

ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ ЗУПИНОК ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА ОСНОВІ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ

Визначення рівня завантаження громадського транспорту у містах включає в себе оцінку кількості пасажирів, які перебувають у транспортному засобі у певний момент часу в порівнянні з його максимальною потужністю або рекомендованою кількістю пасажирів. Це може вимірюватися як кількість пасажиро-місць, які зайняті або порожні, або як відсоток від загальної потужності транспортного засобу. Важливим є показник завантаження зупинок громадського транспорту пасажиром, що його очікують. Інформація про рівень завантаження допомагає пасажиром планувати свої поїздки раціональніше, а також транспортним компаніям та приватним підприємцям управляти ресурсами і забезпечувати ефективне функціонування маршрутів. Для дослідження взято середнє значення пасажиропотоку на зупинках громадського транспорту в пікові періоди. При визначенні рівня завантаження зупинок громадського транспорту використано кластерний аналіз. Кластерний аналіз дає можливість здійснити наглядну класифікацію зупинок громадського транспорту м. Тернополя за ступенем завантаженості пасажиром. Кластери формувалися з урахуванням кількості пасажирів на зупинках і маршрутних засобах в різні пори доби (ранок, обід, вечір). Кластерний аналіз здійснено методом *k*-середніх, засобами програмного продукту STATISTICA 10. За міру відстані об'єктів у кластерах вибрано Евклідову метрику. Здійснено поділ зупинок громадського транспорту м. Тернополя на 4 кластери: дуже високої завантаженості, високої завантаженості, середньої завантаженості, низької завантаженості. На основі розрахунку завантаження зупинок громадського транспорту надано рекомендації щодо оновлення мережі маршрутів громадського транспорту. Результати досліджень є корисними для планування маршрутів і частоти руху засобів транспорту та використання кількості транспортних засобів на кожному маршруті особливо у години пік.

Ключові слова: кластерний аналіз, метод *k*-середніх, пасажиропотік, зупинки громадського транспорту, транспортна мережа, громадський транспорт.

ВСТУП

Щоденне використання громадського транспорту (ГТ) мешканцями міста стає все більш актуальним і важливим аспектом сучасного транспортного планування. Пересування пасажирів по місту через ГТ є не лише зручним, а й допомагає зменшити транспортні затори, забруднення повітря та підвищує загальний рівень доступності міських послуг. Проте, для досягнення максимальної ефективності та забезпечення зручності користувачів, необхідно постійно вдосконалювати маршрутну мережу та зупинки.

Формування стратегій удосконалення маршрутної мережі у містах вимагає комплексного підходу та розгляду різних аспектів. Одним з ключових напрямків є оптимізація основних маршрутів з урахуванням наявності зупинок з пересадкою, що дозволяє пасажиром зручно та швидко переміщатися між різними напрямками. Такий підхід збільшує привабливість ГТ для користувачів та сприяє збільшенню його використання, що, у свою чергу, може призвести до зменшення автотранспортного навантаження та покращення екологічної ситуації в місті.

Таким чином, дослідження рівня завантаженості зупинок пасажиром є актуальним та важливим кроком у напрямку удосконалення міського транспорту та забезпечення комфортного пересування громадян.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Дослідження транспортної мережі ГТ м. Тернополя проводилося в таких роботах [1-5]. Авторами [1] проаналізовано комфорт в ГТ, стан транспортної інфраструктури розглянуто в роботах [2-3], питанням безпеки дорожнього руху присвячені роботи [4-5]. Питання завантаженості зупинок ГТ є недостатньо висвітлені. А саме завдяки цьому аналізу можна оптимізувати маршрути ГТ, зменшуючи кількість пустих рейсів і покращуючи обслуговування пасажирів [6-8].

Поділ сукупності на однорідні класи називають класифікацією. До методів класифікації відносять кластерний і дискримінантний аналіз [9]. Кластерний аналіз – це метод класифікації, який групує схожі об'єкти разом у кластери на основі їхніх властивостей, без попередніх категорій. Цей метод допомагає виявити природні групи в даних і розкрити їхню структуру. Дискримінантний аналіз також є методом класифікації, але він визначає, які змінні найбільше впливають на розділення

об'єктів на категорії [9-11]. Цей метод допомагає відокремити групи на основі важливих характеристик.

Отже, проблемою дослідження є аналіз та планування, шляхом формування рекомендацій, завантаженості пасажиропотоків зупинок м. Тернополя.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ. Розгалужена та достатньо щільна маршрутна мережа із відповідним інфраструктурним забезпеченням формує основу транспортної пропозиції для задоволення потреб у переміщеннях мешканців громади. Підвищення рівня якості послуг ГТ сприятиме підвищенню його привабливості та збільшенню кількості користувачів, що віддають перевагу масовому пасажирському транспорту на противагу індивідуальному автомобілю. Зупинковими спорудами облаштовані всі зупиночні пункти тролейбусних маршрутів, тоді як на зупинках з низьким пасажирообміном залишаються необладнаними 17%.

Для задоволення існуючих потреб пасажирів у якісному транспортному обслуговуванні необхідним є забезпечення достатньої кількості автобусів великої та середньої пасажиромісткості [12], однак, відповідно до принципів сталої міської мобільності, пріоритетом транспортної політики міста має бути екологічно чистий транспорт. Саме за допомогою кластерного аналізу зручно оцінити рівень завантаження кожної зупинки ГТ в м. Тернопіль і спланувати необхідність по кількості ТЗ на кожному маршруті у пікові періоди. Це дасть змогу раціонально залучати з наявного автобусного та тролейбусного парку саме ту кількість одиниць ТЗ, яка необхідна для комфортного перевезення пасажирів у години пік, або спланувати фінансування на придбання нових ТЗ для повного задоволення потреб ГТ.

Метою статті є класифікація зупинок громадського транспорту за завантаженістю для планування необхідної кількості ТЗ на кожному з маршрутів.

