

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**Навчально-науковий інститут енергетичної,
інформаційної та транспортної інфраструктури**

Кафедра транспортних систем і логістики

Пояснювальна записка

**до кваліфікаційної роботи
бакалавра**

**на тему Латентно-профільне моделювання поведінки
водіїв у транспортно-логістичних процесах
підприємства**

Виконала: студентка 4 курсу,

групи ЛОГІС-2022-1

073 «Менеджмент»

освітньої програми «Логістика»

Золочевська О. Е.

Керівник Галкін А. С.

Рецензент Понкратов Д. П.

Харків — 2026 року

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури

Кафедра Транспортних систем і логістики

Освітньо-кваліфікаційний рівень Бакалавра

Спеціальність «073 «Менеджмент»

Освітньо-наукової програми освітньої програми «Логістика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

к.т.н. проф. Куш Є. І.

“ ” 2026_ року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Золочевська Олександра Едуардівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Латентно-профільне моделювання поведінки водіїв у транспортно-логістичних процесах підприємства

керівник проекту (роботи) д.т.н. проф. Галкін Андрій Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від № 440-03 від 22.05.2026

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 12.06.2026 р

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Статистика з підприємства

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ; Дослідження теоретичних положень; Методологія дослідження; Результати дослідження; Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Підготовка презентації у електронному вигляді за основними результати проекту

Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	Антиплагіат (інж. Толмачов І.О.)		

7. Дата видачі завдання 14.05.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи (роботи)	Примітка
1.	Дослідження теоретичних положень	20.05.2026	
2.	Методологія дослідження	27.05.2026	
3.	Результати дослідження	1.06.2026	
4.	Оформлення пояснювальної записки	9.06.2026	

Студент


(підпис)

О. Е. Золочевська

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

А. С. Галкін

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота складається з 58 сторінок машинописного тексту, містить 12 ілюстрацій, 8 таблиць і 50 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: транспортно-логістичний процес доставки продукції підприємства автомобільним транспортом.

Предмет дослідження: поведінкові профілі виконання поїздок водіями, сформовані на основі операційних показників.

Мета роботи: виявлення та інтерпретація поведінкових профілів водіїв у транспортно-логістичних процесах підприємства на основі латентного профільного моделювання операційних показників виконання поїздок.

Методи дослідження: аналіз наукових джерел, описова статистика, оброблення телематичних і диспетчерських даних, розрахунок ключових показників виконання поїздок, стандартизація змінних, латентний профільний аналіз, порівняння моделей за інформаційними критеріями, аналіз апостеріорних імовірностей, аналіз чутливості.

Отримані результати: сформовано трирівневу архітектуру даних, яка поєднує необроблені записи на рівні зупинок, агреговані показники на рівні поїздки та стандартизований аналітичний набір даних для моделювання. Встановлено, що більшість поїздок належить до стандартного профілю, тоді як операційні ризики зосереджені в окремих профілях, водіях і типах маршрутів.

Рекомендації з упровадження: запропоновано використовувати поведінкові профілі як інструмент підтримки диспетчеризації, цільового навчання водіїв, перегляду графіків далеких маршрутів, контролю пропущених точок доставки та документування причин перепробігу.

ЛАТЕНТНИЙ ПРОФІЛЬНИЙ АНАЛІЗ, ПОВЕДІНКА ВОДІЇВ, ТЕЛЕМАТИКА, АВТОПАРК, ДОСТАВКА, ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНІ ПРОЦЕСИ, КЛЮЧОВІ ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ, МАРШРУТ, ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЯ

ЗМІСТ

ЗМІСТ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ПОЛОЖЕНЬ	9
1.1 Класифікація поведінки водіїв	9
1.2 Телематика та операційні показники в управлінні автопарком	11
1.3 Персон-орієнтовані сумішеві моделі в дослідженнях транспортного бізнесу	13
1.4 Висновки до розділу 1	15
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	17
2.1 Контекст дослідження, архітектура даних і дослідницька логіка.	17
2.2 Поведінкові показники: визначення та обчислення	21
2.3 Робота з нерівномірною представленістю водіїв	24
2.4 Специфікація латентної профільної моделі	25
2.5 Визначення кількості класів, оцінювання якості моделі та ідентифікація профілів	27
2.6 Висновки до розділу 2	30
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ	32
3.1 Середина дослідження	32
3.2 Описова статистика поведінкових показників	35
3.3 Визначення кількості класів	37
3.4 Валідація профілів	38
3.5 Аналіз отриманих профілів	42
3.6 Профілі та операційний контекст	43
3.7 Належність до профілів і представленість водіїв	44
3.8 Імплікації, корпоративна політика та регулювання за профілями	45
3.9 Висновки до розділу 3	48

ННІЕІТІ ЛОГІС ЛОГІС 2022-І XXX...ХІІЗ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Золочевська О. Е.				Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Галкін А. С.				б	р	д
							4	58
Н. контр.		Бурко Д. Л.			Пояснювальна записка			
Затв.		Куш С. І.						

ХНУМГ

ВСТУП

6

Ефективність транспортно-логістичних процесів підприємства значною мірою залежить не лише від якості планування маршрутів, технічного стану транспортних засобів чи характеристик вантажу, а й від фактичної поведінки водіїв під час виконання рейсових завдань. У практиці автопарків один і той самий маршрутний план може виконуватися по-різному: водії можуть дотримуватися або змінювати послідовність зупинок, виїжджати раніше чи пізніше запланованого часу, накопичувати часовий резерв, перевищувати плановий пробіг або пропускати окремі точки доставки. Такі відхилення безпосередньо впливають на витрати, пунктуальність, якість обслуговування клієнтів і загальну надійність логістичної системи підприємства.

Сучасні телематичні та диспетчерські системи створюють можливість детально фіксувати фактичне виконання маршрутів. Вони накопичують дані про пробіг, час виїзду, прибуття до точок, тривалість обслуговування, виконання запланованих зупинок і послідовність руху. Однак у практиці управління автопарком такі дані часто використовуються переважно як окремі ключові показники ефективності. Наприклад, окремо аналізуються перепробіг, запізнення, відхилення від графіка або пропущені точки доставки. Такий підхід є корисним для оперативного контролю, але він не завжди дозволяє зрозуміти, як різні відхилення поєднуються в межах однієї поїздки та чи формують вони стійкі стилі виконання маршрутів.

Актуальність роботи полягає в необхідності переходу від ізольованого аналізу окремих KPI до комплексного виявлення поведінкових профілів водіїв у транспортно-логістичних процесах підприємства. Якщо різні типи відхилень мають різну операційну природу, то й управлінська реакція на них має бути різною. Часова буферизація на довгих маршрутах не повинна автоматично трактуватися так само, як пропущена точка доставки або суттєвий перепробіг.

7
Тому підприємству потрібен інструмент, який дозволяє класифікувати не лише окремі відхилення, а цілісні стилі виконання поїздок.

Об'єктом дослідження є транспортно-логістичний процес доставки продукції підприємства автомобільним транспортом.

Предметом дослідження є поведінкові профілі виконання поїздок водіями, сформовані на основі операційних показників телематичних і диспетчерських даних.

Метою роботи є розроблення та застосування підходу до виявлення поведінкових профілів водіїв у транспортно-логістичних процесах підприємства на основі латентного профільного моделювання операційних показників виконання поїздок.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати теоретичні підходи до класифікації поведінки водіїв, використання телематики та персон-орієнтованих сумішевих моделей у транспортних дослідженнях;
2. Сформулювати систему поведінкових показників, які відображають відхилення фактичного виконання маршруту від планового;
3. Підготувати аналітичний набір даних на рівні поїздки доставки з урахуванням пробігу, часу, послідовності зупинок і повноти обслуговування;
4. Специфікувати латентну профільну модель для виявлення дискретних стилів виконання поїздок;
5. Визначити кількість профілів і надати їм змістовну операційну інтерпретацію;
6. Проаналізувати зв'язок профілів із типами маршрутів і представленістю водіїв;
7. Сформулювати управлінські рекомендації щодо використання профілів у диспетчеризації, навчанні водіїв, контролі сервісної якості та перегляді внутрішньої політики підприємства.

Методичну основу дослідження становлять статистичний аналіз, описова аналітика операційних даних, стандартизація показників, латентний

8
профільний аналіз, порівняння моделей за інформаційними критеріями та аналіз чутливості. Одиницею аналізу є поїздка доставки, оскільки саме на цьому рівні поєднуються маршрутне завдання, фактична поведінка водія та операційний контекст виконання. Такий підхід дозволяє не зводити поведінку водія до одного середнього значення, а виявляти повторювані комбінації показників, які мають практичний управлінський зміст.

Інформаційною базою дослідження є операційні записи дистрибуційного підприємства, що охоплюють 500 поїздок, виконаних 14 водіями на 13 транспортних засобах. Для кожної поїздки розраховано шість поведінкових показників: перепробіг, перевищення часу маршруту, дотримання послідовності зупинок, затримка виїзду, відхилення часу обслуговування зупинок і кількість пропущених точок доставки. Ці показники використовуються для формування латентних профілів виконання маршрутів.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропонований підхід може бути використаний підприємством для більш точного управління автопарком. Поведінкові профілі дають змогу виявляти не лише середній рівень ефективності, а й конкретні типи операційних відхилень. Це створює основу для цільового навчання водіїв, кращого узгодження водіїв із типами маршрутів, перегляду графіків довгих рейсів, контролю пропущених точок доставки та документування причин перепробігу. Водночас профілі можуть бути використані як інструмент моніторингу, а не як автоматичний дисциплінарний механізм, оскільки кожне відхилення потребує перевірки операційного контексту.

Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, переліку використаних джерел і додатків. У першому розділі розглянуто теоретичні основи класифікації поведінки водіїв, використання телематики та латентно-профільного моделювання. У другому розділі описано методологію дослідження, архітектуру даних, систему поведінкових показників і специфікацію моделі. У третьому розділі подано результати моделювання, інтерпретацію профілів, їх зв'язок із маршрутним контекстом і практичні рекомендації для управління автопарком.

РОЗДІЛ 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ПОЛОЖЕНЬ

1.1 Класифікація поведінки водіїв

Дослідження класифікації поведінки водіїв історично зосереджувалися переважно на безпеці та організації дорожнього руху. Скінченно-сумішеві та латентно-класові моделі використовувалися для розмежування стилів керування відповідно до динаміки транспортного засобу та намірів під час маневрування [1–3]. Yanagihara et al. [1] моделювали рух за автомобілем і зміну смуги на ділянках злиття потоків як суміш латентних режимів керування, стверджуючи, що спостережувана поведінка відображає неспостережувані наміри, зумовлені станом транспортного потоку. Li et al. [3] класифікували водіїв на крутих кривих за змінними швидкості та сповільнення, розрізняючи обережне й агресивне проходження поворотів. Ці дослідження показують, що за неперервними сигналами керування стоять дискретні латентні структури, однак їхні показники є кінематичними, а результати інтерпретуються з погляду ризику ДТП, а не ефективності комерційної доставки [1; 3].

Паралельно з безпековим напрямом, латентно-класові моделі набули поширення у дослідженнях транспортного попиту та сегментації пасажирів. Anable [16] застосувала латентно-класовий аналіз до даних національного обстеження подорожей для виокремлення психографічних сегментів мандрівників і пов'язала їх із заявленим вибором виду транспорту. Такий підхід продемонстрував, що сумішеве моделювання є ефективним інструментом для виявлення неоднорідності у транспортній поведінці, проте його застосування обмежувалося заявленими установками та вибором виду транспорту, а не фактичним виконанням рейсових завдань [2; 4]. Методологічне забезпечення цих моделей також суттєво розвинулося: найкращі практики наголошують на прозорому визначенні кількості класів із використанням множинних інформаційних критеріїв, зокрема AIC, BIC і

10

SABIC, звітуванні ентропії та середніх апостеріорних імовірностей як діагностичних показників класифікації, а також на увазі до розміру та змістовної інтерпретованості найменшого класу [4; 5].

