

Вдовиченко В.О., Черепаха О.С., Великодний Д.О.

**МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ
В ПЕРЕСАДОЧНИХ ВУЗЛАХ НАЗЕМНОГО
МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ**

Монографія

2024

Вдовиченко В.О., Черепаха О.С., Великодний Д.О.

**МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ В
ПЕРЕСАДОЧНИХ ВУЗЛАХ НАЗЕМНОГО МІСЬКОГО
ТРАНСПОРТУ**

Монографія

2024

УДК 656.072

Рецензенти:

Турпак С.М., проф., докт. техн. наук

Таран І.О., проф., докт. техн. наук

Рекомендовано до видання
Вченою Радою Харківського національного автомобільно-
дорожнього університету

Дозвіл №67/24/4.12 від «4» липня 2024 р

Вдовиченко В.О., Черепаха О.С., Великодний Д.О.
Методологічні основи підвищення ефективності транспортного
обслуговування пасажирів в пересадочних вузлах наземного міського
транспорту. Монографія – Видавництво КП "Міськдрук", 2024. - 156 с.

ISBN 978-617-619-295-4

В книзі розглянуті науково-технологічні підходи до підвищення ефективності функціонування транспортно-пересадочних вузлів міського пасажирського транспорту. Представлено комплексний підхід до формування адаптаційного циклу управління взаємодією суб'єктів маршрутного потоку в транспортно-пересадочних вузлах, що має на меті покращити сервісно-споживчу якість транспортного обслуговування пасажирів, забезпечити раціональне використання наявних ресурсів зупинних пунктів, знизити рівень конфліктності руху транспортних засобів та реалізувати цільову відповідність технологічних процесів взаємодії умовам сталого розвитку міст.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень	5
Вступ.....	6
1 Проблемні аспекти організації та управління міськими пасажирськими транспортними системами	7
1.1 Огляд сучасних проблем міських пасажирських транспортних систем та шляхи їх вирішення	7
1.2 Сучасні проблеми транспортно-пересадочних вузлів міського пасажирського транспорту та підходи до їх вирішення	18
1.3 Висновки за розділом 1	27
2 Методологія моделювання взаємодії суб'єктів маршрутного потoku МПТ в транспортно-пересадочних вузлах	29
2.1 Структура конфігураційних елементів моделі	29
2.2 Моделювання розподілу пасажирів між суб'єктами маршрутного потоку	37
2.3 Моделювання часових параметрів обслуговування суб'єктів маршрутного потоку	44
2.4 Формування критерію ефективності ТПВ.....	57
2.5 Параметри оцінки адекватності моделі	67
2.6 Аналітичне дослідження впливу часу сервісного простою ТЗ на сервісні показники взаємодії	69
2.7 Висновки за розділом 2	74
3 Теоретичні основи управління технологічними процесами в транспортно-пересадочних вузлах	75
3.1 Загальні вимоги до управління стабілізацією процесів взаємодії в ТПВ	75
3.2 Адаптаційний цикл управління ТПВ	85
3.3 Базові методи управління технологічними процесами в ТПВ.....	88
3.4 Висновки за розділом 3	99
4 Експериментальні дослідження взаємодії наземного транспорту в транспортно- пересадочних вузлах (на прикладі ТПВ «ст. м. Індустріальна» м. Харків)	100
4.1 Огляд сучасного стану транспортного обслуговування пасажирів в ТПВ м. Харкова.....	100
4.2 Характеристика технологічного процесу взаємодії в ТПВ «ст. м. Індустріальна»	110
4.3 Натурні спостереження параметрів роботи транспорту та формування вхідного пасажиропотоку в ТПВ.....	127

4.4 Моделювання параметрів технологічного процесу взаємодії в ТПВ	138
4.5 Висновки за розділом 4	145
Висновки	147
Література	149

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВДМ – вулично-дорожня мережа

ЗП – зупинний пункт

ММ – маршрутна мережа

МПТ – міський пасажирський транспорт

МПТС – міська пасажирська транспортна система

МС – міське середовище

МТС – міська транспортна система

ОІ – об'єкти інфраструктури

ТЗ – транспортний засіб

ТПВ – транспортно-пересадочний вузол

ВСТУП

Сучасний етап розвитку міських пасажирських транспортних систем характеризується гострою необхідністю реформування, реорганізації та пошуку ефективних методів підвищення якості транспортного обслуговування населення. Потреба у реформуванні міських транспортних систем ґрунтується на вимогах суспільства щодо економії усіх видів наявних ресурсів, зниження негативного впливу транспорту, зростанні вимог населення до міської мобільності та необхідності всестороннього впровадження стратегії сталого розвитку міських середовищ, що спрямована на підвищення якості життя населення та забезпечення розвитку їхнього майбутнього потенціалу.

У структурі транспортної системи міста важливою складовою є транспортно-пересадочні вузли (ТПВ) міського пасажирського транспорту (МПТ), що разом із магістральними транспортними лініями виконують роль основоположних інфраструктурних елементів. Ефективна взаємодія у ТПВ позитивно впливає на якість транспортного обслуговування населення та поряд із завданням підвищення швидкісних режимів руху на маршрутах є дієвим методом скорочення часу переміщення. Аналіз роботи маршрутів МПТ показав, що час простою транспортних засобів (ТЗ) у зупинних пунктах (ЗП) ТПВ доходить до 30 % від загальної тривалості рейсу, а питома вага непродуктивного простою складає майже 60 %. Передусім наявна ситуація значно погіршується конфліктністю взаємодії суб'єктів МПТ, що є наслідком відсутності її чіткої організації. Результатом цього є виникнення тривалих непродуктивних простоїв ТЗ, необхідність компенсації провізних можливостей маршрутів випуском додаткових одиниць рухомого складу, збільшення часу переміщення пасажирів, зниження якості транспортного обслуговування населення, погіршення безпеки дорожнього руху та зростання екологічного забруднення довкілля. Вирішення відокремленого кола проблемних аспектів потребує розвитку досліджень у напрямку розробки та впровадження нових науково обґрунтованих методів та способів організації взаємодії суб'єктів МПТ в ТПВ, що спрямовані на підвищення ефективності їхнього функціонування та забезпечення всесторонньої реалізації стратегії сталого розвитку міст.

1 ПРОБЛЕМНІ АСПЕКТИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ МІСЬКИМИ ПАСАЖИРСЬКИМИ ТРАНСПОРТНИМИ СИСТЕМАМИ

1.1 Огляд сучасних проблем міських пасажирських транспортних систем та шляхи їх вирішення

Транспортна інфраструктура у значній мірі формує просторовий потенціал міського середовища (МС) та визначає напрямки розвитку міського пасажирського транспорту (МПТ). Незалежно від типу просторової структури міст, принциповою транспортною проблемою у глобальному масштабі є зіткнення міста та автомобілів. Основним проявом такої ситуації, яка викликана надмірною автомобілізацією, є транспортні колапси. Першочерговою причиною їх появи є затори, що виникають через диспропорцію попиту та можливостей транспортної інфраструктури. Вирішення проблеми заторів та їх негативних наслідків сьогодні стала головною задачею міст. Існуючі підходи пропонують для цього використання двох протилежних стратегій. Перша стратегія передбачає зосередження дій на розбудові транспортної інфраструктури та концентрації основних зусиль на створенні умов безперешкодного використання легкових автомобілів для задоволення потреб у пересуванні. Друга стратегія орієнтована на обмеженні застосування автомобілів та передбачає поширення використання МПТ. В основі таких різнобічних стратегій розвитку МПТС лежать різні ресурсні можливості МС. Європейські та азіатські міста, у порівнянні з містами США, внаслідок свого історичного компактного планування, не мають можливості задоволення зростаючого трафіку за рахунок розбудови транспортних магістралей та паркінгів. Основним видом забезпечення переміщення населення таких міст є МПТ, а останнім часом активно використовуються велосипеди та рух пішки [1].

Соціально-економічна ефективність міського транспорту, поряд з підвищенням якості транспортного обслуговування, є однією з основних задач його роботи. Вона повинна забезпечуватися шляхом впровадження комплексного підходу спрямованого на збільшення рентабельності роботи транспортних підприємств, задоволення маркетингових потреб населення та впровадження раціональних технологій їх транспортного обслуговування [2]. Всі види наземного МПТ поряд з індивідуальними автомобілями в процесі реалізації своїх

функцій використовують єдиний територіальний простір, що обумовлює їх взаємний вплив та надає можливість згрупувати їх проблеми у єдину систематизовану структуру, яка за своїми концептуальними видами може бути розподілена на інституціональні, соціальні, екологічні, технічні, технологічні та економічні напрями (рис. 1.1).

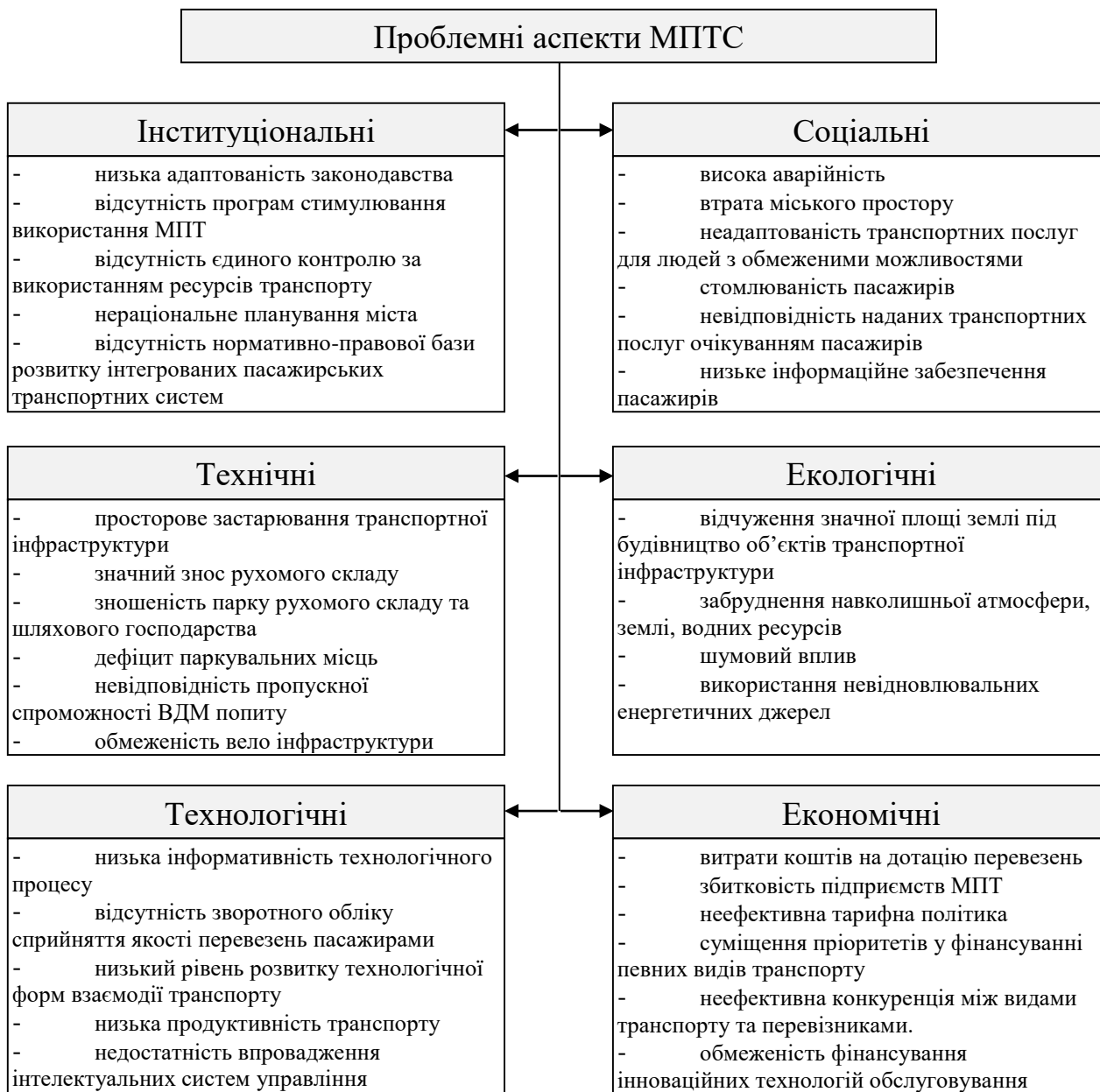


Рисунок 1.1. Проблемні аспекти МПТС

Вагомим джерелом зниження ефективності МПТ є відсутність узгодження взаємодії в межах окремих елементів транспортної інфраструктури. Дискоординація взаємодії проявляється через невідповідність пропускної спроможності ЗП інтенсивності вхідних

маршрутних потоків, неузгодженості маршрутних розкладів руху, відсутністю ефективного закріплення смуг руху за видами транспорту. Негативним наслідком таких дій є збільшення часу непродуктивного простою ТЗ, зниження ресурсної ефективності перевезень, погіршення якості транспортного обслуговування. Соціальна значущість пасажирського транспорту обумовлена його роллю у забезпеченні якості життя населення. Сьогодні гостро стоїть проблема підвищення рівня задоволення транспортних потреб населення [3], вирішення якої може бути досягнене шляхом впровадження комплексу управлінських дій спрямованих на повне та своєчасне задоволення маркетингових вимог пасажирів. Створення ефективних міських пасажирських транспортних систем потребує будівництва та розширення відповідної інфраструктури: шляхів сполучення, зупинних пунктів, транспортно-пересадочних вузлів, споруд для технічного обслуговування транспорту, об'єктів енергетичного забезпечення транспорту та ін.

Виділення ключових напрямів формування проблемних аспектів МПТС дозволяє систематизувати сучасні та перспективні підходи до їх вирішення. Основною вимогою до формування такого комплексу управлінських дій є необхідність створення передумов постійного розвитку потенціалу міського середовища шляхом раціоналізації використання наявних ресурсів, зниження негативних наслідків роботи транспорту та впровадження принципів його цільової орієнтації на підвищення якості життя населення.

Осмилення проблемних аспектів МПТС та встановлення ролі МПТ у їх вирішенні, дозволило сформувані стратегічні напрями його удосконалення, серед яких основними є:

- інтеграція МПТ у функціональну структуру міського середовища, як складового елемента соціальної підсистеми;
- встановлення раціональних форм структурної організації транспортної системи міста, як єдиного цілого;
- розробка методів оцінювання взаємодії споживачів транспортних послуг з елементами обслуговуючою підсистеми;
- удосконалення взаємодії суб'єктів транспорту в межах об'єктів інфраструктури;
- створення нових та раціоналізація використання наявних енергоефективних видів МПТ;
- впровадження раціональних механізмів організації ринкових відносин в межах МПТ;

– ефективне використання наявних ресурсів ВДМ та земельних територій міського середовища.

Важливим напрямком удосконалення МПТС є впровадження ресурсозберігаючих принципів організації технологічних процесів. Ефективність управління МПТС на пряму залежить від співвідношення між результатами та витратами ресурсів. Слід відмітити, що всебічне представлення ресурсів МПТС не достатньо обґрунтоване. Аналіз робіт [1, 4] показав, що як правило, під ресурсами розуміється внутрішні можливості транспортних підприємств або відокремлені елементи інфраструктури. Таке представлення ресурсів обмежує можливості системного представлення ефективності міського транспорту та вимагає їх розподілу за всіма рівнями використання.

Актуальні потреби у вирішенні проблем МПТС дозволили сформулювати загальну стратегію її відповідності сталому розвитку міст [5, 6]. Стратегія сталого розвитку міст крім ресурсної направленості має своєю метою скорочення негативного впливу міського транспорту на умови життєдіяльності населення. Своєю найбільшою поширенню стратегія сталого розвитку набула у Європейській практиці планування міського транспорту. Серед зразків організації, можна виділити місто Гельсінкі – еталонне місто у Європейському Союзі, де за підсумками 2014 року майже 80% його мешканців висловили задоволення роботою МПТ та віддали йому свій пріоритет при виборі способу реалізації своїх транспортних потреб [6]. Також у трійці лідерів є міста Женева та Стокгольм, МПТ яких має найвищий рівень безпеки, сучасний оновлений парк рухомого складу, розвинену маршрутну мережу та мають чітку організацію.

Сучасні вектори розвитку Європейських транспортних систем є основними стратегічними орієнтирами удосконалення МПТС. Їх основні стратегічні положення щодо забезпечення сталої мобільності населення та базові практичні рекомендації представлені у так званих «Білих книгах». За останні 20 років було видано три такі книги: «The Future Development of the Common Transport Policy – A Global Approach to the Construction of a Community Framework for Sustainable Mobility» (1992), «European transport policy for 2010: time to decide» (2001) та «Roadmap to a single European transport area – towards a competitive and resource-efficient transport system» (2011). Біла книга Європейської Комісії «План розвитку Єдиного Європейського Транспортного Простору – на шляху до конкурентоспроможної та ресурсоефективної

транспортної системи» встановлює вектор розвитку європейського міського транспорту на період до 2050 року. Ця «Біла книга» містить 10 основних завдань, які спираються на 40 ініціатив, що згруповані за такими розділами [7]: ефективна та інтегрована система мобільності; інновації для майбутнього – технологія та організація роботи транспорту; сучасна транспортна інфраструктура та інтелектуальне управління; раціональне фінансування транспорту.

