

УДК 711.5

СИСТЕМА КЛАСИФІКАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА

**В.Д. Данчук, професор, д.ф.-м.н., Р.В. Олійник, доцент, к.ф.-м.н.,
С.М. Тарабан, аспірант, Національний транспортний університет, м. Київ**

Анотація. Проведено поетапний класифікаційний аналіз структурних ознак (площа, протяжність) вулиць та доріг м. Києва. На всіх етапах класифікації, для кожного сформованого кластера виконано перевірку статистичної гіпотези про вид функції розподілу структурних ознак, результати якої дозволили оцінити однорідність утворених кластерів.

Ключові слова: вулично-дорожня мережа, структурні ознаки, кластерний аналіз, критерій узгодженості Колмогорова, нормальний закон розподілу.

СИСТЕМА КЛАССИФИКАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДА

**В.Д. Данчук, профессор, д.ф.-м.н., Р.В. Олейник, доцент, к.ф.-м.н.,
С.Н. Тарабан, аспирант, Национальный транспортный университет, г. Киев**

Аннотация. Проведен поэтапный классификационный анализ структурных признаков (площадь, протяженность) улиц и дорог г. Киева. На всех этапах классификации, для каждого сформированного кластера выполнена проверка статистической гипотезы о виде функции распределения структурных признаков, результаты которой позволили оценить однородность образованных кластеров.

Ключевые слова: улично-дорожная сеть, структурные признаки, кластерный анализ, критерий согласия Колмогорова, нормальный закон распределения.

THE SYSTEM OF CLASSIFICATION OF THE ELEMENTS OF THE URBAN ROAD-NETWORK

**V. Danchuk, Professor, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, R.Oliynyk,
Associate Professor, Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
S. Taraban, postgraduate, National Nransport University, Kyiv**

Abstract. A phased classification analysis of structural features such as square and length of Kyiv roads and streets was conducted. The checking of statistical hypothesis concerning the type of distribution function of structural features was carried out of all stages of classification for every formed cluster, the results of which allowed to estimate the homogeneity of formed clusters.

Key words: street and road network, structural features, cluster analysis, Kolmogorov's criterion of consistency, normal law of distribution.

Вступ

Особлива риса великих міст – це висока рухливість населення, яка досягається динамічністю транспортних перевезень. При цьому завантаженість ділянок вулично-дорожньої

мережі (ВДМ) транспортом залежить як від територіальних масштабів окремих районів міста, так і від їх функціонального профілю та планувальної структури. У складі ВДМ міст України виділяють вулиці й дороги магістрального та місцевого значення.

Категорії вулиць та доріг встановлюються відповідно до класифікації [1]: магістральні вулиці, якими рухається основний потік міського транспорту, – загальноміські та районні; вулиці та дороги місцевого значення – житлові вулиці, дороги промислових і комунально-складських районів, проїзди.

До системи вулиць та доріг м. Києва входять магістральні вулиці загальноміського значення – 8 %, магістральні вулиці районного значення – 14 %, а також вулиці та дороги місцевого значення, які становлять близько 78 % всіх шляхів сполучень. Загальна протяжність дорожньої мережі м. Києва становить понад 1,6 тис. км, з них 60 % – вулиці та дороги місцевого значення. Цей факт свідчить про низький розвиток системи магістральних вулиць загальноміського та районного значення.

Аналіз публікацій

Вулична мережа – детермінована система структурних елементів міста, яка розраховується на довготривалий період експлуатації без суттєвих структурних змін [2]. Відсутність потенційної можливості суттєво змінити структуру ВДМ, чи умови організації руху на окремих її ділянках, за зростаючих транспортних навантажень, стримує, насамперед, темпи соціально-економічного розвитку міста [3, 4]. У цьому контексті важливими є задачі щодо встановлення проблемних та потенційно проблемних ділянок ВДМ, пошуку резервів, які забезпечать надійне функціонування транспортної системи.