У ширшому контексті досліджень стилів водіння значний внесок зробили роботи, що використовують натуралістичні дані керування транспортним засобом. Martinez et al. [6] провели систематичний огляд методів класифікації стилів водіння, виявивши, що більшість досліджень спираються на кінематичні змінні — швидкість, прискорення, кут повороту керма — і застосовують методи машинного навчання або кластеризації для розмежування агресивного, помірного та обережного стилів. Wang et al. [7] запропонували підхід до ідентифікації стилів водіння на основі даних підключених транспортних засобів, підтвердивши, що латентні поведінкові структури можуть бути надійно відтворені з телематичних даних реальних поїздок. Однак і ці дослідження залишаються в межах парадигми безпеки руху: класифікація слугує прогнозуванню аварійного ризику або оптимізації систем допомоги водієві, а не оцінці операційної продуктивності в логістичному контексті [6; 7].

Окремий напрям досліджень стосується поведінки водіїв комерційного транспорту, де акцент зміщується від індивідуальної безпеки до ефективності автопарку. Guo et al. [8] дослідили вплив стилю водіння на витрату палива вантажних автомобілів, показавши, що агресивне прискорення та різке гальмування суттєво збільшують споживання пального. Af Wahlberg [9] проаналізував зв'язок між стилем водіння водіїв автобусів та аварійністю, виявивши стабільні індивідуальні відмінності у поведінці за кермом, що корелюють із частотою інцидентів. Ці роботи наближаються до операційного контексту, проте їхні залежні змінні — витрата палива, аварійність — залишаються в межах традиційних показників безпеки та енергоефективності, а не охоплюють комплексну операційну продуктивність доставки, включаючи дотримання маршруту, послідовність зупинок та часові відхилення [8; 9].

Таким чином, незважаючи на значний методологічний прогрес у застосуванні сумішевих моделей до транспортної поведінки, існує помітна

прогалина на перетині латентного профільного моделювання та операційної аналітики комерційних перевезень. Наявні дослідження або класифікують водіїв за кінематичними показниками в контексті безпеки [1; 3; 6; 7], або сегментують мандрівників за заявленими установками [2; 16], або аналізують окремі аспекти ефективності автопарку [8; 9]. Жодне з них не застосовує латентно-профільний аналіз до багатовимірної набору операційних показників — таких як час на маршруті, відхилення пробігу, дотримання послідовності зупинок — для виявлення дискретних профілів виконання рейсових завдань водіями служби доставки всередині підприємства [10]. Саме цю прогалину покликано заповнити дослідження, що застосовує латентне профільне моделювання до операційних даних комерційних рейсів, переносячи аналітичний фокус від безпеки руху до ефективності транспортно-логістичних процесів підприємства [10].

1.2 Телематика та операційні показники в управлінні автопарком

Поширення бортової телематики зробило детальні операційні дані звичними для перевізників. Виконана відстань порівняно з планом, дотримання графіка, час перебування в пунктах доставки та виконання запланованого переліку зупинок нині фіксуються автоматично й широко використовуються в інформаційних панелях ключових показників ефективності автопарку. Управлінська література розглядає ці показники як інструменти контролю витрат і якості обслуговування, однак зазвичай подає їх як окремі середні значення або порогові індикатори. Порівняно мало досліджень одночасно інтегрують кілька операційних показників для формування поведінкової сегментації персоналу, яку менеджери можуть використовувати на практиці [11].

Телематичні системи стали невід'ємною складовою сучасного управління автопарком завдяки здатності забезпечувати безперервний потік даних про місцезнаходження, швидкість, витрату палива та стиль керування транспортним засобом. У контексті вантажних перевезень такі дані зменшують інформаційну асиметрію між водієм і диспетчером та дозволяють контролювати дотримання

12

маршрутів і графіків у реальному часі. Проте в більшості прикладних підходів телематичні показники розглядаються переважно ізольовано — як окремі індикатори безпеки, витрат або продуктивності, а не як елементи інтегрованого поведінкового профілю водія.

У сфері логістики останньої милі операційні показники набувають особливого значення через високу варіативність умов доставки. Фактичне виконання маршруту водієм часто відхиляється від оптимального плану через непередбачувані умови: обмеження паркування, відсутність отримувача, зміну порядку зупинок, дорожні обмеження або потребу в повторному відвідуванні точки. У такому контексті відхилення пробігу, порушення послідовності зупинок та перевищення планового часу на маршруті стають не просто технічними збоями, а потенційними індикаторами стилю виконання рейсового завдання водієм [11].

Незважаючи на доступність багатовимірних телематичних даних, їхнє використання для поведінкової сегментації водіїв залишається обмеженим. У практиці управління автопарком окремо аналізують своєчасність доставки, використання вантажопідйомності, дотримання маршруту, час перебування на зупинках або відхилення від графіка. Такий підхід є корисним для моніторингу, але він не показує, як ці показники поєднуються в межах однієї поїздки. Саме тому потрібна модель, яка розглядає не окремі KPI, а їхню спільну конфігурацію як поведінковий профіль виконання маршруту.

Отже, існуюча література демонструє, що телематичні дані широко збираються та використовуються в управлінні автопарком, проте переважно для моніторингу окремих показників або для класифікації водіїв за кінематичними параметрами безпеки. Інтеграція кількох операційних показників — часу на маршруті, відхилення пробігу, дотримання послідовності зупинок і повноти обслуговування — у єдину латентно-профільну модель для виявлення дискретних типів виконання рейсових завдань залишається практично нерозробленою. Саме цей підхід реалізовано в дослідженні, що застосовує латентний профільний аналіз до 500 комерційних рейсів доставки, переносючи

фокус від безпекової кінематики до операційної поведінки водія як виконавця логістичного процесу підприємства [11].

1.3 Персон-орієнтовані сумішеві моделі в дослідженнях транспортного бізнесу

Поза сферою безпеки латентно-класові та латентно-профільні моделі дедалі частіше застосовуються в дослідженнях транспортного попиту й бізнес-процесів як засіб сегментації неоднорідних сукупностей [12–14]. Vallée et al. [12] використали латентно-класовий аналіз для пунктів національного транспортного опитування, щоб виокремити психографічні сегменти пасажирів і пов'язати їх із заявленим використанням видів транспорту. Паралельно розвивалися й методологічні рекомендації для таких моделей: найкращі практики наголошують на прозорому визначенні кількості класів із використанням кількох інформаційних критеріїв, звітуванні ентропії та середніх апостеріорних імовірностей як діагностик якості класифікації, а також на врахуванні розміру й змістовного значення найменшого класу [15]. Це дослідження спирається на ці рекомендації, переносячи персон-орієнтований підхід від пасажирів і опитувальних змінних до водіїв та операційної телематики [11].

Персон-орієнтований підхід принципово відрізняється від змінно-орієнтованого тим, що фокусується на виявленні підгруп індивідів із подібними конфігураціями характеристик, а не на оцінці зв'язків між змінними в усій вибірці. Spurk et al. [13] у методологічному огляді застосування латентного профільного аналізу підкреслили, що цей метод припускає існування якісно різних підгруп у межах загальної популяції та дозволяє ідентифікувати ці підгрупи на основі безперервних індикаторів. Вони сформулювали покрокову процедуру проведення латентного профільного аналізу, включаючи специфікацію моделі, визначення кількості профілів за допомогою інформаційних критеріїв, оцінку якості класифікації через

ентропію та середні апостеріорні ймовірності, а також валідацію профілів за допомогою зовнішніх змінних [13]. Weller et al. [15] доповнили ці рекомендації, наголосивши на необхідності звітування повного набору діагностичних показників та обґрунтування вибору кількості класів не лише статистичними, а й змістовними критеріями.

У транспортних дослідженнях сумішеві моделі продемонстрували свою ефективність у різних контекстах сегментації. Anable [16] виокремила шість сегментів мандрівників — від «завзятих автомобілістів» до «прихильників громадського транспорту» — на основі латентно-класового аналізу установок і заявленої поведінки, показавши, що неоднорідність транспортної поведінки має дискретну структуру, яку складно адекватно описати єдиною регресійною моделлю. Beckman and Goulias [17] застосували латентно-класовий аналіз до щоденників активності для виявлення типових патернів мобільності домогосподарств, підтвердивши, що сумішеві моделі здатні розкривати приховану структуру в складних поведінкових даних. Berlin et al. [14] використали латентний профільний аналіз у контексті організаційної поведінки, продемонструвавши, що метод ефективно виявляє підгрупи працівників із різними конфігураціями мотиваційних та поведінкових характеристик. Ці застосування підтверджують методологічну зрілість персон-орієнтованого підходу, проте жодне з них не було спрямоване на операційну сегментацію водіїв комерційного транспорту [14; 16; 17].

Окремо слід зазначити розвиток сумішевих моделей у суміжних галузях транспортного сервісу, управління ланцюгами постачань та операційного менеджменту. De Oña et al. [18] застосували латентно-класову кластеризацію до даних обстеження задоволеності пасажирів громадського транспорту, виявивши сегменти з принципово різними пріоритетами щодо якості обслуговування, а саме частоти, пунктуальності, комфорту та інформаційного забезпечення. Їхній підхід продемонстрував, що агреговані показники задоволеності можуть маскувати суттєву неоднорідність, яка має практичне значення для управлінських рішень [18]. Аналогічно, Prato et al. [19]

використали латентно-класові моделі для аналізу вибору маршруту водіями, показавши, що різні латентні класи водіїв систематично відрізняються за критеріями вибору маршруту, зокрема за орієнтацією на мінімізацію часу, уникнення заторів або звичність маршруту. Ці дослідження наближаються до операційного контексту, проте їхній фокус залишається на вибірковій поведінці — виборі маршруту або оцінці сервісу, — а не на фактичному виконанні рейсових завдань [18; 19].

Таким чином, персон-орієнтовані сумішеві моделі мають солідну методологічну базу [13; 15] та широкий досвід застосування у транспортних дослідженнях: від сегментації пасажирів за установками [12; 16] до класифікації водіїв за вибором маршруту [19, 20] та аналізу задоволеності користувачів транспортного сервісу [18]. Водночас застосування латентного профільного аналізу до багатовимірних операційних показників комерційних рейсів, а саме часу на маршруті, відхилення пробігу, дотримання послідовності зупинок і повноти обслуговування, для виявлення дискретних профілів виконання рейсових завдань водіями залишається нереалізованим. Дослідження, що переносить персон-орієнтований підхід від пасажирів і опитувальних змінних до водіїв та операційної телематики, заповнює саме цю прогалину, пропонуючи інструмент поведінкової сегментації, безпосередньо придатний для управлінських рішень щодо диспетчеризації, навчання та управління ризиками автопарку [11].

1.4 Висновки до розділу 1

Огляд літератури показує, що класифікація поведінки водіїв уже має сформовану методичну базу, однак переважно розвивалася в контексті безпеки дорожнього руху та аналізу маневрування. Попередні дослідження демонструють, що за неперервними сигналами керування можуть стояти дискретні латентні режими поведінки, проте такі роботи здебільшого зосереджені на швидкості, сповільненні, зміні смуги або інших кінематичних

характеристиках. Вони меншою мірою пояснюють, як водії виконують комерційні маршрути доставки в межах підприємства та як їхня поведінка впливає на операційні витрати, якість сервісу й управління автопарком.

Література з телематики та управління автопарком підтверджує, що сучасні перевізники регулярно накопичують детальні дані про відстань, час, зупинки, виконання маршруту та повноту доставки. Однак ці дані найчастіше використовуються як окремі KPI, а саме середні значення, пороги або сигнали відхилення. Такий підхід корисний для моніторингу, але він не дає змоги побачити, як різні відхилення поєднуються в межах однієї поїздки та формують повторювані стилі виконання. Саме тут виникає потреба в персон-орієнтованому підході, який аналізує не ізольовані змінні, а цілісні патерни поведінки.