Процедура визначення ефективності МПТ є основоположною частиною формування стратегії його удосконалення. Вона ґрунтується на застосуванні методології об'єктивного оцінювання результативних та ресурсних показників транспортного процесу. Ключовим етапом цієї процедури є розрахунок критерія ефективності, структура та склад якого у значній мірі впливає на формування напрямків оптимізації. Необхідність об'єктивного представлення наслідків роботи МПТ як ключового елемента стратегічного аналізу доведена у ряді науково-практичних робіт, присвячених формуванню базових напрямів оцінювання його ефективності [8-11]. Чим складніше територіально-просторова структура МС, тим більшу роль відіграє рівень ефективності МПТ на формування умов збереження міських ресурсів та досягнення поставлених суспільством перед МС вимог. Разом з тим успішне вирішення проблеми забезпечення ефективного стану МПТ залежить від ступені погодженості особливостей та розбіжностей інтересів всіх видів учасників транспортного процесу. Вибір критерію ефективності МПТ може різнитися у залежності від конкретної наукової задачі, що вирішується. На рис. 1.2 представлений алгоритм оцінювання ефективності МПТ.

Процес перевезення пасажирів у міському сполученні має широкий спектр впливу на МС та може бути охарактеризований значною кількістю показників, загальною чисельністю більше п'ятдесяти. Вибір критерію оцінювання ефективності МПТ може різнитися у залежності від конкретної наукової задачі, що вирішується. Виділяють такі групи критеріїв ефективності пасажирського транспорту [12]: за вартісними показниками експлуатаційних витрат; ефективність транспортного виробництва; ефективність господарських заходів; ефективність інвестиційних заходів; соціальна (загальноєкономічна) ефективність. Широке коло показників та можливість варіювання їх складом призвело до появи значної кількості науково-практичних підходів встановлення оцінки ефективності МПТ.



Рисунок 1.2. Алгоритм оцінювання ефективності МПТ

У світі накопичений достатній методологічний і практичний досвід оцінювання ефективності інвестиційних проектів у транспортну інфраструктуру, який знайшов своє відображення у офіційних методиках країн Європейського Союзу, США, Японії, Австралії, ПАР та ряду міжнародних організацій [13-14]. Виділення методології оцінювання ефективності окремо для МПТ у закордонних розробках представлено дуже обмежено. Однак окремі закордонні автори робили спроби формалізувати ефективність МПТ через представлення її показниками якості транспортного обслуговування. У роботі [15] автором запропоновано оцінювати МПТ через поєднання двох показників – забезпеченість населення та продуктивність рухомого складу. Основними показниками, що характеризують надання транспортних послуг виступає: вартість проїзду, витрати часу пасажирів, тип, місткість рухомого складу та ін. Однак, наведений у роботі підхід має вид концепції, яка у подальшому не отримала реалізації у вигляді конкретних функцій. Серед спроб закордонних вчених представити ефективність МПТ є робота [16], в якій для оцінювання використовується ряд чинників: рівень транспортного обслуговування, стан навколишнього середовища, ресурси системи,

що забезпечують транспортний процес, обсяг добових транспортних потоків. Представлена робота також не містить конкретних моделей формалізації критерію ефективності. У роботі [216] для оцінювання ефективності МПТ автором запропоновано використовувати «перелік інтересів суб'єктів ринку транспортних послуг». Наведений перелік має описову форму, де представлений їх розподіл за категоріями, але подальшого розвитку в напрямку формалізації показників не отримав. На основі аналізу робіт [15-16] можна дійти висновку, що серед закордонних досліджень розрахункові методи оцінювання ефективності МПТ в явному виді майже не представлені, їх опис має узагальнений вигляд, оцінка ефективності функціонування МПТ покладається на експертів та реалізується, як правило, через суб'єктивну оцінку якісних показників транспортних послуг. У питаннях дослідження ефективності МПТ вченими країн СНД, на відміну від закордонних вчених, накопичений значно більший досвід. Одним з поширених підходів до визначення ефективності МПТ є оцінка часу, що витрачається пасажиром на реалізацію пересувань [17, 18]. Час пересування представляється у вигляді самостійного параметра або як складова частина комплексного критерію ефективності. Зведення оцінювання ефективності до представлення у вигляді часу пересування не дає можливості забезпечити достатню об'єктивність відображення стану всіх елементів та значно спрощує представлення процесів. Модифікацією підходу оцінювання ефективності на основі часу пересування пасажирів представлена в роботі [19]. Автор пропонує прийняти за критерій, значення функціоналу який представляється у вигляді зваженого рівня завантаження ділянок маршрутної мережі, який безпосередньо впливає на час переміщення пасажирів

$$\Psi(X) = \frac{1}{z \cdot \Theta} \sum_{(\alpha, \beta) \in U} \sum_{\tau=1}^{\Theta} \frac{(P_{\alpha, \beta}^{\tau}(X) - \overline{P_{\alpha, \beta}})^2}{\overline{P_{\alpha, \beta}}}, \quad (1.1)$$

де z – кількість ділянок мережі;

Θ – кількість інтервалів часу;

$P_{\alpha, \beta}^{\tau}(X)$ – кількість пасажирів, що проїжджає через ділянку (α, β) в інтервалі часу τ при заданому векторі початку роботи підприємств X ;

$\overline{P_{\alpha, \beta}}$ – середнє завантаження ділянки (α, β) .

Використання непрямих форм обліку часу переміщення дозволяє запровадити додаткові параметри до критерію, однак не вирішує питання однобічності його представлення. Необхідність обліку якості транспортного обслуговування при оцінюванні ефективності МПТ обґрунтовано у роботах [2, 20-21]. Рівень якості визначається показниками комфортності, які встановлюються шляхом експертної оцінки з подальшою статистичною обробкою даних опитування. Основним недоліком методів ретроспективного оцінювання є їх обмеженість до застосування при моделюванні та аналізі перспектив. Для оптимізації функціонування окремих об'єктів МПТ застосовуються локальні показники оцінювання ефективності. У роботі [22] об'єктом дослідження є виробнича діяльність автотранспортного підприємства, яка спрямована на підвищення техніко-експлуатаційних показників роботи маршрутів. У роботі [23] для формування раціональної структури парку МПТ використовуються показники ефективності маршрутів, які представлені у вигляді узагальнених питомих експлуатаційних витрат. Автори статті [24] запропонували в якості оцінювання системи перевезення пасажирів використовувати два коефіцієнти, що відображають відносно кількості маршрутів, питому вагу виконаних рейсів та ТЗ. Критерієм оцінювання у роботі [25] є показник транспортної доступності, який відображає якість одиночної поїздки пасажирів. Використання локальних критеріїв значно обмежує можливості проведення оцінювання системної ефективності МПТ. В якості критерію ефективності МПТ можуть використовуватися показники транспортної втому пасажирів та водіїв, але оцінка ступеня її впливу залишається мало вивченою.

Ряд авторів у своїх роботах пропонують проводити оцінку не за окремим параметром або групою споріднених показників, поєднуючи їх в єдину складову за допомогою різних підходів. У роботі [26] автор поділяє критерій ефективності МПТ на дві групи: соціальні характеристики транспортного процесу (приріст використання МПТ, покращення стану навколишнього середовища, внесок у зайнятість населення, доступність, якість та придатність транспортних послуг) та фінансово-економічний результат транспортного процесу. Запропонована методика представлена в узагальненому виді та не має чіткої формалізації, що затрудняє її використання на практиці.

У роботі [27] економічна складова ефективності визначається на основі зниження собівартості перевезень пасажирів, якісні показники

оцінюються часовими показниками обслуговування, кількісними параметрами провізних можливостей, стійкістю руху по маршрутах. У роботі [28] критерієм ефективності виступає співвідношення цільових інтересів учасників системи: для транспортного оператора – прибуток, для пасажиропотоку – втрати, для міста – втрати муніципалітету

$$F(y, \{x_i\}_{i=1, \overline{N}}) \rightarrow \min_{y \in Y}, \quad (1.2)$$

$$G_i(x_i, \{z_m\}_{m=1, \overline{K}}) \rightarrow \min_{x_i \in X}, i = \overline{1, N}, \quad (1.3)$$

$$H_k(\{x_i\}_{i=1, \overline{N}}, \{z_m\}_{m=1, \overline{K}}) \rightarrow \max_{z_k \in Z_k}, k = \overline{1, K}, \quad (1.4)$$

де N – пасажиропотік;

y – стратегія муніципалітету;

x_i – стратегія пасажиропотоку;

z_i – стратегія транспортного оператора;

K – кількість операторів.

Баланс співвідношення цільових інтересів знаходиться за допомогою теорії ігор і представляється у вигляді функції, в якій враховуються сумарні втрати часу пасажирів та транспортні витрати. Представлені моделі не враховують транспортні можливості МС, розподіл транспортних потоків по окремих ділянках маршрутної мережі та інфраструктури.

У роботі [29] ефективність транспортної системи описується п'ятьма напрямками: паркувальна політика, збереження існуючої дорожньої мережі, вдосконалення роботи МПТ, організація і управління дорожнім рухом, вдосконалення транспортно-розподільчої системи міста. Основна увага в роботі приділена удосконаленню системи управління лише автотранспортної складової. Оцінка впливу роботи МПТ на ефективність наведена узагальнено без її формалізації, що обмежує її застосування.

У роботі [30] автором ефективність МПТ представлена через поєднання корисності для пасажирів, їх сумарних витрат ресурсів та витрат на реалізацію транспортного процесу

$$E_{п+тп} = U_{п} - C_{п}' - a_f \cdot C_{фп} \rightarrow \max, \quad (1.5)$$

де U_{Π} – сумарна корисність транспортних послуг з перевезення пасажирів, що характеризує ступінь задоволення потреб пасажирів у перевезеннях;

C'_{Π} – сумарні витрати всіх видів ресурсів пасажирів, за виключенням фінансових, приведені до корисності транспортних послуг;

$n-1$ – кількість значущих видів витрат ресурсів пасажирів на здійснення k -го пересування за виключенням фінансових витрат;

a_f – коефіцієнт значущості фінансових витрат у критерії ефективності сегмента пасажирів;

$C_{\text{фп}}$ – сумарні витрати на реалізацію транспортного процесу всіх підприємств (замовників) за період, що розглядається.

У роботі [31] на основі логістичних принципів запропонований підхід до представлення МПТ у вигляді комплексу послідовно-взаємопов'язаних оптимізаційних моделей, в яких слід враховувати не тільки економічні, але й технічні та соціально-екологічні показники ефективності, імовірнісний характер оцінки витрат часу пасажиром, нестаціонарність і нелінійність пасажиропотоку. Реалізація такого підходу виконана шляхом представлення ефективності у вигляді мультиплікативного показника оцінювання рівня пасажирського сервісу

$$S = S_1^{k_1} \cdot S_2^{k_2} \cdot S_3^{k_3} \cdot S_4^{k_4} \cdot S_5^{k_5} \cdot S_6^{k_6}, \quad (1.6)$$

де $S_1^{k_1}$ – надійність переміщення;

$S_2^{k_2}$ – доступність;

$S_3^{k_3}$ – безпечність;

$S_4^{k_4}$ – комфортність;

$S_5^{k_5}$ – вартісний показник;

$S_6^{k_6}$ – показник інформаційного сервісу;

$k_1 \dots k_6$ – вагові показники рівня значимості.

Представлена методика має чітку формалізацію складових критеріїв ефективності, але їх вид має спрощену форму, тому методика може бути використана лише для надання узагальненої оцінки ефективності транспортної системи міста.

Питанням дослідження ефективності перевезень пасажирів приділено уваги спеціалістами суміжних з транспортниками спеціальностей – економіки та менеджменту [32, 33]. Але ці спроби мають частковий характер, представлені критерії ефективності в своїй основі мають споріднену природу з розглянутими підходами та не претендують на інноваційність.

Вплив транспорту на якість життя, підтверджується наявністю транспортного компоненту у багатьох індикативних методиках її оцінювання [34-35]. Індикатор дійсного розвитку враховує у соціальних факторах вартість щоденних трудових поїздок (Cost of Commuting) та витрати, що спричинюють ДТП (Cost of Automobile Accidents) [37]. Зустрічаються також такі показники, як довжина шляхів, кількість транспортних вузлів, рівень автомобілізації, кількість ДТП та ін. [38]. Транспортні складові індикаторів якості життя населення поступово систематизуються, але в той же час слід констатувати, що ні представлення чіткого структурованого впливу МПТ, ні його формалізації в існуючих роботах не наведено. Існує небезпека, що в умовах непроробленості теоретико-методологічної бази дослідження впливу МПТ на якість життя населення міст, удосконалення його роботи є лише декларативним.

Підвищення соціально-економічної ефективності МПТ передбачає створення умов для якісного задоволення потреб населення у переміщенні територіальним простором з одночасним зниженням рівня ресурсів, що використовуються. Реалізація такої стратегії можлива за умов чіткої організації взаємодії всіх структурних елементів МПТ. ТПВ відіграють важливу роль у забезпеченні «безшовної мобільності населення «від дверей до дверей», яка згідно «Білої книги» передбачає реалізацію таких ключових положень [7, 39]:

- впровадження заходів, необхідних для подальшої інтеграції різних видів пасажирського транспорту з метою забезпечення доступності до безшовного мультимодального переміщення пасажирів;

- створення нормативних умов для сприяння розробці та використанню систем складання мультимодальних графіків взаємодії, погодження ресурсних можливостей об'єктів інфраструктури, впровадження інформаційних систем та інтелектуального управління транспортними послугами;

– розвиток законодавчого процесу, який забезпечує доступ приватних постачальників послуг до інформації про пересування пасажирів та рух ТЗ у режимі реального часу.

Необхідність формування систем МПТ на принципах інтеграції та комбінування різних видів транспорту та маршрутів визнана практикою в багатьох країнах світу [40-44]. Однак, процеси, що сьогодні досліджуються в межах інфраструктурних об'єктів, у більшості випадків [45-46], розглядаються з позиції архітектурно-планувальної реконструкції, а технологічні аспекти взаємодії потоків вивчені поверхнево.

1.2 Сучасні проблеми транспортно-пересадочних вузлів міського пасажирського транспорту та підходи до їх вирішення

Проблема формування напряму удосконалення технологічної взаємодії у ТПВ МПТ, в деякій мірі, обумовлена відсутністю чіткого представлення базової термінології та класифікації. У більшості робіт ТПВ визначаються як місце взаємодії різних видів транспорту. Наприклад, у роботі [47] під ТПВ розуміється «елемент транспортної системи, в якому починається, закінчується перевізний процес одним з видів транспорту, чи здійснюється взаємодія магістральних і міських видів транспорту та реалізується перерозподіл пасажирських потоків». Основний акцент у такому визначенні ТПВ спрямовано на представлення його в якості місця поєднання різних видів транспорту. Це пояснюється тим, що перші напрями, які сформували концептуальні основи досліджень, зорієнтовані на підвищенні ефективності перевезень у комбінованому сполученні «внеміські території – місто». Дослідження процесів взаємодії внутрішніх сполучень МПТ у межах ТПВ до сих пір знаходяться у початковій стадії та потребують розвитку.

Характер протікання технологічних процесів у ТПВ МПТ має ряд відмінностей від комбінованого сполучення, що у значній мірі обумовлене специфікою формування пасажиропотоків, інтервалами прибуття ТЗ, умовами визначення пропускної спроможності ЗП, типом їх розташування по відношенню до елементів ВДМ та ін. До основних особливостей якими характеризуються процеси взаємодії в ТПВ МПТ відносяться [48, 49]:

– неоднорідність часових параметрів протікання технологічних операцій, пов'язаних з знаходженням ТЗ у ЗП;

- варіативність міжмаршрутного розподілу пасажиропотоків;
- ресурсна обмеженість перонного господарства;
- високий рівень конфліктності взаємодії суб'єктів маршрутного потоку, що призводить до виникнення непродуктивних простоїв ТЗ;

- необхідність своєчасного та повного задоволення потреб пасажирів;

- велика кількість суб'єктів та неузгодженість їх взаємодії;
- наявність характеристичного впливу параметрів взаємодії в ЗП на елементи прилеглих ділянок ВДМ.

Осмишуючи особливості ТПВ МПТ можливо сформулювати наступне його визначення: «ТПВ МПТ – це об'єкт міської пасажирської транспортної інфраструктури в межах якого реалізується міжмаршрутний перерозподіл пасажиропотоків між окремими напрямками внутрішнього сполучення одного або різних видів транспорту». На відміну від комбінованих, ТПВ МПТ представляють собою значно менші за розмірами та структурою об'єкти, у них може бути відсутній єдиний комплекс споруд, а їх цільова підпорядкованість формується на принципах децентралізації. По суті, в якості ТПВ може виступати будь який ЗП або їх сукупність, в межах яких реалізується міжмаршрутний перерозподіл пасажиропотоків.

Основними параметрами які характеризують ТПВ МПТ є:

- кількість видів транспорту та умови їх взаємодії;
- кількість однотипних ліній, що реалізуються окремими елементами з обслуговування відповідних видів пасажиропотоків (початкових, кінцевих або пересадочних);

- кількість здійснюваних структурними елементами однотипних технологічних процесів по обслуговуванню різних видів сполучення.

Склад та структурна компоновка елементів ТПВ МПТ характеризують:

- потужність його перонного господарства;
- переробну та пропускну спроможність вузла.

До параметрів вхідних та вихідних потоків ТПВ відносяться:

- їх абсолютна величина та інтенсивність;
- розподіл інтервалів між надходженням ТЗ;
- система пріоритетів надходження та відправлення ТЗ;
- інтенсивність транспортного потоку.

Вимоги до організації взаємодії ґрунтуються на забезпеченні [50]:

- максимальної пропускної та переробної спроможності ТПВ;
- міжмаршрутної пересадки з мінімальними витратами часу;
- раціонального розподілу маршрутів в серед існуючих ЗП;
- мінімізації непродуктивних простоїв ТЗ;
- зниження негативного впливу на ВДМ та МС;
- організація роботи по суміщеному контактному графіку і єдиному технологічному процесу, заснованого на взаємодії наявних видів транспорту.

– створення мультимодальних форм обслуговування пасажирів.

Розвиток структурних елементів ТПВ МПТ взаємопов'язаний та має вирішуватися комплексно з урахуванням ефективного використання провізних можливостей маршрутів, впровадження новітньої техніки та застосування прогресивних методів управління технологічними процесами [51, 52].