Виходячи з мети, задачами дослідження є:

1. Дослідження пасажиропотоків у м. Тернополі.
2. Розроблення алгоритму кластеризації зупинок громадського транспорту за завантаженістю.
3. Проведення моделювання в середовищі STATISTICA 10.
4. Формування рекомендацій щодо завантаженості зупинок.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Маршрутна мережа ГТ м. Тернополя є досить розвиненою та охоплює всі райони міста [13, 14]. Тролейбусні маршрути переважно зосереджені в центральній частині міста із розгалуженнями до районів Дружба, Східний масив, Сонячний, Північний, Південний, Північний промисловий та інші. Мережа автобусних маршрутів значно щільніша, ніж тролейбусна, за рахунок більшої кількості маршрутів, а відсутність необхідності у спеціальній інфраструктурі дозволяє забезпечувати приміське транспортне сполучення з прилеглими населеними пунктами, наприклад:

- Маршрут 2 – с. Біла – вул. Миру, Тернопіль;
- Маршрут 5, 5А – с. Острів – вул. Лучаківського, Тернопіль;
- Маршрут 8 – містечко Шляховиків – вул. Бродівська, Тернопіль;
- Маршрут 23 – с. Пронятин – Автовокзал, вул. Живова 7;
- Маршрут 32 – Міське кладовище – вул. Мазепи, Тернопіль.

Істотно важливими компонентами, що впливають на якість транспортних послуг ГТ є доступність транспортної інфраструктури та система оплати проїзду. На маршрутній мережі міста розташовані 218 зупиночних пунктів ГТ, для понад 96% тернополян – у межах пішоїхідної доступності 500 метрів від місць проживання. Систематично проводяться роботи з облаштування зупиночних пунктів: у 2020 році облаштовано 7 зупинок ГТ, нині виконується капітальний ремонт - схема організації дорожнього руху з облаштуванням зупинки ГТ на вул. Корольова. Проте система вуличного інформування не завжди дозволяє користувачам отримати інформацію в режимі реального часу про прибуття ТЗ та час очікування потреби для планування своїх поїздок. Тернопіль є передовим містом в Україні з впровадження автоматизованої системи оплати проїзду, що забезпечує безготівкову оплату за допомогою банківських карт, персоніфікованих чи неперсоніфікованих електронних квитків як в комунальному, так і в приватному ГТ. Органами місцевої влади забезпечуються вигідні пропозиції та умови оплати проїзду, зокрема, введення додаткової послуги зі здійснення необмеженої кількості пересадок на маршрутах ГТ протягом 30 хв. У системі існуючих способів пересування в Тернопільській МТГ ГТ відводиться особлива роль.

Дослідження пасажиропотоків проводилося у два етапи: камеральний та натурний (анкетний) – для збору та обробки даних, отриманих під час обстежень пасажиропотоку. Натурне дослідження табличним методом є найбільш трудомістким у порівнянні з існуючими методами і дає досить точні результати з мінімальною похибкою. Для аналізу пасажиропотоку досліджуються на кожному існуючому маршруті міської транспортної мережі в години пік у три періоди: ранок, обід, вечір, також важливо охопити основні пересадочні пункти міста. Відповідно до цієї методики отримали вихідні дані для подальшого кластерного аналізу (Таблиця 1).

Для проведення поділу завантаженості зупинок використовуємо кластерний аналіз.

Основні кроки алгоритму кластерного аналізу такі:

1. Підготовка даних. Першим кроком у кластерному аналізі є підготовка даних шляхом вибору відповідних характеристик, таких як кількість пасажирів на різних зупинках, типи ТЗ, час доби тощо. Дані слід очистити та нормалізувати, щоб забезпечити значущу кластеризацію.

2. Вибір алгоритму кластеризації: залежно від характеру даних і цілей аналізу можна використовувати різні алгоритми кластеризації (ієрархічна, k -середніх, DBSCAN, Mean Shift Clustering, Gaussian Mixture Models (GMM)). Кластеризація k -середніх зазвичай використовується через її простоту та ефективність у визначенні кластерів на основі центроїдів.

Таблиця 1. Середні значення пасажиропотоку на зупинках громадського транспорту м.

Тернопіль в пікові періоди

№п/п	Зупинка	ранок	обід	вечір	№п/п	Зупинка	ранок	обід	вечір
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	"Збруч"	17	34	12	82	вул. Стуса	12	5	13
2	11 школа (від центру)	23	21	29	83	вул. Тернопільська	21	6	8
3	11 школа (до центру)	18	16	14	84	вул. Тролейбусна	25	20	23
4	13 школа (від центру)	5	9	7	85	вул. Ш. Руставелі (від центру)	23	23	23
5	13 школа (до центру)	29	32	27	86	вул. Ш. Руставелі (до центру)	27	27	25
6	14 школа	17	7	9	87	вул. Шпитальна	22	28	20
7	18 школа	10	13	18	88	вул. Вільхова	30	6	12
8	6 школа	29	33	40	89	вул. Котляревського	11	6	10
9	Автовокзал	90	78	58	90	вул. Леся Курбаса	22	11	9
10	Автомийка	15	15	9	91	вул. Лучаківського	15	7	8
11	Авторинок (від центру)	10	14	8	92	вул. Хмельницького	5	3	5
12	Авторинок (до центру)	14	18	22	93	Газопровід	12	13	7
13	АТ "Ватра" (від центру)	16	17	13	94	Галицький коледж	50	44	41
14	АТ "Ватра" (до центру)	20	16	15	95	гот. Галичина	36	33	38
15	АТП-1962	18	17	12	96	Дендропарк	5	1	3
16	Бібліотека для молоді	5	4	7	97	Дитячий будинок	1	3	4
17	вул. Б. Лепкого	24	38	27	98	Духовний центр	14	16	28
18	буд. праці	12	4	2	99	Електросвіт (до цент)	11	5	11
19	бул. Куліша	15	4	8	100	За Рудкою	14	9	19
20	бул. Просвіти	22	16	11	101	Залізничний вокзал	35	32	44
21	бул. С. Петлюри	8	15	10	102	Збаразьке кільце	14	11	6
22	бул. Д. Галицького	2	2	4	103	ЗУНУ	11	20	13