Латентно-класові та латентно-профільні моделі вже довели свою корисність у транспортних дослідженнях, зокрема для сегментації водіїв, пасажирів і користувачів транспортних систем. Методичні рекомендації для таких моделей підкреслюють необхідність прозорого вибору кількості класів, використання інформаційних критеріїв, ентропії, середніх апостеріорних імовірностей та перевірки змістовної інтерпретованості найменших класів.

Це створює надійну методологічну основу для перенесення сумішевого моделювання з досліджень безпеки та транспортного попиту до сфери операційного виконання логістичних процесів.

Отже, розділ 1 виявляє чітку дослідницьку прогалину. Попередні роботи або класифікують поведінку водіїв у контексті дорожньої безпеки, або використовують телематичні KPI як окремі показники ефективності, або сегментують пасажирів за опитувальними даними. Натомість бракує досліджень, які б застосовували латентний профільний аналіз до реальних операційних даних доставки на рівні поїздки та перетворювали ці дані на управлінськи придатну сегментацію водіїв. Саме цю прогалину заповнює це дослідження, поєднуючи телематику підприємства, шість показників виконання маршруту та персон-орієнтоване сумішеве моделювання для виявлення поведінкових профілів, придатних для диспетчеризації, навчання та управління ризиками.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Контекст дослідження, архітектура даних і дослідницька логіка

Дослідження ґрунтується на персон-орієнтованому розумінні операційної поведінки. План доставки є фіксованою референтною основою, впорядкованим переліком зупинок, запланованою відстанню та запланованим графіком, однак його фактичне виконання не є детермінованим. Відхилення від плану зазвичай проявляються не ізольовано, а як взаємопов'язані комбінації. Водій, який формує часовий резерв на довгому маршруті, також, як правило, виїжджає раніше та накопичує запас часу на зупинках; водій, який втрачає заплановану послідовність обслуговування, також може пропускати окремі точки доставки. Тому аналітична передумова дослідження полягає в тому, що такі супутні відхилення доцільно розглядати не як окремі відхилення за окремими метриками, а як цілісні стилі виконання маршруту.

Саме ця логіка обґрунтовує використання латентно-змінного підходу замість аналізу кожного показника окремо. Вона узагальнена на рис. 2.1 як послідовний ланцюг міркування: неспостережуваний поведінковий конструкт стає вимірюваним через набір показників виконання; ці показники моделюються як такі, що походять із невеликої кількості латентних профілів; далі отримані профілі інтерпретуються як управлінськи змістовні стилі виконання доставки.

Операціоналізація цієї логіки потребує дисциплінованого переходу від необроблених машинних записів до вхідних даних моделі. Методичний дизайн поділяє цей шлях на три рівні, показані на рис. 2.2. Перший рівень становить необроблена телематика на рівні окремої зупинки, які для кожного візиту містять дату, транспортний засіб, торговельну точку, накопичений пробіг і

перевезену вагу. Ці дані доповнюються журналом часу на рівні зупинки, аркуш «свод час», 492 записи за точками й датами, який містить планову та фактичну кількість візитів, запізнення, час прибуття та час розвантаження.



Рисунок 2.1 – Концептуальна рамка дослідження

Дизайн фіксує поїздки, як одиницю аналізу. Це важливо, оскільки один і той самий водій може виконувати дуже різні завдання в різні дні, а середнє значення на рівні водія розчинило б саме ту внутрішньо-водійську та контекстну варіативність, яку дослідження прагне виявити. Висновки на рівні водіїв формуються пізніше, шляхом агрегування належності поїздок кожного водія до відповідних профілів.

Другий рівень агрегує ці необроблені записи до рівня поїздки доставки, тобто одного транспортного засобу в один день. Саме на цьому рівні вперше обчислюються шість поведінкових показників у вигляді десяткових часток. Також на цьому рівні випадки перепробігу анотовано кодами причин в аркуші «перепробіг», зокрема повторними візитами для повернення тари або об'їздами альтернативними дорогами.

Третій рівень – це аналітичний набір даних із 500 поїздок, у якому показники подані у фінальній формі разом із типом маршруту, класом вантажопідйомності та операційним тижнем. Цей набір даних стандартизується і передається до моделі латентного профільного аналізу.



Рисунок 2.2 – Трирівнева архітектура даних

Нарешті, дизайн заздалегідь визначає, як результати моделі мають переходити до практичного використання, щоб інтерпретація не перетворилася на довільне пояснення після отримання результатів.

Запланована логіка висновку рухається від емпіричного результату про те, як поїздки групуються, до управлінської імплікації для підприємства, далі – до узагальнення поза межами конкретної фірми, і потім – до практичної рекомендації. Зворотний зв'язок повертає фактично спостережену поведінку до планування та диспетчеризації.

Ця логіка, представлена на рис. 3, є методологічним зобов'язанням, а не результатом. Вона визначає, які типи тверджень дослідження може й не може робити на основі персон-орієнтованої моделі, оціненої для однієї операції. Такий підхід запобігає надмірному трактуванню описових профілів як причинних ефектів і робить перехід від доказів до рекомендацій явним та перевірним.



Рисунок 2.3 – Логіка переходу від доказів до копоративної політики

Рисунок 2.3 показує логіку переходу від емпіричного результату до практичного використання в управлінні автопарком. Спочатку латентний профільний аналіз виявляє чотири стилі виконання поїздок і показує, що операційний ризик зосереджений не рівномірно, а в окремих водіях і типах маршрутів. Далі цей результат перетворюється на управлінську імплікацію: підприємство може точніше узгоджувати водіїв із маршрутами, проводити цільове навчання та переглядати графіки довших рейсів. Наступний блок

показує можливість узагальнення: сама логіка профілювання може бути застосована в інших планових автопарках, хоча конкретні частки профілів залежатимуть від умов роботи. Завершальний блок формулює рекомендацію, використовувати частку профілів як контрольований KPI і повертати результати в планування та політику. Контур зворотного зв'язку підкреслює, що профілі не є разовим аналітичним результатом: вони мають регулярно повертатися в диспетчеризацію та перепланування, формуючи циклічну систему моніторингу й покращення операційної поведінки.

2.2. Поведінкові показники: визначення та обчислення

Одиницею аналізу є окрема поїздка доставки, індексована транспортним засобом v у день d . Кожна поїздка описується шістьма операційними показниками, обраними для відображення чотирьох концептуально різних і управлінськи значущих вимірів виконання: ефективності відстані, часової буферизації, дисципліни дотримання порядку зупинок і повноти обслуговування. Завдяки цьому отримані профілі відображають спільну поведінку водія під час виконання поїздки, а не лише один домінуючий показник. У цьому підрозділі визначено, як кожен показник обчислюється з необроблених записів на рівні зупинок першого шару даних. У всіх формулах поїздка обслуговує запланованих торговельних точок, а індекс s проходить по зупинках цієї поїздки.

Перепробіг (OM) вимірює ефективність відстані як знакове відсоткове відхилення фактичної відстані, пройденої під час поїздки, від запланованої відстані. Додатні значення означають, що транспортний засіб проїхав більше, ніж було заплановано, наприклад через повторні візити до точки або об'їзди альтернативними дорогами:

$$OM_{vd} = \frac{L_{vd}^{act} - L_{vd}^{plan}}{L_{vd}^{plan}} \times 100\% \quad (2.1)$$

де OM_{vd} – перепробіг транспортного засобу v у день d , %;

L_{vd}^{act} – фактична відстань, пройдена транспортним засобом vu день d , км;

L_{vd}^{plan} – запланована відстань поїздки транспортного засобу vu день d , км;

v – індекс транспортного засобу;

d – індекс дня виконання поїздки.

Перевищення часу маршруту (TE) є аналогічним знаковим відсотковим відхиленням фактичної тривалості маршруту від запланованої тривалості. Воно відображає часову буферизацію, тобто ситуацію, коли реалізований маршрут займає більше або менше часу, ніж було заплановано:

$$TE_{vd} = \frac{T_{vd}^{act} - T_{vd}^{plan}}{T_{vd}^{plan}} \times 100\%, \quad (2.2)$$

де TE_{vd} – перевищення часу маршруту транспортного засобу vu день d , %;

T_{vd}^{act} – фактична тривалість виконання маршруту;

T_{vd}^{plan} – запланована тривалість виконання маршруту;

Дотримання послідовності зупинок (SA) вимірює дисципліну порядку виконання маршруту як частку зупинок, обслужених у запланованій позиції.

Нехай ρ_s^{act} і ρ_s^{plan} позначають фактичну та заплановану порядкову позицію зупинки s , а $1[\cdot]$ є індикаторною функцією, що дорівнює одиниці, якщо умова виконується:

$$SA_{vd} = \frac{1}{S_{vd}} \sum_{s=1}^{S_{vd}} 1[\rho_s^{act} = \rho_s^{plan}] \times 100\%, \quad (2.3)$$

де SA_{vd} – рівень дотримання послідовності зупинок у поїзді транспортного засобу vu день d , %;

S_{vd} – кількість запланованих зупинок у поїзді;

s – індекс окремої зупинки;

ρ_s^{act} – фактична порядкова позиція зупинки s ;

ρ_s^{plan} – запланована порядкова позиція зупинки s ;

$1[\cdot]$ – індикаторна функція, що дорівнює 1, якщо умова виконується, і 0, якщо не виконується.

Затримка виїзду (DD) – це знакова різниця в хвилинах між фактичним і запланованим часом виїзду поїздки з точки завою. Від’ємні значення означають ранній виїзд, який у цьому автопарку пов’язаний із навмисною часовою буферизацією на довгих маршрутах:

$$DD_{vd} = t_{vd}^{act,dep} - t_{vd}^{plan,dep}, \quad (2.4)$$

де DD_{vd} – затримка виїзду транспортного засобу v у день d , хв;

$t_{vd}^{act,dep}$ – фактичний час виїзду з пункту завою, год.;

$t_{vd}^{plan,dep}$ – запланований час виїзду з завою, год.;

Якщо $DD_{vd} > 0$, поїздка розпочалася пізніше плану. Якщо $DD_{vd} < 0$, поїздка розпочалася раніше плану.

Відхилення часу обслуговування зупинок (SD) узагальнює пунктуальність на рівні окремої зупинки як середнє абсолютне відхилення, у годинах, між фактичним і запланованим часом обслуговування по всіх зупинках маршруту:

$$SD_{vd} = \frac{1}{S_{vd}} \sum_{s=1}^{S_{vd}} |t_s^{act} - t_s^{plan}|, \quad (2.5)$$

де t_s^{act} – фактичний час обслуговування або прибуття на зупинку s ;

t_s^{plan} – запланований час обслуговування або прибуття на зупинку s ;

Пропущені точки доставки (MS) вимірюють повноту обслуговування як кількість запланованих зупинок, які не були фактично відвідані. Нехай y_s^{plan} і y_s^{act} позначають, відповідно, чи була зупинка s запланована та чи була вона

фактично обслужена:

$$MS_{vd} = \sum_{s=1}^{S_{vd}} \mathbf{1} [v_s^{act} = 0 \wedge v_s^{plan} = 1] \quad (2.6)$$

де MS_{vd} – кількість пропущених точок доставки у поїздки транспортного засобу у день d ;

v_s^{plan} – бінарна змінна, що дорівнює 1, якщо зупинка s була запланована, і 0 – якщо не була запланована;

v_s^{act} – бінарна змінна, що дорівнює 1, якщо зупинка s була фактично обслужена, і 0 – якщо не була обслужена;

$\wedge$ – логічний оператор “і”;

Рівняння (1)–(6) застосовуються до кожної поїздки на другому рівні даних. Перепробіг і перевищення часу маршруту обчислюються та зберігаються як десяткові частки, але подаються у відсотках; дотримання послідовності зупинок також подається у відсотках; затримка виїзду виражається у хвилинах, відхилення часу обслуговування зупинок, у годинах, а пропущені точки доставки, як цілочисельний показник. Разом ці шість показників формують шестимірний поведінковий вектор, який описує кожну поїздку та без змін переноситься до аналітичного набору даних.