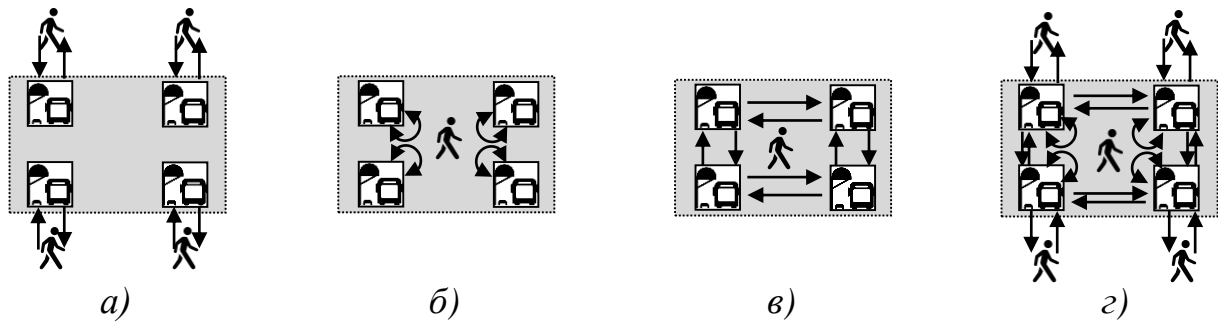
ТПВ МПТ розрізняються за складністю, розмірністю та типом компоновки. У залежності від кількості видів транспорту та форми їх взаємодії, ТПВ можуть бути розподілені за відповідними типами організаційно-структурної компоновки (рис. 1.3).



a) – монотранспортні міського сполучення; *б)* – інтермодальні міського сполучення; *в)* – міські монотранспортні з зовнішнім сполученням; *г)* – міські інтермодальні з зовнішнім сполученням

Рисунок 1.3. Типи організаційно-структурної компоновки ТПВ

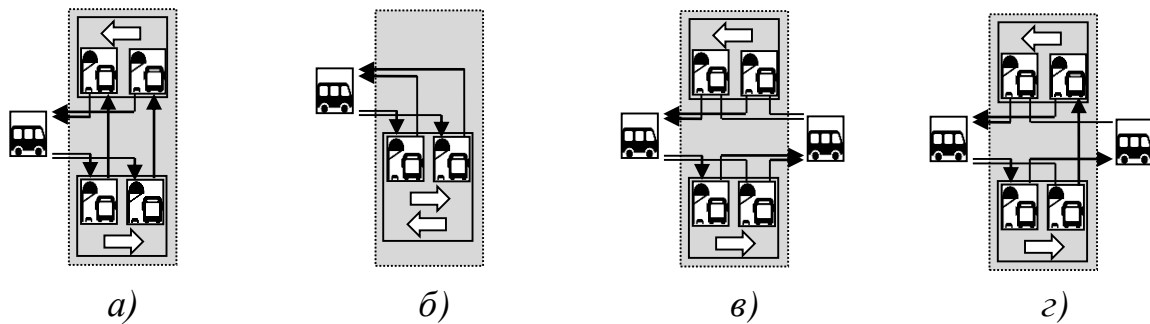
Кількість однотипних ліній обслуговування пасажиропотоків визначає споживчо-технологічну компоновку ТПВ (рис. 1.4).



а – початково-кінцеві поїздки; *б* – транзитні поїздки в межах окремих ЗП; *в* – транзитні поїздки між ЗП; *г* – комбіновані поїздки

Рисунок 1.4. Типи споживчо-технологічної компоновки ТПВ

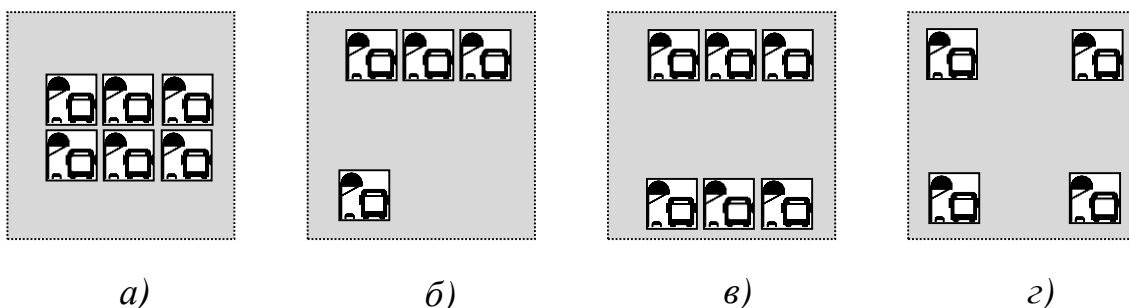
Кількість однотипних технологічних процесів визначає техніко-технологічну компоновку ТПВ (рис. 1.5).



а – початково-кінцеві розподілені; *б* – початково-кінцеві об'єднані; *в* – транзитні; *г* – комбіновані

Рисунок 1.5. Типи техніко-технологічної компоновки ТПВ

Розміщення ЗП в ТПВ оказує вплив на параметри взаємодії суб'єктів та визначає тип планувальної конфігурації (рис. 1.6).



а – сконцентровані; *б* – сконцентровані з відокремленими ЗП; *в* – розподілені на частини; *г* – рівномірно розосередженні

Рисунок 1.6. Типи планувальної компоновки ТПВ

Розташування ЗП у плані ТПВ визначає передумови виникнення конфліктних ситуацій при прибутті ТЗ. Основні типові структури розташування ЗП відносно проїжджої частини ВДМ. Ефективна взаємодія у ТПВ оказує позитивний вплив на якість транспортного обслуговування населення та відіграє важливу роль у формуванні сталості МПТ. Однак, реалії сьогодення свідчать про те, що поточна ситуація, яка спостерігається у ТПВ багатьох міст України, навпаки характеризується її низькою організованістю та якістю. На основі вибіркового анкетування та натурних обстежень проведених у 2018 р., були встановлені індикативні показники взаємодії МПТ в ряді ТПВ міст (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1.
Індикативні показники взаємодії МПТ в ТПВ

Показник	Харків	Кривий Ріг	Херсон	Слов'янськ
Питома вага пересувань з пересадками, %	44,5	23,8	20,7	16,2
Витрати часу на реалізацію переміщення, хв	45-50	50-60	35-40	30-35
Витрати часу на пересадку, хв	9-12	12-14	9-11	10-12
Питома вага витрат часу на пересадку, %	20,2-27,7	20,1-28,2	22,5-31,4	28,6-34,1

Виходячи з представленої інформації можна встановити, що питома вага часу, який витрачається на реалізацію міжмаршрутних пересадок складає 20-34 % від загального часу пересування, що робить цей процес незручним для пасажирів. Крім незручностей, пов'язаних з витратами значного часу на пересадку, наявна ситуація у значній мірі, погіршується конфліктністю руху ТЗ у зоні ЗП ТПВ. Негативним наслідком такої ситуації є виникнення тривалих непродуктивних простоїв ТЗ, погіршення безпеки дорожнього руху на прилеглих ділянках ВДМ та зростання екологічного забруднення довкілля.

Виходячи з представленої інформації можна встановити, що питома вага часу, який витрачається на реалізацію міжмаршрутних пересадок складає 20-34 % від загального часу пересування, що робить цей процес незручним для пасажирів. Крім незручностей, пов'язаних з витратами значного часу на пересадку, наявна ситуація у значній мірі,

погіршується конфліктністю руху ТЗ у зоні ЗП ТПВ. Негативним наслідком такої ситуації є виникнення тривалих непродуктивних простоїв ТЗ, погіршення безпеки дорожнього руху на прилеглих ділянках ВДМ та зростання екологічного забруднення довкілля. В таблиці 1.2 наведені дані про часові параметри перебування ТЗ у ТПВ які були встановлені у ході проведення натурних обстежень.

Таблиця 1.2.
Часові параметри перебування ТЗ у ТПВ

Транспортно-пересадочний вузол	Середній час знаходження ТЗ у ТПВ, хв	Середній час непродуктивного простою ТЗ, хв
«ст. м. пр. Гагаріна» м. Харків	4,1	2,1
«ст. м. Героїв Праці» м. Харків	3,2	1,7
«ст. м. Ак. Барабашова» м. Харків	5,3	2,4
«ст. м. Університет» м. Харків	4,2	1,6
«пр. Ювілейний – пр. Тракторобудівників» м. Харків	3,1	0,7
«вул. Гв. Широлиців - вул. Валентинівська» м. Харків	2,7	0,5
«Ювілейна» м. Кривий Ріг	2,9	1,2
«Соцмісто» м. Кривий Ріг	4,7	2,6
«Центральний ринок» м. Кривий Ріг	4,4	2,4
«Кривий Ріг – Вокзальний» м. Кривий Ріг	4,2	2,4
«вул. залізнична» м. Херсон	3,6	2,1
«Автовокзал» м. Херсон	2,8	0,8
«САТУ» м. Слов'янськ	2,6	0,7

Наведена інформація дає змогу зробити висновок про низьку якість організації взаємодії суб'єктів маршрутного потоку. Питома вага непродуктивного простою ТЗ в межах в ЗП ТПВ, який пов'язаний з появою їх черги та очікуванням пасажирів складає від 19 % до 59 %. Це також свідчить про необхідність проведення детального причинно-наслідкового аналізу виникнення таких ситуацій. Огляд літературних джерел [46, 53, 55-67] та практичного досвіду дозволив систематизувати основні причини зниження ефективності функціонування ТПВ МПТ (таблиця 1.3).

Таблиця 1.3.

Причини зниження ефективності ТПВ (на основі [49, 55])

Напрямок	Причини виникнення
Збільшення часу пересадки пасажирів	<ul style="list-style-type: none"> – неузгодженість розкладів руху – нерегулярність прибуття ТЗ – додаткові непродуктивні простої ТЗ
Долання значних відстаней між ЗП	<ul style="list-style-type: none"> – незручне просторове розташування ЗП – неефективний розподіл пішохідних потоків – посадка-висадка пасажирів поза зоною ЗП
Витрати часу на оплату проїзду	<ul style="list-style-type: none"> – незручне розташування квиткових кас – відсутність єдиних проїзних білетів
Низька інформативність	<ul style="list-style-type: none"> – необ'єктивність інформації – низька регулярність руху ТЗ – відсутність представлення онлайн інформації
Зниження безпеки руху	<ul style="list-style-type: none"> – перевищення номінальної місткості ЗП – конфліктність пішохідних та транспортних потоків
Зниження пропускної спроможності ЗП	<ul style="list-style-type: none"> – неузгодженість часу простою ТЗ з інтенсивністю вхідного маршрутного потоку – нераціональний розподіл маршрутів між ЗП – відсутність координації часу перебування ТЗ
Зниження провізних можливостей маршрутів	<ul style="list-style-type: none"> – непродуктивні простої ТЗ у черзі – збільшення часу простою ТЗ для збору оплати – додаткові простої для очікування пасажирів

Вирішення спектру встановлених чинників зниження ефективності ТПВ реалізується в контексті удосконалення функцій об'єктів пасажирської транспортної інфраструктури. На рис. 1.7 представлені науково-практичні підходи удосконалення ТПВ МПТ.

В умовах формування сталого МПТ, напрям оптимізації технологічних процесів взаємодії в ТПВ є дієвим способом підвищення сервісно-ресурсної ефективності. На відміну від архітектурно-планувальної реконструкції, він дозволяє покращити якість транспортного обслуговування пасажирів у ТПВ без використання додаткових ресурсів та капіталовкладень в їх розбудову. Крім того використання архітектурно-планувальної реконструкції на практиці значно обмежується територіальними можливостями міст та фінансовими можливостями їх муніципалітетів.



Рисунок 1.7. Напрями удосконалення ТПВ МПТ

Серед оптимізації технологічних процесів найбільшого поширення отримала синхронізація часових параметрів взаємодії. Синхронізація є важливим прикладним аспектом інтеграції в системах МПТ та завдяки своїй актуальності, в останні роки привернула увагу багатьох закордонних вчених-транспортників. Протягом останніх десятиріччя були розроблені різні методи та моделі синхронізації розкладу руху ТЗ (таблиця 1.4).

Таблиця 1.4.
Методи синхронізації взаємодії в ТПВ (на основі [55])

Автор	Критерій	Метод оптимізації
1	2	3
Domschke W. [56]	Час очікування пересадки	Евристичний алгоритм
Daduna J. [57]	Час очікування пересадки	Метод табу-пошуку
Chakroborty P. [58]	Час очікування пересадки	Генетичний алгоритм
Ceder A. [59, 60]	Одночасне перебування ТЗ різних маршрутів	Евристичний алгоритм
Wu Y. [61]	Час очікування пересадки	Генетичний алгоритм
Ibarra-Rojas O.J. [62]	Кількість пасажирів, що здійснюють пересадку без очікування ТЗ	Метаевристичний алгоритм

Продовження таблиці 1.4

1	2	3
Poorjafari V. [63]	Утримання в допустимих межах часу очікування пересадки	Генетичний алгоритм
Foss S. [64]	Час очікування пересадки, інтервал руху на маршрутах	Метод табу-пошуку
Shafahi Y. [65]	Мінімізація загального часу очікування пасажирів	Генетичний алгоритм
Jansen L.N. [66]	Час очікування пересадки	Табу пошук
Daganzo C.F. [67]	Час очікування пересадки	Евристичний алгоритм
Капитонов Ю.А. [55]	Час очікування пересадки	Евристичний алгоритм
Самчук Г.О. [55]	Час очікування пересадки	Евристичний алгоритм

Завдання синхронізації переважно зводиться до мінімізації часу очікування пасажирами міжмаршрутної пересадки, що досягається погодженням розкладу руху. Як правило, це реалізується одночасним перебуванням в ТПВ декількох ТЗ різних маршрутів. В якості критерію оптимізації найчастіше застосовуються різні моделі часу очікування пересадки. У роботі [60] процес синхронізації розглядається з позиції мінімізації загального часу переміщення пасажирів

$$PTT_i = \sum_{j=1}^{n-1} (TT_{V_{R(i,j)}} + ETR_{V_{R(i,j)}V_{R(i,j+1)}}) + TT_{V_{R(i,n)}}, \quad (1.7)$$

де $TT_{V_{R(i,j)}}$ – час поїздки на маршруті відправлення, хв;

$ETR_{V_{R(i,j)}V_{R(i,j+1)}}$ – час міжмаршрутної пересадки, хв;

$TT_{V_{R(i,n)}}$ – час поїздки на маршруті до ТПВ, хв;

n – кількість маршрутів пересадки.

Час міжмаршрутної пересадки визначається залежністю

$$ETR_{V_{R(i,j)}V_{R(i,j+1)}} = EP_{V_{R(i,j)}V_{R(i,j+1)}} \cdot TR_{V_{R(i,j)}V_{R(i,j+1)}} + (1 - EP_{V_{R(i,j)}V_{R(i,j+1)}}) \cdot (\Pr_{V_{R(i,j)}V_{R(i,j+1)}} \cdot W_{V_{R(i,j)}V_{R(i,j+1)}} + (1 - \Pr_{V_{R(i,j)}V_{R(i,j+1)}}) \cdot W_{V_{R(i,j)}V_{R(i,j+1)}}), \quad (1.8)$$

де $EP_{V_{R(i,j)}V_{R(i,j+1)}}$ – ймовірність відправлення пасажира рейсом $V_{R(i,j+1)}$;

$TR_{V_{R(i,j)}^{V_{R(i,j+1)}}$ – інтервал руху між рейсами $V_{R(i,j)}$ та $V_{R(i,j+1)}$, хв;

$Pr_{V_{R(i,j)}^{V_{R(i,j+1)}}$ – ймовірність реалізації пересадки в періоді координації;

$W_{V_{R(i,j)}^{V_{R(i,j+1)}}$ – час координації перебування ТЗ у ТПВ.

У роботі [296] критерієм синхронізації пересадки виступає функція

$$\zeta_{n,s+1} = \sum_{j=0}^s \sum_m (f_{m|j} - f_{1|j}) v_{n-m,s+1-j}, \quad (1.9)$$

де $f_{m|j}$ – час відправлення ТЗ маршруту m , хв;

Управління технологічним процесом представляє собою організаційно-технічну задачу, для вирішення якої необхідне встановлення базових вимог до очікуваних результатів та створення алгоритму реалізації керуючих дій. Метою управління ТПВ є стабілізація сервісно-ресурсних показників взаємодії суб'єктів маршрутного потоку в межах існуючих ЗП, що досягається оптимізацією технологічного процесу за встановленим критерієм ефективності.

1.3 Висновки за розділом 1

На сучасному етапі розвитку МПТС виникає гостра необхідність їх реформування та впровадження нових підходів до підвищення її ефективності. Потреба у реформуванні обґрунтована вимогами суспільства до економії усіх видів наявних ресурсів, зниження рівня негативного впливу транспорту, усебічного соціально-економічного зростання, зорієнтованого на реалізацію стратегії сталого розвитку міст.

Для вирішення сучасних завдань які стоять перед МПТ, необхідне впровадження його інтеграційного представлення у структурі міського середовища, як багаторівневого системоутворюючого елемента спрямованого на реалізацію ефективних способів задоволення транспортних потреб населення та організації ефективної взаємодії технологічних процесів.

Характер реалізації технологічних процесів взаємодії у ТПВ МПТ відрізняється від позаміського сполучення специфікою

формування пасажиропотоків, інтервалів прибуття ТЗ, умовами встановлення пропускної спроможності ЗП, типом їх розташування по відношенню до елементів ВДМ. Удосконалення взаємодії у ТПВ МПТ має вирішуватися комплексно з урахуванням ефективного використання провізних можливостей маршрутів, впровадження новітньої техніки та застосування прогресивних методів управління технологічними процесами.