Мета і постановка задачі

Сучасне містобудування вимагає високого рівня облаштування і впорядкованості на міських шляхах сполучення – магістралях і вулицях, на яких повинні бути створені комфортні й безпечні умови для учасників дорожнього руху та забезпечені високі показники надійності за рахунок поліпшення якісних характеристик і технічного стану ВДМ. Для вирішення цих задач сьогодення перш за все необхідно створити алгоритм оцінки та урахування фактичного стану структурних елементів ВДМ, який повинен містити в собі систему класифікації вулиць та доріг міста, що дозволить множині елементів ВДМ об'єднати в однорідні підмножини, елементам яких властива висока структурна подібність.

Мета роботи – провести класифікаційний структурний аналіз множини елементів ВДМ м. Києва, який дозволить сформувати однорідні підмножини (кластери) елементів з подібними структурними ознаками вулиць та доріг.

Класифікаційний структурний аналіз елементів вулично-дорожньої мережі

Система класифікації елементів ВДМ передбачає проведення детального аналізу структурних ознак (S – площа, L – протяжність) вулиць та доріг, що ґрунтується на застосуванні методів прикладної математичної статистики. Такий підхід дозволить оцінити структурні ознаки для відповідних множин на їх однорідність, а в разі її відсутності – застосувати апарат поетапної кластеризації [5] для досліджуваної множини елементів ВДМ, поки не буде досягнута однорідність у побудованих підмножинах (кластерах). На всіх етапах кластеризації повинна проводитись статистична оцінка показників структурних ознак вулиць та доріг для кожного сформованого кластеру. Крім того, необхідна перевірка статистичної гіпотези про вид функції розподілу структурних ознак (обов'язкова процедура), результати проведення якої дозволяють дати оцінку щодо однорідності утворених кластерів.

Статистична гіпотеза – припущення про значення параметрів закону розподілу (параметрична) або його вид (непараметрична). Зазвичай висувається основна гіпотеза – H_0 , яку називають нульовою гіпотезою, а також альтернативна гіпотеза – H_1 , яка є, як правило, логічним запереченням нульової гіпотези.

Статистичні гіпотези перевіряються методами математичної статистики, в результаті чого робиться висновок про відхилення гіпотези або її прийняття. При цьому завжди існує ймовірність допущення похибок двох типів: похибок першого та другого роду.

Похибка першого роду – це похибка, в результаті якої відхиляється вірна гіпотеза. Ймовірність такої похибки називається рівнем значущості α . Ймовірність α задається заздалегідь малим значенням, оскільки є ймовірністю помилкового висновку. При цьому, зазвичай, використовують стандартні значення: 0,05; 0,01; 0,005; 0,001.

Похибка другого роду – ймовірність того, що буде прийнято нульову гіпотезу H_0 , а насправді вірною є гіпотеза H_1 . Ймовірність не отримати похибку другого роду, тобто ймовірність вірного відхилення невірної нульової гіпотези, називають потужністю критерію.

Перевірка гіпотези про вид функції розподілу структурних елементів ВДМ проводилася за допомогою критерію узгодженості. Зокрема в даних дослідженнях застосовувався критерій узгодженості Колмогорова, який дозволяє визначити максимальні розбіжності між емпіричним та теоретичним (нормальним) розподілом. Основна ідея застосованого критерію полягає в тому, що розподіл вважається нормальним, якщо максимальна розбіжність (макс. D) між теоретичним і емпіричним розподілом структурних ознак вулиць та

доріг не перевищує критичного значення, яке являє собою деяку встановлену стандартну величину, що вказує на порогові значення критерію. При цьому p -значення (довірча ймовірність) підтверджує або відхиляє наявність нульової гіпотези нормального розподілу (якщо $p > 0,05$ розподіл є нормальним), тобто являє собою оцінку міри впевненості в достовірності отриманих результатів за критерієм.

