань між кожною парою зон, що досліджуються; розподіл кореспонденцій за типом пересування (modal split); розподіл кореспонденцій за шляхом пересувань (network assignment) [9].

Пасажиропотоки мешканців міста за маршрутами громадського транспорту з використанням масивів даних операторів стільникового зв'язку про транзакції абонентів досліджено в [10]. Дані, що використовуються для формування матриці кореспонденцій, відображають пересування населення (пасажиропотоки).

Підхід до побудови матриць кореспонденцій в системі міського пасажирського транспорту, заснований на використанні інфрачервоних лічильників пасажиропотоку та інтеграції із системою GPS, запропоновано в [11].

**Мета статті.** Метою статті є обґрунтування параметрів пасажирських перевезень міжміськими сполученнями в регіоні, на прикладі Дніпропетровської області, із застосуванням гравітаційного методу при складанні матриці кореспонденцій на основі існуючої транспортної мережі.

Для цього в статті вирішено наступні задачі:

1. Розробити багатокроковий алгоритм маршрутизації пасажирських перевезень в регіоні із застосуванням гравітаційного методу, визначенням ємностей мегарайонів на основі аналізу інформації з доступних джерел.

2. Провести моделювання пасажирських перевезень для міст в Дніпропетровській області для існуючої транспортної мережі.

**Виклад основного матеріалу.** Матриця транспортних кореспонденцій

---

відображає попит в транспортній системі та є необхідною частиною моделювання транспортних мереж. Для вирішення задачі розробки міжміських перевезень пасажирів Дніпропетровської області був застосований гравітаційний алгоритм пошуку матриці пасажирських кореспонденцій [12]. Матриця кореспонденції представляє кількісну характеристику пересувань у межах території планування, елементами якої є обсяги пересувань (автомобілів чи пасажирів за годину, наприклад) між кожною парою умовних транспортних зон. Щоб створити матрицю кореспонденцій у мережі, наближену до реальності, необхідно розбити територію планування на транспортні райони [3, 4], умовно поділяючи на окремі групи – за цілями пересувань, за вибором типу та маршруту пересування, тощо [9]. Для кожної із цих груп пересувань будується окрема матриця міжзональних кореспонденцій, вхідною інформацією для побудови якої є загальні обсяги прибуття і відправлення у кожній зоні [10].

Одним із найскладніших завдань при визначенні характеристик транспортних потоків є саме отримання матриці кореспонденцій. Для створення графічної моделі здійснено укрупнене районування в спосіб, запропонований в [13], з визначенням ємностей мегарайонів та відстаней між їх центрами на основі аналізу наявної інформації відкритих джерел [14–18].

Запропонований алгоритм розрахунку матриці пасажирських кореспонденцій із використанням гравітаційного методу наведено на рис. 1 і 2. Прийняті в блок-схемі позначення (рис. 1 і 2):

$l_{ij}$  – довжина найкоротшого шляху між  $i$ -м та  $j$ -м районами, км;

$V$  – швидкість руху транспортного засобу, км/год;

$N_p$  – кількість мешканців району, тис. чол.;

$H_j$  – трудова ємність району, тис. чол.;

$N_m$  – чисельність населення міста, тис. чол.;

$N$  – кількість робочих місць у районі, тис. чол.;

$\kappa_j$  – коефіцієнт балансування.

Алгоритм містить такі етапи:

Етап I. Формування вихідних даних для вирішення задачі – отримання інформації з доступних джерел та аналіз її особою, що приймає рішення (ОПР). Після перевірки на релевантність формується внутрішня база даних (блоки 1-5).

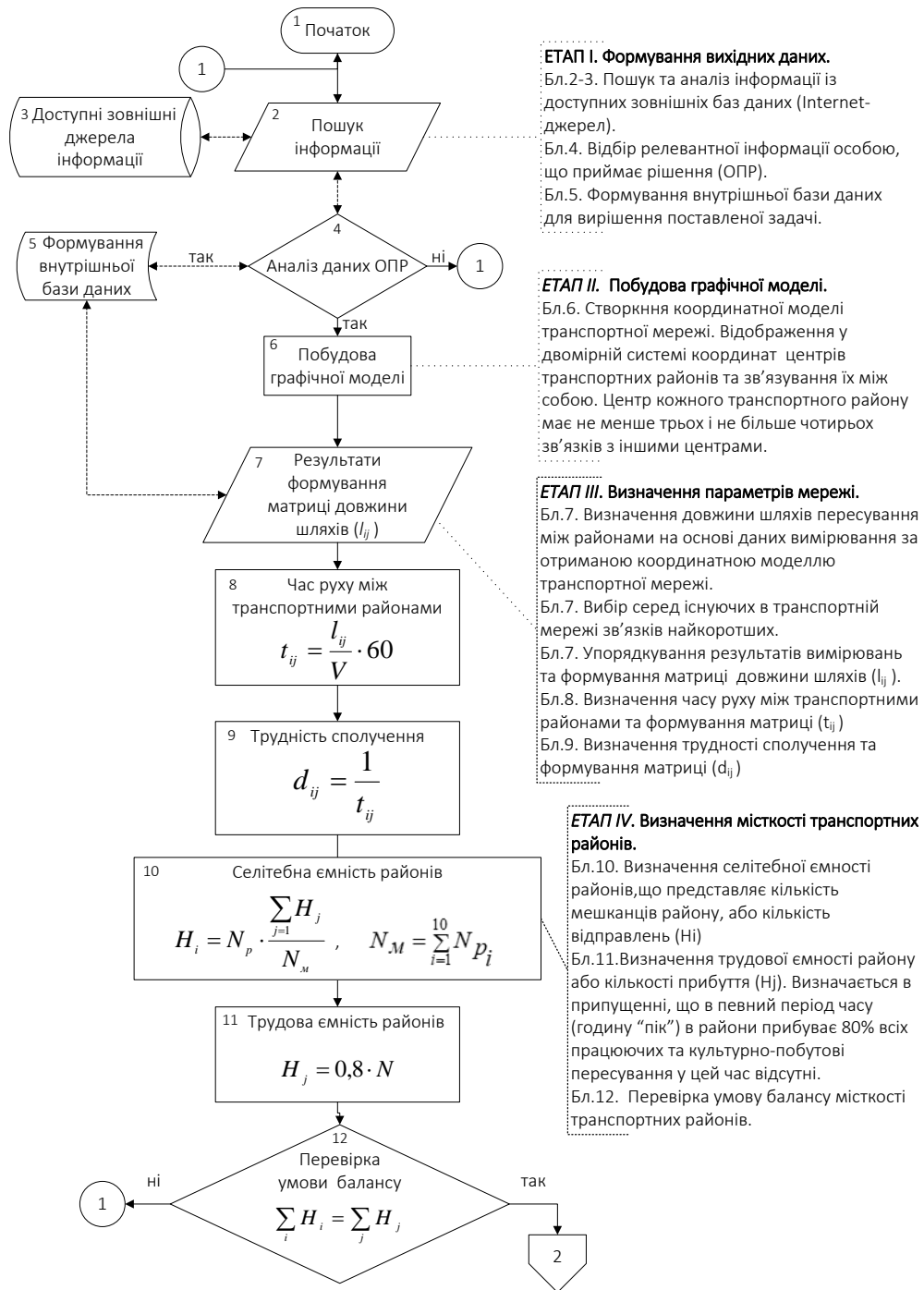


Рис. 1. Блок-схема I – IV етапів алгоритму формування маршрутів пасажирських перевезень на основі гравітаційного методу