2.3. Робота з нерівномірною представленистю водіїв

Методичне рішення, яке передуює оцінюванню моделі, стосується того, як обробляти нерівномірну кількість поїздок, виконаних різними водіями. Така ситуація є майже типовою для спостережуваних даних автопарків, де підмінні водії, неповні записи або нерегулярні графіки роботи призводять до того, що одні водії представлені в даних значно частіше, ніж інші. Це рішення є важливим, оскільки воно визначає, чия поведінка фактично має більшу вагу в моделі.

Оскільки сумішева модель оцінюється на рівні поїздок, кожна поїздка є одним спостереженням незалежно від того, хто її виконував. Водій, який трапляється в даних рідко, просто робить пропорційно менший внесок у загальну оцінку моделі й не спотворює параметри. Тому жодна поїздка не вилучається лише через те, що її виконав водій із малою кількістю спостережень. Такий підхід дозволяє зберегти повний набір фактично виконаних поїздок і забезпечує, щоб структура профілів визначалася реально спостереженою поведінкою у тій пропорції, у якій вона виникала в операції.

Водночас із цього випливає важливе обмеження: інтерпретація результатів на рівні водіїв має враховувати їхню представленість у даних. Профіль, агрегований лише з кількох поїздок, є слабким описом конкретної особи і не повинен трактуватися як стабільна поведінкова характеристика. Тому висновки про індивідуальних водіїв формулюються лише для тих випадків, де кількість спостережень є достатньою, тоді як водії з низькою представленістю подаються описово.

2.4. Специфікація латентної профільної моделі

Латентний профільний аналіз моделює шість неперервних показників як скінченну суміш гауссівських компонентів, де кожна компонента відповідає окремому латентному поведінковому профілю. Оскільки показники вимірюються в різних шкалах, кожен показник j спочатку стандартизується до нульового середнього значення та одиничної дисперсії. Нехай x_{ij} – значення показника j для поїздки i , а $\bar{x}_j$ і σ_j – відповідно вибіркове середнє та стандартне відхилення цього показника:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j}, j = 1, \dots, 6 \quad (2.7)$$

де z_{ij} – стандартизоване значення показника j для поїздки i ;

x_{ij} – початкове значення показника j для поїздки i ;

$\bar{x}_j$ – середнє значення показника j у вибірці;

σ_j – стандартне відхилення показника j у вибірці;

i – індекс поїздки;

j – індекс поведінкового показника, $j = 1, \dots, 6$.

Стандартизований вектор z_i для поїздки i вважається таким, що походить із суміші K профілів. Кожен профіль k має змішувальну частку π_k , причому сума всіх часток дорівнює одиниці, а також власне середнє значення μ_{kj} і дисперсію σ_{kj}^2 для кожного показника. У моделі використовується діагональна коваріаційна структура, що відповідає припущенню локальної незалежності, типовому для латентного профільного моделювання. За такого припущення спільна щільність формується як добуток одновимірних нормальних щільностей $\phi(\cdot)$ за всіма шістьма показниками:

$$f(z_i | \Theta) = \sum_{k=1}^K \pi_k \prod_{j=1}^6 \phi(z_{ij} | \mu_{kj}, \sigma_{kj}^2) \quad (2.8)$$

де $f(z_i | \Theta)$ – щільність сумішевого розподілу для стандартизованого вектора показників поїздки i ;

z_i – вектор стандартизованих показників для поїздки i ;

Θ – повний набір параметрів моделі;

K – кількість латентних профілів;

π_k – змішувальна частка профілю k ;

$\phi(\cdot)$ – щільність нормального розподілу;

μ_{kj} – середнє значення показника j у профілі k ;

σ_{kj}^2 – дисперсія показника j у профілі k ;

k – індекс латентного профілю;

Після оцінювання моделі з набором параметрів Θ апостеріорна ймовірність належності поїздки i до профілю k обчислюється за правилом Байєса:

$$p_{ik}^{\wedge} = \frac{\pi_k \prod_{j=1}^6 \phi(z_{ij} | \mu_{kj}, \sigma_{kj}^2)}{\sum_{\ell=1}^K \pi_{\ell} \prod_{j=1}^6 \phi(z_{ij} | \mu_{\ell j}, \sigma_{\ell j}^2)} \quad (2.9)$$

де $p_{ik}^{\wedge}$ – апостеріорна ймовірність належності поїздки i до профілю k ;

$\phi(z_{ij} | \mu_{kj}, \sigma_{kj}^2)$ – щільність нормального розподілу для показника j у

профілі k ;

ℓ – індекс профілю в знаменнику, який проходить усі можливі профілі від 1 до K ;

Кожна поїздка далі призначається до найбільш імовірного профілю за модальною апостеріорною ймовірністю. Середнє значення цих максимальних апостеріорних ймовірностей у межах профілю використовується як діагностика якості класифікації:

$$c_i^{\wedge} = \arg \max_{k \in \{1, \dots, K\}} p_{ik}^{\wedge} \quad (2.10)$$

де $c_i^{\wedge}$ – профіль, до якого модально призначено поїздку i ;

$\arg \max$ – оператор вибору того значення k , за якого апостеріорна ймовірність є максимальною;

Модель оцінювалася методом очікування–максимізації з кількома випадковими стартами, щоб зменшити ризик збіжності до локального оптимуму.

2.5 Визначення кількості класів, оцінювання якості моделі та ідентифікація профілів

Кількість профілів K не задається наперед, а має бути визначена емпірично. Для цього було оцінено рішення з кількістю профілів від одного до

шести, після чого вони порівнювалися за поєднанням статистичних критеріїв і змістовної інтерпретованості. Основними критеріями є інформаційні критерії, які враховують якість підлаштування моделі, але водночас штрафують її за надмірну складність. Додавання нового профілю вважається виправданим лише тоді, коли воно достатньо покращує правдоподібність моделі порівняно з кількістю додаткових параметрів.

Центральним критерієм у цьому дослідженні є байєсівський інформаційний критерій. Нехай $L^{\wedge}$ – максимізована правдоподібність моделі, q – кількість вільних параметрів, а n – кількість поїздок. Тоді BIC записується так:

$$BIC = -2\ln(L^{\wedge}) + q\ln(n) \quad (2.11)$$

де $L^{\wedge}$ – максимізована правдоподібність моделі, од

q – кількість вільних параметрів, од

n – кількість поїздок, од

Поряд із BIC також подаються AIC та SABIC. Для всіх цих критеріїв нижчі значення означають кращий баланс між відповідністю моделі даним і її складністю. Однак статистична якість сама по собі не гарантує, що поїздки чітко розділяються між профілями. Тому додатково використовуються діагностики класифікації, обчислені на основі апостеріорних імовірностей із рівняння (2.9).

Першою такою діагностикою є відносна ентропія, яка узагальнює чіткість призначення поїздок до профілів на шкалі від нуля до одиниці. Значення, близькі до одиниці, означають майже категоричне розділення спостережень між профілями:

$$Entropy = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K p_{ik}^{\wedge} \ln(p_{ik}^{\wedge})}{n \ln(K)} \quad (2.12)$$

Другою діагностикою є середня апостеріорна ймовірність модального класу в межах кожного профілю. Вона обчислюється для n_k поїздок,

призначених до профілю k , і показує, наскільки впевнено ці поїздки належать саме до цього профілю:

$$AvePP_k = \frac{1}{n_k} \sum_{l: c\hat{l}=k} p_{ik} \quad (2.13)$$

Остаточний вибір кількості профілів ґрунтувався не лише на інформаційних критеріях, а й на розмірі найменшого профілю та змістовній інтерпретованості отриманого рішення. Збережене рішення має не тільки добре відповідати даним, а й утворювати розрізнявані та змістовно названі стилі виконання, а не статистичні фрагменти без управлінського змісту.

Після фіксації кількості профілів і оцінювання моделі кожен профіль подається як вектор стандартизованих середніх значень показників, тобто як його поведінкова сигнатура. Завершальний методичний крок полягає в тому, щоб перетворити ці сигнатури на змістовні назви за прозорим правилом. Профіль інтерпретується через ті показники, за якими він найбільше відхиляється від середнього рівня автопарку. Тоді логіку ідентифікації можна записати так:

$$label_k = g(\bar{z}_{k,OM}, \bar{z}_{k,TE}, \bar{z}_{k,SA}, \bar{z}_{k,DD}, \bar{z}_{k,SD}, \bar{z}_{k,MS}) \quad (2.14)$$

де $\bar{z}_{kj}$ – стандартизоване середнє значення показника j у профілі k

Назви профілів обрано так, щоб вони мали операційний зміст, а не були нейтральними статистичними індексами. Профіль із вираженим перепробігом названо «Відхилення від маршруту», оскільки додаткові кілометри пов'язані з відхиленням фактичної траєкторії, повторними заїздами або використанням альтернативних доріг. Профіль із високим перевищенням часу маршруту та раннім виїздом названо «Буферизація графіка на далеких маршрутах», оскільки він відображає створення часового резерву на довших маршрутах, а не просте запізнення. Профіль із нижчим дотриманням послідовності та

пропущеними точками названо «Низька дисципліна міських маршрутів», оскільки його ключові відхилення пов'язані з виконанням роботи в щільному міському середовищі. Домінантний профіль, близький до середніх значень за всіма показниками, названо «Стандартне дотримання плану», що вказує на базове виконання маршруту без суттєвих аномалій.

2.6 Висновки до розділу 2

Розділ формує методологічну основу дослідження та пояснює, як необроблені операційні записи перетворюються на вхідні дані для латентного профільного аналізу. Спочатку дослідження обґрунтовує персон-орієнтовану логіку: відхилення у виконанні маршрутів розглядаються не як окремі ізолювані KPI, а як взаємопов'язані стилі виконання доставки. Такий підхід є методично виправданим, оскільки один і той самий водій може демонструвати різну поведінку залежно від типу маршруту, часових обмежень і операційного контексту.

Ключовим методичним рішенням є вибір поїздки доставки, а не водія, як одиниці аналізу. Це дозволяє зберегти варіативність поведінки всередині одного водія та пов'язати профілі не лише з індивідуальними характеристиками, а й з умовами виконання конкретного маршруту. Шість поведінкових показників – перепробіг, перевищення часу маршруту, дотримання послідовності зупинок, затримка виїзду, відхилення часу обслуговування та пропущені точки доставки – утворюють цілісний вектор виконання поїздки.

Нерівномірна представленість водіїв у даних розглядається як методична проблема, але не як підстава для автоматичного вилучення спостережень. Усі поїздки залишаються в моделі, оскільки модель оцінюється на рівні поїздок, тоді як висновки на рівні водіїв інтерпретуються з урахуванням кількості виконаних ними рейсів. Такий підхід зберігає повноту операційних даних і водночас запобігає надмірній інтерпретації водіїв із малою кількістю спостережень.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Середа дослідження

Результати цього дослідження подано на матеріалах одного дистрибуційного підприємства, тому короткий опис його операційної структури є необхідним для коректної інтерпретації виявлених поведінкових профілів. Підприємство здійснює регіональну дистрибуційну діяльність із Харкова, де на центральному об'єкті консолідуються охолоджені та звичайні замовлення перед їх подальшим відправленням на щоденні маршрути доставки. Сукупна мережа обслуговування охоплює приблизно чотириста окремих торговельних точок, що створює достатньо складну операційну систему з різними типами маршрутів, різною щільністю зупинок і різними часовими вимогами до виконання доставки. Клієнтська база підприємства є змішаною, однак її структура має чітко виражене домінування роздрібного сегмента. Основну частку зупинок становлять доставки до магазинів роздрібних мереж, тоді як решта припадає на переробні підприємства, заклади HoReCa та приватних клієнтів. Такий склад клієнтів безпосередньо впливає на просторову й часову організацію маршрутів. Роздрібні мережі зазвичай формують щільні міські маршрути з великою кількістю близько розташованих точок і відносно короткими відрізками між ними. Натомість переробні підприємства, віддалені клієнти та частина HoReCa-замовлень формують довші, менш щільні маршрути, де більшу роль відіграють міжміські переміщення, часові резерви та невизначеність умов руху.