Для кожної категорії вулиць та доріг м. Києва (табл. 1) проведений статистичний аналіз даних структурних ознак елементів ВДМ, зокрема за критерієм узгодженості Колмогорова дано оцінку щодо нормальності розподілу досліджуваних структурних ознак (рис. 1).

Таблиця 1 Статистичні показники структурних ознак вулиць та доріг м. Києва

Магістральні вулиці загальноміського значення						
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія	Стандартне відхилення	Вміст, %
$S, \text{м}^2$	42245	1792	282000	1,95E+09	44142	8
$L, \text{м}$	2005	120	11000	2,55E+06	1598	
Магістральні вулиці районного значення						
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія	Стандартне відхилення	Вміст, %
$S, \text{м}^2$	16989	1281	111124	298920322	17289	14
$L, \text{м}$	1179,66	106	6850	818563	905	
Вулиці та дороги місцевого значення						
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія	Стандартне відхилення	Вміст, %
$S, \text{м}^2$	3901	59	61455	25007070	5001	78
$L, \text{м}$	571	27	5300	310856	558	

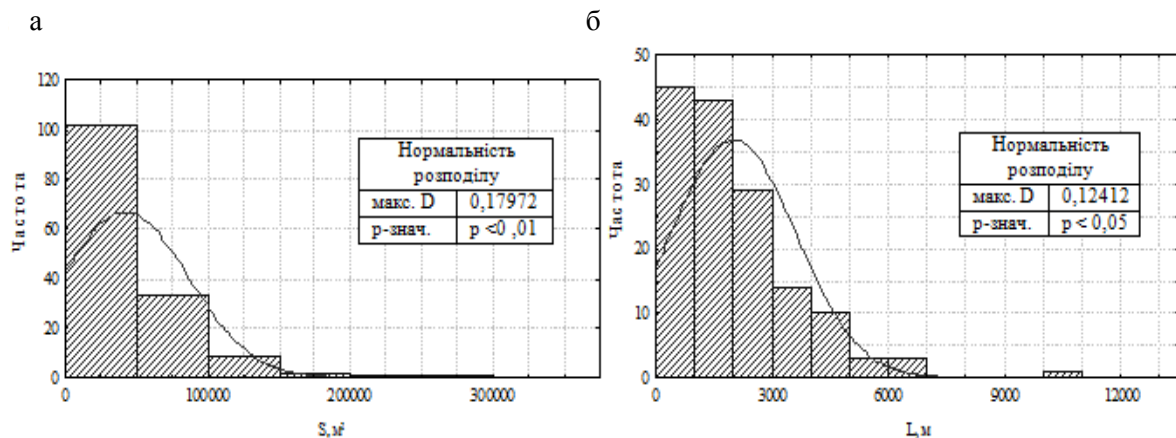


Рис. 1. Розподіл структурних ознак магістральних вулиць загальноміського значення: а – площа; б – протяжність

Отримані результати свідчать, що наразі структурний стан ВДМ міста являє собою множини елементів з явно вираженою неоднорідністю структурних ознак. Виходячи з цього було проведено поетапне розбиття вихідної множини даних для формування однорідних підмножин (кластерів) з високим ступенем подібності структурних ознак елементів ВДМ. При цьому використовувалися класифікаційні методи, які дозволили за подібними структурними ознаками об'єднати елементи ВДМ в однорідні кластери.

Для формування однорідних кластерів застосовувався метод k -середніх, який дозволив побудувати мінімальну кількість кластерів, рознесених на максимальні відстані один від одного в k -мірному просторі. Класифікація проводилася поетапно, з різною кількістю кроків розбиття, окремо для кожної категорії вулиць та доріг до тих пір, доки не було до-

сягнуто мінімальних розбіжностей між значеннями аналізованих структурних ознак елементів ВДМ у кожному сформованому кластері, за наявності у кластері нормального закону розподілу. Зокрема формування кластерів для категорії «магістральні вулиці загальноміського значення» було припинено на третьому етапі кластеризації.