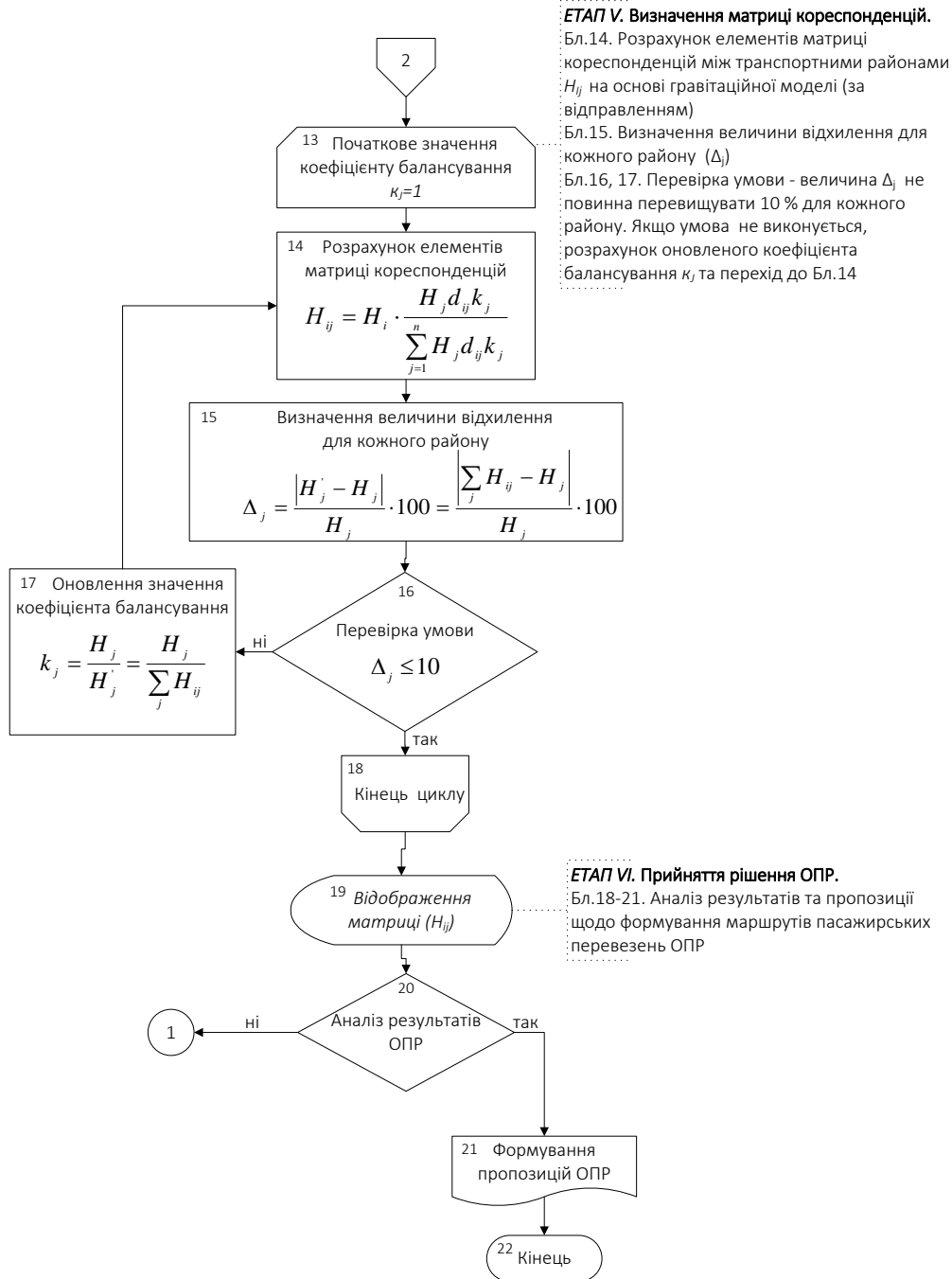


Рис. 2. Блок-схема V –VI етапів алгоритму формування маршрутів пасажирських перевезень на основі гравітаційного методу

---

Етап II. Створення координатної моделі транспортної мережі. Для цього потрібно у двомірній системі координат в масштабі відобразити центри транспортних районів та зв'язати їх між собою, щоб центр кожного транспортного району мав не менше трьох і не більше чотирьох зв'язків з іншими центрами (блок 6).

Етап III. Визначення довжини шляхів пересування між районами на основі даних вимірювання за отриманою координатною моделлю транспортної мережі. Вибір найкоротших зв'язків серед існуючих в транспортній мережі ( $l_{ij}$ ) та їх упорядкування (блок 7).

Визначення часу руху між транспортними районами і труднощі сполучення (блоки 8, 9).

Етап IV. Визначення місткості транспортних районів та перевірка умови балансу (блоки 10-12).

Етап V. Визначення матриці кореспонденцій на основі реалізації ітераційного процесу з оновленням коефіцієнта балансування на кожній ітерації, поки не буде досягнуто задану точність для кожного з районів (блоки 13-18).

Етап VI. Аналіз отриманих рішень ОПР та формування пропозицій щодо маршрутів пасажирських перевезень (блоки 19-21).

Розглянемо застосування алгоритму аналізу кореспонденцій для мережі міст в Дніпропетровській області. Розрахунки проведено в середовищі електронних таблиць Microsoft Excel.

Спершу розглянемо першу десятку населених пунктів, що мають найбільшу чисельність населення.

*Етап 1, 2.* Для обраних населених пунктів дані щодо кількості мешканців та населення, що працює, а також географічні координати ( $X$  – східної довготи,  $Y$  – північної широти) наведені табл. 1 [15, 16]. Координатна модель транспортної мережі представлена рис. 2.

