

# ВИШУКУВАННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ ДОРІГ ТА ПЕРЕХОДІВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ

УДК 625.7

Ковальова О.В., Олійник Р.В., канд. фіз.-мат. наук

## АНАЛІЗ РЕГІОНАЛЬНОЇ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ МЕТОДОМ ІЄРАРХІЧНОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ

**Анотація.** Статистичний групувальний аналіз регіональної дорожньо-транспортної мережі, проведений методом ієрархічної агломеративної кластеризації, дав змогу виявити регіони зі спільними характеристиками та встановити відмінності у забезпеченості дорогами різних категорій регіонів з урахуванням їх територіальних та демографічних особливостей.

**Ключові слова:** дорожньо-транспортна мережа, категорії доріг, кластер, кластерний аналіз.

**Аннотация.** Статистический группировочный анализ региональной дорожно-транспортной сети, проведенный методом иерархической агломеративной кластеризации, позволил выявить регионы с общими характеристиками и установить различия в обеспеченности дорогами различных категорий регионов с учетом их территориальных и демографических особенностей.

**Ключевые слова:** дорожно-транспортная сеть, категории дорог, кластер, кластерный анализ.

**Annotation.** Statistical group analysis regional road network, organized by agglomerative hierarchical clustering, allowed to identify regions with common characteristics and to establish differences in the provision of roads of different categories of regions with their territorial and demographic features.

**Keywords:** road-transport network, road category, cluster, cluster analysis.

## Вступ

Україна має реальні перспективи щодо посилення своєї ролі як транзитної держави, цьому сприяє передусім її географічне розташування. Забезпеченість України сучасними міжнародними транспортними коридорами зробило б її ще більш привабливою для логістичної системи Євросоюзу.

Проте інфраструктура державної дорожньо-транспортної мережі та її стан загалом сьогодні не відповідають європейським стандартам. Так, протяжність автомобільних доріг загального користування в Україні одна з найменших в Європі [1] (табл. 1), серед них дороги державного значення складають всього 8 % від загальної протяжності доріг, решта – це дороги місцевого значення [2].

**Таблиця 1** – Загальні статистичні показники дорожньо-транспортної мережі України за категоріями доріг

Приведені загальнодержавні показники дорожньо-транспортної мережі	Протяжність доріг, км				
	Категорія доріг				
	I	II	III	IV	V
середньоарифметичне значення по регіону	104	513	1162	4231	607
територіальне значення на 1км <sup>2</sup>	0,004	0,022	0,049	0,171	0,034
демографічне значення на 10 <sup>3</sup> чол.	0,059	0,31	0,75	2,69	0,45

Надзвичайно низька протяжність доріг I категорії, практично відсутні дороги з багаторядним рухом. Загальна протяжність швидкісних автомобільних доріг європейського зразка в Україні складає 280 км, тоді як у Франції – понад 8 тис. км. Дві третини всіх доріг України – це дороги IV та V категорій. При цьому показник щільності автомобільних доріг в Україні дорівнює 0,28 км/км<sup>2</sup>, для порівняння в Німеччині, цей показник становить 2,0 км/км<sup>2</sup>, а у Франції – 1,46 км/км<sup>2</sup> [1].

Глибокий статистичний групувальний аналіз регіональної дорожньо-транспортної мережі дасть змогу виявити регіони зі спільними проблемами та встановити відмінності у забезпеченості різних регіонів певними категоріями доріг з урахуванням їх територіальних та демографічних особливостей.

## Основна частина

Розбиття множини досліджуваних областей за їх ознаками (протяжність доріг різних категорій) на однорідні в деякому сенсі групи (кластери), реалізовано за допомогою кластерного аналізу (далі – КА). Відмінність КА від інших методів класифікації полягає у відсутності навчаючої статистичної вибірки. Суттєвою перевагою даного аналізу є можливість проведення групування одразу за низкою ознак – категорія доріг, покриття доріг тощо. Основне завдання КА полягає в тому, щоб на основі статистичних даних про стан регіональних дорожньо-транспортних мереж, розбити множину об'єктів (24 області та Автономна республіка Крим) на ціле число кластерів так, щоб кожна область належала тільки одній підмножині розбиття. При цьому області, які належать до одного кластеру, повинні бути схожими за своїми ознаками, а області, що увійшли до різних кластерів – різні. Розбиття треба провести так, щоб воно задовольняло критерію оптимальності. Роль критерію може виконувати деяка цільова функція, наприклад, внутрішньогрупова сума квадратів відхилень протяжності доріг певної категорії.