На рис. 2 представлено приклад поетапної кластеризації структурних ознак елементів ВДМ, які відносяться до категорії «магістральні вулиці загальноміського значення». Однорідність для категорії «магістральні вулиці районного значення» досягнуто на сьомому кроці, а елементи ВДМ категорії «вулиці та дороги місцевого значення» рознесені у кластери за структурними ознаками в результаті кластеризації, кінцевий результат якої отримано на 44-му кроці.

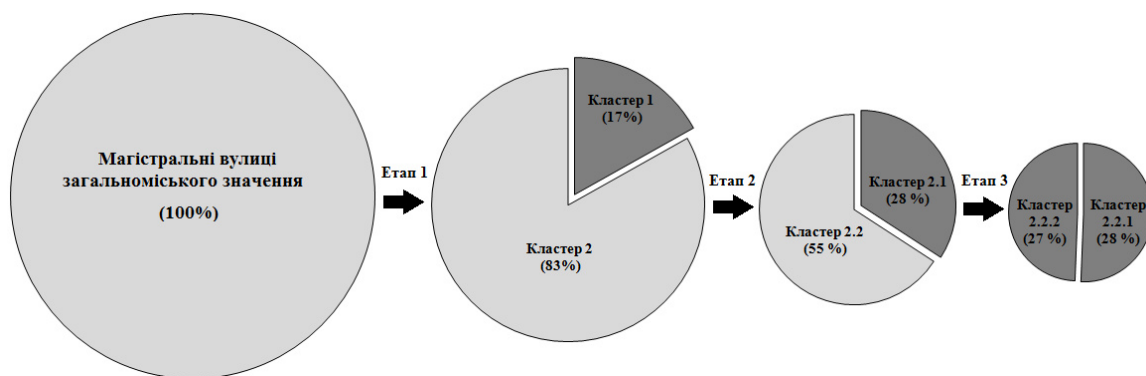


Рис. 2. Поетапна кластеризація структурних ознак магістральних вулиць загальноміського значення: – нерозщеплена множина елементів – однорідні кластери

У табл. 2 наведено статистичні показники структурних ознак. Зокрема представлено результати відповідних обчислень для утворених кластерів магістральних вулиць загальноміського значення. Порівнюючи статистичні показники структурних ознак магістральних вулиць загальноміського значення для вихідних даних (табл. 1) з відповідними значеннями сформованих кластерів (табл. 2), слід відмітити, що досягнуто суттєве зменшення дисперсії для кластерів 2.1, 2.2.1, 2.2.2.

На рис. 3 зображено розподіл структурних ознак магістральних вулиць загальноміського значення, зокрема результати перевірки на відповідність нормальному закону розподілу за критерієм узгодженості Колмогорова для кластера 2.2.1.

Результати перевірки на відповідність нормальному закону розподілу структурних ознак для магістральних вулиць загальноміського значення свідчать про наявність однорідності у сформованих кластерах 2.1, 2.2.1 та 2.2.2. Слід відмітити, що кластер 1, який становить близько 17 % магістральних вулиць загальноміського значення, містить у собі вулиці та дороги, структурні ознаки яких відповідають нормальному закону розподілу лише за протяжністю. Магістральні вулиці районного значення, у результаті проведення поетапної кластеризації, рознесено до 8 кластерів, з яких лише структурні ознаки кластеру 1 (11 % магістральних вулиць районного значення) не відповідають нормальному закону розподілу. Вулиці та дороги місцевого значення вдалося сформувати у кластери, з яких 75,9 % – вулиці та

дороги, що увійшли до 32 кластерів, структурні ознаки яких відповідають нормальному розподілу; 13,9 % – вулиці та дороги, які формують 8 кластерів, що відповідають нормальному закону розподілу лише за ознакою «протяжність»; 2,2 % – вулиці та дороги кла-

стеру 2.2.2.1.2.1.1, відповідають нормальному розподілу за ознакою «площа»; 8 % – вулиці та дороги кластерів 2.2.2.1.1.1, 2.2.2.2.1.1.1, 2.2.2.2.1.2.2.2, 2.2.2.2.2.1.2.1, які не відповідають нормальному розподілу за жодною ознакою.