*Етап 3, 4.* Довжину шляхів пересування між районами ( $l_{ij}$ ), отриману на основі вимірювання для існуючих в транспортній мережі зв'язків наведено в табл. 2 [17,18].

Результати розрахунку часу руху між транспортними районами і труднощів сполучення наведені у табл. 3, 4.

Швидкість руху транспортного засобу – 20 км/год. Час на пересування всередині району – 2 хв.



Таблиця 1.

Вхідні дані для аналізу мережі міст Дніпропетровської області з найбільшою кількістю населення [15, 16]

№	Назва міста	Мешканці, тис. осіб $N_{pi}$	Населення, що працює, тис. осіб $H_j$	Координати	
				X, град. сх. д.	У, град. півн.ш
1	Дніпро	1002,1	632,4	35°01'05"	48°28'00"
2	Кривий Ріг	624, 5	301,5	33°20'36"	47°54'31"
3	Кам'янське	233, 3	147,3	34°36'47"	48°30'27"
4	Нікополь	109,03	57,4	34°23'35"	47°33'56"
5	Павлоград	104,3	52,8	35°52'12"	48°31'12"
6	Новомосковськ	70,4	40,6	35°13'26"	48°37'58"
7	Марганець	46, 6	24,1	34°37'00"	47°38'53"
8	Жовті Води	44, 1	21,7	33°30'54"	48°21'24"
9	Покров	39,04	17,6	34°04'52"	47°39'47"
10	Синельникове	37,2	12,7	35°30'43"	48°19'04"

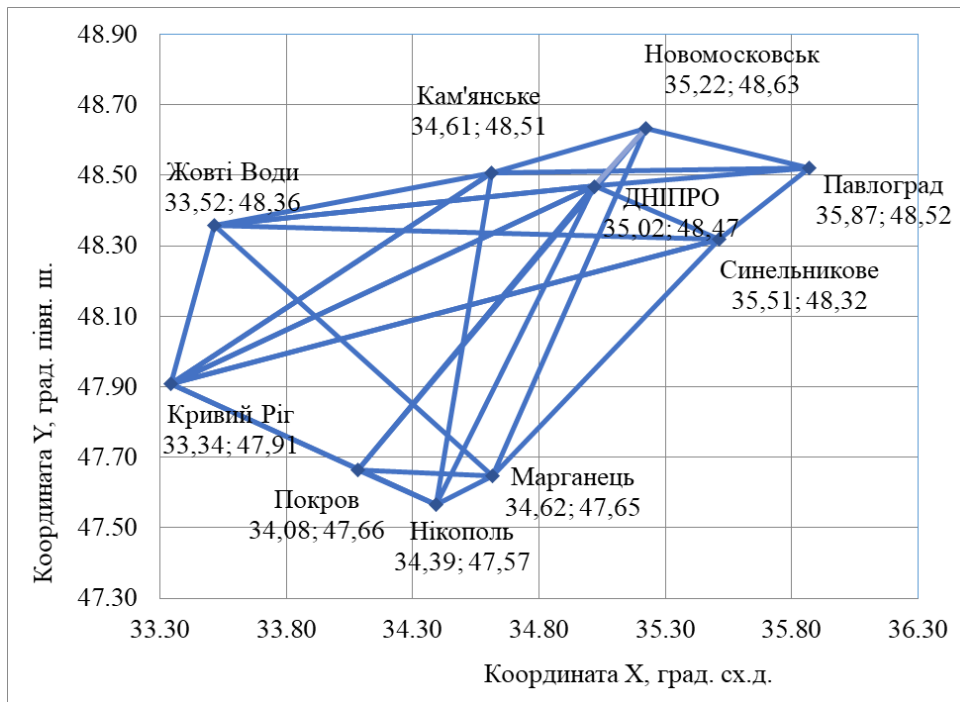


Рис. 2. Графічне відображення транспортної мережі Дніпропетровської області, що мають найбільшу чисельність населення

Таблиця 2.

**Матриця найкоротших шляхів між містами Дніпропетровської області з найбільшою кількістю населення, км**

Номер транспортного району відправлення	Номер транспортного району прибуття									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Дніпро	0	144	38	122	81	30	121	131	147	54
2. Кривий Ріг	144	0	128	106	233	171	134	67	77	195
3. Кам'янське	38	128	0	125	120	69	143	110	132	93
4. Нікополь	122	106	125	0	202	151	29	151	27	150
5. Павлоград	81	233	120	202	0	54	201	207	228	40
6. Новомосковськ	30	171	69	151	54	0	149	155	176	52
7. Марганець	121	134	143	29	201	149	0	150	55	128
8. Жовті Води	131	67	110	151	207	155	150	0	115	173
9. Покров	147	77	132	27	228	176	55	115	0	172
10. Синельникове	54	195	93	150	40	52	128	173	172	0

Таблиця 3.

**Час руху між транспортними районами, хв.**

Номер транспортного району відправлення	Номер транспортного району прибуття									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Дніпро	2	432	114	366	243	90	363	393	441	162
2. Кривий Ріг	432	2	384	318	699	513	402	201	231	585
3. Кам'янське	114	384	2	375	360	207	429	330	396	279
4. Нікополь	366	318	375	2	606	453	87	453	81	450
5. Павлоград	243	699	360	606	2	162	603	621	684	120
6. Новомосковськ	90	513	207	453	162	2	447	465	528	156
7. Марганець	363	402	429	87	603	447	2	450	165	384
8. Жовті Води	393	201	330	453	621	465	450	2	345	519
9. Покров	441	231	396	81	684	528	165	345	2	516
10. Синельникове	162	585	279	450	120	156	384	519	516	2

Результати визначення місткості транспортних районів наведено в табл. 5 (селітебну та трудову ємність району).

Таблиця 4.

**Трудність сполучення між транспортними районами (помножених на  $10^{-3}$ , крім діагональних елементів)**

Номер транспортного району відправлення	Номер транспортного району прибуття									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Дніпро	0.5	2.3	8.8	2.7	4.1	11.1	2.8	2.5	2.3	6.2
2. Кривий Ріг	2.3	0.5	2.6	3.1	1.4	1.9	2.5	5.0	4.3	1.7
3. Кам'янське	8.8	2.6	0.5	2.7	2.8	4.8	2.3	3.0	2.5	3.6
4. Нікополь	2.7	3.1	2.7	0.5	1.7	2.2	11.5	2.2	12.3	2.2
5. Павлоград	4.1	1.4	2.8	1.7	0.5	6.2	1.7	1.6	1.5	8.3
6. Новомосковськ	11.1	1.9	4.8	2.2	6.2	0.5	2.2	2.2	1.9	6.4
7. Марганець	2.8	2.5	2.3	11.5	1.7	2.2	0.5	2.2	6.1	2.6
8. Жовті Води	2.5	5.0	3.0	2.2	1.6	2.2	2.2	0.5	2.9	1.9
9. Покров	2.3	4.3	2.5	12.3	1.5	1.9	6.1	2.9	0.5	1.9
10. Синельникове	6.2	1.7	3.6	2.2	8.3	6.4	2.6	1.9	1.9	0.5

Таблиця 5.