При розрахунку матриці відстаней між точками, які відбивають положення об'єктів в  $k$ -мірному просторі, категорія доріг, що має великі значення (IV категорія), буде практично повністю домінувати над категорією доріг з малими значеннями (I категорія). Для того, щоб уникнути зміщеного аналізу в бік даних, які мають велику дисперсію, попередньо було проведено стандартизацію змінних, яка приводить всі перетворені змінні до єдиного діапазону значень, шляхом вираження через відношення цих значень до деякої величини, що відбиває певні властивості конкретної ознаки (наприклад, середнє арифметичне значення для всіх областей). Ієрархічний метод КА, проведений на основі агломеративних процедур, особливо доцільний при невеликих обсягах вибірки. При групуванні масиву областей в підгрупи (кластери) необхідно, щоб в один кластер потрапляли максимально схожі дорожньо-транспортні мережі. Кількісний показник подібності, що розраховується для кожного кластеру, називається метрикою (відстанню об'єднання).

Найбільш інформативним виявився метод повного зв'язку, в якому відстань між двома регіонами одного кластеру не перевищувала деяке граничне значення. Ця відстань (метрика) визначає максимальний діаметр підмножини, яка утворює кластер і може слугувати його розміром.

Для встановлення відстаней об'єднання регіонів у кластери використовувалася метрика Евкліда – геометрична відстань в  $k$ -мірному просторі, де  $k$ -змінними розглядаються регіональні дороги I-V категорії:

$$d_E(X_i, X_j) = \left( \sum_k (x_{ik} - x_{jk})^2 \right)^{1/2}, \quad (1)$$

де  $X_i, X_j$  – вектор протяжності доріг  $i$ -ої,  $j$ -ої області в  $k$ -мірному просторі ( $k=5$ ).

Результати ієрархічної кластеризації наочно приведені у вигляді дендрограм (рис. 1), які описують послідовність об'єднання об'єктів та встановлюють відстані об'єднання в кластери.

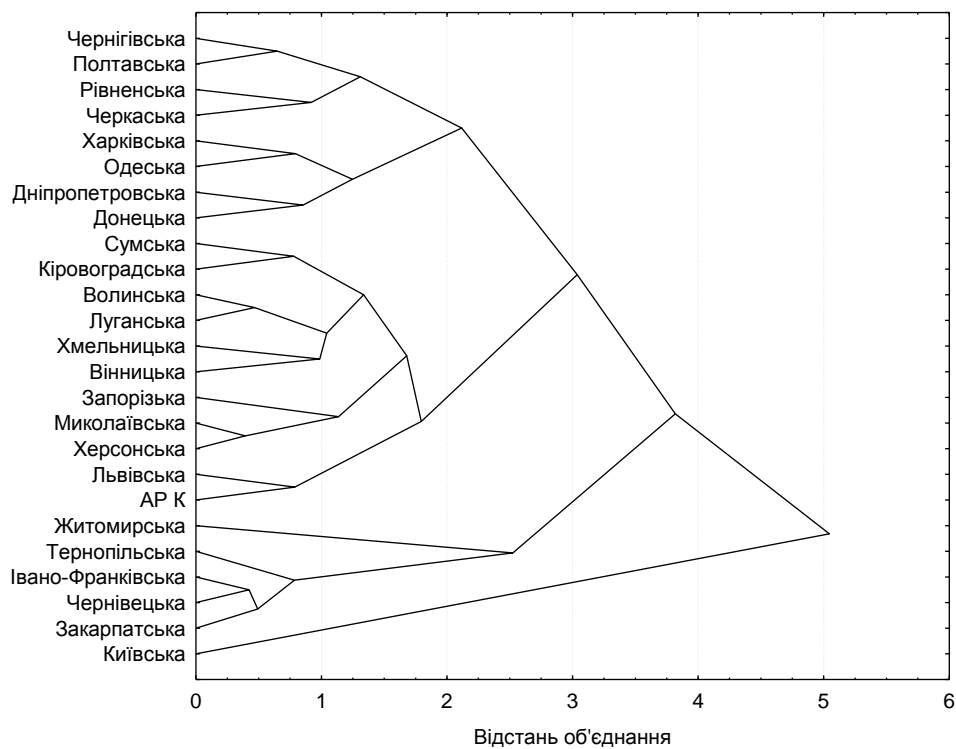
Області, які об'єднуються і формують кластер, мають спільний вузол, координата якого визначає відстань об'єднання. Даний метод послідовно зв'язує об'єкти із зростаючими відмінностями. Як видно з рис.1.а, повне об'єднання всіх регіональних мереж в один кластер відбулося при  $d_{\max} = 5,0$ . Рухаючись вздовж дендрограми у зворотному напрямку, спостерігається поступове розщеплення основного кластеру.