Таблиця 2 Статистичні показники структурних ознак вулиць та доріг утворених кластерів

Кластер 1						
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія	Стандартне відхилення	Наповнення кластеру, %
$S, \text{ м}^2$	120328	75736	282000	2,379476E+09	48780	17
$L, \text{ м}$	4521	1950	11000	3,178689E+06	1783	
Кластер 2.1						
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія	Стандартне відхилення	Наповнення кластеру, %
$S, \text{ м}^2$	49586	33000	75291	151746039	12319	28
$L, \text{ м}$	2377	1200	4240	584833	764,74	
Кластер 2.2.1						
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія	Стандартне відхилення	Наповнення кластеру, %
$S, \text{ м}^2$	21541	14850	30872	10871288	4516	27
$L, \text{ м}$	1496	500	3250	102058	602	
Кластер 2.2.2						
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія	Стандартне відхилення	Наповнення кластеру, %
$S, \text{ м}^2$	7312	1792	13836	20390465	3297	28
$L, \text{ м}$	587	120	1695	362260	319	

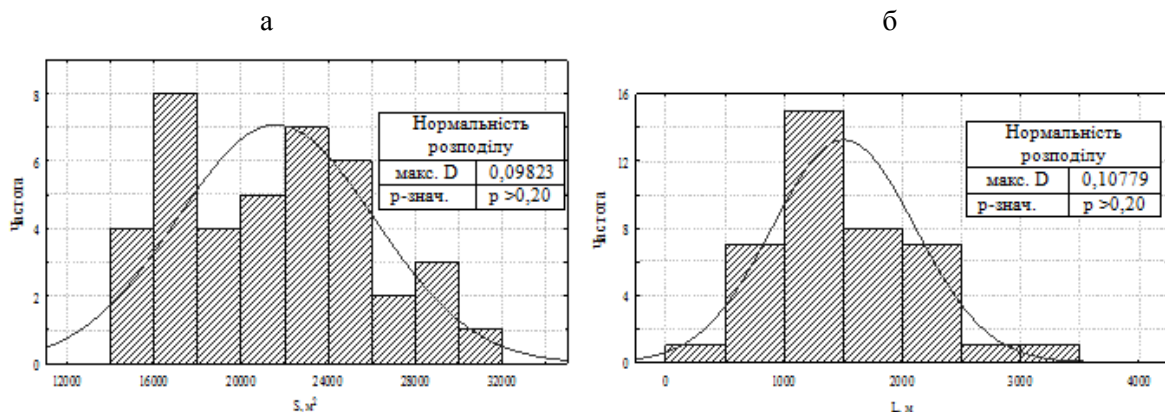


Рис. 3. Розподіл структурних ознак магістральних вулиць загальноміського значення. Кластер 2.2.1: а – площа; б – протяжність

Для ідентифікації вулиць та доріг, що мають структурні ознаки, які наближаються до середньостатистичних значень сформованих кластерів, були знайдені центри тяжіння відповідних кластерів, для яких значення структурних ознак відповідають нормальному закону розподілу. Проведення повторної класифікації із залученням до аналізу ядер сформованих кластерів дозволило із досліджуваної множини виявити, в межах сформованих кластерів, вулиці та дороги, струк-

турні ознаки яких найкраще співпадають із центрами тяжіння кластерів. Повторну класифікацію реалізовано ієрархічним методом кластерного аналізу (метод Варда). У результаті класифікації вулиць та доріг, що формують нинішню структуру ВДМ м. Києва, сформовано однорідні кластери, в яких ідентифіковані вулиці та дороги з найбільш типовими структурними ознаками. Так, найбільш типовими «представниками» магістральних вулиць загальноміського значення є

вулиці Солом'янська, Бережанська та 9-го Травня; магістральними вулицями районного значення – вулиці Б. Хмельницького, Святошинська, Донецька, Стадіонна, Сагайдачно-го, Юрія Коцюбинського та Банкова.