**Результати визначення місткості транспортних районів**

Номер транспортного району	Показник	
	Селітебна ємність району ( $H_i$ ), тис. чол.	Трудова ємність району ( $H_j$ ), тис. чол.
1. Дніпро	453.79	505.92
2. Кривий Ріг	282.80	241.20
3. Кам'янське	105.65	117.84
4. Нікополь	49.37	45.92
5. Павлоград	47.23	42.24
6. Новомосковськ	31.88	32.48
7. Марганець	21.10	19.28
8. Жовті Води	19.97	17.36
9. Покров	17.84	14.08
10. Синельникове	16.85	10.16

*Етап 5.* Значення елементів матриці кореспонденцій між транспортними районами визначаємо за допомогою гравітаційної моделі (за відправленням).

Результати розрахунку елементів матриці  $Y$  на першій ітерації при

прийнятому значенні коефіцієнта балансування  $k_j=1$  представлено в табл. 6.

Таблиця 6.

**Значення елементів матриці У на першій ітерації**

Номер району відправлення	Номер району прибуття										$\Sigma u_{ij}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	252.96	0.56	1.03	0.13	0.17	0.36	0.05	0.04	0.03	0.06	255.40
2	1.17	120.60	0.31	0.14	0.06	0.06	0.05	0.09	0.06	0.02	122.56
3	4.44	0.63	58.92	0.12	0.12	0.16	0.04	0.05	0.04	0.04	64.55
4	1.38	0.76	0.31	22.96	0.07	0.07	0.22	0.04	0.17	0.02	26.01
5	2.08	0.35	0.33	0.08	21.12	0.20	0.03	0.03	0.02	0.08	24.32
6	5.62	0.47	0.57	0.10	0.26	16.24	0.04	0.04	0.03	0.07	23.44
7	1.39	0.60	0.27	0.53	0.07	0.07	9.64	0.04	0.09	0.03	12.73
8	1.29	1.20	0.36	0.10	0.07	0.07	0.04	8.68	0.04	0.02	11.87
9	1.15	1.04	0.30	0.57	0.06	0.06	0.12	0.05	7.04	0.02	10.41
10	3.12	0.41	0.42	0.10	0.35	0.21	0.05	0.03	0.03	5.08	9.81

Умова відповідності вихідної величини трудової ємності районів і трудової ємності, що отримана у результаті розподілу кореспонденцій за гравітаційною моделлю, виконується тільки для першого, третього і п'ятого транспортних районів. Тому розрахуємо нові значення коефіцієнта балансування (блок 17, рис. 2) і проведемо розрахунок матриці кореспонденцій на новій ітерації. Дослідним шляхом було встановлено, що необхідно провести 9 ітерацій, щоб у кожному з районів було дотримано вимогу (блок 16, рис. 2). Значення коефіцієнтів для ітерацій з 2 по 9 наведені в табл. 7.

Значення елементів матриці кореспонденцій ( $H_{ij}$ ), отриманої на дев'ятій ітерації представлено в табл. 8.

*Етап 6.* Результати розрахунків за кількістю людей, що прибувають до транспортних районів міст Дніпропетровської області з найбільшою чисельністю населення наведено на рис. 3. Кількість людей, що відправляється з транспортних районів представлено на рис. 4.

Таблиця 7.

Значення коефіцієнтів балансування  $k_j$ 

Номер ітерації	Номер транспортного району									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.042	0.836	1.141	0.981	0.980	1.333	1.124	1.130	1.084	1.088
2	1.045	0.846	1.124	0.989	0.993	1.218	1.090	1.085	1.049	1.064
3	1.043	0.845	1.126	0.986	0.989	1.257	1.098	1.098	1.061	1.074
4	1.044	0.845	1.126	0.987	0.990	1.243	1.096	1.094	1.056	1.069
5	1.043	0.845	1.126	0.987	0.990	1.248	1.097	1.095	1.058	1.071
6	1.043	0.845	1.126	0.987	0.990	1.246	1.097	1.095	1.057	1.070
7	1.043	0.845	1.126	0.987	0.990	1.247	1.097	1.095	1.058	1.071
8	1.043	0.845	1.126	0.987	0.990	1.246	1.097	1.095	1.058	1.071
9	1.031	0.909	1.067	0.952	0.969	1.109	1.058	1.027	1.003	1.036

Таблиця 8.

## Матриця кореспонденцій на 9-й ітерації

Номер транспортного району відправлення	Номер транспортного району прибуття										$\Sigma H_j$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	444.02	1.782	4.394	0.467	0.650	1.698	0.220	0.183	0.127	0.254	453.79
2	15.722	256.05	4.445	1.833	0.770	1.015	0.677	1.217	0.829	0.239	282.80
3	6.784	0.778	97.18	0.177	0.170	0.287	0.072	0.084	0.055	0.057	105.65
4	2.766	1.229	0.678	43.45	0.132	0.171	0.466	0.080	0.353	0.046	49.37
5	4.232	0.568	0.718	0.146	40.73	0.487	0.068	0.060	0.042	0.177	47.23
6	5.574	0.378	0.609	0.095	0.245	24.80	0.045	0.039	0.027	0.066	31.88
7	2.243	0.782	0.477	0.803	0.107	0.140	16.30	0.065	0.139	0.044	21.10
8	2.124	1.604	0.636	0.158	0.106	0.138	0.074	15.03	0.068	0.033	19.97
9	1.985	1.463	0.555	0.927	0.101	0.127	0.212	0.091	12.34	0.035	17.84
10	5.303	0.567	0.774	0.164	0.567	0.422	0.090	0.060	0.047	8.85	16.85
$H_j = \Sigma h_{ij}$	490.75	265.20	110.47	48.22	43.58	29.29	18.23	16.91	14.03	9.80	-
$\Delta_j, \%$	3.00	9.95	6.26	5.01	3.18	9.83	5.46	2.61	0.34	3.52	-