23	ВАТ "Зелене господарство"	16	13	13	104	Кемпінг	64	30	24
24	вул. Будного	8	6	7	105	Кооперативний коледж	45	50	44
25	вул. Золотогірська	15	8	7	106	Кулко	11	11	8
26	вул. 15 квітня (від центру)	27	20	31	107	Кутківці	17	10	13
27	вул. 15 квітня (до центру)	20	14	9	108	Лікарня швидкої допомоги	46	54	47
28	вул. А. Шептицького	16	27	20	109	маг. "Карпати"	4	5	3
29	вул. А. Сахарова	10	8	15	110	маг. "Текстильник"	35	34	27
30	вул. Бережанська	41	36	34	111	маг. Універсам (від центру)	32	40	35
31	вул. Братів Бойчуків	30	21	29	112	маг. Універсам (до центру)	43	33	34
32	вул. Бригадна	4	2	5	113	Мебл. фабрика (Біла)	17	3	11
33	вул. Броварна	9	9	8	114	Медичний університет	30	33	42
34	вул. Бродівська (від центру)	30	24	27	115	Митниця	12	5	6
35	вул. Бродівська (до центру)	14	15	12	116	Містечко Шляховиків	17	11	4
36	Електросвіт(від центру)	7	8	9	117	Міська лікарня №2	27	16	19
37	вул. В. Великого	20	16	20	118	Міська поліклініка №1	8	22	17
38	вул. Весела	3	5	2	119	міське кладовище	35	29	25
39	вул. Винниченка	22	18	12	120	Міський стадіон	19	26	26
40	вул. Вояків Дивізії "Галичина"	14	14	5	121	Новий світ	20	10	13
41	вул. Глибока	5	1	6	122	Обл. дитяча лікарня	11	14	20
42	вул. Громницького	18	5	13	123	Обл. лікарня (від центру)	14	16	17
43	вул. Дівоча	3	1	6	124	Обл. лікарня (до центру)	34	20	19
44	вул. Довженка	11	5	14	125	Обл. психоневр. лікарня	9	16	22
45	вул. Дружби (від центру)	3	5	6	126	Орнава	21	25	12
46	вул. Дружби (до центру)	35	24	25	127	ПК "Березіль"	23	21	25
47	вул. Євгена Коновальця	4	6	7	128	парк "Здоров'я"	7	3	5
48	вул. Збаразька (від центру)	36	43	57	129	парк Н. Відродження	7	5	10
49	вул. Збаразька (до центру)	33	27	44	130	Пед. університет	25	28	25
50	вул. Злуки	31	29	11	131	Пожежна частина	8	9	11
51	вул. К. Савери	3	3	4	132	просп. С. Бандери	23	10	26
52	вул. Карпенка (від центру)	6	5	3	133	Ремзавод	1	6	12
53	вул. Карпенка	40	36	25	134	Римо-католицький	41	33	22

	(до центру)					костел			
54	вул. Київська (від центру)	22	15	19	135	с. В. Березовиця	22	11	7
55	вул. Київська (до центру)	25	14	19	136	с. Острів	24	4	20
56	вул. Корольова	11	10	18	137	Савич парк	21	22	18
57	вул. Кривоноса	43	31	16	138	СЕ Борднетце-Україна	4	2	5
58	вул. Крушельницької	8	10	9	139	Столярна фабрика	2	11	22
59	вул. Л. Українки	65	33	43	140	Текстерно	7	4	5
60	вул. Лозовецька	4	7	13	141	Тернопільгаз	18	13	18
61	вул. Лук'яновича	8	4	4	142	Тернопільелектротранс	4	6	1
62	вул. Львівська	16	15	28	143	Тернопільобленерго	31	30	50
63	вул. Мазепи (від центру)	41	33	37	144	Техн. університет	6	7	5
64	вул. Мазепи (до центру)	35	31	37	145	ТК "Молодіжний"	3	5	5
65	вул. Малишка	3	3	4	146	ТК "Площа Ринок"	23	22	18
66	вул. Миру	12	6	12	147	ТРЦ "Подoliaни"	34	39	50
67	вул. Монастирського	21	28	20	148	Тубдиспансер (від центру)	15	20	12
68	вул. Морозенка	7	9	10	149	Тубдиспансер (до центру)	46	31	33
69	вул. Морозенка (на ЛК)	8	9	13	150	ТЦ "Епіцентр"	3	13	22
70	вул. Оболоня	14	13	7	151	ТЦК	7	12	13
71	вул. Олени Теліги	6	7	16	152	Філармонія	32	43	54
72	вул. Патріарха Л. Гузара	7	9	14	153	хлібзавод	8	9	9
73	вул. Перля	6	9	8	154	Центр дозв. ім. О. Довженка	12	18	10
74	вул. П. Орлика (від центру)	3	4	3	155	Центральна бібліотека	68	73	81
75	вул. П. Орлика (до центру)	15	11	14	156	Центральний ринок	54	97	71
76	вул. Поліська	3	6	6	157	церк. Йосафата	17	10	14
77	вул. Протасевича	13	12	18	158	церк. св. Іллі	2	3	4
78	вул. Симоненка	48	33	21	159	церк. св. ап. Петра	47	26	19
79	вул. Слівенська (від центру)	9	10	9	160	церк. І. Богослова	13	13	10
80	вул. Слівенська (до центру)	18	14	11	161	Цукр. завод (від центру)	17	17	11
81	вул. С. Стадникової	34	29	27	162	Цукр. завод (до центру)	32	25	14

3. Визначення оптимальних кластерів. Одним із завдань кластерного аналізу є визначення оптимальної кількості кластерів. Для пошуку кількості кластерів, які найкраще представляють базові моделі в даних, можна використовувати такі методи, як метод ліктя або аналіз силуєту.