2 МЕТОДОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ СУБ'ЄКТІВ МАРШРУТНОГО ПОТОКУ МПТ В ТРАНСПОРТНО- ПЕРЕСАДОЧНИХ ВУЗЛАХ

2.1 Структура конфігураційних елементів моделі

Дослідження характеристик процесу функціонування ТПВ передбачає створення моделі, яка будується, виходячи з наявної вихідної інформації. Змістовний опис елементів являє собою перший крок, в якому треба чітко викласти закономірності, характерні для досліджуваного процесу та сформулювати постановку прикладної задачі. Змістовний опис містить відомості про фізичну природу та кількісні характеристики процесів досліджуваного об'єкту, про ступінь і характер взаємодії між ними, про місце і призначення кожної операції в процесі функціонування ТПВ. Під компонентами моделі розуміються складові частини, які при відповідному об'єднанні утворюють систему, що володіє властивостями об'єкту дослідження.

Технологічну взаємодію МПТ в ТПВ можна представити у вигляді структурної моделі, яка складається зі сукупності елементів, суб'єктів взаємодії та контуру їх взаємозв'язків. Узагальнена територіальна компоновка ТПВ представлена зонами обслуговування безрельсового та рельсового транспорту, в яких розташовані сукупності зупинних пунктів (SP_n), станцій міського транспорту позаземного сполучення (SB_n), станцій внеміського сполучення (ET_n). Кожен ЗП наземного транспорту має відповідну кількість постів обслуговування (n_{sp}), де одночасно можуть знаходитися ТЗ. До зони обслуговування наземного транспорту прибувають ТЗ відповідних маршрутів МПТ (r_n), які розглядаються в якості суб'єктів вхідного маршрутного потоку. Кожне прибуття ТЗ в ЗП ТПВ характеризується сукупністю параметрів (Pv^r) які визначають тривалість технологічного простоя

$$Pv_i^r = \left\{ q_{en_i}, \gamma_{en_i}, P_{en-ex_i}, t_{en-ex_i}^p \right\}, \quad (2.1)$$

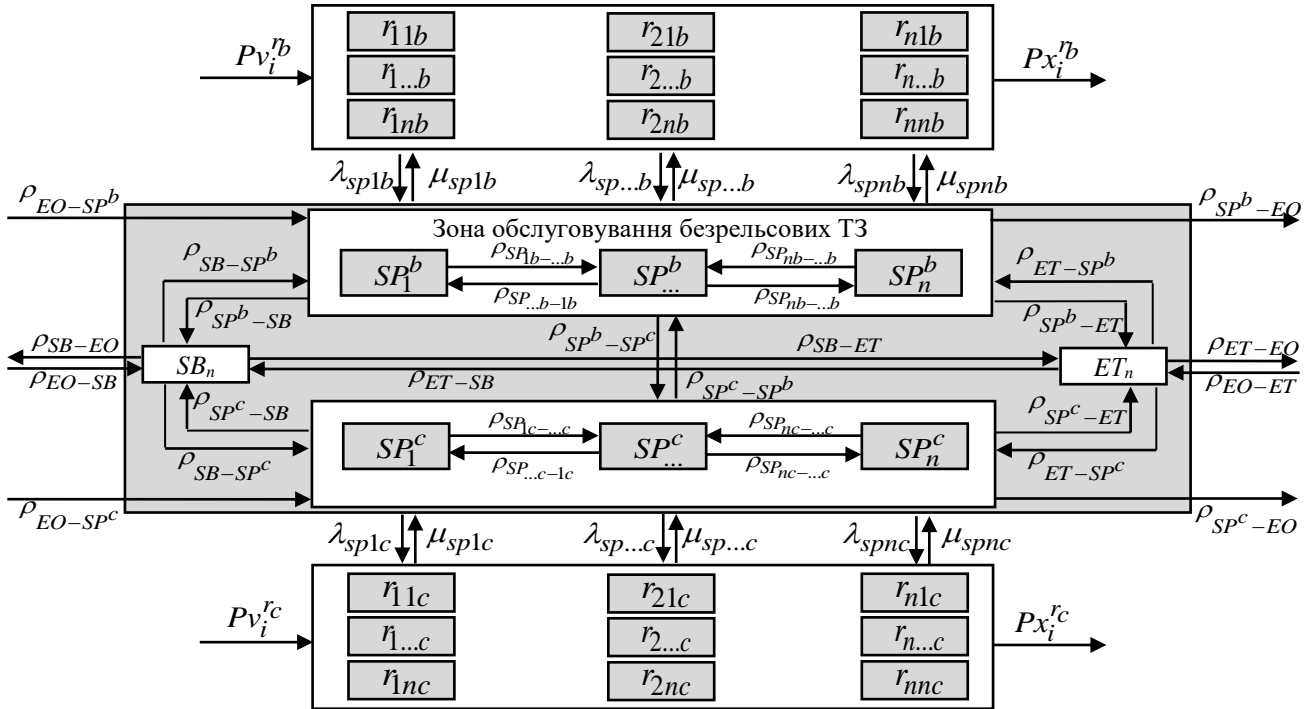
де q_{en_i} – місткість ТЗ, пас.;

γ_{en_i} – рівень наповнення ТЗ;

P_{en-ex_i} – пасажирообмін ТЗ в ТПВ, пас.;

$t_{en-ex_i}^P$ – середній час посадки (висадки) пасажирів, с.

Після завершення технологічних операцій ТЗ виїжджають з ТПВ з відповідним рівнем заповнення (γ_{ex}), який сформований на основі пасажирообміну в ТПВ. Контур функціональних зв'язків моделі ТПВ представлений на рис. 2.1.



Умовні позначення: $SP_n^{b,c}$ – ЗП наземного МПТ, SB – станції МПТ позаземного сполучення; ET – станції позаміського сполучення; Pv_i^{tb} , Px_i^{tb} – вхідний та вихідний маршрутний потік; r_n – маршрути наземного МПТ; λ_{sp} – вхідний маршрутний потік в ЗП; μ_{sp} – потік обслуговування; $\rho_{SP_{1b}^{b-...b}}$ – потік пасажирів

Рисунок 2.1. Контур функціональних зв'язків моделі ТПВ

Абсолютним показником якісної оцінки задоволення потреб пов'язаних з посадкою, висадкою та пересадкою між маршрутами в періоді t є середній час знаходження пасажирів в ТПВ

$$\overline{t_{th}}(t) = \frac{\sum_{a=1}^{r_{ih}} \sum_{b=1}^{r_{ih}} Q_{a-b}^{tr}(t) \cdot \overline{t_{a-b}^{tr}}(t) + \sum_{c=1}^{e_{nt}} \sum_{d=1}^{r_{ih}} Q_{c-d}^s(t) \cdot \overline{t_{c-d}^s}(t) + \sum_{e=1}^{r_{ih}} \sum_{g=1}^{e_{xt}} Q_{e-g}^f(t) \cdot \overline{t_{e-g}^f}(t)}{\sum_{a=1}^{r_{ih}} \sum_{b=1}^{r_{ih}} Q_{a-b}^{tr}(t) + \sum_{c=1}^{e_{nt}} \sum_{d=1}^{r_{ih}} Q_{c-d}^s(t) + \sum_{e=1}^{r_{ih}} \sum_{g=1}^{e_{xt}} Q_{e-g}^f(t)}, \quad (2.1)$$

де $Q_{a-b}^{tr}(t)$ – обсяг внутрішніх пересадок пасажирів між маршрутами $a-b$, пас.;

$Q_{c-d}^s(t)$ – обсяг початкових поїздок пасажирів на маршруті d які прибули в ТПВ через зовнішній вхідний пункт c , пас.;

$Q_{e-g}^f(t)$ – обсяг кінцевих поїздок пасажирів на маршруті e які вибули з ТПВ через зовнішній вихідний пункт g , пас.;

$\overline{t_{a-b}^{tr}}(t)$ – середній час внутрішніх пересадок пасажирів між маршрутами пересадки $a-b$, с.;

$\overline{t_{c-d}^s}(t)$ – середній час знаходження в ТПВ при реалізації початкових поїздок пасажирів на маршруті d які прибули через вхідний пункт c , с.;

$\overline{t_{e-g}^f}(t)$ – середній час кінцевих поїздок пасажирів на маршруті g які вибули з ТПВ через вихідний пункт e , пас.;

r_{ih} – кількість маршрутів у ТПВ;

e_{nt} – кількість вхідних пунктів у ТПВ;

e_{xt} – кількість вихідних пунктів у ТПВ.

В залежності від розподілу маршрутів між ЗП, в них формуються відповідні пред'явлені сумарні маршрутні потоки (λ_{sp}^t). Основною характеристикою пред'явленого маршрутного потоку в ЗП у періоді t є сумарна тривалість технологічного простою ТЗ

$$\lambda_{sp}^t(t) = \sum_{i=1}^{k_r^{sp}(t)} t_{ar_i}^t, \quad (2.2)$$

де $t_{ar_i}^t$ – час технологічного простою ТЗ у ЗП, с.;

$k_r^{sp}(t)$ – кількість рейсів, що прибувають у ЗП протягом періоду t .

В якості обслуговуючого потоку ЗП (μ_{sp}^t) виступає його пропускна спроможність, яка визначається кількістю постів

обслуговування та тривалістю періоду t . Співвідношення потоку замовлень до пропозиції визначає плановий рівень завантаження ЗП

$$\rho_{sp}^p(t) = \frac{\lambda_{sp}^t(t)}{n_{sp} \cdot t}, \quad (2.3)$$

Рівень резерву пропускної спроможності ЗП визначається коефіцієнтом резерву

$$k_{sp}^r(t) = 1 - \rho_{sp}^p(t). \quad (2.4)$$

Під час реалізації технологічних процесів в межах ТПВ відбувається переміщення пасажирів між наступними напрямками: маршрутами сполучених видів наземного транспорту; різними видами наземного транспорту; транспортом позаземного та наземного сполучення; зовнішньоміським та транспортом позаземного сполучення; зовнішньоміським та міським наземним транспортом; транспорт – зовнішні об’єкти тяжіння.

Виходячи зі складу структурної моделі ТПВ, базовим типовим функціональним елементом є зупинні пункти. Функціонування ТПВ характеризується зміною стану суб’єктів маршрутного потоку у часі та описується її хронологічною послідовністю. Загальний період добової роботи ТПВ складається з сукупності періодів t , в межах яких спостерігається однотипні умови реалізації технологічних операцій. Характеристичною складовою періоду t є моменти часу τ які є його найменшою неподільною частиною. Для опису динаміки зміни стану суб’єктів взаємодії у часі використовується матрична форма, в якій відповідні параметри представляються у вигляді масиву моментних значень x_τ у періоді t . Сукупність вимог до технологічного простору ТЗ в ЗП у відповідні моменти часу формує загальний масив пред’явлених потреб

$$D_r(t) = \begin{bmatrix} d_{rli}^{\tau_1} & d_{r...i}^{\tau_1} & d_{rki}^{\tau_1} \\ d_{rli}^{\tau_2} & d_{r...i}^{\tau_2} & d_{rki}^{\tau_2} \\ d_{rli}^{\tau_{\dots}} & d_{r...i}^{\tau_{\dots}} & d_{rki}^{\tau_{\dots}} \\ d_{rli}^{\tau_n} & d_{r...i}^{\tau_n} & d_{rki}^{\tau_n} \end{bmatrix}, \quad (2.5)$$

де $d_{rki}^{\tau_1}$ – пред’явлена потреба на технологічний простій ТЗ в ЗП i -го рейсу k -го маршруту в момент часу τ_1 .

Вертикальна розмірність масиву D_r визначається загальною кількістю моментів часу в періоді t , горизонтальна – кількістю маршрутів, які закріплені за ЗП. Процедура встановлення типу операції, яка відбувається в ЗП передбачає фіксацію у кожен момент часу τ відповідного терму приналежності з сукупності базових дій (маневрування, висадка, посадка, сервісний простій, очікування у черзі). Порядок виконання технологічних операцій встановлюється приналежністю маршрутів до відповідних ЗП та порядком прибуття ТЗ. В залежності від типу операцій, які відбуваються з ТЗ у момент часу τ , визначається масив операцій

$$O_r(t) = \begin{bmatrix} o_{rli}^{\tau_1} & o_{r\dots i}^{\tau_1} & o_{rki}^{\tau_1} \\ o_{rli}^{\tau_2} & o_{r\dots i}^{\tau_2} & o_{rki}^{\tau_2} \\ o_{rli}^{\tau\dots} & o_{r\dots i}^{\tau\dots} & o_{rki}^{\tau\dots} \\ o_{rli}^{\tau_n} & o_{r\dots i}^{\tau_n} & o_{rki}^{\tau_n} \end{bmatrix}, \quad (2.6)$$

де $o_{rki}^{\tau_1}$ – терм приналежності до виконання відповідної технологічної операції з ТЗ i -го рейсу k -го маршруту в момент часу τ_1 .

Зміна стану суб’єктів маршрутного потоку відбувається через виникнення в територіальних межах ЗП конфліктної ситуації. Відповідно до умов стабілізації ОІ, можна виділити наступні базові типи станів, які можуть виникнути при прибутті ТЗ: безконфліктний (стаціонарний), конфліктний (дефектний). Конфліктний стан за своїми наслідками розподіляється на: допустимий (рівень негативних наслідків поглинається резервами провізних можливостей маршрутів та пропускнуої спроможності ВДМ), недопустимий (рівень негативних наслідків потребує залучення додаткових ресурсів ММ та ВДМ). Передумовами виникнення конфліктних ситуацій у ЗП є: керовані чинники (нераціональний розподіл маршрутів між ЗП ТПВ), некеровані чинники (коливання рейсового пасажирообміну, рівень заповнення ТЗ, випадковий характер зміни інтервалу прибуття ТЗ).

В залежності від наявності конфліктної ситуації у момент прибуття ТЗ, визначається масив станів суб'єктів вхідного маршрутного потоку

$$S_r(t) = \begin{bmatrix} s_{r1}^{\tau_1} & s_{r\dots}^{\tau_1} & s_{rk}^{\tau_1} \\ s_{r1}^{\tau_2} & s_{r\dots}^{\tau_2} & s_{rk}^{\tau_2} \\ s_{r1}^{\tau_{\dots}} & s_{r\dots}^{\tau_{\dots}} & s_{rk}^{\tau_{\dots}} \\ s_{r1}^{\tau_n} & s_{r\dots}^{\tau_n} & s_{rk}^{\tau_n} \end{bmatrix}, \quad (2.7)$$

де $s_{rk}^{\tau_1}$ – стан ТЗ рейсу k -го маршруту в момент часу τ_1 .

Кількість ТЗ, що знаходяться в ЗП під технологічним простом, визначається виходячи з номінальної місткості (допустимої кількості ТЗ для одночасного перебування) та представляється у вигляді одномірного масиву

$$N_{sp_s}(t) = \begin{bmatrix} n_{sp_s}^{\tau_1} \\ n_{sp_s}^{\tau_2} \\ n_{sp_s}^{\tau_{\dots}} \\ n_{sp_s}^{\tau_n} \end{bmatrix}, \quad (2.8)$$

де $n_{sp_s}^{\tau_1}$ – кількість ТЗ, що знаходяться в стані технологічного простору в ЗП в момент часу τ_1 .

Масив кількості ТЗ, що знаходяться у черзі

$$N_{sp_q}(t) = \begin{bmatrix} n_{sp_q}^{\tau_1} \\ n_{sp_q}^{\tau_2} \\ n_{sp_q}^{\tau_{\dots}} \\ n_{sp_q}^{\tau_n} \end{bmatrix}, \quad (2.9)$$

де $n_{sp_q}^{\tau_1}$ – кількість ТЗ, що знаходяться у черзі в зоні ЗП в τ_1 .

$$n_{sp_q}^{\tau_i} = \max(0; n_{sp_l}^{\tau_i} - n_{sp_s}^{\tau_i}), i = (\overline{1, t}), \quad (2.10)$$

де $n_{sp_l}^{\tau_i}$ – кількість ТЗ, що знаходяться у ЗП в момент часу τ_i .

Загальний час перебування ТЗ у черзі визначається виходячи з сумарної тривалості моментів конфліктних станів маршрутів

$$T_{rsp}^{st}(t) = \sum_{i=1}^{r_{sp}} \sum_{j=1}^t \tau_{stij}^r, \quad (2.11)$$

де τ_{stij}^r – приналежність j -го моменту часу i -го маршруту до конфліктного стану;

r_{sp} – кількість маршрутів, що проходять через ЗП.

Питома вага часу черги ТЗ в ЗП

$$\rho_{sp}^q(t) = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t (1: n_{sp_q}^{\tau_i} > 0; 0: n_{sp_q}^{\tau_i} \leq 0). \quad (2.12)$$

Час тривалості конфліктних ситуацій в зоні ЗП

$$t_{sp}^l(t) = \sum_{i=1}^t \max(0, n_{sp_a}^{\tau_i} - (n_{sp} - n_{sp_s}^{\tau_i})), \quad (2.13)$$

де $n_{sp_a}^{\tau_i}$ – кількість ТЗ, що прибувають у ЗП в момент часу τ_i ;

$n_{sp_s}^{\tau_i}$ – кількість ТЗ, що знаходяться в стані технологічного простою в момент часу τ_i .

Складовою частиною функціональної сталості ТПВ є забезпечення відповідного рівня якості транспортних послуг. Визначальним чинником оцінювання якості транспортного обслуговування пасажирів є фактичний час перебування пасажирів у ТПВ та обсяг їх переміщення. Внутрішні потоки пасажирів встановлюються на основі їх міжмаршрутного розподілу

$$\rho_{sp_i-sp_j}(t) = \sum_{x=1}^{r_{ih}} \sum_{y=1}^{r_{ih}} Q_{r_x-r_y}(t), \quad (2.14)$$

де $Q_{r_x-r_y}$ – обсяг переміщень між маршрутами, пас.