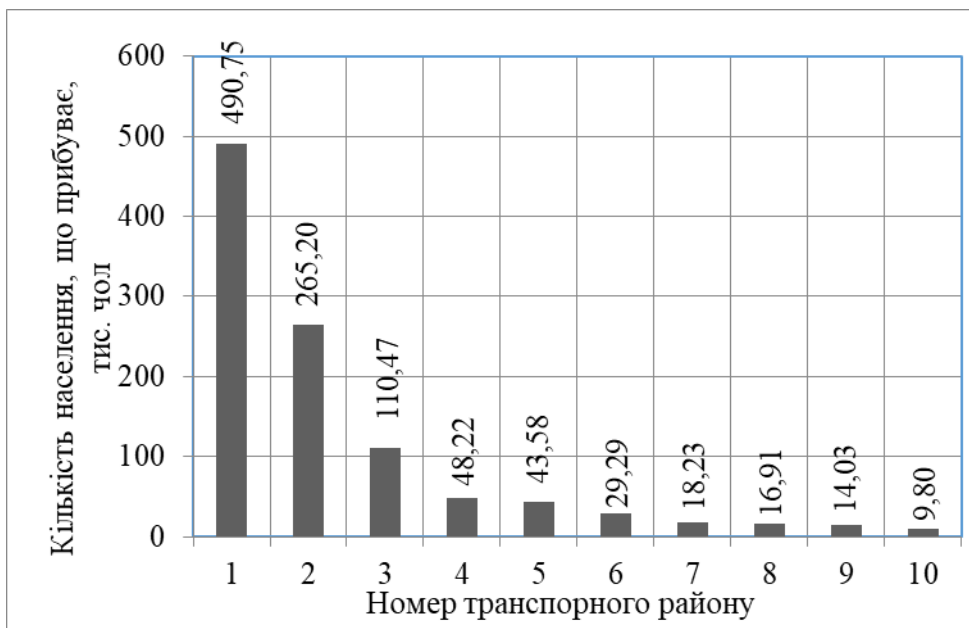


Рис. 3. Кількість людей, що прибуває до транспортних районів

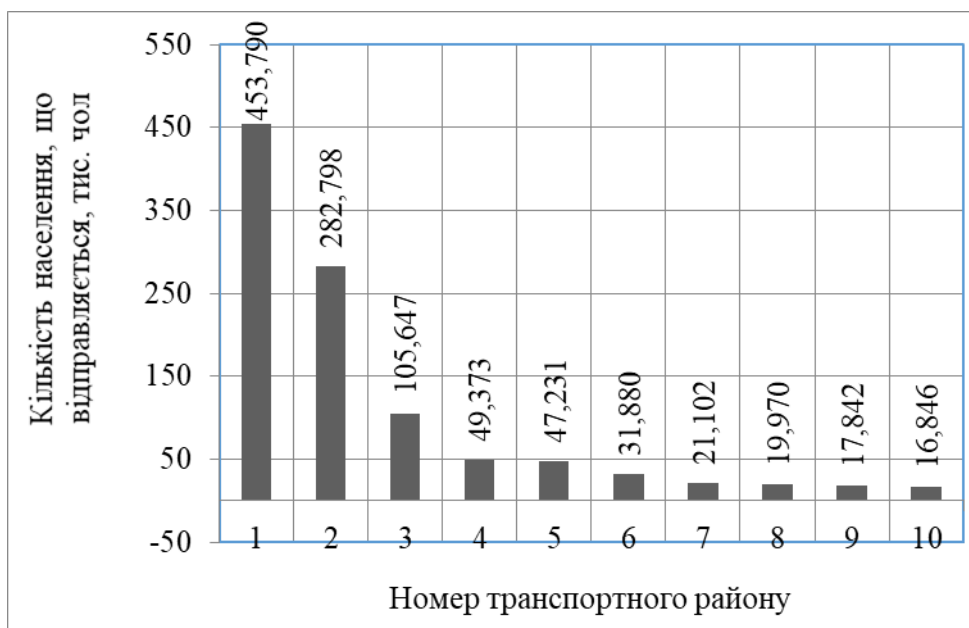


Рис. 4. Кількість людей, що відправляється з транспортних районів

Найбільша кількість населення прибуває до таких міст як Дніпро – 490,75 тис. чол, Кривий Ріг – 265,2 тис. чол та Кам’янське – 110,45 тис. чол.

---

Це пов'язане з тим, що це найбільші міста за площею й територією, та в них найкраще розвинена промисловість та транспортна інфраструктура. Саме ці міста надають найбільшу кількість робочих місць для населення області, будучи регіонально важливими, виконуючи політичні, адміністративні, економічні, соціальні, культурні та наукові функції.

Середню значимість серед розглянутих міст займають Нікополь – 48,22 тис. чол. та Павлоград – 43,59 тис. чол. Це пояснюється меншою чисельністю населення відносно першої трійки міст. Отже, кількість людей, що прибувають, значно менше.

Найменші показники мають Новомосковськ, Марганець, Жовті Води, Покров та Синельникове, що пов'язано з порівняно невеликою чисельністю населення, площею, а отже із незначною кількістю робочих місць.

Проаналізуємо на основі застосування запропонованого алгоритму кореспонденції для мережі інших міст, що розташовані поблизу м. Дніпра.

*Етап 1,2.* Дані щодо назви самих населених пунктів та їх показників – кількості мешканців та населення, що працює, наведені в табл. 9. Координатна модель даної транспортної мережі представлена рис. 5 [15, 16].

Таблиця 9.

**Вхідні дані щодо населених пунктів, що розташовані поблизу м. Дніпра [15, 16]**

№	Назва міста	Кількість мешканців, тис. осіб	Населення, що працює тис. осіб
1	Ювілейне	11 528	5628
2	Обухівка	9178	5213
3	Іларіонове	8495	4295
4	Солоне	7557	3589
5	Карнаухівка	6597	2987
6	Кринички	4657	2056
7	Новомиколаївка	4006	1984
8	Спаське	3145	1426
9	Лобойківка	3047	1228
10	Чаплинка	1978	842