Автопарк підприємства складається з тринадцяти жорсткорамних вантажних автомобілів двох класів вантажопідйомності. Основну частину парку становлять транспортні засоби вантажопідйомністю 4 200 кг, зокрема Mercedes-Benz Atego та Isuzu NQR, які зазвичай використовуються для перевезення дев'яти або десяти палет. Додатково експлуатується легший транспортний засіб

вантажопідйомністю 3 000 кг, призначений для менших або менш завантажених маршрутів. Така структура автопарку дозволяє підприємству гнучко поєднувати транспортні засоби з різними операційними завданнями, однак водночас створює додаткову варіативність у виконанні поїздок, оскільки маршрутні результати можуть залежати не лише від поведінки водія, а й від типу транспортного засобу, характеру вантажу та просторової структури маршруту.

Транспортні засоби не закріплені жорстко за конкретними водіями.

Призначення водіїв і автомобілів змінюються з дня на день залежно від потреб операції, наявності персоналу, типу маршруту та обсягу замовлень. Один із водіїв, Водій 11, виконує функцію підмінного оператора, тобто використовується нерегулярно для заміни відсутніх водіїв, а не працює на постійному маршруті.

Ця особливість важлива для подальшої інтерпретації результатів, оскільки поведінкові висновки на рівні водія мають враховувати не лише модальний профіль, а й кількість фактично виконаних поїздок.

Операція доставки організована за трьома типами маршрутів відповідно до їхнього просторового охоплення. Міські маршрути є найчисленнішими та характеризуються великою кількістю близько розташованих зупинок, частими короткими переміщеннями й вищою чутливістю до черговості обслуговування точок. Змішані місько-приміські маршрути поєднують міську щільність зупинок із виходом у прилеглу зону, тому вони можуть поєднувати характеристики компактних міських маршрутів і довших переміщень. Міжміські маршрути є довшими консолідованими рейсами, часто з меншою кількістю більших доставок, для яких у плановий графік закладається більший часовий резерв. Такий резерв потрібний для компенсації невизначеності дорожніх умов, тривалості руху, можливого очікування та варіативності часу обслуговування.

Для поведінкового аналізу цієї операції особливо важливими є три характеристики. По-перше, планування доставки є централізованим і формалізованим. Кожна поїздка має заплановану відстань, заплановану послідовність зупинок і запланований графік. Це створює чітку базову лінію, відносно якої можна вимірювати фактичне виконання маршруту. Саме завдяки

наявності такого плану стає можливим обчислення перепробігу, перевищення часу маршруту, дотримання послідовності зупинок, затримки виїзду, відхилення часу обслуговування та кількості пропущених точок доставки.

По-друге, один і той самий водій може виконувати різні типи маршрутів у різні дні. Наприклад, короткий міський маршрут із багатьма зупинками одного дня може змінитися довшим міжміським рейсом наступного дня. Це означає, що поведінка в системі доставки не повинна трактуватися лише як стала індивідуальна риса водія. Вона також залежить від операційного контексту, у якому виконується конкретна поїздка. Саме тому в цьому дослідженні одиницею аналізу є не водій як особа, а поїздка доставки. Такий підхід дозволяє виявляти не лише міжіндивідуальні відмінності, а й варіативність виконання роботи в межах одного водія залежно від типу маршруту.

По-третє, підприємство вже фіксує операційні причини окремих відхилень, зокрема випадків перепробігу. Такі події анотовано причинами на кшталт повторних візитів для збору зворотної тари або об'їздів альтернативними дорогами. Це важливо, оскільки дозволяє не зводити всі відхилення до помилки або недисциплінованої поведінки водія. Частина відхилень може бути наслідком реальних операційних обставин, обмежень дорожньої мережі, потреб клієнтів або недосконалості початкового планування маршруту. Тому подальша інтерпретація профілю Route-deviating має враховувати можливий розрив між планом і фактичними умовами виконання доставки.

На цьому операційному тлі латентний профільний аналіз виконує не просто статистичну класифікацію поїздок, а перевіряє, чи можна повсякденну діяльність підприємства звести до невеликої кількості повторюваних стилів виконання. Інакше кажучи, модель відповідає на питання, чи утворюють 500 поїздок випадковий набір окремих відхилень, чи за ними стоять стабільні поведінкові патерни, пов'язані з типом маршруту, часовою організацією, дисципліною дотримання плану та повнотою обслуговування. Саме така постановка дозволяє перейти від звичайного моніторингу KPI до більш

змістовної сегментації операційної поведінки водіїв, придатної для диспетчеризації, навчання персоналу та управління ризиками.

3.2 Описова статистика поведінкових показників

Перед переходом до результатів моделювання в табл. 3.1 подано описову статистику шести поведінкових показників для 500 поїздок, обчислених із первинних операційних записів за рівняннями (1)–(6). Загальна картина свідчить про достатньо стабільну операцію доставки, але з наявністю довгого “хвоста” відхилень. У середньому поїздки майже відповідають запланованій відстані: середній перепробіг становить лише 0.44%. Також спостерігається високий середній рівень дотримання послідовності зупинок – 91.58%, а середнє значення затримки виїзду є від’ємним (–22 хвилини), тобто типова поїздка радше починається раніше запланованого часу, ніж із запізненням.

Водночас розкид значень за окремими показниками є суттєвим. Максимальний перепробіг досягає 45.8%, перевищення часу маршруту змінюється від –40.0% до 120.0%, а затримка виїзду охоплює діапазон від –119 до 30 хвилин. Саме ця варіативність – коли середні значення загалом виглядають контрольованими, але окремі поїздки суттєво відхиляються від плану – обґрунтовує використання латентного профільного аналізу. Модель має не просто описати середній стан автопарку, а розкласти спостережувану неоднорідність на окремі стилі виконання поїздок.

Показники також мають різні одиниці виміру та числові діапазони: перепробіг, перевищення часу маршруту й дотримання послідовності подаються у відсотках, затримка виїзду – у хвилинах, відхилення часу зупинки – у годинах, а пропущені зупинки – як кількість. Саме тому перед оцінюванням латентної профільної моделі вони стандартизуються за рівнянням (7).

Таблиця 3.1 – Операційні визначення та описова статистика шести поведінкових показників

Показник	Операційне визначення	Середнє	SD	Мін.	Макс.
Перепробіг	Фактична мінус запланована відстань, % від плану	0.44	7.91	-8.3	45.8
Перевищення часу маршруту	Фактичний мінус запланований час маршруту, % від плану	13.54	31.91	-40.0	120.0
Дотримання послідовності	Частка зупинок, обслужених у запланованому порядку, %	91.58	8.80	66.0	100.0
Затримка виїзду	Відхилення фактичного виїзду від графіка, хвилини	-22.00	37.04	119.0	30.0
Відхилення часу зупинки	Середнє відхилення часу обслуговування на зупинці, години	0.36	0.57	-0.3	2.1
Пропущені зупинки	Кількість запланованих зупинок, не відвіданих за поїзду	0.07	0.29	0.0	2.0

Дані табл. 3.1 показують операцію, яка на перший погляд виглядає добре контрольованою: середній перепробіг майже нульовий, послідовність зупинок здебільшого дотримується, а пропущені точки доставки трапляються рідко. Проте за цими спокійними середніми значеннями видно більш складну картину виконання маршрутів. Окремі поїздки різко виходять за межі плану: перепробіг сягає 45.8%, перевищення часу маршруту – 120%, а ранній виїзд у середньому на 22 хвилини свідчить, що частина водіїв не просто виконує графік, а заздалегідь створює часовий резерв. Особливо важливо, що низьке середнє значення пропущених зупинок не робить цей показник другорядним: навіть поодинокі

пропущені точки можуть мати суттєві наслідки для якості сервісу, повторних доставок і взаємодії з клієнтами. Водночас мінімальне значення відхилення часу зупинки, подане як -0.3 , потребує окремої уваги, оскільки для середнього абсолютного відхилення від'ємне значення є нетиповим і може вказувати на особливість первинного кодування або на використання знакового, а не абсолютного відхилення. Отже, табл. 3.1 не лише описує середній стан автопарку, а й показує, чому простого аналізу середніх KPI недостатньо: операція складається з різних стилів виконання, які доцільно розділяти за допомогою латентного профільного аналізу.

3.3 Визначення кількості класів

У табл. 3.2 подано статистики якості моделей для рішень із кількістю профілів від одного до шести, оцінених відповідно до процедури, описаної в розділі 3.5. Інформаційні критерії демонструють різке покращення якості моделі зі збільшенням кількості профілів від одного до чотирьох. Зокрема, BIC, визначений у рівнянні (11), зменшується з 8588.2 для одно-профільного рішення до -126.9 для чотирипрофільного рішення. Найбільший приріст якості спостерігається саме до рівня чотирьох профілів, що вказує на суттєве зменшення неврахованої неоднорідності в даних.

Після чотирьох профілів додаткові компоненти дають лише обмежене покращення штрафованої якості моделі та починають формувати дуже малі або змістовно надлишкові класи. Хоча AIC і SABIC продовжують покращуватися для п'яти профілів, таке рішення є менш переконливим з погляду інтерпретованості, оскільки додатковий профіль не додає нового управлінського змісту, а радше фрагментує уже виявлені стилі виконання. Це підкреслює, що вибір кількості профілів не може бути механічним і має враховувати не лише мінімальне значення інформаційного критерію, а й змістовну придатність рішення.

Таблиця 3.2 – Статистики якості моделей латентного профільного аналізу з кількістю профілів від одного до шести.

Кількість профілів, k	Log-likelihood	AIC	BIC	SABIC	Ентропія
1	-4256.8	8537.6	8588.2	8550.1	1.000
2	-493.4	1036.8	1142.2	1062.8	0.999
3	25.6	24.8	185.0	64.4	1.000
4*	221.9	-341.9	-126.9	-288.8	1.000
5	325.3	-522.7	-253.0	-456.1	0.995
6	305.3	-456.6	-132.1	-376.5	0.995

Відносна ентропія, визначена в рівнянні (12), залишається високою для всіх рішень, що свідчить про майже однозначне розділення поїздок між профілями. Такий результат є характерним для операційної телематики, де окремі поведінкові ознаки, наприклад значний перепробіг або пропущена точка доставки, фіксуються з відносно низьким рівнем вимірювального шуму. Це означає, що профілі не є статистично розмитими, а мають чіткі сигнатури у просторі шести поведінкових показників.

З урахуванням інформаційних критеріїв, якості класифікації, розміру найменших профілів і змістовної інтерпретованості для подальшого аналізу було обрано чотирiproфільне рішення. Воно забезпечує найкращий баланс між статистичною відповідністю даним і практичною придатністю для інтерпретації поведінкових стилів виконання поїздок.

3.4 Валідація профілів

На рис. 3.1 подано стандартизовані середні значення показників, які визначають чотири профілі, а в табл. 3.3 наведено розміри профілів, діагностику якості класифікації та середні значення показників у початковій шкалі. Середні апостеріорні ймовірності для всіх профілів досягають 1.000, що свідчить про однозначне призначення поїздок до відповідних профілів.

Профілі відрізняються не за одним окремим показником, а за комбінацією шести операційних характеристик. Саме ця багатовимірна сигнатура підтверджує доцільність персон-орієнтованого підходу: модель виявляє не ізольовані відхилення, а повторювані стилі виконання поїздок.