Якщо вилучити з аналізу дороги Київської та Житомирської областей, що мають найвищі показники забезпеченості автомобільними дорогами за всіма категоріями, то на дендрограмі чітко буде видно три кластери з відповідними відстанями об'єднання:  $d_1 = 0,75$ ;  $d_2 = 1,75$ ;  $d_3 = 2,10$ .

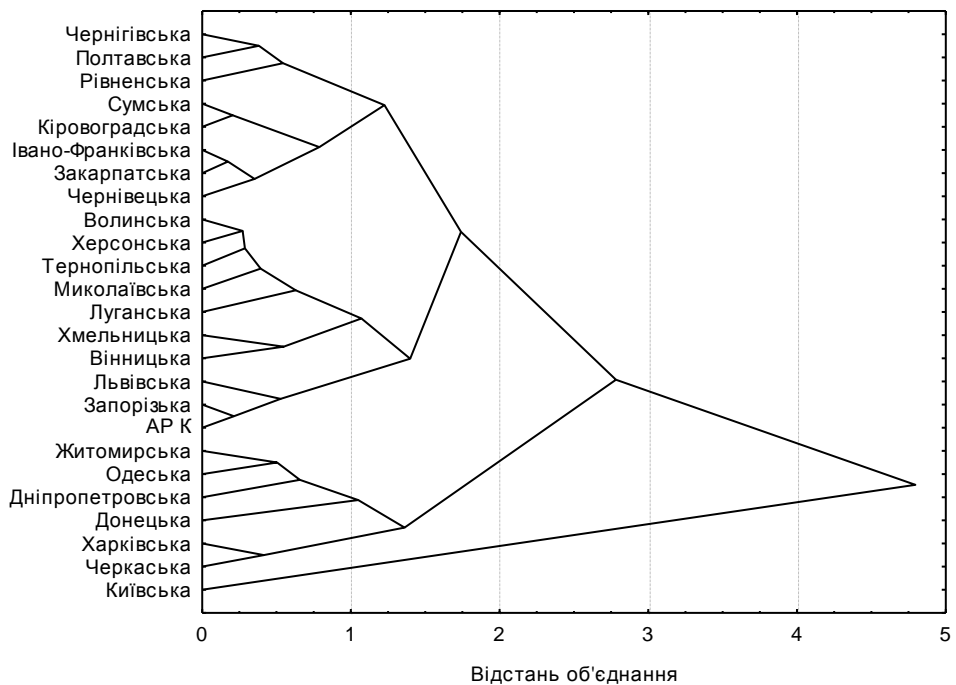
Аналогічна картина спостерігається для регіональних дорожньо-транспортних мереж I-III категорії (рис. 1-б), де весь масив доріг також розщепився на три кластери з досить близькими відстанями об'єднання ( $d_1 = 1,25$ ;  $d_2 = 1,35$ ;  $d_3 = 1,35$ ), тобто утворені кластери домірні, а розбіжності в значеннях об'єктів, що їх наповнюють, незначні, що говорить про якісну кластеризацію. При цьому, необхідно відмітити, що Житомирська область увійшла до складу третього кластеру.

Результати кількісної оцінки КА наведені в таблиці 2, де в якості розміру кластера розглядаються відстані об'єднання ( $d_E$  – Евклідова метрика), проекціями вектора протяжності доріг  $X_{i,j}$ , виступають середньоарифметичні значення доріг відповідних категорій для регіонів, що увійшли в даний кластер. Наповнення кластерів помітно різниться залежно від регіональних приведених

значень, окрім “стійкого кластеру”, в який увійшли Тернопільська, Івано-Франківська, Закарпатська та Чернівецька області.