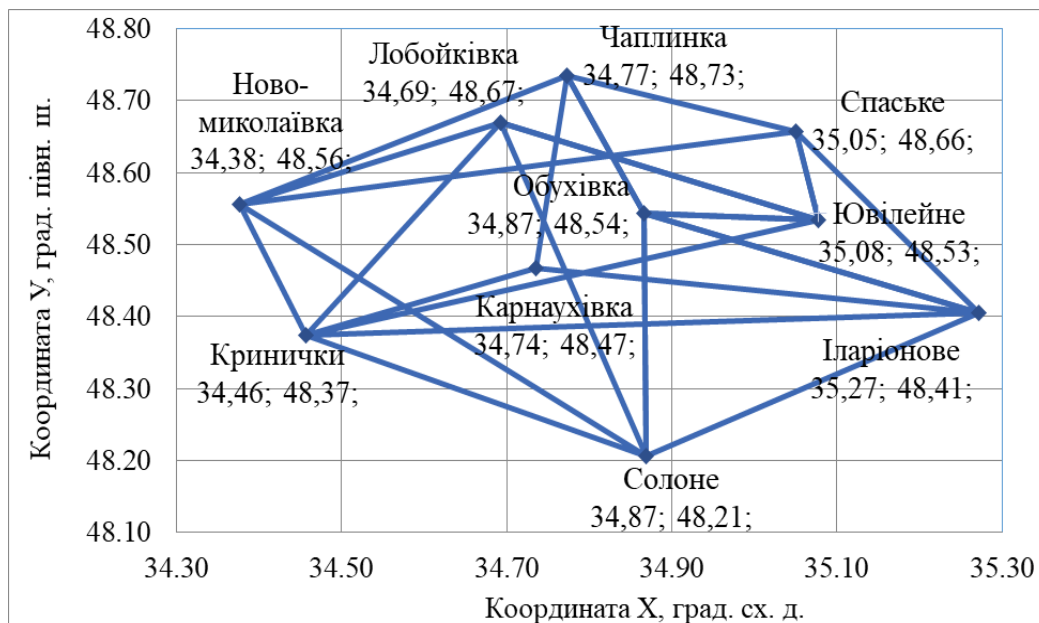


Рис. 5. Графічне відображення транспортної мережі міст (табл. 9) в географічних координатах

Етап 3, 4. Довжину шляхів пересування між районами ( $l_{ij}$ ), отриману на основі вимірювання для існуючих в транспортній мережі (рис. 5) зв'язків наведено в табл. 10 [17,18].

Таблиця 10.

**Матриця найкоротших шляхів між населеними пунктами транспортної мережі**

Номер транспортного району відправлення	Номер транспортного району прибуття									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ювілейне	0	18	34	49	43	58	35	21	40	38
Обухівка	18	0	43	63	42	65	54	36	24	36
Іларіонове	34	43	0	49	50	70	81	46	59	67
Солоне	49	63	49	0	40	46	64	66	73	88
Карнаухівка	43	42	50	40	0	31	32	54	36	51
Кринички	58	65	70	46	31	0	26	76	42	60
Новомиколаївка	35	54	81	64	32	26	0	52	37	73
Спаське	21	36	46	66	54	76	52	0	56	55
Лобойківка	40	24	59	7	36	42	37	56	0	12
Чаплинка	38	36	67	88	51	60	73	55	12	0



*Етап 5.* Методологія знаходження матриці кореспонденцій для заданої транспортної мережі ідентична розрахункам, що проводилися вище. В процесі розрахунків було виконано дві ітерації, після яких умова (блок 16, рис.2) виконується для усіх районів мережі (табл. 11).

Таблиця 11.

**Матриця кореспонденцій на другій ітерації**

Номер транспортного району відправлення	Номер транспортного району прибуття										ΣH <sub>ij</sub>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	4070.11	160.586	65.693	34.366	33.449	17.426	31.167	37.981	17.912	12.877	4481.57
2	114.418	3290.94	39.426	20.288	25.993	11.802	15.333	16.816	22.659	10.317	3568.00
3	72.701	61.238	3052.09	31.306	26.206	13.153	12.268	15.795	11.063	6.653	3302.48
4	58.622	48.571	48.255	2673.94	38.066	23.260	18.044	12.793	10.390	5.886	2937.82
5	65.068	70.966	46.063	43.409	2224.70	33.618	35.151	15.230	20.522	9.893	2564.62
6	47.058	44.731	32.096	36.822	46.670	1524.94	42.202	10.556	17.159	8.203	1810.43
7	62.029	42.828	22.063	21.052	35.963	31.102	1309.19	12.272	15.494	5.363	1557.35
8	101.101	62.825	37.993	19.963	20.841	10.405	16.414	936.12	10.011	6.961	1222.64
9	47.548	84.420	26.535	168.616	28.005	16.867	20.665	9.983	753.32	28.581	1184.54
10	51.204	57.577	23.905	13.722	20.224	12.079	10.716	10.399	42.815	526.32	768.96
H <sub>j</sub> = ΣH <sub>ij</sub>	4689.86	3924.69	3394.12	3063.48	2500.11	1694.65	1511.15	1077.95	921.34	621.05	-
Δ <sub>j</sub> , %	4.16	5.89	1.22	6.70	4.62	3.03	4.79	5.51	6.22	7.80	-

*Етап 6.* Кількість населення, що прибуває та відправляється зображено на рис. 6 та 7 відповідно.