На основі розрахунку обсягів формування пасажирів у ЗП визначається масив накопичених вимог

$$Q_r^p(t) = \begin{bmatrix} q_{r1}^{\tau_1} & q_{r\dots}^{\tau_1} & q_{rk}^{\tau_1} \\ q_{r1}^{\tau_2} & q_{r\dots}^{\tau_2} & q_{rk}^{\tau_2} \\ q_r^{\tau\dots} & q_{r\dots}^{\tau\dots} & q_{rk}^{\tau\dots} \\ q_{r1}^{\tau n} & q_{r\dots}^{\tau n} & q_{rk}^{\tau n} \end{bmatrix}, \quad (2.15)$$

де $q_{rk}^{\tau_1}$ – кількість пасажирів k -го маршруту, що знаходяться в зоні ЗП в момент часу τ_1 .

На основі оцінювання співвідношення наявної провізної можливості ТЗ на маршруті та обсягу пасажирів в ЗП, визначається рівень задоволення пред'явлених вимог

$$\varphi_{dp_{rk}}^{rs_i} = \max\left(1; \frac{q_{en_r} \cdot (\gamma_{al_i} - \gamma_{en_i}) - p_{en_i}}{q_{r_i}^{\tau_j}}\right), \quad (2.16)$$

де γ_{al_i} – допустимий рівень використання місткості ТЗ;

p_{en_i} – кількість пасажирів, що вийшли з ТЗ, пас.;

$q_{r_i}^{\tau_j}$ – обсяг пасажирів на ЗП в момент відправлення ТЗ τ_j , пас.

Рівень наповнення ТЗ при виїзді з ТПВ визначається пасажирообміном реалізованим в ЗП

$$\gamma_{ex_i} = \frac{q_{en_i} \cdot \gamma_{en_i} - p_{en_i} + q_{r_i}^{\tau_j} \cdot \varphi_{dp_{rk}}^{rs_i}}{q_{en_r}}. \quad (2.17)$$

Результатом проведення розрахункової процедури є визначення складових елементів кожного масиву, які за своїм змістом описують параметри станів суб'єктів маршрутного потоку, ЗП та пасажиропотоків у відповідні моменти часу τ , які є складовими частинами періоду t . Часові параметри формування розрахункових масивів визначаються умовами реалізації технологічних операцій в

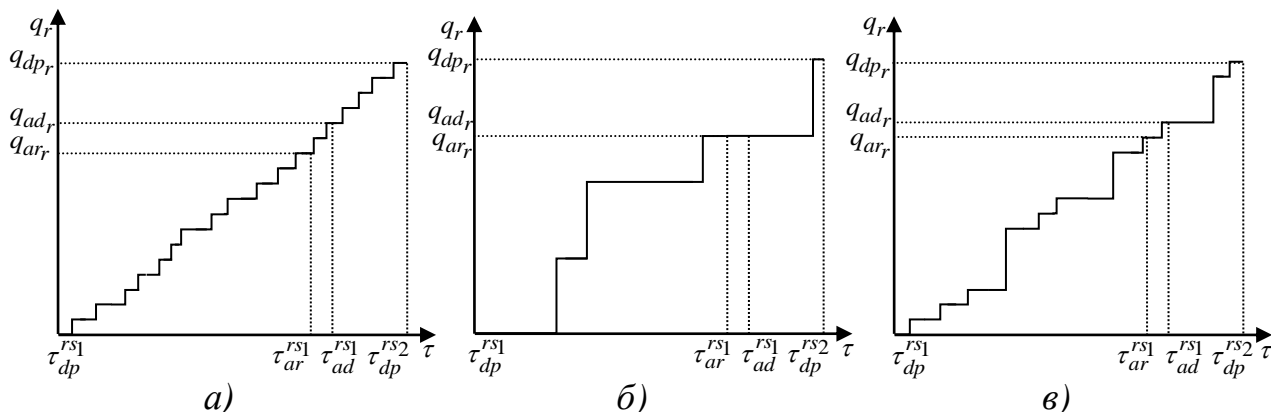
ЗП. Для їх розрахунку використовуються просторово-часові моделі, які описують складові процесу перебування ТЗ в ТПВ.

2.2 Моделювання розподілу пасажирів між суб'єктами маршрутного потоку

Важливим елементом взаємодії пасажирів з суб'єктами маршрутного потоку є кількісні та часові параметри формування попиту в ЗП. Характерною особливістю існуючих досліджень процесу формування пасажирів в ЗП є його представлення у вигляді найпростішого ординарного потоку. Такі умови відповідають реальності за умов відсутності міжмаршрутних пересадок пасажирів. При дослідженні ТПВ виникає необхідність обліку особливостей формування пасажирів у ЗП з урахуванням міжмаршрутних пересадок та часових параметрів перебування ТЗ у ТПВ.

Моделювання переміщень пасажирів через ТПВ представляється у вигляді двоетапної процедури. На першому кроці, у відповідні моменти часу визначаються накопичені в кожному ЗП обсяги пасажирів, а на другому – їх подальший розподіл між ТЗ відповідних маршрутів. Вплив на обсяг накопичення пасажирів у ЗП оказують часові параметри вхідного маршрутного потоку. Рух ТЗ через ЗП характеризується моментами початку (τ_{ar}^{rs}) та закінчення простою ТЗ (τ_{dp}^{rs}). Міжрейсовий інтервал ($I^{rs_{i-(i+1)}}$) визначається виходячи з різниці часу між прибуттям наступного ($\tau_{ar}^{rs_{i+1}}$) та відправленням попереднього ТЗ ($\tau_{dp}^{rs_i}$). Окремо визначається маршрутний міжрейсовий інтервал ($I_r^{rs_{i-(i+1)}}$) та зупинний ($I_{sp}^{rs_{i-(i+1)}}$). За період $\tau_{dp}^{rs_{i-1}} - \tau_{ar}^{rs_i}$ між відправленням рейсу rs_{i-1} та прибуттям рейсу rs_i , формується обсяг пасажирів $q_r(\tau_{dp}^{rs_{i-1}} - \tau_{ar}^{rs_i})$. Під час простою ТЗ в періоді $\tau_{ar}^{rs_i} - \tau_{dp}^{rs_i}$ до ЗП підходять пасажири в обсязі $q_r(\tau_{ar}^{rs_i} - \tau_{dp}^{rs_i})$, які можуть скористатися ТЗ, що знаходиться в ЗП. Цей обсяг може бути розподілений на дві частини: кількість пасажирів, що підійшли під час технологічного простою ($q_r(\tau_{ar}^{rs_i} - \tau_{ad}^{rs_i})$) та під час додаткового сервісного простою ($q_r(\tau_{ad}^{rs_i} - \tau_{dp}^{rs_i})$). Загальний накопичений обсяг у ЗП в періодах інтервалу формується за рахунок пасажирів, що підходять з прилеглих територій (початкові поїздки) та з ТЗ, що прибувають у ТПВ (транзитні поїздки). На рис. 2.2

наведене графічне представлення накопичення обсягу пасажирів для різних типів поїздок.



a – початкові поїздки; *б* – транзитні поїздки; *в* – комбіновані поїздки

Рисунок 2.2. Графічне представлення накопичення пасажирів у ЗП

Враховуючи, що вхідний у ТПВ пасажиропотік, який формується з прилеглої території є ординарним стаціонарним потоком, то час прибуття пасажирів встановлюється виходячи з інтервалу між підходом пасажирів

$$\tau_{sp_i}^{ps} = \tau_{sp_{i-1}}^{ps} + I_{sp_{i-(i-1)}}^{ps} \cdot \quad (2.18)$$

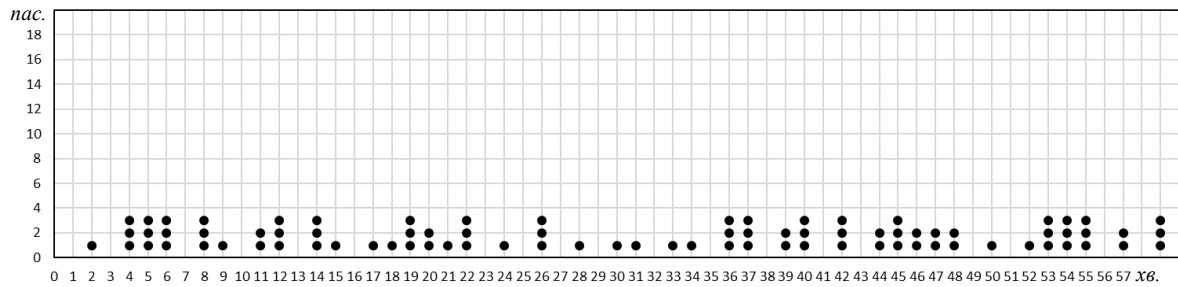
$$I_{sp_{i-(i-1)}}^{ps} = -\frac{1}{\lambda_{sp}^{ps}} \cdot \ln(a_{rnd}), \quad (2.19)$$

де $I_{sp_{i-(i-1)}}^{ps}$ – інтервал між підходом пасажирів, с;

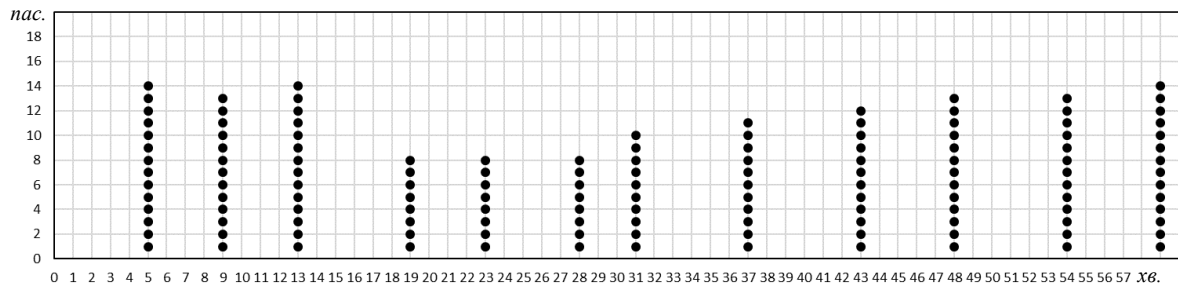
λ_{sp}^{ps} – інтенсивність підходу пасажирів у ЗП, пас/с.;

a_{rnd} – випадкове число від 0 до 1 розподілене за нормальним законом.

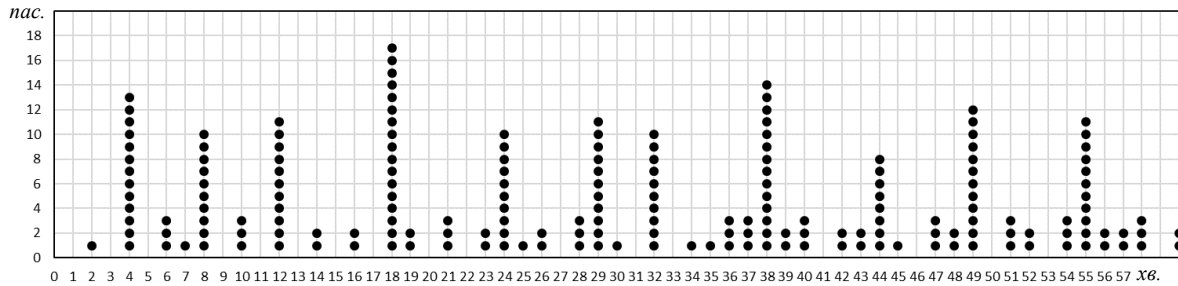
На рис. 2.3 представлені результати натурних спостережень за динамікою прибуття пасажирів до ЗП (період з 7 до 8 години). Наведені графіки наочно ілюструють основні закономірності формування прибуття пасажирів до ЗП.



а)



б)



в)

а – початкові поїздки (ЗП «м/н Східна Салтівка»); б – транзитні поїздки (ЗП «ст. м. Студентська»); в – комбіновані поїздки (ЗП «ст. м. Героїв Праці»)

Рисунок 2.3. Графічне представлення прибуття пасажирів у ЗП

Обсяг пасажирів, що прибувають з інших маршрутів для пересадки визначається виходячи з моменту прибуття ТЗ та часу переходу між ЗП

$$\tau_{sp_{i-j}}^{pt} = \tau_{sp_i}^t + t_{sp_{i-j}}^p, \quad (2.20)$$

де $\tau_{sp_i}^t$ – момент прибуття ТЗ, с.;

$t_{sp_{i-j}}^p$ – час переходу між ЗП маршрутів $i - j$, с.

Обсяг пасажирів, що підійшли до ЗП з прилеглих територій за період міжрейсового інтервалу

$$q_{sp}^{st}(\tau_i - \tau_j) = \sum_{c=\tau_i}^{\tau_j} q_{sp}^{st}(\tau_c), \quad (2.21)$$

де $q_{sp}^{st}(\tau_c)$ – кількість пасажирів, що підійшли до ЗП у момент τ , пас.

Обсяг пасажирів, що прибувають з інших маршрутів, визначається пасажирообміном ТЗ та матрицею розподілу пасажиропотоків, яка відображає питому вагу переміщень пасажирів між ЗП (табл. 2.1).

Таблиця 2.1
Матриця розподілу питомої ваги пересадок

			Номер ЗП відправлення					
			Прямий напрямок			Зворотний напрямок		
			SP_1^{dr}	$SP_{...}^{dr}$	SP_n^{dr}	SP_1^{rv}	$SP_{...}^{rv}$	SP_n^{rv}
Маршрут прибуття	Прямий напрямок	r_1	$\rho_{r_1-SP_1^{dr}}$	$\rho_{r_1-SP_{...}^{dr}}$	$\rho_{r_1-SP_n^{dr}}$	$\rho_{r_1-SP_1^{rv}}$	$\rho_{r_1-SP_{...}^{rv}}$	$\rho_{r_1-SP_n^{rv}}$
		$r_{...}$	$\rho_{r_{...}-SP_1^{dr}}$	$\rho_{r_{...}-SP_{...}^{dr}}$	$\rho_{r_{...}-SP_n^{dr}}$	$\rho_{r_{...}-SP_1^{rv}}$	$\rho_{r_{...}-SP_{...}^{rv}}$	$\rho_{r_{...}-SP_n^{rv}}$
		r_k	$\rho_{r_k-SP_1^{dr}}$	$\rho_{r_k-SP_{...}^{dr}}$	$\rho_{r_k-SP_n^{dr}}$	$\rho_{r_k-SP_1^{rv}}$	$\rho_{r_k-SP_{...}^{rv}}$	$\rho_{r_k-SP_n^{rv}}$
	Зворотний напрямок	r_1	$\rho_{r_1-SP_1^{dr}}$	$\rho_{r_1-SP_{...}^{dr}}$	$\rho_{r_1-SP_n^{dr}}$	$\rho_{r_1-SP_1^{rv}}$	$\rho_{r_1-SP_{...}^{rv}}$	$\rho_{r_1-SP_n^{rv}}$
		$r_{...}$	$\rho_{r_{...}-SP_1^{dr}}$	$\rho_{r_{...}-SP_{...}^{dr}}$	$\rho_{r_{...}-SP_n^{dr}}$	$\rho_{r_{...}-SP_1^{rv}}$	$\rho_{r_{...}-SP_{...}^{rv}}$	$\rho_{r_{...}-SP_n^{rv}}$
		r_k	$\rho_{r_k-SP_1^{dr}}$	$\rho_{r_k-SP_{...}^{dr}}$	$\rho_{r_k-SP_n^{dr}}$	$\rho_{r_k-SP_1^{rv}}$	$\rho_{r_k-SP_{...}^{rv}}$	$\rho_{r_k-SP_n^{rv}}$

В залежності від вибору маршруту, пасажир, що знаходиться в ЗП, розподіляється на три категорії: обирають для реалізації пересувань тільки один маршрут (q_r^o), можуть використовувати будь-який маршрут (q_r^a), обирають з допустимого переліку маршрутів (q_r^s). Процедура розподілу між маршрутами може бути представлена у вигляді графу (рис. 2.4).

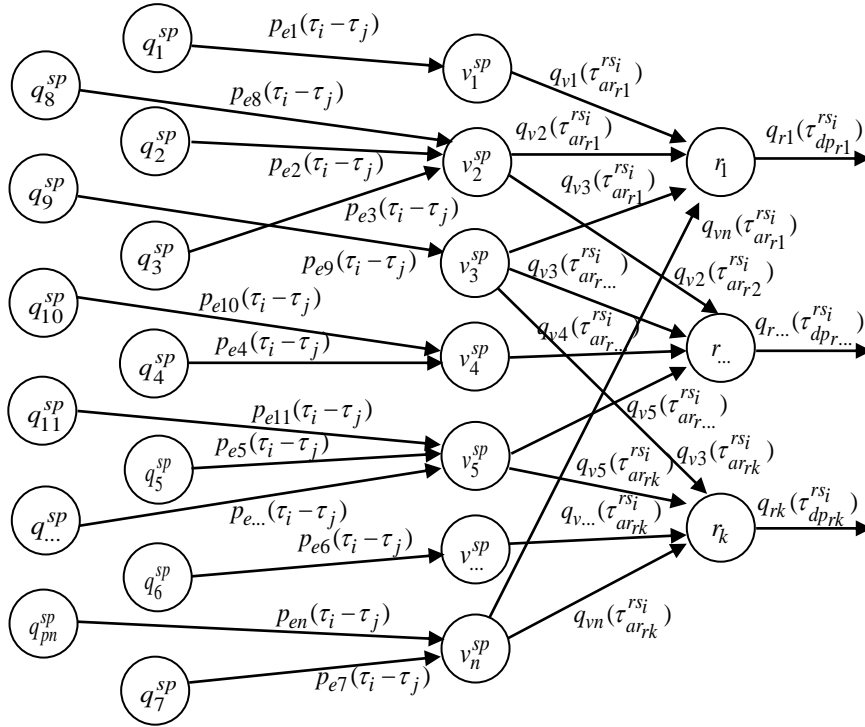


Рисунок 2.4. Граф розподілу відправлення пасажирів між маршрутами

Обсяг прибуття пасажирів в ЗП з інших ТЗ у момент часу τ

$$q_{sp_j}^{tr}(\tau) = p_{ex_i}^{r_k}(\tau - t_{sp_{i-j}}^p) \cdot \rho_{r_k-j}, \quad (2.22)$$

де $p_{ex_i}^{r_k}(\tau - t_{sp_{i-j}}^p)$ – обсяг пасажирів, що виходять з ТЗ i -го рейсу маршруту r_k в момент часу $(\tau - t_{sp_{i-j}}^p)$, пас.;

ρ_{r_k-j} – питома вага пасажирів, що переміщуються з i -го рейсу маршруту r_k в j -й ЗП.