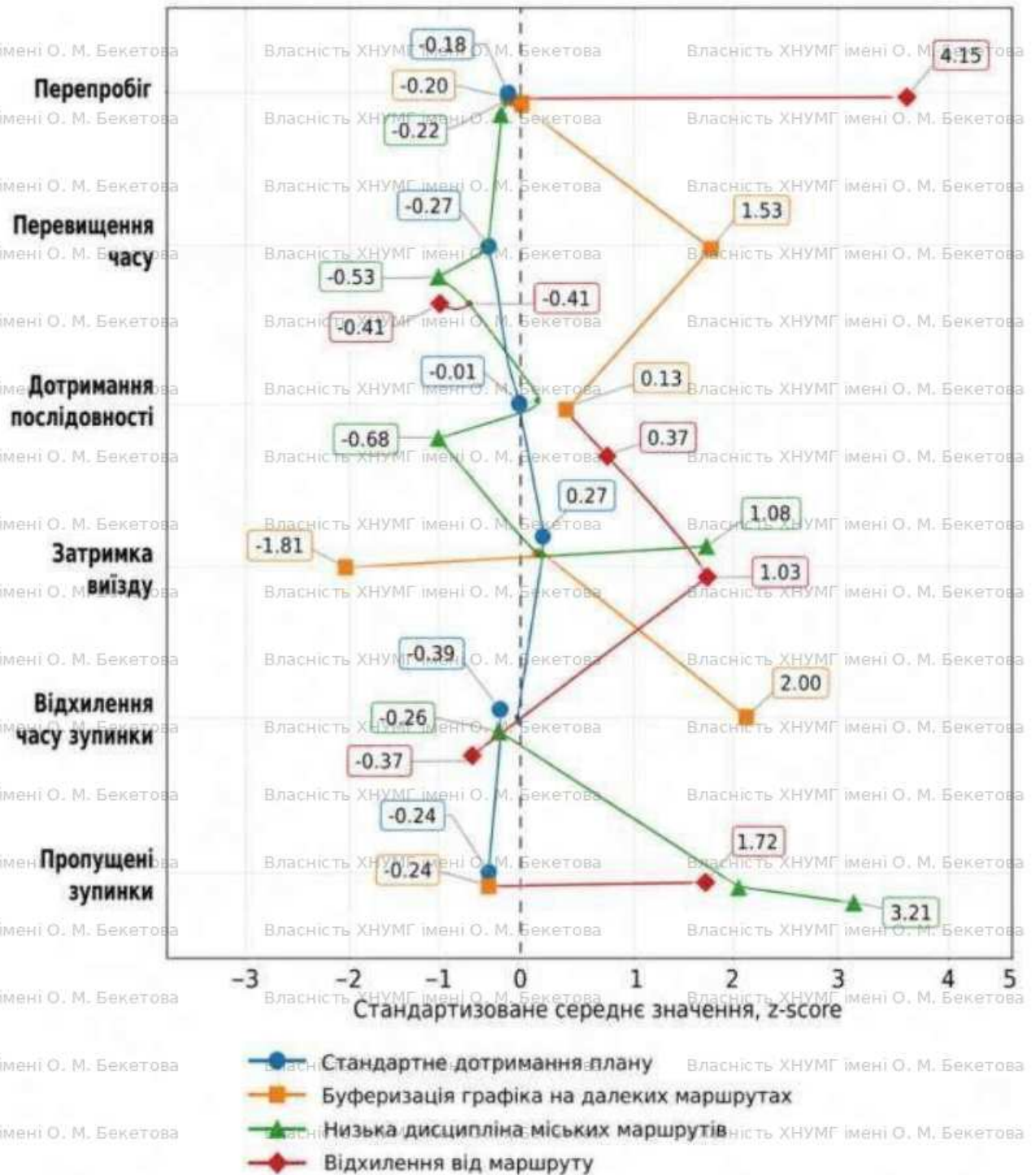


Рисунок 3.1 Стандартизовані середні значення показників, що визначають чотири профілі водіїв

Профіль	n	%	AvePP	OM, %	TE, %	SA, %	DD, хв	SD, год	MS
Стандартне дотримання плану	376	75.2	1.000	-0.95	4.8	91.5	-12.0	0.14	0.00
Буферизація графіка на далеких маршрутах	81	16.2	1.000	-1.16	62.3	92.7	-89.0	1.50	0.00
Низька дисципліна міських маршрутів	22	4.4	1.000	-1.33	-3.4	85.6	18.1	0.21	1.00
Відхилення від маршруту	21	4.2	1.000	33.30	0.3	94.8	16.1	0.15	0.57

Примітки: n – кількість поїздок у профілі; % - частка поїздок профілю у загальній вибірці; AvePP – середня апостеріорна ймовірність належності поїздок до відповідного профілю; OM – перепробіг, тобто відхилення фактичної відстані від запланованої, %; TE – перевищення часу маршруту, тобто відхилення фактичної тривалості маршруту від запланованої, %; SA – дотримання послідовності зупинок, %; DD – затримка виїзду відносно запланованого часу, хв; від’ємні значення означають ранній виїзд; SD – середнє відхилення часу обслуговування зупинок, год; MS – середня кількість пропущених точок доставки за поїзду.

«Стандартне дотримання плану» майже не відхиляється від середнього рівня автопарку, що підтверджує його роль як базового режиму роботи. Натомість «Буферизація графіка на далеких маршрутах» різко виділяється високим перевищенням часу маршруту, раннім виїздом і значним відхиленням часу зупинки, тобто описує не хаотичне запізнення, а системну практику створення часового резерву. Профіль «Низька дисципліна міських маршрутів» найбільше відрізняється за пропущеними зупинками та затримкою виїзду, що робить його сервісно найчутливішим. Профіль «Відхилення від маршруту» має іншу природу: він майже повністю визначається різким перепробігом, тоді як послідовність зупинок залишається відносно високою. Отже, рисунок 4 показує, що профілі розділяються не за загальним рівнем “краще–гірше”, а за різними типами операційної поведінки.

Табл. 3.3 переводить візуальні відмінності профілів у конкретні операційні значення. Більшість поїздок належить до профілю «Стандартне дотримання плану» – 376 рейсів, або 75.2% вибірки, що свідчить про загалом стабільну роботу автопарку. Водночас три менші профілі показують, де саме зосереджені управлінські виклики. «Буферизація графіка на далеких маршрутах» охоплює 16.2% поїздок і характеризується перевищенням часу на 62.3% та виїздом у середньому на 89 хвилин раніше графіка. «Низька дисципліна міських маршрутів» є невеликим профілем, але має високу сервісну вагу через одну пропущену зупинку в середньому за поїздку. «Відхилення від маршруту» також невеликий за часткою, однак демонструє найсильніший дистанційний сигнал – 33.3% перепробігу. Таким чином, таблиця 4 показує, що операційний ризик не є масовим, але він чітко локалізований у кількох профілях, кожен із яких потребує окремої управлінської реакції.

3.5. Аналіз отриманих профілів

Профіль «Стандартне дотримання плану» є операційною основою автопарку та охоплює 376 поїздок, або 75.2% вибірки. Він розташований близько

до середнього рівня за всіма показниками: має незначний від'ємний перепробіг, помірне перевищення часу маршруту на рівні 4.8%, високий рівень дотримання послідовності зупинок – 91.5% – і фактично не має пропущених точок доставки.

Це поїздки, які загалом виконуються відповідно до плану й не потребують спеціального управлінського втручання.

Профіль «Буферизація графіка на далеких маршрутах» охоплює 81 поїздку, або 16.2% вибірки. Його визначає значне перевищення часу маршруту – 62.3% – у поєднанні з дуже раннім виїздом, у середньому на 89 хвилин раніше запланованого часу. Водночас перепробіг залишається низьким, дотримання послідовності зупинок є високим, а пропущені точки доставки відсутні. Така сигнатура не вказує на сервісний збій. Вона радше описує практику створення часового резерву на довгих рейсах, де водії або диспетчерська система закладають додатковий час для компенсації невизначеності руху, очікування чи умов розвантаження.

Профіль «Низька дисципліна міських маршрутів» є найбільш чутливим з погляду якості обслуговування. Він охоплює 22 поїздки, або 4.4% вибірки, і характеризується найнижчим рівнем дотримання послідовності зупинок – 85.6%, пізнім виїздом та в середньому однією пропущеною точкою доставки за поїздку. Перепробіг у цьому профілі не є суттєвим, тому головна проблема полягає не у зайвій відстані, а в порядку виконання маршруту та повноті обслуговування. Саме цей профіль має пріоритетне значення для контролю сервісної надійності.

Профіль «Відхилення від маршруту» охоплює 21 поїздку, або 4.2% вибірки. Його головною ознакою є дуже високий перепробіг – 33.3% відносно плану. Водночас профіль має відносно високе дотримання послідовності зупинок – 94.8% – і помірну кількість пропущених точок доставки. Це означає, що проблема не обов'язково полягає в порушенні порядку обслуговування: водій міг виконувати зупинки у правильній послідовності, але фактична траєкторія руху суттєво відрізнялася від

планової. Такий профіль може вказувати на об'їзди, повторні заїзди, альтернативні дороги або неточність початкового маршрутизування.

Загалом чотири профілі показують, що відхилення в операції доставки не можна розглядати як єдину шкалу від “хорошого” до “поганого” виконання. Часова буферизація, низька дисципліна міського маршруту та відхилення за пробігом є різними стилями виконання, які мають різні причини й різні управлінські наслідки.

3.6. Профілі та операційний контекст

На рис. 5 показано склад кожного профілю за типом маршруту. Два профілі, пов'язані із сервісними або дистанційними аномаліями, – «Низька дисципліна міських маршрутів» і «Відхилення від маршруту» – не містять міжміських поїздок. Вони виникають лише на міських і змішаних місько-приміських маршрутах. Це логічно узгоджується з операційним середовищем таких маршрутів: щільні списки зупинок, короткі інтервали між торговельними точками, складніші умови міського руху й частіша потреба в адаптації маршруту створюють більше можливостей для порушення послідовності, пропусків або об'їздів.

Профіль «Буферизація графіка на далеких маршрутах», навпаки, має найвищу частку міжміських поїздок – 27.2%. Це відповідає його часовій сигнатурі: ранній виїзд і значне перевищення часу маршруту є типовими для довших рейсів, де невизначеність тривалості руху й обслуговування є вищою. У цьому випадку додатковий час не слід автоматично тлумачити як неефективність; він може бути частиною операційної практики управління ризиком запізнення.