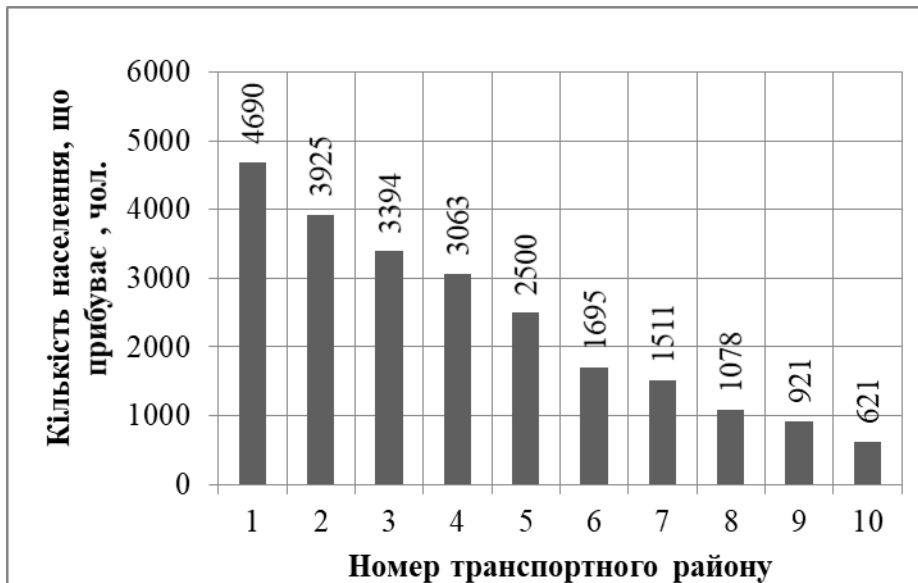


Рис. 6. Кількість людей, що прибуває до транспортних районів

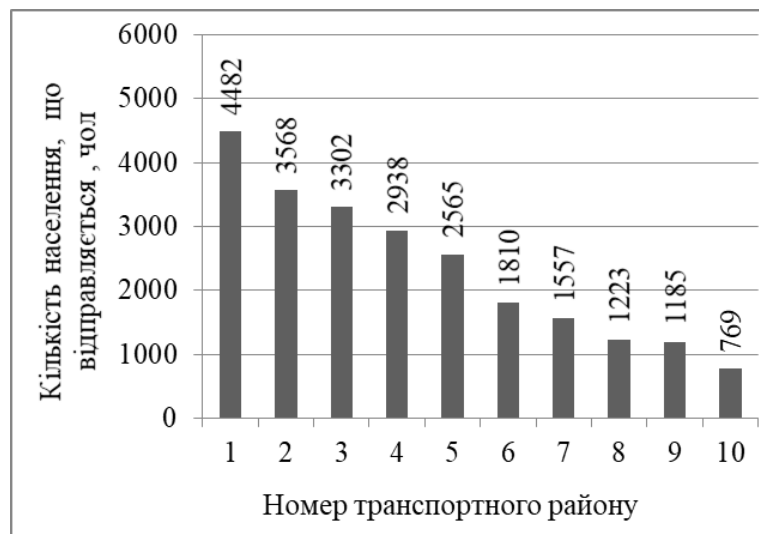


Рис. 7. Кількість людей, що відправляється з транспортних районів

Аналіз діаграм прибуття та відправлення (рис. 4–7) показує, що кількість людей, які переміщуються, залежить від чисельності населення. Чисельність населення тісно пов’язана з кількістю робочих місць, а отже із розвитком дорожньої інфраструктури та кількістю переміщуваних пасажирів.

Аналіз результатів показав, що кількість робочого населення, що переміщується, прямо пропорційно залежить від загальної чисельності населення міста, села, їх площі та обласного значення. Чим більше розвинена промисловість, економіка, наука, культура, тим більша кількість населення переміщується між важливими для області містами. Найбільшими населеними пунктами Дніпропетровської області, між якими здійснюється транспортне сполучення є Дніпро, Кривий Ріг, Кам’янське, Нікополь та Павлоград; найменшими – Спаське, Лобойківка, Чаплинка.

Рекомендованими маршрутами можуть бути:

- Дніпро-Нікополь через Солоне чи Карнаухівку;
- Кривий Ріг-Кам’янське-Дніпро через Новомиколаївку, Кіровське;
- Синельникове-Дніпро через Іларіонове;
- Павлоград-Дніпро через Ювілейне;
- Новомосковськ-Дніпро через Ювілейне.

**Висновки.** Результати дослідження мають наукову та практичну значимість, адже можуть бути використані при проектуванні та удосконаленні

---

транспортної інфраструктури Дніпропетровської області, визначені категорій доріг при плануванні автобусного та залізничного дорожнього сполучення між містами та селами. Обґрунтовані параметри міських і міжміських пасажирських перевезень дає змогу визначити час перевезення, кількості рейсів та необхідну кількість і габаритів автобусів на день. Кінцеві пункти маршрутів бажано встановлювати між найбільшими містами, адже саме таке з'єднання має найбільшу кількість переміщеного населення. Однак треба враховувати розташування маленьких селищ, щоб задовільнити транспортну потребу усього населення Дніпропетровської області з мінімальними витратами та максимальними прибутками.

Вирішено задачу маршрутизації за умов відповідності вихідної величини трудової ємності районів і трудової ємності, отриманої у результаті розподілу кореспонденцій за гравітаційною моделлю. Даний підхід може бути корисним при з'ясуванні ваги окремих населених пунктів регіона при проектуванні дорожньо-транспортної інфраструктури, ремонті доріг та планування маршрутного з'єднання між містами та селами.

#### **Список використаних джерел:**

1. Клименко І. С., Кривошеєва С. В., Кривенко О. К. Проблеми та перспективи розвитку ринку пасажирських автомобільних перевезень в Україні. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Економіка і управління*. DOI: 10.32838/2523-4803/69-6-26.

2. Дослідження ринку пасажирських перевезень Дніпропетровської області. *Дніпропетровська обласна державна адміністрація* : [сайт]. – URL: <https://adm.dp.gov.ua/dniprooda/pro-oda/departamenti-ta-upravlinnya/upravlinnya-transportu/pitannya-transportu-ta-perevezen/doslidzhennya-rinku-pasazhirskih-perevezen>

3. Гецович Є. М., Засядько Д. В. Побудова матриці транспортних кореспонденцій, транзитних для центральної ділової частини мегаполісу. *Автомобільний транспорт*. 2014. Вип. 34. С. 60–64. URL: [https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/928/1/11\\_34.pdf](https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/928/1/11_34.pdf)

4. Гецович Е. М., Засядько Д. В. Транспортное районирование мегаполисов и расчет маршрутов реализации корреспонденций. *Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов: сборник тезисов конференции*. Минск. 2010. С.26–33.

5. Горбачов П. Ф. Нова концепція моделювання потреб населення у трудових пересуваннях міським пасажирським транспортом. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені*

---

академіка В. Лазаряна. Дніпропетровськ. 2009. №27. С.210-214.

6. Любий Є. В. Підхід щодо формування транспортної моделі системи пасажирського транспорту в малих містах. *Вісник економіки транспорту і промисловості*: Проблеми транспортного комплексу України. Харків. 2016., № 55. 191 с. URL: <http://btie.kart.edu.ua/article/download/83395/78750>

7. Гончаренко С. Ю. Современные проблемы моделирования матриц пассажирских корреспонденций в средних городах. *Вісник НТУ «ХПИ»*. 2013. № 56 (1029). С. 83–88.

8. Sheffy Y. Urban Transportation Networks. : Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods. Engelwood Cliffs: Prentice-Hall, 1985. 415 p. URL: [http://web.mit.edu/sheffy/www/selectedMedia/sheffy\\_urban\\_trans\\_networks.pdf](http://web.mit.edu/sheffy/www/selectedMedia/sheffy_urban_trans_networks.pdf)

9. Швецов В. И. Проблемы моделирования передвижений в транспортных сетях. *Труды МФТИ*. 2010. Том 2, №4. С.169-179.