Загальний обсяг пасажирів накопичених у ЗП за період міжрейсового інтервалу та часу простою ТЗ

$$q_{sp}^a(\tau_i - \tau_j) = \sum_{c=\tau_i}^{\tau_j} q_{sp_j}^{st}(\tau_c) + \sum_{c=\tau_i}^{\tau_j} q_{sp_j}^{tr}(\tau_c). \quad (2.23)$$

Розподіл пасажирів між маршрутами передбачає визначення набору допустимих варіантів реалізації відправлень (v_n^{sp}) та визначення їх вибору кожним пасажиром. Збіг вибору пасажирами

варіанта відправлення формує загальний обсяг $q_{vn}(\tau_i)$. В залежності від закріплення варіанта відправлення за маршрутами, в ЗП відбувається формування пред'явленого обсягу $q_{rk}(\tau_i)$. Процес розподілу пасажирів за варіантами відбувається в міжрейсовому періоді $(\tau_i - \tau_j)$, у момент прибуття $\tau_{ar_{rk}}^{rs_i}$ відбувається розподіл накопиченого обсягу між відповідними маршрутами. З урахуванням рівня заповнення ТЗ та пасажирообміну в ЗП, визначається обсяг відправлень за маршрутами $q_{rk}^{en}(\tau_{dp_{rk}}^{rs_i})$. Графічне представлення процесу накопичення та розподілу пасажирів між маршрутами представлено на рис. 2.5.

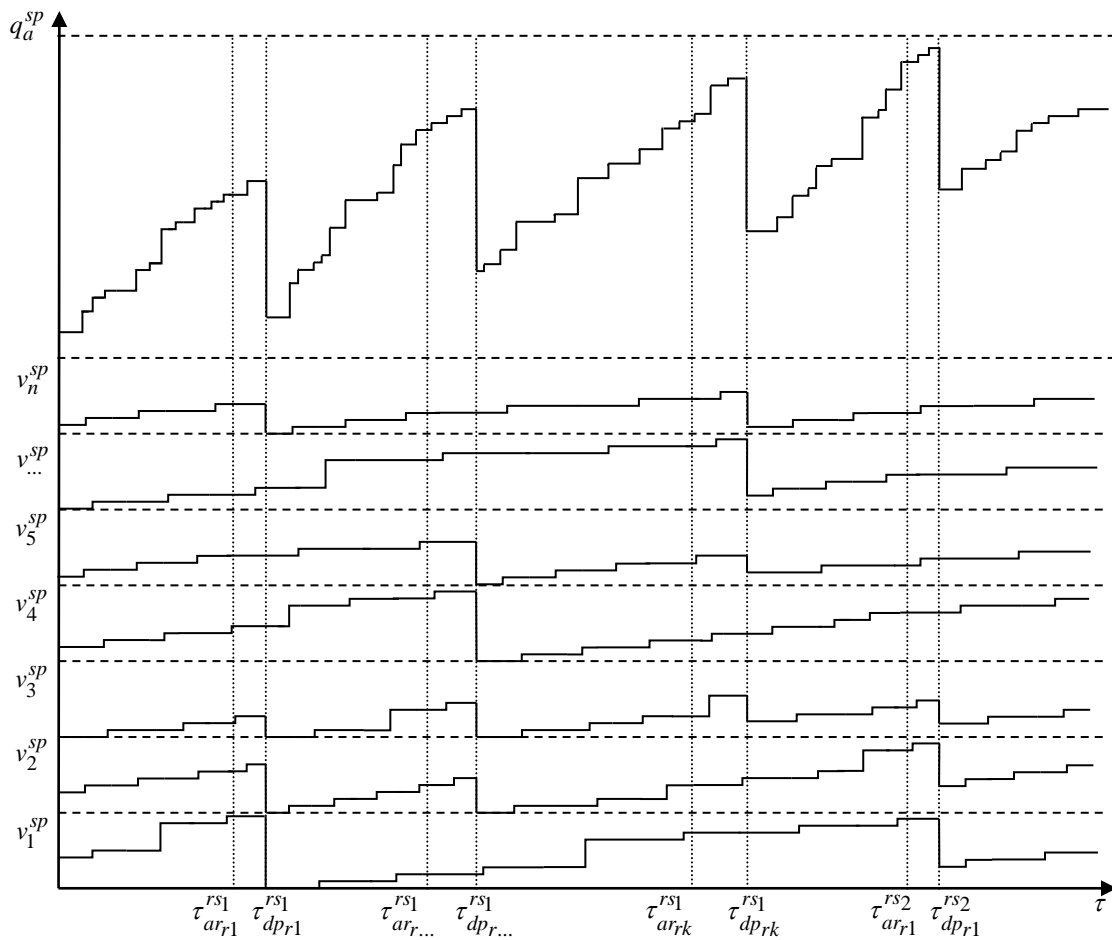


Рисунок 2.5. Графічне представлення зміни обсягу пасажирів у ЗП

Обсяг відправлення пасажирів в ТЗ розраховується на основі питомої ваги варіанта вибору відправлення з урахуванням кількості вільних місць

$$q_{rk}^{en}(\tau_{dp_{rk}}^{rs_i}) = \left(\varphi_{dp_{rk}}^{rs_{i-1}} \cdot q_{rk}^{en}(\tau_{dp_{rk}}^{rs_{i-1}}) + \sum_{x=1}^{v_{rk}^{sp}} q_{sp}^a(\tau_i - \tau_j) \cdot \rho_{v_n^{sp}}^x \right) \cdot \varphi_{dp_{rk}}^{rs_i}, \quad (2.24)$$

де $\varphi_{dp_{rk}}^{rs_{i-1}}$ – рівень задоволення пасажирів у відправленні рейсом rs_{i-1} ;

$\rho_{v_n^{sp}}^x$ – питома вага вибору варіанта відправлення v_n^{sp} ;

v_{rk}^{sp} – кількість варіантів відправлення які можуть бути реалізовані маршрутом rk .

Ілюстрація процесу формування обсягу пасажирів накопичених у ЗП, яка представлена на рис. 2.5, відображає загальні закономірності зміни їх кількості у часі. За час інтервалу руху ТЗ в ЗП формуються пасажирів які прибувають з прилеглої території або з інших ЗП. У разі прибуття ТЗ відбувається посадка пасажирів в обсязі який дорівнює кількості пасажирів, які обирають ту групу маршрутів до складу якої входить ТЗ, що прибув у ЗП. Кількість пасажирів на яку зменшується обсяг накопичення в ЗП враховує наявність вільних місць у ТЗ та визначається виходячи з встановлення сумарного потоку пасажирів який сформований за відповідний період часу.

Період часу визначається для кожного варіанта реалізації відправлення виходячи з наступних умов:

- для варіантів з одним маршрутом відправлення – дорівнює міжрейсовому маршрутному інтервалу;
- для варіантів з декількома маршрутами відправлення – дорівнює міжрейсовому інтервалу між цими маршрутами;
- для варіантів з будь-яким маршрутом відправлення – дорівнює міжрейсовому інтервалу в ЗП.

Питома вага вибору варіанта відправлення визначається на основі експериментальних досліджень шляхом анкетування або контактних спостережень за пасажирами. У ході проведення анкетування, для відповідного обсягу вибірки по кожному маршруту прибуття, встановлюється частина пасажирів, які здійснюють подальші пересадки та визначається їх розподіл між маршрутами. При контактних спостереженнях використовується метод зовнішньої ідентифікації пасажирів, при якому на основі обліку переміщень встановлюється фактична кількість пасажирів, що роблять пересадки. Основним недоліком такого методу є його обмеженість до застосування при середніх та великих пасажиропотоках.

2.3 Моделювання часових параметрів обслуговування суб'єктів маршрутного потоку

Задача удосконалення моделей визначення часових параметрів взаємодії суб'єктів маршрутного потоку ґрунтується на необхідності обліку фактичної тривалості реалізації технологічних операцій та оцінювання їх впливу на складові функціональної сталості ЗП ТПВ. Існуючі підходи до визначення часу простою ТЗ в межах ЗП можливо розділити на дві групи: методи регресійного та кореляційного аналізу (встановлення емпіричних закономірностей); аналітичні моделі. Незалежно від форми представлення, до складу моделей входять чинники впливу, серед яких найбільшого поширення набули: пасажирообмін, місткість ТЗ, кількість дверей через які здійснюється пасажирообмін, коефіцієнт використання місткості ТЗ, форми сплати проїзду та ін. Однак, існуючі підходи до визначення часових параметрів взаємодії в ТПВ структурно обмежені щодо обліку внутрішніх та зовнішніх конфліктних ситуацій, додаткових сервісних операцій, а час простою ТЗ в них, як правило, є лінійним та визначається лише обсягом пред'явлених пасажирями вимог на посадку-висадку. Такі передумови вимагають удосконалення моделей розрахунку часових параметрів перебування ТЗ в ТПВ, з включенням тривалості конфліктних станів та простою, пов'язаного з очікуванням пасажирів та забезпеченням умов синхронізації руху.

Загальна структура простою ТЗ у ТПВ представляється наступною сукупністю операцій: технологічні (основні), сервісні (додаткові) та непродуктивні. Призначенням технологічних операцій, які відбуваються в ЗП є реалізація обов'язкового комплексу дій. До них відноситься: маневрування ТЗ, пов'язане з подачею та від'їздом з ЗП, відкриття – закриття дверей, посадка – висадка пасажирів. Сервісні операції призначені для забезпечення накопичення пасажирів та синхронізації руху ТЗ. За своїм характером вони відносяться до продуктивних та повинні бути заздалегідь запланованими. До непродуктивних операцій відноситься простій ТЗ у черзі, який виникає в результаті виникнення конфліктних ситуацій. Виходячи зі складу та сукупності технологічних операцій, загальний час простою ТЗ в ЗП визначається сумою їх тривалості

$$t_r^{dwt} = t_r^{wq} + t_r^{men} + t_r^{op} + t_r^{en} + t_r^{ex} + t_r^{ad} + t_r^{cl} + t_r^{mex}, \quad (2.25)$$

де t_r^{wq} – час простою в черзі, с;
 t_r^{men} – час маневрування при заїзді до ЗП, с;
 t_r^{op} – час відкриття дверей, с;
 t_r^{ex} – час висадки пасажирів, с;
 t_r^{en} – час посадки пасажирів, с;
 t_r^{ad} – час сервісного (додаткового) простою, с;
 t_r^{cl} – час закриття дверей, с;
 t_r^{mex} – час маневрування при виїзді з ЗП, с.

Фактичний час обслуговування ТЗ у ТПВ розподіляється на постійну (t_{ct}^{dwt}) та змінну (t_{vr}^{dwt}) частини. До постійної частини входить час маневрування ТЗ при в'їзді-виїзді та відкриття-закриття дверей. Тривалість елементів постійної складової можуть бути визначені за допомогою аналітичних моделей або на основі натурних спостережень з подальшою їх статистичною обробкою. Використання натурних спостережень має перевагу, яка полягає у забезпеченні компромісу між об'єктивністю результатів, доступністю вихідної інформації та трудомісткістю їх отримання. Це дає можливість обґрунтувати доцільність використання методів натурального спостереження для визначення постійної складової часу простою ТЗ при вирішенні задач пошуку раціональних параметрів взаємодії. Зміна складова залежить від пасажирообміну та відображає тривалість простою ТЗ, пов'язаного з посадкою-висадкою пасажирів, сервісним (додатковим) часом очікування пасажирів та простоями у черзі. Базовим при визначенні змінної складової продуктивного простою ТЗ є час, який витрачається на посадку-висадку пасажирів

$$t_r^{en-ex} = q_r^{ex} \cdot \overline{t_{pk}^{ex}} + q_r^{en} \cdot \overline{t_{pk}^{en}}, \quad (2.26)$$

де q_r^{ex} – кількість пасажирів, що виходять з ТЗ, пас.;
 $\overline{t_{pk}^{ex}}$ – середній час висадки пасажирів, с/пас.;
 q_r^{en} – кількість пасажирів, що входять у ТЗ, пас.;
 $\overline{t_{pk}^{en}}$ – середній час посадки пасажирів, с/пас.

Середній час посадки $\overline{t_{pk}^{en}}$ та висадки $\overline{t_{pk}^{ex}}$ пасажирів визначається на основі натурних спостережень для кожного типу ТЗ, кількості

дверей (n_{dr}), через яку реалізується пасажирообмін та умов збору плати.

Передумовами впровадження сервісного (додаткового) простою ТЗ є:

- організація руху без дотримання розкладу (за наповненням ТЗ);
- синхронізації пересадки пасажирів у ТПВ.

Технологічний простій ТЗ в ЗП визначається необхідністю реалізації посадки-висадки пасажирів та знаходиться в діапазоні від моменту початку простою ($\tau_{ar}^{rs_i}$) до закінчення посадки-висадки та закриття дверей ($\tau_{ad}^{rs_i}$). Якщо сервісний простій не передбачений ($t_r^{ad} = 0$), то час початку відправлення ТЗ з ЗП співпадає з часом завершення технологічного простою $\tau_{dp}^{rs_i} = \tau_{ad}^{rs_i}$, а тривалість змінної складової простою дорівнює різниці $t_{vr}^{dwt} = \tau_{dp}^{rs_i} - \tau_{ar}^{rs_i}$. У разі впровадження сервісного простою (період $\tau_{ad}^{rs_i} - \tau_{dp}^{rs_i}$) тривалість змінної складової простою ТЗ під посадкою-висадкою можна представити у вигляді суми $t_{vr}^{dwt} = (\tau_{ad}^{rs_i} - \tau_{ar}^{rs_i}) + (\tau_{dp}^{rs_i} - \tau_{ad}^{rs_i})$. Перша частина ($\tau_{ad}^{rs_i} - \tau_{ar}^{rs_i}$) описує час технологічного простою, а друга ($\tau_{dp}^{rs_i} - \tau_{ad}^{rs_i}$) – час сервісного простою. За період міжрейсового інтервалу в ЗП накопичується обсяг відправлення пасажирів $q_r(\tau_{dp}^{rs_{i-1}} - \tau_{ar}^{rs_i})$. У процесі простою ТЗ під висадкою-посадкою може бути сформований обсяг пасажирів, що підійшли з метою відправлення $q_r(\tau_{ar}^{rs_i} - \tau_{ap}^{rs_i})$, а за час сервісного простою - в обсязі $q_r(\tau_{ad}^{rs_i} - \tau_{dp}^{rs_i})$.

Організація руху без дотримання розкладу (за наповненням) передбачає оперативне встановлення моментів відправлення ТЗ шляхом суб'єктивної оцінювання водієм поточної ситуації щодо рівня його наповнення. У разі відправлення «за наповненням» очевидно, що інтервал руху буде залежати від обсягу пасажирів які сформувалися в ЗП за відповідний період та рівня заповнення ТЗ. Тривалість сервісного простою за таких умов буде залежати від параметрів пасажирообміну та необхідного наповнення ТЗ

$$t_r^{ad} = \frac{q_r^{lv} - q_r^{ex} - q_r(\tau_{dp}^{rs_{i-1}} - \tau_{dp}^{rs_i})}{M \left[I_{r_{i-(i-1)}}^{ps} \right]}, \quad (2.27)$$

де q_r^{lv} – допустиме наповнення ТЗ, пас.;

$M \left[I_{r_{i-(i-1)}}^{ps} \right]$ – математичне очікування інтервалу підходу пасажирів, с.

Регулярний рух передбачає дотримання розкладу відправлення ТЗ з відповідних ЗП. Базовим параметром розкладу руху виступає час відправлення з початкового ЗП. Фактичний час прибуття ТЗ в ТПВ залежить від чинників впливу на умови руху по ділянках маршруту та визначається величиною відхилення

$$\tau_f^{rs_i} = \tau_p^{rs_i} + \Delta\zeta^{rs_i}, \quad (2.28)$$

де $\tau_p^{rs_i}$ – плановий момент прибуття i -го рейсу, с;

$\Delta\zeta^{rs_i}$ – відхилення прибуття i -го рейсу, с.

Використання сервісного простору дозволяє скоротити час пересадки пасажирів між маршрутами в ТПВ. Для прикладу розглянемо ТПВ, до складу якого входять чотири ЗП через який проходять два маршрути (рис. 2.6).