4. Інтерпретація кластерів: після визначення кластерів їх необхідно інтерпретувати, щоб зрозуміти характеристики кожного кластера. Це може включати аналіз поведінки пасажирів у кожному кластері, визначення загальних моделей подорожей, годин пік, бажаних маршрутів тощо.

5. Застосування в транспортному плануванні: розуміння, отримане в результаті кластерного аналізу, може бути цінним у транспортному плануванні для оптимізації маршрутів, частоти розкладу, ефективного розподілу ресурсів і адаптації послуг відповідно до конкретних потреб різних сегментів пасажирів.

Використовуючи програмний засіб STATISTICA 10, проведено кластерний аналіз 162 зупинок ГТ м. Тернополя. Змінними групування було обрано середнє значення пасажиропотоку на зупинках ГТ м. Тернопіль в пікові періоди (ранок, обід, вечір).

Для визначення кількості кластерів побудовано дендрограму (рис. 1), яка графічно зображає послідовність об'єднання кластерів. Для вимірювання відстані між об'єктами у кластерах використано евклідову метрику.

Виходячи з візуального представлення, робимо припущення, що зупинки можна розділити на 4 кластери.

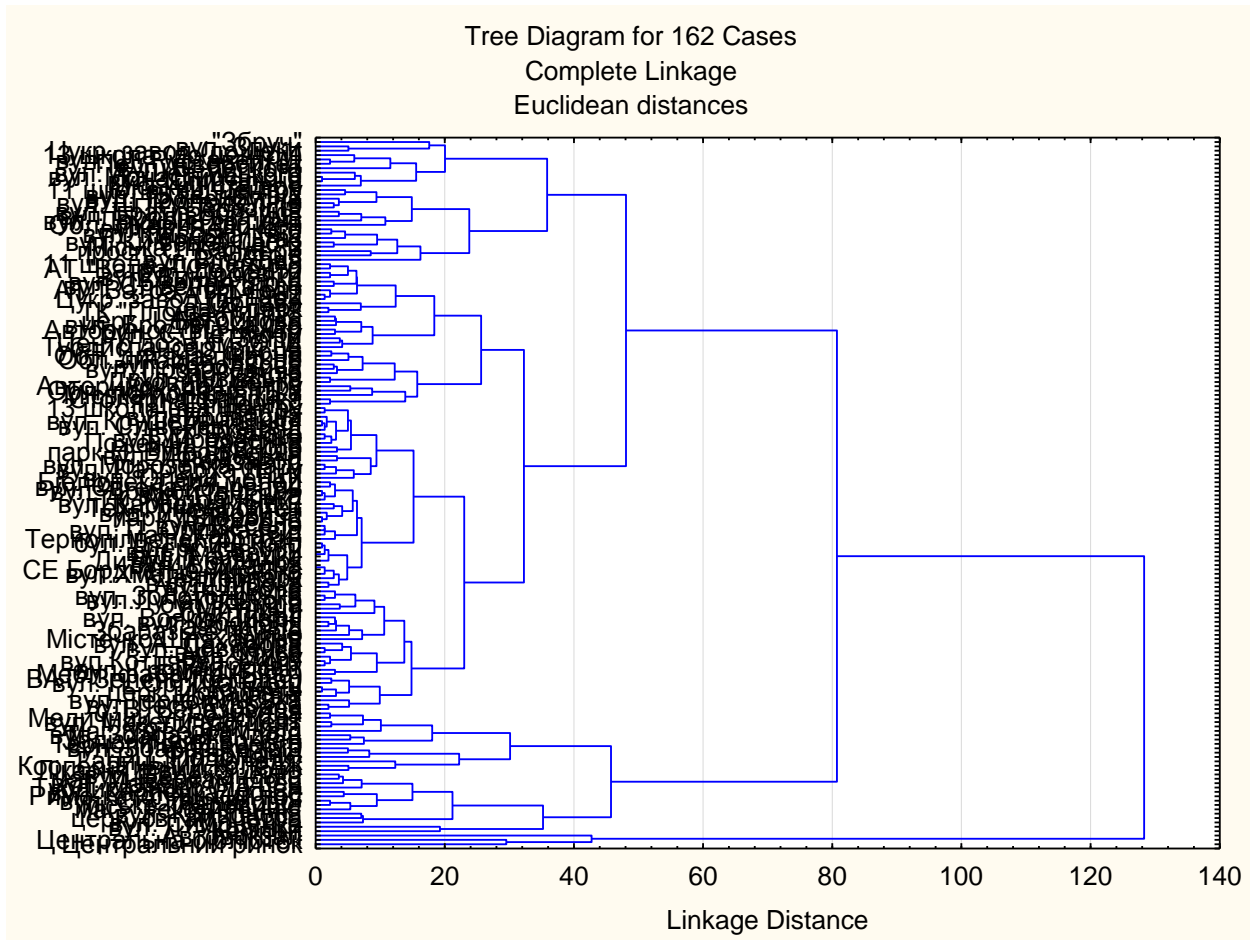


Рисунок 1. Дендрограма кількості завантаженості зупинок протягом 1 місяця

Кластеризацію було проведено методом *k*-середніх. Порівняльний аналіз між досліджуваними кластерами проводимо за допомогою аналізу дисперсій (рис. 2).

Variable	Analysis of Variance (Книга1.sta)					
	Between SS	df	Within SS	df	F	signif. p
ранок	28915,97	3	6858,223	158	222,0558	0,00
обід	29725,22	3	4727,283	158	331,1687	0,00
вечір	23879,28	3	7265,938	158	173,0873	0,00

Рисунок 2. Аналіз дисперсій

Рівень значущості $p \in$ меншим за 0,05 за кожним періодом, за яким були розподілені зупинки, це означає, що така кількість кластерів є доцільною, відмінності між досліджуваними параметрами є достатньо великими для того, щоб говорити про те, що різна кількість пасажирів входить у досліджувані групи.