10. Кара І. А. Визначення пасажиропотоків на міських маршрутах: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. Львів, 2017. 208 с. URL: <https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/1757/diskaraia.pdf>

11. Красноштан О.М. Система побудови матриць кореспонденцій на основі інфрачервоного інтелектуалізованого лічильника пасажирів та системи GPS. *Автомобільний транспорт*: науково-виробничий журнал. Харків: ХНАДУ. 2015. № 5 (247). С. 30–32.

12. Карпенко А. П. Популяционные алгоритмы глобальной поисковой оптимизации. Обзор новых и малоизвестных алгоритмов. *Приложение к журналу «Информационные технологии»*. 2012. № 7. 32 с. URL: <http://is.ifmo.ru/works/2012/karpenko-population-algorithms.pdf>

13. Гецович Е. М., Казакова М. О., Холодова О. А. Задача делимитации центральной деловой части мегаполиса. *Вестник ХНАДУ*: сб. науч. тр. Харьков. 2009. Вип. 45. С. 52–54.

14. Днепропетровская область 2019. Инвестиционный паспорт. URL : [http://dia.dp.gov.ua/wp-content/uploads/2019/10/Investment\\_passport\\_RU.pdf](http://dia.dp.gov.ua/wp-content/uploads/2019/10/Investment_passport_RU.pdf)

15. Адміністративний устрій. *Дніпропетровська обласна державна адміністрація*: [сайт]. URL: <https://adm.dp.gov.ua/pro-oblast/dnipropetrovshina/administrativnij-ustrij>

16. Дніпропетровська область. *Вікіпедія*: [сайт]. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Дніпропетровська\\_область](https://uk.wikipedia.org/wiki/Дніпропетровська_область)

17. Онлайн карта України. *Doroga.ua*: [сайт]. URL: <http://www.doroga.ua/Pages/Map.aspx?RegionID=1061>

18. Розрахунок відстаней. *Lardi-trans*: [сайт]. URL: <https://lardi-trans.com/useful/distance/>

---

### References:

1. Klymenko I. S., Kryvoshieieva S. V., Kryvenko O. K. Problemy ta perspektyvy rozvytku rynku pasazhyrskykh avtomobilnykh perevezen v Ukraini. Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Serii: Ekonomika i upravlinnia. DOI: <https://doi.org/10.32838/2523-4803/69-6-26>.
2. Doslidzhennia rynku pasazhyrskykh perevezen Dnipropetrovskoi oblasti. Dnipropetrovska oblasna derzhavna administratsiia: [sait]. – URL: <https://adm.dp.gov.ua/dniprooda/pro-oda/departamenti-ta-upravlinnya/upravlinnya-transportu/pitannya-transportu-ta-perevezen/doslidzhennya-rinku-pasazhirskih-perevezen>
3. Hetsovykh Ye. M., Zasiadko D. V. Pobudova matrytsi transportnykh korespondentsii, tranzytnykh dlia tsentralnoi dilovoi chastyny mehapolisu. Avtomobilnyi transport. 2014. Vyp. 34. S. 60–64. URL: [https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/928/1/11\\_34.pdf](https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/928/1/11_34.pdf)
4. Getsovich EM, Zasyadko DV Transport zoning of megapolises and calculation of routes for the implementation of correspondence. Improving the organization of road traffic and transportation of passengers and goods: a collection of conference abstracts. Minsk. 2010. pp. 26–33.
5. Horbachov P. F. Nova kontseptsiiia modeliuвання potreb naselennia u trudovykh peresuvanniakh miskym pasazhyrskym transportom. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana. Dnipropetrovsk. 2009. №27. S.210-214.
6. Liubiyi Ye. V. Pidkhid shchodo formuvannia transportnoi modeli systemy pasazhyrskoho transportu v malykh mistakh. Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti: Problemy transportnoho kompleksu Ukrainy. Kharkiv. 2016. № 55. 191 p. URL: <http://btie.kart.edu.ua/article/download/83395/78750>
7. Goncharenko S. Yu. Sovremennye problemy modelirovaniya matric passazhirskih korrespondencij v srednih gorodah. Visnik NTU «HPI». 2013. № 56 (1029). S. 83–88.
8. Sheffy Y. Urban Transportation Networks : Equilibrium Analisis with Mathematical Programming Methods. Engelwood Cliffs: Prentice-Hall, 1985. 415 p. URL: [http://web.mit.edu/sheffi/www/selectedMedia/sheffi\\_urban\\_trans\\_networks.pdf](http://web.mit.edu/sheffi/www/selectedMedia/sheffi_urban_trans_networks.pdf)
9. Shvecov V. I. Problemy modelirovaniya peredvizhenij v transportnyh setyah. Trudy MFTI. 2010. Tom 2, №4. P. 169-179.
10. Kara I.A. Definition of passenger flows on city routes: dis. ... cand. tech. science: 05.22.01. Lviv, 2017. 208 p. URL: <https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/1757/diskaraia.pdf>
11. Krasnoshtan O.M. Correspondence matrix construction system based on infrared intelligent passenger counter and GPS system. Road transport: scientific

---

and production journal. Kharkiv: KhNADU. 2015. № 5 (247). P. 30–32.

12. Karpenko A. P. Populyacionnye algoritmy global'noj poiskovoy optimizacii. Obzor novyh i maloizvestnyh algoritmov. Prilozhenie k zhurnalu «Informacionnye tekhnologii». 2012. № 7. 32 s. URL: <http://is.ifmo.ru/works/2012/karpenko-population-algorithms.pdf>

13. Gecovich E. M., Kazakova M. O., Holodova O. A. Zadacha delimitacii central'noj delovoj chasti megapolisa. Vestnik HNADU: sb. nauch. tr. Har'kov. 2009. Vip. 45. S. 52–54.

14. Dnepropetrovskaya oblast' 2019. Investicionnyj pasport. URL : [http://dia.dp.gov.ua/wp-content/uploads/2019/10/Investment\\_passport\\_RU.pdf](http://dia.dp.gov.ua/wp-content/uploads/2019/10/Investment_passport_RU.pdf)

15. Administratyvnyi ustrij. Dnipropetrovska oblasna derzhavna administratsiia: [sait]. URL: <https://adm.dp.gov.ua/pro-oblast/dnipropetrovshina/administrativnij-ustrij>

16. Dnipropetrovska oblast. Vikipediia: [sait]. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Дніпропетровська\\_область](https://uk.wikipedia.org/wiki/Дніпропетровська_область)

17. Onlain karta Ukrainy. Doroga.ua: [sait]. URL: <http://www.doroga.ua/Pages/Map.aspx?RegionID=1061>

18. Rozrakhunok vidstanei. Lardi-trans [sait]. URL: <https://lardi-trans.com/useful/distance/>