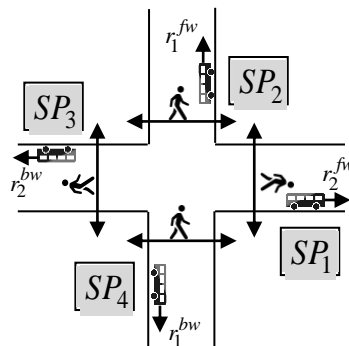


Рисунок 2.6. Напрями переміщення пасажирів у ТПВ (для чотирьох ЗП)

До SP_4 прибувають ТЗ прямого сполучення першого маршруту r_1^{bw} , до SP_2 – зворотного сполучення першого маршруту r_1^{fw} , до SP_3 – прямого сполучення другого маршруту r_2^{bw} , до SP_1 – зворотного сполучення другого маршруту r_2^{fw} . У ТПВ відбуваються пересадки пасажирів за 8 напрямками. Для прикладу розглянемо чотири напрями міжмаршрутних пересадок: $r_1^{fw} \rightarrow r_2^{fw}$, $r_2^{fw} \rightarrow r_1^{fw}$, $r_1^{bw} \rightarrow r_2^{bw}$, $r_2^{bw} \rightarrow r_1^{bw}$. У разі впровадження синхронізації часу перебування ТЗ у ТПВ,

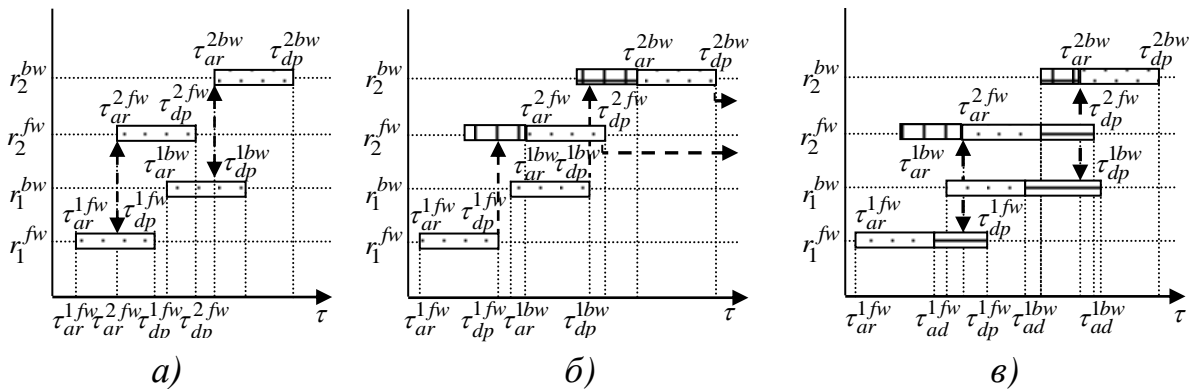
пересадка між маршрутами здійснюється без очікування наступних рейсів (рис. 2.7а). У цьому випадку сервісний простій є необхідним для синхронізації часу перебування ТЗ у ТПВ, він застосовується для маршруту ТЗ який першим виїжджає з ТПВ та розраховується за формулою

$$t_r^{ad} = \max(0; t_{sp_{i-j}}^P - \tau_{dp}^{rs_{r1}} - \tau_{ar}^{rs_{r2}}), \quad (2.29)$$

де $t_{sp_{i-j}}^P$ – час переходу між ЗП, с;

$\tau_{dp}^{rs_{r1}}$ – момент відправлення ТЗ суміжних рейсів маршруту $r1$, с;

$\tau_{ar}^{rs_{r2}}$ – момент прибуття ТЗ суміжних рейсів маршруту $r2$, с.



Умовні позначення: --- – час технологічного простою ТЗ, ▨ – час відхилення, ▨ – сервісний простій, $\leftarrow \rightarrow$ – пересадка між маршрутами
 а – без відхилення руху; б – без сервісного простою;
 в – з сервісним простоєм

Рисунок 2.7. Схема формування часу синхронізації пересадки пасажирів

Крім погодження розкладу руху необхідною умовою синхронізації є забезпечення відсутності відхилень часу прибуття ТЗ. При відхиленні прибуття ТЗ (рис. 2.7б) пересадка між маршрутами може бути здійснена лише наступного рейсу, що призводить до збільшення витрат часу пасажирів. Впровадження відповідного сервісного простою дозволяє розширити діапазон перебування ТЗ в ТПВ (рис. 2.7в). Це дає можливість компенсувати відхилення руху за рахунок збільшення періоду одночасного перебування різних

маршрутів, тим самим забезпечує реалізацію пересадок пасажирів без очікування. Тривалість сервісного простою у цьому випадку становить

$$t_r^{ad} = \tau_{la}^{rs_{r2}} + \Delta\zeta^{rs_{r2}} + t_{sp_{i-j}}^p, \quad (2.30)$$

де $\tau_{la}^{rs_{r2}}$ – плановий момент прибуття ТЗ маршруту $r2$ в ТПВ, с;

$\Delta\zeta^{rs_{r2}}$ – час відхилення прибуття маршруту $r2$, с.

Незалежно від умов впровадження сервісного простою можливе використання його фіксованої тривалості. За таких умов визначальним є часові параметри руху ТЗ через ЗП

$$t_r^{ad} = \tau_{dp}^{rs_i} - \tau_{ar}^{rs_i} - t_r^{en-ex}. \quad (2.31)$$

Загальна тривалість перебування ТЗ в ЗП поряд з параметрами формування обсягу відправлення пасажирів та умовами організації руху по маршрутах визначають час перебування пасажирів у ТПВ. Середній час перебування пасажирів які виконують посадкові та пересадочні операції в ТПВ розраховується за формулою

$$t_{th}^p(t) = \frac{\sum_{s=1}^{SP_n} \sum_{z=1}^{SP_n} \sum_{u=1}^{v_n^{sp}} \sum_{b=1}^t \left((\tau_{dp}^{rs_b} - \tau_b^p) \cdot q_{sp_z}^{st}(\tau_b^p) \cdot \rho_{v_u^z}^x + q_{sp_z}^{tr}(\tau_b^p) \cdot t_{sp_{s-z}}^p \right)}{\sum_{z=1}^{SP_n} \sum_{b=1}^t q_{sp_z}^{st}(\tau_b^p)}, \quad (2.32)$$

де $\tau_{dp}^{rs_b}$ – момент відправлення ТЗ на якому здійснюється поїздка пасажирів, що прибули в ЗП у τ_b^p , с;

$q_{sp_z}^{st}(\tau_b^p)$ – обсяг прибуття у ЗП z у момент τ_b^p , пас.;

$q_{sp_z}^{tr}(\tau_b^p)$ – обсяг пасажирів, що прибувають у ЗП z у момент τ_b^p з метою реалізації пересадок, пас.;

$\rho_{v_u^z}^x$ – питома вага вибору варіанта відправлення v_u з ЗП;

$t_{sp_{s-z}}^p$ – час переходу між ЗП $s-z$, с.

Середній час перебування пасажира в ЗП ТПВ відображає сервісну якість обслуговування та поруч з ресурсною характеристикою є складовою частиною оцінювання функціональної сталості.

Важливою складовою організації технологічної взаємодії в ТПВ є встановлення часу фактичного прибуття ТЗ. Основним чинником який впливає на момент прибуття ТЗ в ТПВ поруч з розкладом руху є його флуктуація. Флуктуація прибуття ТЗ – це будь яке випадкове відхилення від запланованого часу. В якості основного дієвого механізму ліквідації флуктуації прибуття ТЗ в ТПВ розглядаються заходи, які забезпечують можливість реалізації оперативних прийомів «входження ТЗ в графік руху», а саме нагон та уповільнення руху на ділянках на підході до ТПВ. Основою дослідження процесів формування флуктуації прибуття ТЗ є виділення та систематизація чинників впливу, облік наслідків та встановлення на основі їх аналізу механізмів її усунення (рис. 2.8).



Рисунок 2.8. Склад чинників флуктуації прибуття ТЗ

Аналіз умов виникнення флуктуації руху на маршрутах МПТ представлений в роботах [93, 338, 339]. Основною задачею, що вирішується в цих роботах є дослідження процесів та закономірностей формування відхилення часу рейсу без розподілення його на окремі

структурні елементи маршруту. Для ТПВ першочерговим є вирішення задачі забезпечення чіткого дотримання часу фактичного прибуття ТЗ. Це дозволяє в повній мірі забезпечити реалізацію механізмів синхронізації пересадки між маршрутами та знизити час, що витрачається пасажиром в ТПВ. За таких вимог, дослідження флуктуації прибуття ТЗ повинне проводитися з позиції структурного аналізу причин її виникнення та оцінювання способів усунення.

При порушеннях регулярності руху відбувається переповнювання салону ТЗ, зростає час очікування пасажиром в ЗП, знижуються економічні показники роботи маршрутів. Нерівномірне завантаження викликає серйозні коливання витрат часу на посадку-висадку пасажирів, що в свою чергу створює затримки ТЗ в ЗП, порушується встановлений режим роботи маршрутів, підвищується витрата палива, знижується швидкість сполучення та безпека руху.

Діапазон флуктуації прибуття є складовою визначальною характеристикою часу перебування ТЗ в ТПВ. Його розмір залежить від рівня організації та управління внутрішніми процесами МПТ та об'єктами зовнішнього середовища серед яких основним є ВДМ. Процес руху ТЗ по маршруту можливо представити у вигляді його неперервного переміщення в територіальному просторі, де знаходяться елементи та суб'єкти, що безпосередньо впливають на формування флуктуації прибуття. Модель руху по маршруту з'єднує статистично визначені дані флуктуації з чинниками формування та дозволяє розподілити її за відповідними частинами маршруту. Загальний вид моделі визначення меж діапазону флуктуації прибуття представляється у вигляді рівняння

$$\Delta t_r^e(\tau_{ar}) = \int_0^{l_{th}} C_{mf}(l_r) \cdot F_{emr}(l_r) dl_r, \quad (2.33)$$

де l_{th} – відстань до ТПВ, км;

$C_{mf}(l_r)$ – параметр, що відображає результативність дій з ліквідації флуктуації прибуття в точці маршруту l_r ;

$F_{emr}(l_r)$ – функція залежності флуктуації від чинників виникнення.

Представлена модель (2.33) має загальноутворюючий вид та не може бути застосована для розрахунку конкретних значень. Це пояснюється складністю встановлення функції залежності флуктуації

від чинників виникнення. Встановлення значення функції $F_{emr}(l_r)$ передбачає проведення окремих досліджень умов руху в межах елементів ВДМ. Для вирішення задачі стабілізації взаємодії в ТПВ можливе використання емпіричних даних про фактичне значення флуктуації прибуття ТЗ з подальшим аналізом результативності застосування механізмів ліквідації її виникнення. Алгоритм дій по встановленню параметра $C_{mf}(l_r)$ передбачає реалізацію наступних етапів: шляхом натурних спостережень визначається значення нижньої та верхньої межі діапазону флуктуації, далі на основі аналізу мінімального часу проїзду прилеглих до ТПВ ділянок ВДМ оцінюється можливість її ліквідації. У разі, коли максимальний час відхилення може бути повністю компенсований скороченням часу проїзду ділянки то для неї показник $C_{mf}(l_r)=1$. Розрахункова процедура дозволяє встановити результативність керуючих заходів на абсолютне відхилення від розкладу прибуття автобусів; врахувати вплив контрольованих чинників: кількість перехресть на ділянці, кількість пішохідних переходів на ділянці, кількість світлофорів на ділянці на дотримання розкладу руху; визначити тривалість періоду можливого перебування ТЗ в ЗП у досліджуваній період часу.

Практична апробація проводилася на прикладі маршрутів які проходять через ЗП ТПВ «ст. м. проспект Гагаріна» (м. Харків 49.981337, 36.242693), напрямом руху – до центру міста. Через цей ЗП проходять 3 тролейбусних та 10 автобусних маршрутів. У ході спостережень були встановлені значення параметрів флуктуації прибуття для трьох базових періодів: ранкової години «пік» (з 8 до 9 години), міжпікового періоду (з 12 до 13 години), вечірньої години «пік» (з 17 до 18 години). Встановлення значення флуктуації прибуття ТЗ проводилося шляхом визначення фактичних значень для кожного рейсу з подальшим розрахунком їх середньоарифметичного значення. Для встановлення значень флуктуації по кожному рейсу використовувалася інформація про час відправлення з початкового ЗП та середній час пересування до ЗП ТПВ «ст. м. проспект Гагаріна». У процесі оцінки діапазону флуктуації прибуття проводилися розрахунки часу між раннім та пізнім моментами прибуття ТЗ у ЗП. Інформація про флуктуацію прибуття наведена в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Результати спостережень за флуктуацією прибуття ТЗ в ЗП ТПВ «ст. м. проспект Гагаріна»

Маршрут	Флуктуація в ранковий період «пік», с			Флуктуація у межпіковий період, с			Флуктуація в вечірній період «пік», с		
	Нижня межа	Верхня межа	Діапазон	Нижня межа	Верхня межа	Діапазон	Нижня межа	Верхня межа	Діапазон
ТлЗ «вул. Дванадцятого квітня – вул. Університетська»	37	191	154	39	157	118	28	117	89
Тл5 «Аеропорт – вул. Університетська»	31	123	92	30	103	73	28	103	75
Тлб «станція Основа – вул. Університетська»	26	115	89	26	110	84	26	86	60
А5 «вул. Миру – ст. м. пр. Гагаріна»	34	159	125	29	138	109	14	100	86
А68 «вул. Колекторна – ст. м. пр. Гагаріна»	36	143	107	29	119	90	16	74	58
А79 «ст. Основа – ст. м. пр. Гагаріна»	34	112	78	23	103	80	24	100	76
А115 «вул. Нестерова – ст. м. пр. Гагаріна»	26	125	99	28	102	74	12	82	70
А119 «Аеропорт – пр. Перемоги»	26	98	72	26	103	77	18	77	59
А147 «м/н Горизонт – вул. Університетська»	39	165	126	33	164	131	15	114	99
А218 «вул. Ванди Василевської – майдан Конституції»	42	118	76	25	120	95	28	109	81
А246 «Жихор – Південний вокзал»	38	136	98	32	115	83	22	77	55
А304 «ст. Рогань – майдан Сергіївський»	51	196	145	38	165	127	12	144	132
А305 «ТЦ Епіцентр – пр. Перемоги»	35	125	90	25	103	78	22	106	84

Параметризація функції $C_{mf}(l_r)$ проведена через оцінку впливу умов вільного руху маршрутних ТЗ на можливість компенсації часу відхилення прибуття. Для цього були проведені експериментальні дослідження часу проїзду маршрутними ТЗ виділених окремих ділянок ВДМ: ділянка 1 вул. Молочна – вул. Вернадського, ділянка 2 пров. Золотий – вул. Молочна, ділянка 3 вул. Каштанова – пров. Золотий, ділянка 4 вул. Одеська – вул. Каштанова (рис. 2.9).

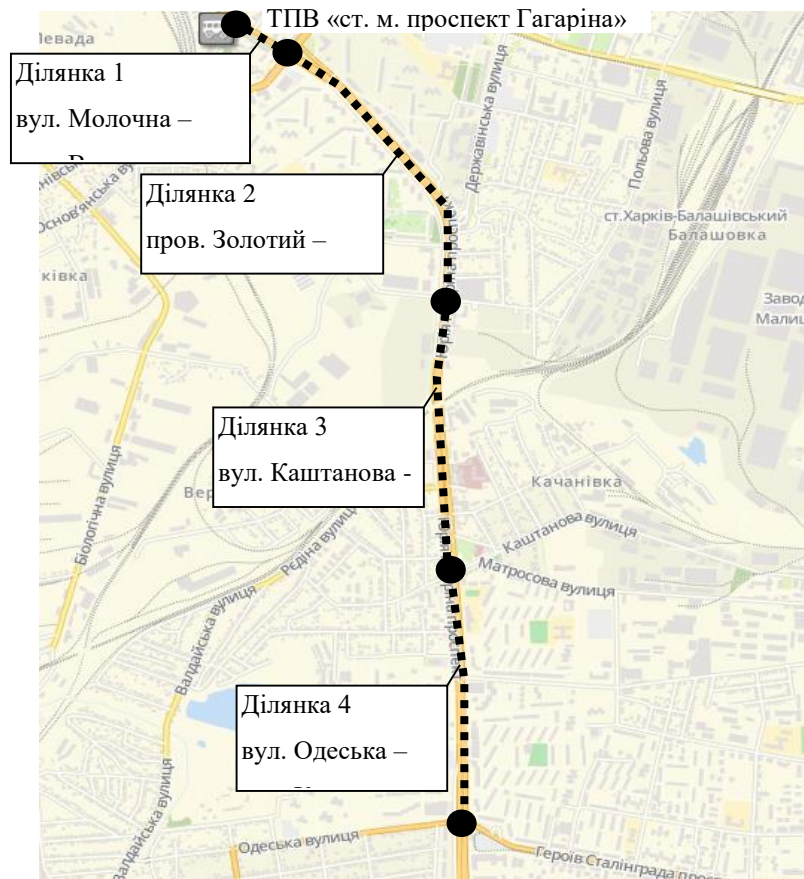


Рисунок 2.9. Схема ділянок ВДМ прилеглих до ЗП ТПВ «ст. м. проспект Гагаріна»

У межах представлених ділянок ВДМ можлива організація пріоритетного руху МПТ. Ці дії мають метою забезпечити реалізацію адаптованого до планового прибуття в ТПВ швидкісного режиму руху маршрутних ТЗ, що робить можливим ліквідувати флуктуаційні процеси за рахунок компенсації часу відхилень. Час прибуття ТЗ в ТПВ знаходиться в діапазоні від можливим раннім ($\Delta t_r^{e_a}$) та пізнім ($\Delta t_r^{e_l}$) відхиленням прибуття. Ліквідація пізнього прибуття ТЗ є граничним критерієм оцінювання параметра $C_{mf}(l_r)$. У разі компенсації часу максимального запізнення ліквідація раннього прибуття є можливою. Встановлення експериментальним шляхом мінімального

часу проїзду ділянок та можливого його скорочення дозволяє оцінити результативність заходів з виділення окремої смуги руху для МПТ. Для періоду, коли забезпечуються вільні умови руху (з 6 до 7 години) були встановлені значення скорочення часу проїзду ділянок для маршрутів в залежності від типів ТЗ (табл. 2.3).