Середні значення та описові статистики, за якими здійснювався поділ кластерів представлено на рис. 3 і 4. Як бачимо, різких стрибків в середніх значеннях не спостерігалося.

Descriptive Statistics for Cluster 3 Cluster contains 59 cases				Descriptive Statistics for Cluster 2 Cluster contains 31 cases			
Variable	Mean	Standard Deviation	Variance	Variable	Mean	Standard Deviation	Variance
ранок	19,81356	5,989861	35,87843	ранок	39,19355	9,30383	86,5613
обід	17,71186	6,189677	38,31210	обід	34,61290	6,65671	44,3118
вечір	17,55932	6,077860	36,94038	вечір	35,12903	10,85892	117,9161

Descriptive Statistics for Cluster 1 Cluster contains 3 cases				Descriptive Statistics for Cluster 4 Cluster contains 69 cases			
Variable	Mean	Standard Deviation	Variance	Variable	Mean	Standard Deviation	Variance
ранок	70,66666	18,14754	329,3333	ранок	8,057971	4,730639	22,37894
обід	82,66666	12,66228	160,3333	обід	6,797101	3,546248	12,57587
вечір	70,00000	11,53256	133,0000	вечір	8,173913	4,405733	19,41049

Рисунок 3. Описові статистики змінних групування у кластерах

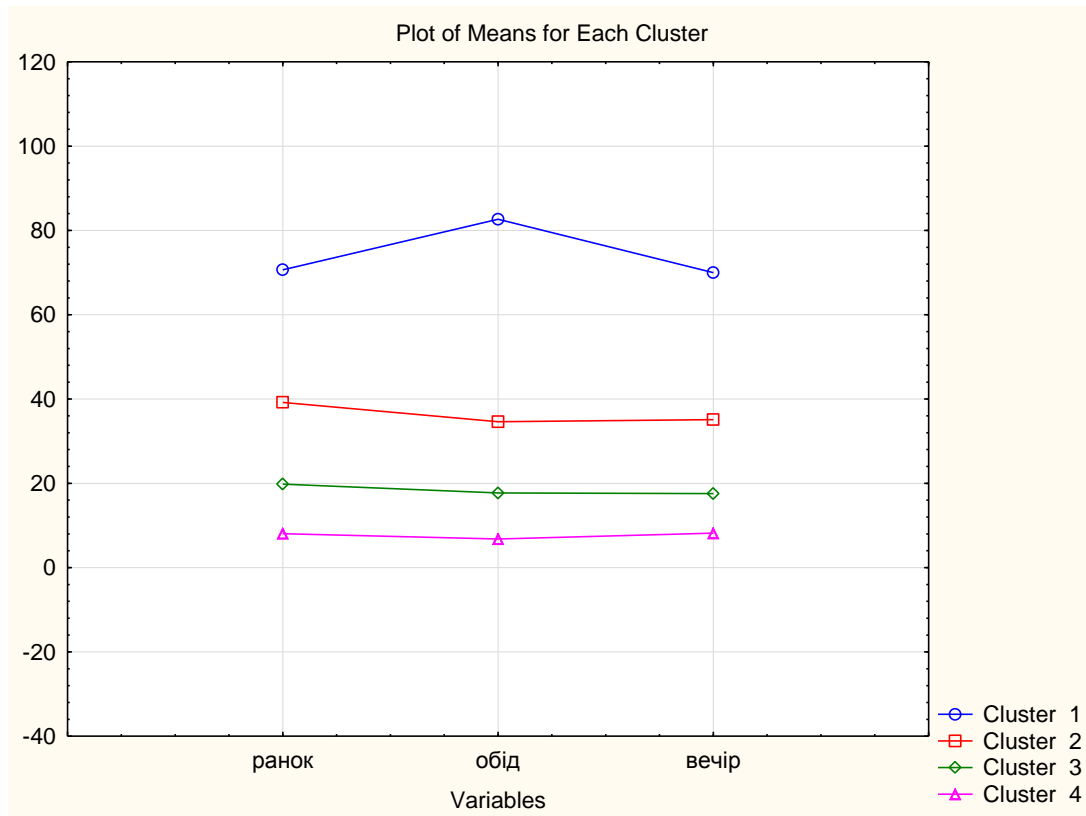


Рисунок 4. Середні значення, за якими здійснювався поділ кластерів
В таблиці 2 приведено класифікацію зупинок за кластерами.

Таблиця 2. Класифікація зупинок за кластерами

Зупинка	Кластер	Зупинка	Кластер	Зупинка	Кластер	Зупинка	Кластер
1	2	3	4	5	6	7	8
Автовокзал	1	АТ "Ватра" (до	3	просп. С.	3	вул. Миру	4