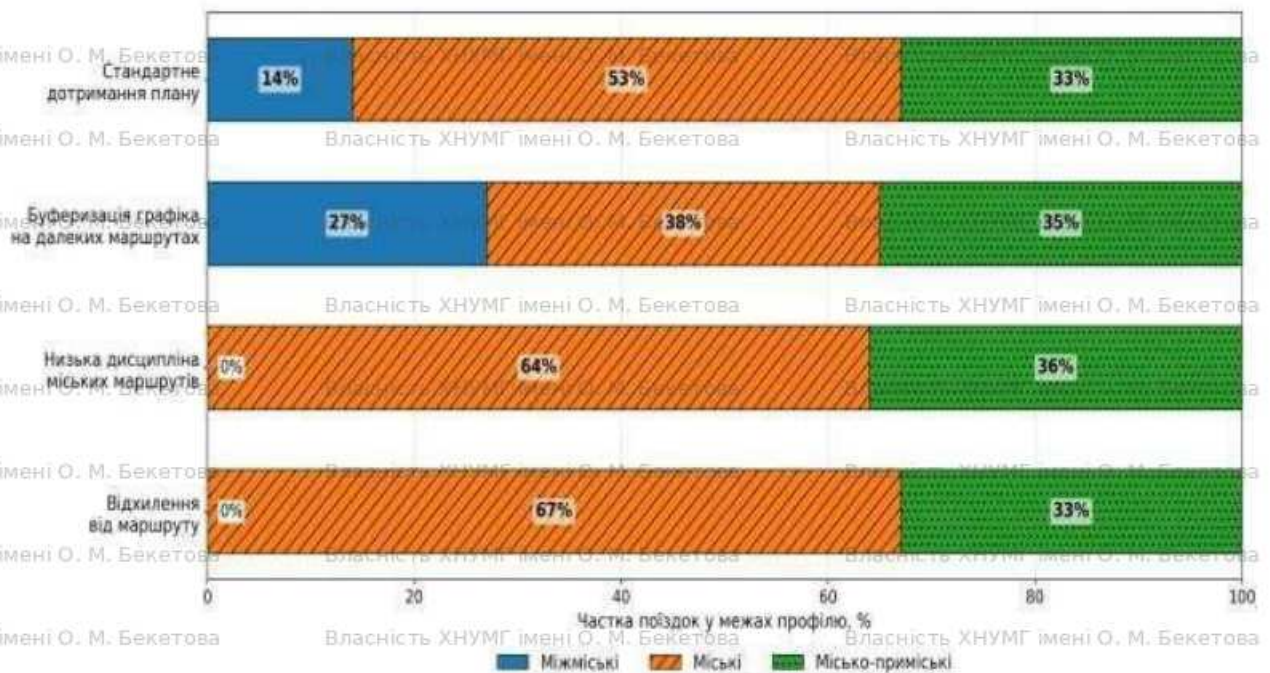


Рисунок 3.2 – Склад кожного профілю водіїв за типом маршруту

Профіль «Стандартне дотримання плану» охоплює всі три типи маршрутів у пропорціях, близьких до загальної структури автопарку. Це означає, що базово коректне виконання можливе в різних операційних умовах і не обмежується лише одним типом маршруту. Водночас поширеність аномальних профілів залежить від просторового контексту, що підкреслює важливість аналізу не лише водіїв, а й типів маршрутів, на яких виникають відхилення.

3.7. Належність до профілів і представленість водіїв

Представленість водіїв у вибірці є нерівномірною, як було передбачено в розділі 3.3. Більшість водіїв добре представлена в даних і має від 40 до 64 поїздок, що дозволяє обережно інтерпретувати профілі на рівні конкретного водія. Водночас три випадки є малочисельними: Водій 11, який виконує функцію підмінного оператора, має лише 8 поїздок, а Водії 13 і 14 представлені однією поїздкою кожен. Ці випадки включено до моделі на рівні

поїздок, але їхні індивідуальні профільні характеристики не трактуються як стабільні поведінкові сигнатури.

Агрегування профільних призначень на рівні водіїв показує, що частина водіїв має чітко виражений домінантний профіль, тоді як інші демонструють змішану структуру виконання. Водії 6 і 7 повністю належать до профілю «Буферизація графіка на далеких маршрутах»: відповідно 50 і 31 їхня поїздка були віднесені саме до цього профілю. Це характеризує їх як послідовних операторів із раннім виїздом і значним часовим резервом на маршрутах.

Більшість водіїв, зокрема Водії 1, 4, 9, 10 і 12, майже повністю належать до профілю «Стандартне дотримання плану». Це свідчить про те, що основна частина персоналу виконує маршрути стабільно й близько до плану. Водночас профілі, пов'язані з аномаліями, зосереджені в невеликій кількості водіїв. Водій 5 формує значну частину поїздок профілів «Низька дисципліна міських маршрутів» і «Відхилення від маршруту» – відповідно 10 і 8 поїздок. Водій 2 робить найбільший окремий внесок у профіль «Відхилення від маршруту», маючи 12 таких поїздок.

Підмінний Водій 11 у всіх своїх восьми поїздках віднесений до профілю «Стандартне дотримання плану». Однак через обмежену кількість спостережень цей результат слід розглядати лише описово. Загалом аналіз на рівні водіїв показує, що поведінковий ризик підприємства не є рівномірно розподіленим по всьому персоналу, а локалізований у кількох водіях і типах маршрутів. Це створює підставу для цільового втручання замість загальних заходів для всього автопарку.

3.8. Імплікації, корпоративна політика та регулювання за профілями

Отримані профілі мають не лише описове, а й прикладне значення для управління автопарком. Вони показують, що відхилення у виконанні поїздок не слід трактувати як єдину категорію “поганої роботи”. Навпаки, кожен профіль має власну операційну природу: стандартне виконання, часова буферизація, низька дисципліна міських маршрутів або відхилення від планової траєкторії. Тому управлінська реакція також має бути диференційованою, див. табл 3.4 та 3.5.

Замість однакових правил для всіх водіїв доцільно перейти до профільно-орієнтованої політики: призначення водіїв на маршрути, навчання, контроль КРІ та перегляд планових графіків мають ґрунтуватися на тому, який саме тип виконання виявлено.

Таблиця 3.4 Профільно-орієнтовані управлінські рекомендації

Профіль	Емпірична основа	Управлінська інтерпретація
Стандартне дотримання плану	Найбільший профіль: 376 поїздок, 75.2% вибірки; низький перепробіг, помірне перевищення часу, високе дотримання послідовності, відсутність пропущених точок	Базовий і бажаний стиль виконання маршруту; профіль не потребує коригувального втручання, але може бути використаний як внутрішній стандарт
Буферизація графіка на далеких маршрутах	81 поїздка, 16.2% вибірки; високе перевищення часу маршруту, дуже ранній виїзд, відсутність пропущених точок; найвища частка міжміських поїздок	Це не сервісний збій, а практика створення часового резерву на довших або менш передбачуваних маршрутах
Низька дисципліна міських маршрутів	22 поїздки, 4.4% вибірки; найнижче дотримання послідовності, пізній виїзд, у середньому одна пропущена точка доставки; виникає на міських і змішаних маршрутах	Найбільш сервісно критичний профіль; проблема полягає не у відстані, а в порядку виконання маршруту та повноті обслуговування
Відхилення від маршруту	21 поїздка, 4.2% вибірки; дуже високий перепробіг, збережене дотримання послідовності, помірна кількість пропущених точок; виникає на міських і змішаних маршрутах	Проблема пов'язана не обов'язково з порядком зупинок, а з розривом між плановою та фактичною траєкторією руху

Таблиця 3.5 Профільно-орієнтовані корпоративні політичні та регуляторні рекомендації

Профіль	Зміни до внутрішньої політики підприємства	Контроль, комплаєнс і регулювання
Стандартне дотримання плану	Закріпити цей профіль як операційний benchmark; включити його показники до стандарту нормального виконання поїздки; використовувати як основу для оцінки якості планування	Регулярно контролювати частку таких поїздок у загальній структурі автопарку; зниження частки профілю може бути раннім сигналом погіршення операційної стабільності
Буферизація графіка на далеких маршрутах	Запровадити окремі правила планування для далеких маршрутів; визначити допустимий діапазон раннього виїзду; фіксувати причини тривалого очікування або значного перевищення часу	Контролювати робочий час, тривалість очікування та безпечність виконання довгих рейсів; не трактувати автоматично перевищення часу як низьку продуктивність без перевірки маршруту
Низька дисципліна міських маршрутів	Встановити чіткий протокол реагування на пропущені точки; вимагати фіксації причини кожного пропуску; запровадити правило оперативного повідомлення диспетчера при неможливості виконати зупинку	Контролювати пропущені точки як окремий сервісний KPI; використовувати профіль для запобігання повторним доставкам, скаргам клієнтів і втраті сервісної надійності
Відхилення від маршруту	Запровадити обов'язкове документування причин значного перепробігу; розділяти обґрунтоване відхилення від маршруту і необґрунтоване; оновлювати план маршруту після повторюваних відхилень	Контролювати прозоре використання телематичних даних; не використовувати перепробіг як дисциплінарний показник без аналізу причин; забезпечити аудит маршрутних відхилень і захист персональних даних водіїв

Практичний сенс таблиць полягає в тому, що профілі переводять телематику з режиму пасивного моніторингу в режим управлінського циклу.

Якщо частка профілю «Стандартне дотримання плану» залишається високою, операція працює стабільно. Якщо зростає частка профілю «Буферизація графіка на далеких маршрутах», це є сигналом для перегляду планових графіків і часових резервів. Якщо зростають профілі «Низька дисципліна міських маршрутів» або «Відхилення від маршруту», підприємство має переходити до адресного втручання: аналізу конкретних водіїв, типів маршрутів, причин пропусків і причин перепробігу.

Водночас профільно-орієнтована політика не повинна використовуватися як автоматичний дисциплінарний механізм. Латентні профілі є описовими, а не причинними результатами. Вони показують, що саме відбулося в операційних даних, але не завжди пояснюють, чому це сталося. Тому будь-яке управлінське рішення має поєднувати профільну класифікацію з перевіркою контексту: типом маршруту, дорожніми умовами, завантаженням, очікуванням на точках, змінами в замовленнях і поясненнями водія або диспетчера. Саме такий підхід робить профілювання придатним не для покарання, а для покращення планування, навчання, контролю сервісу та безпечного виконання перевезень.

3.9 Висновки до розділу 3

Розділ показав, що операційна поведінка водіїв у досліджуваному підприємстві має чітку профільну структуру. Хоча середні значення показників свідчать про загалом контрольовану операцію доставки, латентний профільний аналіз виявив, що за цими середніми стоять чотири відмінні стилі виконання поїздок. Домінантний профіль «Стандартне дотримання плану» охоплює більшість рейсів і підтверджує, що основна частина автопарку працює стабільно. Водночас три менші профілі мають різну природу: «Буферизація графіка на далеких маршрутах» пов'язана з ранніми виїздами та часовим резервом, «Низька дисципліна міських

маршрутів», із порушенням порядку зупинок і пропущеними точками, а «Відхилення від маршруту», із суттєвим перепробігом.

Результати також показали, що поведінкові профілі залежать від операційного контексту. Аномальні профілі зосереджені на міських і змішаних маршрутах, тоді як профіль часової буферизації частіше пов'язаний із міжміськими рейсами. Аналіз на рівні водіїв додатково засвідчив, що поведінковий ризик не є розпорошеним по всьому персоналу, а концентрується в окремих водіях і маршрутних ситуаціях. Це робить результати практично корисними: вони підтримують не загальне оцінювання водіїв за середніми показниками ефективності, а цільове управління призначеннями, навчанням, контролем і переплануванням. Отже, розділ 3 підтверджує, що рутинна телематика автопарку може бути перетворена на змістовну поведінкову сегментацію, придатну для прийняття управлінських рішень.

ВИСНОВКИ

У роботі застосовано латентний профільний аналіз до 500 поїздок доставки одного дистрибуційного підприємства з метою виявлення поведінково відмінних стилів виконання маршрутів. На відміну від традиційного аналізу окремих KPI, запропонований підхід дозволив розглядати поведінку водіїв як комбінацію взаємопов'язаних операційних характеристик: перепробігу, перевищення часу маршруту, дотримання послідовності зупинок, затримки виїзду, відхилення часу обслуговування та пропущених точок доставки. Така постановка дала змогу перейти від простого моніторингу середніх показників до сегментації поїздок за цілісними стилями виконання.

За результатами моделювання обрано чотирипрофільне рішення, яке забезпечило змістовно інтерпретовану структуру операційної поведінки.

Домінантний профіль «Стандартне дотримання плану» охоплює 75.2% поїздок і відображає базове стабільне виконання маршруту без суттєвих сервісних або маршрутизаційних аномалій. Другий профіль, «Буферизація графіка на далеких маршрутах», становить 16.2% поїздок і характеризується ранніми виїздами, значним часовим резервом і відсутністю пропущених точок. Два менші профілі мають більш проблемний управлінський зміст: «Низька дисципліна міських маршрутів» пов'язана з порушенням послідовності зупинок і пропущеними доставками, тоді як «Відхилення від маршруту» визначається значним перепробігом при відносно збереженій послідовності обслуговування.