а)



б)

Рис. 1. Дендрограма ієрархічної кластеризації регіональних дорожньо-транспортних мереж, приведених до середньоарифметичного значення областей: а) дороги I-V категорії; б) дороги I-III категорії

**Таблиця 2 – Статистичні показники дорожньо-транспортної мережі регіонів**

№ n	Кластеризація за приведеними значеннями до середнього по всіх областях						Кластеризація за приведеними територіальними значеннями (км/км <sup>2</sup> )					Кластеризація за приведеними значеннями до чисельності населення (км/10 <sup>3</sup> чол.)									
	d <sub>E</sub>	Кластер	Проекції вектора протяжності доріг					d <sub>E</sub>	Кластер	Проекції вектора протяжності доріг					d <sub>E</sub>	Кластер	Проекції вектора протяжності доріг				
			I	II	III	IV	V			I	II	III	IV	V			I	II	III	IV	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	14	15	16	17	18	19	20	21
I	0,75	Терноп. Ів.-Франк. Закарп. Чернів.	22,0	339,8	608,8	1487,0	1383,0	1,55	Волин. Луган. АР Крим Запор. Львів. Хмельн. Вінниц.	0,002	0,027	0,056	0,182	0,023	1,20	Терноп. Ів.-Франк. Закарп. Чернів.	0,019	0,294	0,527	1,287	1,197
II	1,75	Сумська Кіровогр. Волин. Луган. Хмельн. Вінниц. Запор. Микол. Херсон. Львів. АР Крим	42,2	548,3	1225,6	4244,9	442,3	1,75	Житом. Харк. Черк. Дніпроп. Донец.	0,008	0,022	0,046	0,192	0,023	1,70	Львів. Луган. АР Крим Запор. Микол. Херсон. Харків. Дніпроп. Одеська Донец.	0,050	0,285	0,464	2,025	0,150

Продовження табл. 2

№ n	Кластеризація за приведеними значеннями до середнього по всім областям							Кластеризація за приведеними територіальними значеннями (км/км <sup>2</sup> )							Кластеризація за приведеними значеннями до чисельності населення (км/10 <sup>3</sup> чол.)						
	d <sub>E</sub>	Кластер	Проекції вектора протяжності доріг					d <sub>E</sub>	Кластер	Проекції вектора протяжності доріг					d <sub>E</sub>	Кластер	Проекції вектора протяжності доріг				
			I	II	III	IV	V			I	II	III	IV	V			I	II	III	IV	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	14	15	16	17	18	19	20	21
III	2,10	Черніг. Полтав. Рівнен. Черк. Харків. Одеська Дніпроп. Донец.	177,5	497,3	1054,3	5672,6	313,8	1,80	Черніг. Полтав. Рівнен. Одеська Сумська Кіровогр. Микол. Херсон.	0,003	0,013	0,034	0,181	0,010	2,30	Черніг. Сумська Волин. Рівнен. Полтав. Черк. Вінниц. Хмелин. Кіровогр.	0,061	0,279	0,949	3,831	0,332
IV			—	—	—	—	—	2,30	Терноп. Ів.-Фран. Закарп. Чернів.	0,002	0,028	0,050	0,122	0,114							

Особливість територіальної кластеризації безпосередньо виявилася у розщепленні загального масиву на чотири кластери, проте це ніяк не вплинуло на їх розміри, що обумовлено високою розбіжністю вихідних даних. Порівняння середніх загальнодержавних показників (табл. 1) з відповідними показниками кластерів (табл.2) висвітлило проблемні регіони – це передусім Кіровоградська, Миколаївська, Одеська, Полтавська, Рівненська, Сумська, Херсонська та Чернігівська області, в яких сумарна територіальна щільність доріг I-II та I-III категорії значно нижча ніж відповідні загальнодержавні показники. Для всіх інших регіонів територіальні показники щільності доріг I-II категорії виявилися на 10-15% вищими ніж відповідні загальнодержавні показники.

Кластеризація доріг за демографічними показниками регіонів показала, що найкраще забезпечене дорогами I-II, I-III та I-IV категорії населення областей, які увійшли до складу III кластеру. В інших регіонах цей показник значно нижчий ніж відповідний загальнодержавний показник.

### **Висновки**

Ієрархічний метод КА, проведений на основі агломеративних процедур, дав змогу згрупувати регіони в кластери зі спільними властивостями – щільність доріг, протяжність доріг відповідних категорій, рівень забезпеченості населення регіонів дорогами відповідних категорій. Отриманий статистичний матеріал може бути використаний для реконструкції існуючої регіональної дорожньо-транспортної мережі, а також бути корисним при проектуванні нових міжнародних транспортних коридорів.

### **Література**

1. Концепція реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування // Розпорядження КМУ від 20.08.08 № 1096-р.
2. Протяжність і характеристика автомобільних доріг загального користування на 1 січня 2010 року // Офіційний сайт державної служби автомобільних доріг України «Укравтодор». [Електронний ресурс]. – Режим доступу:  
<http://www.ukravtodor.gov.ua/clients/ukrautodor.nsf/0/F1075DA5B62B391AC22572B>.