		центру)		Бандери			
Центральна бібліотека	1	АТП-1962	3	с. В. Березовиця	3	вул. Морозенка	4
Центральний ринок	1	бул. Просвіти	3	с. Острів	3	вул. Морозенка (на ЛК)	4
13 школа (до центру)	2	ВАТ "Зелене господарство"	3	Савич парк	3	вул. Оболоня	4
6 школа	2	вул. 15 квітня (від центру)	3	Тернопільгаз	3	вул. Олени Теліги	4
вул. Б. Лепкого	2	вул. 15 квітня (до центру)	3	ТК "Площа Ринок"	3	вул. П. Орлика (від центру)	4
вул. Бережанська	2	вул. А. Шептицького	3	Тубдиспансер (від центру)	3	вул. Патріарха Л. Гузара	4
вул. Дружби (до центру)	2	вул. Братів Бойчуків	3	Центр дозв. ім. О. Довженка	3	вул. Перля	4
вул. Збаразька (від центру)	2	вул. Бродівська (від центру)	3	церк. Йосафата	3	вул. Поліська	4
вул. Збаразька (до центру)	2	вул. Бродівська (до центру)	3	Цукр. завод (від центру)	3	вул. Слівенська (від центру)	4
вул. Карпенка (до центру)	2	вул. В. Великого	3	Цукр. завод (до центру)	3	вул. Стуса	4
вул. Кривоноса	2	вул. Винниченка	3	13 школа (від центру)	4	вул. Тернопільська	4
вул. Л. Українки	2	вул. Злуки	3	14 школа	4	вул.Котляревського	4
вул. Мазепи (від центру)	2	вул. Київська (від центру)	3	Авторинок (від центру)	4	вул.Лучаківського	4
вул. Мазепи (до центру)	2	вул. Київська (до центру)	3	Бібліотека для молоді	4	вул.Хмельницького	4
вул. С. Стадникової	2	вул. Львівська	3	буд. праці	4	Газопровід	4
вул. Симоненка	2	вул. Монастирського	3	бул. Д. Галицького	4	Дендропарк	4
Галицький коледж	2	вул. П. Орлика (до центру)	3	бул. Куліша	4	Дитячий будинок	4
гот. Галичина	2	вул. Протасевича	3	бул. С. Петлюри	4	Електросвіт (до центру)	4
Залізничний вокзал	2	вул. Слівенська (до центру)	3	вул. А. Сахарова	4	Збаразьке кільце	4
Кемпінг	2	вул. Тролейбусна	3	вул. Бригадна	4	Кулко	4
Кооперативний коледж	2	вул. Ш. Руставелі (від центру)	3	вул. Броварна	4	маг. "Карпати"	4
Лікарня швидкої допомоги	2	вул. Ш. Руставелі (до центру)	3	вул. Будного	4	Мебл. фабрика (Біла)	4
маг. "Текстильник"	2	вул. Шпитальна	3	Електросвіт (від центру)	4	Митниця	4
маг. Універсам (від центру)	2	вул.Вільхова	3	вул. Весела	4	Містечко Шляховиків	4
маг. Універсам (до центру)	2	вул.Леся Курбаса	3	вул. Вояків Дивізії "Галичина"	4	парк "Здоров'я"	4
Медичний університет	2	Духовний центр	3	вул. Глибока	4	парк Н. Відродження	4

міське кладовище	2	За Рудкою	3	вул. Громницького	4	Пожежна частина	4
Римо-католицький костел	2	ЗУНУ	3	вул. Дівоча	4	Ремзавод	4
Тернопільобленерго	2	Кутківці	3	вул. Довженка	4	СЕ Борднетце-Україна	4
ТРЦ "Подoliaни"	2	Міська лікарня №2	3	вул. Дружби (від центру)	4	Столярна фабрика	4
Тубдиспансер (до центру)	2	Міська поліклініка №1	3	вул. Євгена Коновальця	4	Текстерно	4
Філармонія	2	Міський стадіон	3	вул. Золотогірська	4	Тернопільелектротранс	4
церк. св. ап. Петра	2	Новий світ	3	вул. К. Савури	4	Техн. університет	4
"Збруч"	3	Обл. дитяча лікарня	3	вул. Карпенка (від центру)	4	ТК "Молодіжний"	4
11 школа (від центру)	3	Обл. лікарня (від центру)	3	вул. Корольова	4	ТЦ "Епіцентр"	4
11 школа (до центру)	3	Обл. лікарня (до центру)	3	вул. Крушельницької	4	ТЦК	4
18 школа	3	Обл. психоневр. лікарня	3	вул. Лозовецька	4	хлібзавод	4
Автомийка	3	Орнава	3	вул. Лук'яновича	4	церк. І. Богослова	4
Авторинок (до центру)	3	Пед. університет	3	вул. Малишка	4	церк. св. Іллі	4
АТ "Ватра" (від центру)	3	ПК "Березіль"	3				

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Проаналізуємо отримані кластери завантаженості зупинок.

В перший кластер (дуже високої завантаженості) попали 3 зупинки: Автовокзал, Центральна бібліотека, Центральний ринок.

В другий (високої завантаженості) попали 31 зупинка: 13 школа (до центру), 6 школа, вул. Б. Лепкого, вул. Бережанська, вул. Дружби (до центру), вул. Збаразька (від центру), вул. Збаразька (до центру), вул. Карпенка (до центру), вул. Кривоноса, вул. Л. Українки, вул. Мазепи (від центру), вул. Мазепи (до центру), вул. С. Стадникової, вул. Симоненка, Галицький коледж, гот. Галичина, Залізничний вокзал, Кемпінг, Кооперативний коледж, Лікарня швидкої допомоги, маг. "Текстильник", маг. Універсам (від центру), маг. Універсам (до центру), Медичний університет, міське кладовище, Римо-католицький костел, Тернопільобленерго, ТРЦ "Подoliaни", Тубдиспансер (до центру), Філармонія, Церк. св. ап. Петра.

В третій кластер (середньої завантаженості) попали 59 зупинок: "Збруч", 11 школа (від центру), 11 школа (до центру), 18 школа, Автомийка, Авторинок (до центру), АТ "Ватра" (від центру), АТ "Ватра" (до центру), АТП-1962, бул. Просвіти, ВАТ "Зелене господарство", вул. 15 квітня (від центру), вул. 15 квітня (до центру), вул. А. Шептицького, вул. Братів Бойчуків, вул. Бродівська (від центру), вул. Бродівська (до центру), вул. В. Великого, вул. Винниченка, вул. Злуки, вул. Київська (від центру), вул. Київська (до центру), вул. Львівська, вул. Монастирського, вул. П. Орлика (до центру), вул. Протасевича, вул. Слівенська (до центру), вул. Тролейбусна, вул. Ш. Руставелі (від центру), вул. Ш. Руставелі (до центру), вул. Шпитальна, вул. Вільхова, вул. Леся Курбаса, Духовний центр, За Рудкою, ЗУНУ, Кутківці, Міська лікарня №2, Міська поліклініка №1, Міський стадіон, Новий світ, Обл. дитяча лікарня, Обл. лікарня (від центру), Обл. лікарня (до центру), Обл. психоневр. лікарня, Орнава, Пед. університет, ПК "Березіль", просп. С. Бандери, с. В. Березовиця, с. Острів, Савич парк, Тернопільгаз, ТК "Площа Ринок", Тубдиспансер (від центру), Центр дозв. ім. О. Довженка, церк. Йосафата, Цукр. завод (від центру), Цукр. завод (до центру).