Результати показують, що операційні відхилення не є однорідними й не можуть бути коректно описані одним інтегральним показником ефективності. Часова буферизація, сервісні пропуски та дистанційні відхилення мають різну природу, виникають у різних маршрутних умовах і потребують різних управлінських реакцій. Зокрема, профіль часової буферизації частіше пов'язаний із довгими рейсами, тоді як профілі низької дисципліни та відхилення від маршруту зосереджені в міських і змішаних місько-приміських маршрутах. Це підтверджує, що поведінку водіїв потрібно аналізувати не лише як індивідуальну

характеристику, а й як результат взаємодії водія з конкретним операційним контекстом.

Агрегування профільних призначень на рівні водіїв додатково показало, що поведінковий ризик не розподілений рівномірно по всьому персоналу. Більшість водіїв переважно виконує маршрути в межах стандартного профілю, тоді як аномальні поїздки концентруються в обмеженій кількості водіїв і маршрутних ситуацій. Це створює підставу для цільового управління: замість загальних заходів для всього автопарку підприємство може застосовувати адресне навчання, перегляд призначень водіїв на маршрути, уточнення планових графіків і контроль причин перепробігу або пропущених точок.

Практичний внесок роботи полягає в тому, що рутинна телематика автопарку може бути перетворена на компактну й управлінськи зрозумілу систему поведінкових профілів. Такі профілі можуть використовуватися як інструмент підтримки диспетчеризації, моніторингу сервісної якості, аналізу ризиків і перегляду внутрішньої політики підприємства. Водночас профілі не слід трактувати як автоматичний дисциплінарний інструмент: вони описують спостережувані патерни виконання, але потребують перевірки контексту, причин відхилень і умов конкретного маршруту перед прийняттям управлінських рішень.

Дослідження має кілька обмежень. Дані отримано від одного підприємства, тому конкретні частки профілів і їхня структура не повинні автоматично переноситися на інші автопарки без додаткової перевірки. Аналіз є описовим і не встановлює причинно-наслідкових зв'язків між профілями, водіями та результатами доставки. Крім того, представленість водіїв у вибірці є нерівномірною, хоча проведений аналіз чутливості показав стійкість основного чотирипрофільного рішення після вилучення малопредставлених водіїв.

Подальші дослідження можуть розширити підхід на кілька підприємств, пов'язати профілі з витратами пального, скаргами клієнтів і показниками безпеки, а також простежити зміну профілів у часі після управлінських втручань.

Загалом робота демонструє, що персон-орієнтоване сумішеве моделювання є корисним інструментом для аналізу транспортно-логістичних процесів

підприємства. Воно дозволяє побачити за середніми KPI конкретні стилі
мені О. М. Бекетова Власність ХНУМГ імені О. М. Бекетова Власність ХНУМГ імені О. М. Бекетова
виконання маршрутів, локалізувати операційні ризики та сформувати більш точні,
мені О. М. Бекетова Власність ХНУМГ імені О. М. Бекетова Власність ХНУМГ імені О. М. Бекетова
доказові й практично придатні рішення для управління автопарком.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Pires, B., & Gonçalves, H. (2022). Transformative Processes of Gerontological Responses in Different Models of Public Providentialism in the COVID-19 Context: A Bibliometric Review. *Societies*, 12(5), 142. <https://doi.org/10.3390/soc12050142>
2. Szewrański, S., & Kazak, J. K. (2020). Socio-Environmental Vulnerability Assessment for Sustainable Management. *Sustainability*, 12(19), 7906. <https://doi.org/10.3390/su12197906>
3. Yumni, F. L., & Pandin, M. G. R. (2025). Family Support, Socio-Economic Status, and Resilience of Pregnant Women in Crisis Contexts: A Systematic Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7722059/v1>
4. Sauti, N. S., Daud, M. E., Kaamin, M., & Sahat, S. (2023). A Comprehensive Review of Holistic Indicators for Seismic Vulnerability Assessment of Malaysia. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 18(3), 631–642. <https://doi.org/10.18280/ijdne.180315>
5. Idris, N. D. M., Muhamad, N., Taha, M. R., Osman, A. S., & Alam, Md. M. (2021). Social Vulnerability Assessment for Landslide Hazards in Malaysia: A Systematic Review Study. *Land*, 10(3), 315. <https://doi.org/10.3390/land10030315>
6. Galkin, A., & de Oliveira, L. K. (2026). Proximity freight strategies for urban sustainability. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 156, 105383. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2026.105383>
7. Zulhaimi, N. A., Pereira, J. J., & Muhamad, N. (2023). Global Research Landscape of Climate Change, Vulnerability, and Islands. *Sustainability*, 15(17), 13064. <https://doi.org/10.3390/su151713064>
8. Galkin, A., Davidich, Y., & Thompson, R. G. (2026). From clock-based hours to functional-state windows: A wearable-sensor framework for human-centric routing in urban E-commerce logistics. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 118, 103564. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2026.103564>

9. Akomea-Frimpong, I., Agyekum, A. K., Amoakwa, A. B., Babon-Ayeng, P., & Pariafsai, F. (2022). Towards the attainment of climate-smart PPP infrastructure projects: A critical review and recommendations.

<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2090958/v1>

10. Zhao, B., & Wong, S. D. (2021). Developing Transportation Response Strategies for Wildfire Evacuations via an Empirically Supported Traffic Simulation of Berkeley, California. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2675(12), 557–582.

<https://doi.org/10.1177/03611981211030271>

11. Latent profile modelling of driver behaviour in the transport-and-logistics processes of an enterprise. (2025). Manuscript in preparation.

12. Vallée, J., Douet, M., & Leurent, F. (2024). Latent class analysis of national travel survey data: Segmenting travellers by psychographic profiles and mode use. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 181, 103988. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2024.103988>

13. Spurk, D., Hirschi, A., Wang, M., Valero, D., & Kauffeld, S. (2020). Latent profile analysis: A review and “how to” guide of its application within vocational behavior research. *Journal of Vocational Behavior*, 120, 103445. <https://doi.org/10.1016/j.jvb.2020.103445>

14. Berlin, K. S., Williams, N. A., & Parra, G. R. (2014). An introduction to latent variable mixture modeling (Part 1): Overview and cross-sectional latent class and latent profile analyses. *Journal of Pediatric Psychology*, 39(2), 174–187. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/jst084>

15. Weller, B. E., Bowen, N. K., & Faubert, S. J. (2020). Latent class analysis: A guide to best practice. *Journal of Black Psychology*, 46(4), 287–311. <https://doi.org/10.1177/0095798420930932>

16. Anable, J. (2005). “Complacent car addicts” or “aspiring environmentalists”? Identifying travel behaviour segments using attitude theory. *Transport Policy*, 12(1), 65–78. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2004.11.004>

17. Beckman, J. D., & Goulias, K. G. (2008). Immigration, residential location, car ownership, and commuting behavior: A multivariate latent class analysis from California. *Transportation*, 35(5), 655–671.

<https://doi.org/10.1007/s11116-008-9172-x>

18. de Oña, J., de Oña, R., Eboli, L., & Mazzulla, G. (2013). Perceived service quality in bus transit service: A structural equation approach. *Transport Policy*, 29, 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.07.001>

19. Prato, C. G., Bekhor, S., & Pronello, C. (2012). Latent variables and route choice behavior. *Transportation*, 39(2), 299–319. <https://doi.org/10.1007/s11116-011-9344-y>

20. Galkin, A., Švadlenka, L., Davidich, Y., & Beckers, J. (2026). Adaptive e-cargo bike allocation for sustainable cities: Balancing behavioral and efficiency metrics. *International Journal of Sustainable Transportation*, 1-20.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А КОРЕЛЯЦІЙНА МАТРИЦЯ ПОКАЗНИКІВ

Таблиця А.1. Кореляції Пірсона між шістьма поведінковими показниками

Показник	Перепробіг	Перевищення часу	Дотримання послідовності	Затримка виїзду	Відхилення часу зупинки	Пропущені зупинки
Перепробіг	1.00	-0.08	0.08	0.19	-0.07	0.16
Перевищення часу	-0.08	1.00	0.04	-0.63	0.59	-0.09
Дотримання послідовності	0.08	0.04	1.00	-0.05	0.07	-0.06
Затримка виїзду	0.19	-0.63	-0.05	1.00	-0.68	0.26
Відхилення часу зупинки	-0.07	0.59	0.07	-0.68	1.00	-0.08
Пропущені зупинки	0.16	-0.09	-0.06	0.26	-0.08	1.00

ДОДАТОК Б

СЕРЕДНЯ ПОВЕДІНКА ЗА ВОДІЯМИ ЗА ВОДІЯМИ

Таблиця Б.1. Середня поведінка за водіями, представленість у вибірці та модальний профіль

Водій	Поїздки	Перепробіг, %	Перевищення часу, %	Дотримання послідовності, %	Затримка виїзду, хв	Відхилення часу зупинки, год	Пропущені зупинки	Аном. ND	Аном. VM	Модальний профіль
Водій 1	64	-0.99	7.1	90.5	-25.5	0.16	0	0	0	СДП
Водій 2	46	7.79	-2.0	92.2	16.3	0.13	11	3	12	СДП
Водій 3	50	-0.50	0.2	91.9	17.2	0.23	6	4	1	СДП
Водій 4	46	-0.98	8.7	90.6	-23.1	0.07	0	0	0	СДП
Водій 5	47	5.94	-8.2	90.3	17.3	0.09	12	10	8	СДП
Водій 6	50	-1.13	60.0	93.2	-87.7	1.55	0	0	0	БГДМ
Водій 7	31	-1.21	65.9	92.0	-91.1	1.42	0	0	0	БГДМ
Водій 8	17	-1.57	-4.7	91.7	21.8	0.20	5	5	0	СДП
Водій 9	54	-1.31	6.8	92.0	-25.6	0.16	0	0	0	СДП
Водій 10	45	-1.09	13.7	90.9	-28.1	0.17	0	0	0	СДП
Водій 11	8	-0.46	8.9	88.8	-22.8	0.10	0	0	0	СДП
Водій 12	40	-1.04	8.9	93.3	-26.0	0.12	0	0	0	СДП
Водій 13	1	0.00	20.0	92.0	-19.0	0.40	0	0	0	СДП
Водій 14	1	0.00	-15.0	89.0	-7.0	0.20	0	0	0	СДП

Примітка. Аном. ND – кількість поїздок профілю «Низька дисципліна міських маршрутів». Аном. VM – кількість поїздок профілю «Відхилення від маршруту». СДП - Стандартне дотримання плану - , БГДМ - Буферизація графіка на далеких маршрутах

ДОДАТОК В АНАЛІЗ ЧУТЛИВОСТІ ДАНИХ

Таблиця В.1. Статистики якості моделей для скороченої вибірки

Кількість профілів, k	Log-likelihood	AIC	BIC	Ентропія
1	-4171.7	8367.4	8417.7	1.000
2	-490.2	1030.4	1135.2	1.000
3	19.6	36.7	196.1	1.000
4*	132.9	-163.8	50.1	0.900
5	329.6	-531.3	-262.8	1.000
6	384.0	-614.0	-291.0	0.900

*обрана кількість

Таблиця В.2. Чотирипрофільне рішення у скороченій вибірці порівняно з повною вибіркою

Профіль	n	% у скороченій вибірці	% у повній вибірці	Перепробіг, %	Перевищення часу, %	Дотримання послідовності, %
Стандартне дотримання плану	366	74.7	75.2	-0.97	4.7	91.6
Буферизація графіка на далеких маршрутах	81	16.5	16.2	-1.16	62.3	92.7
Низька дисципліна міських маршрутів	22	4.5	4.4	-1.33	-3.4	85.6
Відхилення від маршруту	21	4.3	4.2	33.30	0.3	94.8