Окремо слід відмітити категорію – вулиці та дороги місцевого значення, кількість яких у складі ВДМ міста є найбільшою. Типовими представниками даної категорії виявилися вулиці Голосіївського району – вул. Батумська (ділянка дороги від пр-та Червонозоряного до вул. Козацької), вул. Чабанівська (ділянка дороги від пр-та Глушкова), пров. Балакірева, пров. Уральський (ділянка дороги від вул. Уральської), вул. Цимбалів Яр (ділянка дороги від вул. Уральської до вул. О. Кошового), вул. Бурмістенко (ділянка дороги від пр-та 40-річчя Жовтня до вул. Васильківської), пров. О. Кошового (ділянка дороги від вул. О. Кошового до вул. Добрий шлях), вул. Грабовського (ділянка дороги від пр-та Науки до вул. Федосіївської), вул. Смолича (ділянка дороги від вул. Якубовського до вул. Конєва), вул. Майкопська (ділянка дороги від вул. Кустанайської до вул. Батумської); Дарницького району – вулиці Фрунзе, Ялинкова, Ташкентська, Вірменська, Жданова, Комінтерну; Деснянського району – вулиці Данькевича, Тургенєва; Дніпровського району – провулки Бишівський, Будівельників; Оболонського району – вулиця Коноплянська; Печерського району – вулиці Іванова, Шумова; Подільського району – провулок Межовий, вулиця Дмитрівська; Солом'янського району – вулиці Ново-Польова, Іскрівська; Святошинського району – вулиці Гаршина, Бахмацька, Яснополянська; Шевченківського району – вулиці Паторминського, Естонська.

Ідентифіковані вулиці та дороги відтворюють 83 % мережі магістральних вулиць загальноміського значення, 89 % – мережі магістральних вулиць районного значення, а також 75,9 % – вулиці та дороги місцевого значення. Решта вулиць та доріг увійшли до кластерів, структурні ознаки яких не відповідають нормальному закону розподілу.

Висновки

Проведений класифікаційний структурний аналіз множини елементів ВДМ м. Києва дозволив сформувані однорідні підмножини (кластери) елементів з подібними структурними ознаками вулиць та доріг. Запропонований алгоритм класифікаційного аналізу елементів ВДМ може використовувати необмежену кількість ознак, як структурної природи, так і іншої. Інформація про центри тяжіння однорідних кластерів дозволяє провести ідентифікацію елементів вихідної множини щодо їх особливих ознак. Розглянутий алгоритм класифікації дозволяє суттєво зменшити розмірність досліджуваної множини елементів і може бути ефективним засобом у системі моніторингу за станом ВДМ.

Література

1. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень: ДБН 360-92** – [Чинний від 2002-04-19]. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2002. – 92 с.
2. Ранжування структурних елементів вулично-дорожньої мережі за допомогою індексного методу / В.Д. Данчук, Р.В. Олійник, Є.С. Самойленко, С.М. Тарабан // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2012. – Вип.86. – С. 146–153.
3. Михайлов А.Ю. Тенденции развития классификаций городских улиц и дорог / А.Ю. Михайлов, И.М. Головных // Вестник ИрГТУ. – 2004. – № 3. – С. 124–127.
4. Витолин С.В. Классификация потребительских свойств регулируемых перекрестков / С.В. Витолин. – Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер. «Политематическая». – 2011. – Вып. 3 (17).
5. Класифікація структурних елементів вулично-дорожньої мережі методами кластерного аналізу / В.Д. Данчук, Р.В. Олійник, Є.С. Самойленко, С.М. Тарабан // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2012. – Вип. 85. – С. 124–130.

Рецензент: Є.В. Нагорний, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 28 жовтня 2013 р.