В четвертий кластер (низької завантаженості) попали 69 зупинок: 13 школа (від центру), 14 школа, Авторинок (від центру), Бібліотека для молоді, буд. праці, бул. Д. Галицького, бул. Куліша, бул. С. Петлюри, вул. А. Сахарова, вул. Бригадна, вул. Броварна, вул. Будного, Електросвіт (від центру), вул. Весела, вул. Вояків Дивізії "Галичина", вул. Глибока, вул. Громницького, вул. Дівоча, вул. Довженка, вул. Дружби (від центру), вул. Євгена Коновальця, вул. Золотогірська, вул. К. Савури, вул. Карпенка (від центру), вул. Корольова, вул. Крушельницької, вул. Лозовецька, вул. Лук'яновича, вул. Малишка, вул. Миру, вул. Морозенка, вул. Морозенка (на ЛК), вул. Оболоня, вул. Олени Теліги, вул. П. Орлика (від центру), вул. Патріарха Л. Гузара, вул. Перля, вул. Поліська, вул. Слівенська (від центру), вул. Стуса, вул. Тернопільська, вул. Котляревського, вул. Лучаківського, вул. Хмельницького, Газопровід, Дендропарк, Дитячий будинок, Електросвіт (до центру), Збарзьке кільце, Кулко, маг. "Карпати", Мебл. фабрика (Біла), Митниця, Містечко Шляховиків, парк "Здоров'я", парк Н. Відродження, Пожежна частина, Ремзавод, СЕ Борднетце-Україна, Столярна фабрика, Текстерно, Тернопільелектротранс, Техн. університет, ТК "Молодіжний", ТЦ "Епіцентр", ТЦК, хлібзавод, церк. І. Богослова, церк. св. Іллі.

ВИСНОВКИ

На основі проведеного дослідження отримані такі результати:

1. На основі камерального та натурального способу зроблено дослідження пасажиропотоків у м. Тернопіль, що дало можливість сформулювати завантаженість зупинок протягом місяця.

2. Розроблено алгоритм кластерного аналізу, на основі якого проведено поділ пасажиропотоків зупинок на чотири кластери за рівне завантаженості пасажирів.

3. Проведено моделювання пасажиропотоків у середовищі STATISTICA 10 та отримано дендрограми кількості завантаженості зупинок, отримано дисперсії та середні значення, за якими здійснювався поділ кластерів.

4. Отже, застосувавши кластерний аналіз, нами було поділено зупинки ГТ м. Тернополя на 4 кластери, що дало змогу розділити їх за рівнем завантаженості на: дуже високої, високої, середньої та низької завантаженості.

5. Сформовано рекомендації щодо оновлення мережі маршрутів ГТ на основі розрахунку завантаження зупинок ГТ кластерним алгоритмом такі: модернізація транспортної мережі шляхом ліквідації близько 7-ми автобусних маршрутів, перегляд руху та проходження 9 маршруту, придбання низькопідлогових автобусів середньої та великої вмістимості для розвантаження центральної зони міста у місцях пересадки та найбільшої скупченості пасажирів, зменшення рівня дублювання маршрутів (корегування графіком руху в пікові години і корекція заїздів ТЗ на перерву у години пік - маршрут 8, 18 у вечірній пік).

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Попович П.В., Побережний Л.Я., Мурований І.С., Шевчук О.С., Прогній П.Б., Побережна Л.Я., Плотиця В.М. Дослідження комфорту в громадському транспорті м. Тернополя. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2020. Том 2. № 15. С. 88-98. <https://doi.org/10.36910/automash.v2i15.396>

2. Попович П.В., Маяк М.М., Розум Р.І., Буряк М.В., Березька К.М., Коваль Ю.Б., Мишко С.А. Дослідження стану транспортної інфраструктури міста Тернополя. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Вип. 7(38), Ч. II. 2023. С. 243-249. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.243-249](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.243-249).

3. Шевчук О. С. Порушення при облаштуванні паркувальних місць транспортних засобів на вулично-дорожній мережі міста. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2016. № 1. С. 167-171.

4. Попович П.В., Розум Р.І., Мурований І.С., Буряк М.В., Березька К.М., Петринюк Н.А., Лоїк І.О. Дослідження безпеки дорожнього руху у м. Тернополі. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Вип. 7(38), Ч. II. 2023. С. 250-256. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.250-256](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.250-256)

5. Шевчук О.С. Вплив показників ефективності на безпеку руху вулично-дорожніми мережами. *Вісник ХНТУСГ*. Харків, 2016. № 169. С. 205– 209.

6. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій. URL: https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212_planuvannya.pdf

7. Міністерство інфраструктури України. URL: <http://www.mintrans.gov.ua>

- 8.Palma, A. d., Kilani, M., & Proost, S. (2014). Discomfort in mass transit and its implication for scheduling and pricing. *Transportation Research Part B*, 1-18.
- 9.Єріна А. М. Статистичне моделювання та прогнозування: навч. посіб. К.: КНЕУ, 2001. 170 с.
- 10.Berezka K., Kovalchuk O. Modelling factors connected with the effect of international migration for security and economy. *Econometrics. Econometria. Advances in Applied Data Analysis*. 2019. Vol. 23, № 4. P. 38-50. <https://doi.org/10.15611/eada.2019.4.03>
- 11.Kovalchuk O., Berezka K. Discriminant analysis of nation brands 2022 in terms of military invasion of russian federation in Ukraine. *Journal of European Economy*. 2022. 21(3). P. 232-255. <https://doi.org/10.35774/jee2022.03.242>.
- 12.<http://bus.ck.ua/avtobus.html>
- 13.<https://www.eway.in.ua/ua/cities/ternopil>
- 14.https://businessforsmartcities.com/load/118/presentation/7_sergiy_nadal_6_852c9.pdf

REFERENCES

- 1.Popovych, P.V., Poberezhnyi, L.Ia., Murovani, I.S., Shevchuk, O.S., Prohni, P.B., Poberezhna, L.Ia., Plotytsia, V.M. (2020). Doslidzhennia komfortu v hromadskomu transporti m. Ternopolia. Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti. 2(15). 88-98. <https://doi.org/10.36910/automash.v2i15.396>
- 2.Popovych, P.V., Maiak, M.M., Rozum, R.I., Buriak, M.V., Berezka, K.M., Koval, Yu.B., Myshko, S.A. (2023). Doslidzhennia stanu transportnoi infrastruktury mista Ternopolia. Tsentralnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky, 7(38), II. 243-249. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.243-249](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.243-249)
- 3.Shevchuk, O.S. (2016). Porushennya pry` oblashtuvanni parkoval`ny`x miscz` transportny`x zasobiv na vuly`chno-dorozhnij merezhi mista. Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti, 1, 167-171.
- 4.Popovych, P.V., Rozum, R.I., Murovani, I.S., Buriak, M.V., Berezka, K.M., Petryniuk, N.A., Loik, I.O. (2023). Doslidzhennia bezpeky dorozhnogo rukhu u m. Ternopoli. Tsentralnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky. 7(38), II. 250-256. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.250-256](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.250-256)
- 5.Shevchuk, O.S. (2016). Vplyv pokaznykiv efektyvnosti na bezpeku ruhu vulychno-dorozhnymy merezhamy. Visnyk HNTUSG, 169, 205–209.
- 6.DBN B.2.2-12:2019 Planuvannya ta zabudova tery`torij: https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212_planuvannya.pdf
- 7.Ministerstvo infrastruktury Ukrainy, official website, available at: www.mintrans.gov.ua
- 8.Palma, A. d., Kilani, M., & Proost, S. (2014). Discomfort in mass transit and its implication for scheduling and pricing. *Transportation Research Part B*, 1-18.
- 9.Yerina, A. M. (2001). Statystychni modelyuvannya ta prohnozuvannya: Navch. posibnyk. K.: KNEU, 170 s.
- 10.Berezka, K., Kovalchuk, O. (2019). Modelling factors connected with the effect of international migration for security and economy. *Econometrics. Econometria. Advances in Applied Data Analysis*. 23(4). 38-50. <https://doi.org/10.15611/eada.2019.4.03>
- 11.Kovalchuk, O., Berezka, K. (2022). Discriminant analysis of nation brands 2022 in terms of military invasion of russian federation in Ukraine. *Journal of European Economy*. 21(3). 232-255. <https://doi.org/10.35774/jee2022.03.242>.
- 12.<http://bus.ck.ua/avtobus.html>
- 13.<https://www.eway.in.ua/ua/cities/ternopil>
- 14.https://businessforsmartcities.com/load/118/presentation/7_sergiy_nadal_6_852c9.pdf

O. Shevchuk, K. Berezka, N. Falovych, O. Zakharchuk, V. Falovych, I. Mamrosh. Klaster analysis of the level of congestion at public transport stops in ternopil city.

The paper examines the transport network of public transport in Ternopil. The average value of passenger traffic at public transport stops during peak periods was taken for the study. When determining the loading level of public transport stops, cluster analysis was used. Cluster analysis makes it possible to visually classify public transport stops in Ternopil according to the degree of passenger occupancy. Clusters were formed taking into account the number of passengers at stops and routes at different times of the day (morning, lunch, evening). Cluster analysis was carried out by the k-means method using the STATISTICA 10 software product. The Euclidean metric was chosen to measure the distance of objects in clusters. Ternopil public transport stops were divided into 4 clusters: very busy, high busy, medium busy, low busy. Based on the calculation of the loading of public transport stops, recommendations are provided for updating

the network of public transport routes. The results of the research are useful for planning routes and frequencies of vehicles and the use of the number of vehicles on each route, especially during peak hours.

Keywords: cluster analysis, k-means method, passenger traffic, transfer points, transport network, public transport.

ШЕВЧУК Оксана Степанівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: oksana_shevchuk84@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8283-4620>

БЕРЕЗЬКА Катерина Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної математики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: km.berezka@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9632-4004>

ФАЛОВИЧ Наталя Миколаївна, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: n.falovych@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1651-3022>

ЗАХАРЧУК Олена Павлівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: olenaskyba8500@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4359-5644>

ФАЛОВИЧ Володимир Андрійович, доктор економічних наук, професор кафедри промислового маркетингу, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, e-mail: falovych@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0002-5784-0233>

МАМРОШ Ігор Михайлович, аспірант кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: mamrosh96@ukr.net

Oksana SHEVCHUK, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Transport and Logistics, Western Ukrainian National University e-mail: oksana_shevchuk84@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8283-4620>

Kateryna BEREZKA, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Applied Mathematics, West Ukrainian National University e-mail: km.berezka@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9632-4004>

Nataliia FALOVYCH, PhD in Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Logistics, Western Ukrainian National University e-mail: n.falovych@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5784-0233>

Olena ZAKHARCHUK, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Transport and Logistics, Western Ukrainian National University e-mail: olenaskyba8500@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4359-5644>

Volodymyr FALOVYCH, Doctor of economic science / D.Sc. (Economics), Associate Professor, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine, e-mail: falovych@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0002-5784-0233>

Ihor MAMROSH, student of the Department of Transport and Logistics, West Ukrainian National University, Ternopil, e-mail: mamrosh96@ukr.net

DOI 10.36910/automash.v1i22.1379