Таблиця 2.3
Скорочення тривалості проїзду ділянок

Маршрут	Скорочення тривалості проїзду, с			
	Ділянка 1	Ділянка 2	Ділянка 3	Ділянка 4
Тл3, Тл5, Тл6	74	136	131	110
A5, A68, A79, A115, A119, A147, A218, A305	35	72	60	59
A304	46	98	66	71
A246	31	70	64	56

Аналізуючи співвідношення максимального відхилення прибуття (за даними табл. 2.2 – 196 с. для маршруту A304) до мінімально можливого часу проїзду ділянок ВДМ, були встановлені значення функції $C_{mf}(l_r)$: для ділянки 1 – 0,235, для ділянки 2 – 0,5, для ділянки 3 – 0,337, для ділянки 4 – 0,362.

На основі проведення експериментальних спостережень за фактичними даними флуктуації, встановлюється діапазон можливого прибуття ТЗ. Фактичний момент прибуття ТЗ в ТПВ приймає будь яке значення з діапазону $[\Delta\tau_r^{e_a}, \Delta\tau_r^{e_l}]$. Значення меж діапазону визначається за формулою

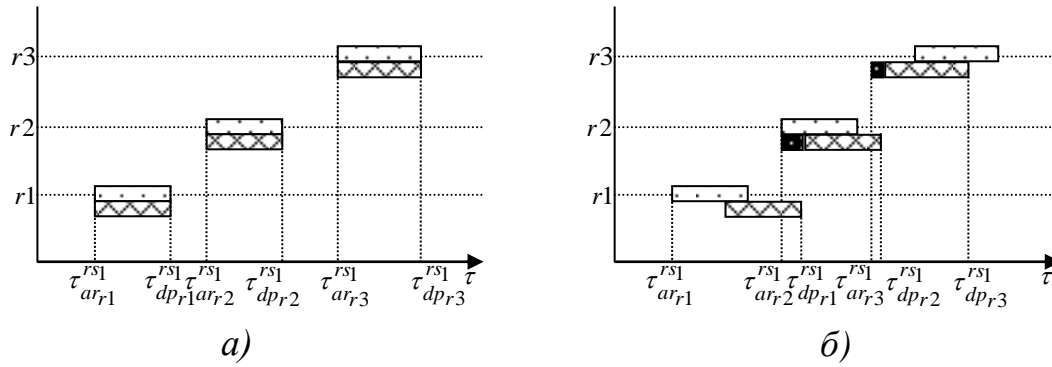
$$\Delta\tau_r^{e_a(l)} = \tau_{ar_p}^{rs_i} + \max(0, \sum_{j=1}^{n_{l_{th}}} (1 - C_{mf}(l_j)) \cdot \Delta t_r^{e_a(l)}), \quad (2.34)$$

де $\tau_{ar_p}^{rs_i}$ – момент планового прибуття ТЗ в ТПВ, с;

$C_{mf}(l_j)$ – параметр результативності механізмів ліквідації флуктуації;

$n_{l_{th}}$ – кількість ділянок ВДМ з пріоритетним рухом МПТ.

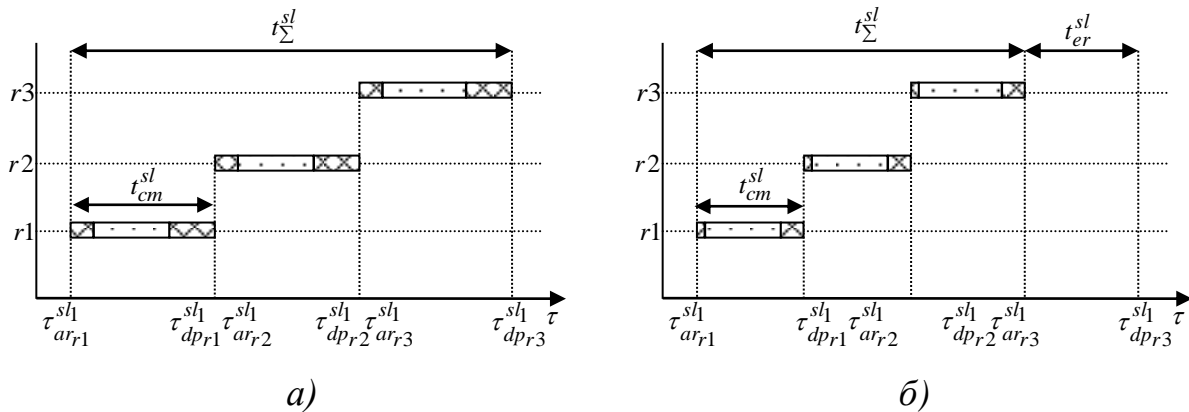
Флуктуація прибуття призводить до появи неоднорідності у формуванні часових моментів перебування ТЗ у ЗП. Схема впливу флуктуації на час обслуговування транспортних засобів у ТПВ подана на рис. 2.10.



Умовні позначення: \dots – плановий час перебування ТЗ в ЗП, \otimes – фактичний час простою ТЗ в ЗП, \blacksquare – час простою ТЗ у черзі
 а – відсутність флуктуації; б – наявність флуктуації

Рисунок 2.10. Вплив флуктуації прибуття на простій ТЗ у черзі

На рисунку 2.10а представлена організація координованого руху без флуктуації. При відхиленні прибуття (рис. 2.10б) спостерігається виникнення конфліктних ситуацій в ЗП та непродуктивних простоїв ТЗ. Графічна інтерпретація збільшення резервів пропускної спроможності ЗП за рахунок зменшення діапазону флуктуації наведена на рис. 2.11.



Умовні позначення: \dots – плановий час перебування ТЗ в ЗП, \otimes – фактичний час простою ТЗ в ЗП, t_{cm}^{sl} – можливий час перебування ТЗ, t_{Σ}^{sl} – загальний час перебування ТЗ, t_{er}^{sl} – резерв часу
 а – базовий варіант; б – варіант скорочення діапазону флуктуації

Рисунок 2.11. Формування резервів пропускної спроможності ЗП за рахунок скорочення діапазону флуктуації

Для ліквідації можливих конфліктних ситуацій при плануванні розкладу обслуговування ТЗ в ЗП використовується додатковий час.

Час, який резервується для безконфліктного перебування ТЗ в ЗП називається слотом. Слот – це плановий часовий інтервал включений до розкладу руху протягом якого відбувається прибуття в ЗП, обслуговування та відправлення ТЗ. Зменшення діапазону флуктуації дозволяє скоротити тривалість слоту та збільшити резерви пропускної спроможності ЗП. Виходячи з вимог забезпечення безконфліктних умов функціонування ТПВ, при плануванні часу перебування ТЗ в ЗП необхідно врахувати додатковий резервний час, який визначається діапазоном флуктуації. Утримання мінімального рівня резервів пропускної спроможності ЗП при якому забезпечується безконфліктний стан взаємодії суб'єктів МПТ можливий лише за умов чіткої координації розкладу руху. При координації руху необхідно забезпечити погодження періодів перебування ТЗ в ЗП шляхом встановлення раціональної тривалості додаткового сервісного простою, узгодженням розкладів руху на маршрутах та впровадженням заходів щодо ліквідації флуктуації прибуття.

2.4 Формування критерію ефективності ТПВ

Структура програми удосконалення взаємодії у значній мірі залежить від обсягу попиту, рівня ресурсного забезпечення ЗП та визначає склад відповідних керуючих заходів (рис. 2.12).

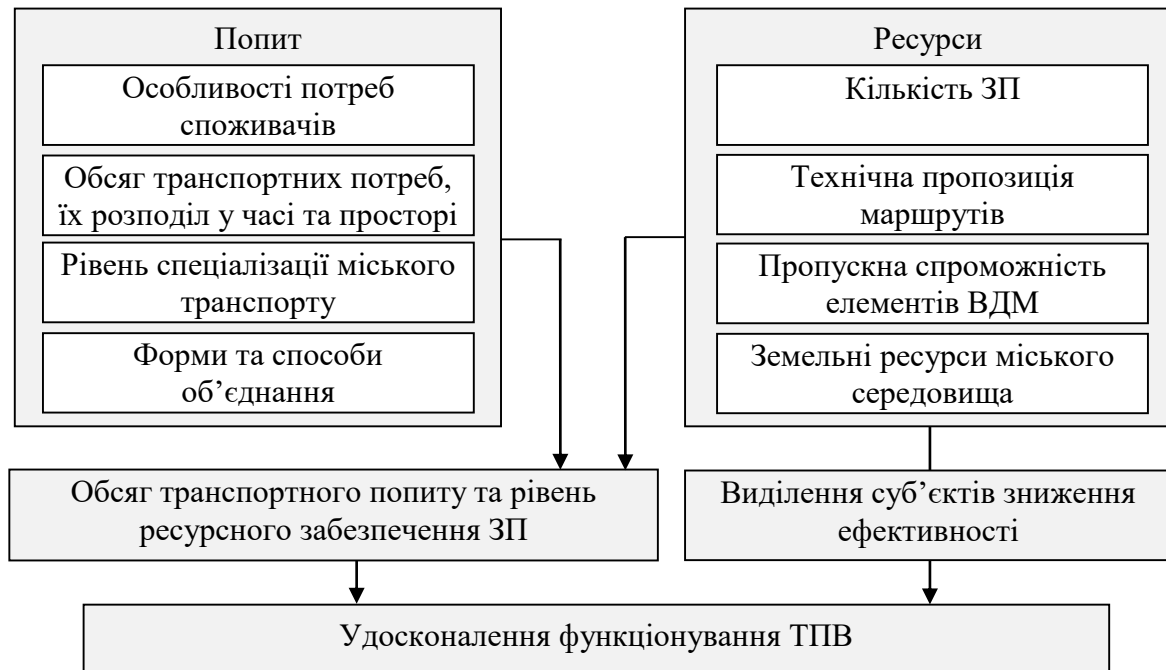


Рисунок 2.12. Структура удосконалення функціонування ТПВ

Парадигма підвищення ефективності технологічної взаємодії суб'єктів МПТ в ТПВ базується на обліку особливостей задоволення попиту та формування достатнього рівня ресурсного забезпечення елементів обслуговуючої підсистеми. Оцінку ефективності МПТ реалізують з чотирьох основних рівнів: елементний, агрегатний, системний та метасистемний. ТПВ відносяться до першого (елементного) рівня. Для оцінювання ефективності МПТ на цьому рівні використовуються часові показники, що відображають якість операцій. Така форма передбачає проведення якісної оцінки витрат часу пасажирів на реалізацію посадково-пересадочних операцій. Наявність характерного міжрівневого впливу в структурі представлення взаємодії суб'єктів МПТ вимагає розширення зони представлення ефективності ТПВ. Такі умови ґрунтуються на принципах системності та реалізуються через інтегральну оцінку впливу техніко-технологічної взаємодії в ТПВ на відповідні рівні. Враховуючи такі вимоги, загальна структура оцінювання ефективності функціонування ТПВ у відповідному періоді часу (t) може бути представлена через сукупність станів елементного рівня $S_e(t)$ (об'єктів інфраструктури), агрегатного рівня $S_u(t)$ (маршрути МПТ), системного рівня $S_t(t)$ (елементи ВДМ) та метасистемного рівня $S_c(t)$ (міське середовище):

$$U(s) = \{S_e(t), S_u(t), S_t(t), S_c(t)\}. \quad (2.35)$$

Постановка задачі удосконалення взаємодії в ТПВ передбачає в межах його ресурсних можливостей (R_e) та наявного вхідного маршрутного потоку (V_e) реалізацію такого керуючого впливу (Z_e), який спрямований на забезпечення ефективного стану всіх рівнів МПТ

$$Z_e \times R_e \times V_e \rightarrow U(s) \rightarrow \max. \quad (2.36)$$

Наявність складних за розміром та характером системних зв'язків робить розв'язання поставленої задачі дуже трудомісткою процедурою. Її вирішення вимагає використання принципів єдності аналізу та синтезу дослідження окремих процесів. Для цього необхідно провести логічний розподіл загальної задачі на окремі складові частини відносно зон реалізації та виділити їх характеристичний вплив на загальнорівневу ефективність МПТ.

До внутрішніх технологічних заходів функціональної стабілізації відноситься формування інерційності ЗП ТПВ через створення відповідних резервів ресурсів пропускної спроможності, розосередження взаємодії суб'єктів маршрутного потоку у часі та просторі. Складність внутрішньої координації обумовлюється наявністю значного впливу зовнішніх чинників, які проявляються через нестабільність руху, нерівномірність інтервалів прибуття ТЗ та порушення їх ритмічності. Така ситуація в значній мірі обмежує внутрішні можливості досягнення ефективної взаємодії в ТПВ та потребує втручання в зовнішній області реалізації технологічних процесів. Внутрішні організаційні заходи спрямовані на зниження дисфункцій роботи ТПВ. Зовнішні заходи реалізуються в межах елементів ВДМ. Важливою умовою прийняття комплексу технологічних заходів є оцінка їх наслідків на сервісно-ресурсні показники функціональної сталості МПТ та рівень негативного впливу на МС. Для оцінювання метасистемного впливу використовуються вербальні форми опису концептів екологічної та транспортної безпечності процесів. Аналіз структури інтегральної ефективності МПТ та формалізація опису вимог дозволила виділити контур управлінських рішень (рис. 2.13).

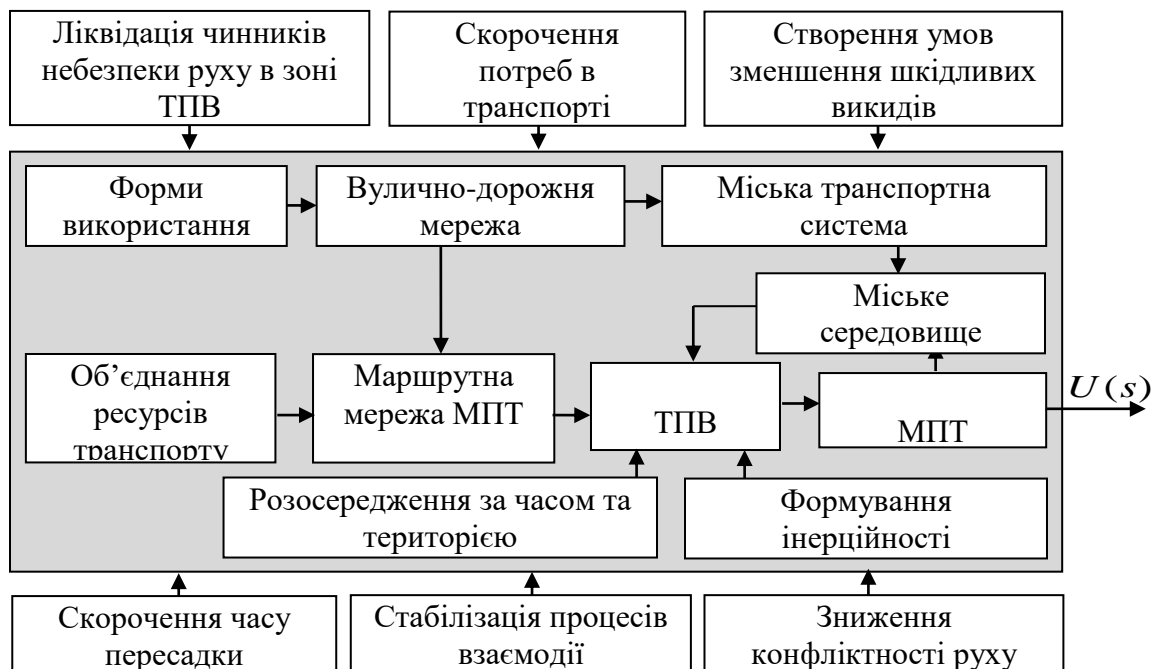


Рисунок 2.13. Контур управлінських рішень підвищення ефективності взаємодії МПТ в ТПВ

На основі схеми стабілізації та виділених цільових задач для рівнів представлення МПТ, можна виділити структуру критерію ефективності ТПВ, яка відображає загальні принципи забезпечення формування його інтегральної ефективності. Декомпозиція ієрархічних рівнів критерію ефективності $U(s)$, в межах виділеного об'єкта дослідження реалізована через їх упорядкування методом головного критерію. Головним критерієм виступає функціональна сталість базових елементів ТПВ – зупинних пунктів. У структурі системи обмежень необхідно врахувати сервісні компоненти функціонування суб'єктів рівня «маршрут», «міська транспортна система» та «міське середовище». Рівень функціональної сталості ТПВ оцінюється показником, який відображає умовну відстань між фактичним значенням його потенціалу та значенням, яке відповідає граничній межі

$$U_h(t) = \frac{A_h^{(Z_e)}(t) \cdot k_h^{r(Z_e)}(t)}{A_h^{(B_e)} \cdot k_h^{r(B_e)}} - 1 \rightarrow \max, \quad (2.37)$$

де $A_h^{(Z_e)}(t)$ – рівень якості обслуговування пасажирів у ТПВ при реалізації керуючого впливу Z_e ;

$k_h^{r(Z_e)}(t)$ – рівень резервів пропускної спроможності ТПВ при реалізації керуючого впливу Z_e ;

$A_{th}^{(B_e)}$ – рівень якості обслуговування пасажирів у ТПВ який відображає межу області його сервісної сталості;

$k_h^{r(B_e)}$ – рівень необхідних резервів пропускної спроможності ТПВ який відображає межу області його ресурсної сталості.

Система обмежень враховує зміну ресурсного стану верхніх рівнів

$$\begin{cases} \Delta U_u(t) = k_u^{r(Z_e)}(t) - k_u^{r(B_u)}(t) \geq 0 \\ \Delta U_t(t) = k_t^{r(Z_e)}(t) - k_t^{r(B_t)}(t) \geq 0 \end{cases}, \quad (2.38)$$

де $k_u^{r(Z_e)}(t)$ – рівень резерву провізної спроможності маршрутів, які проходять через ТПВ при реалізації керуючого впливу Z_e ;

$k_u^{r(B_u)}(t)$ – рівень резерву провізної спроможності маршрутів, що відображає межу зони їх функціональної сталості;

$k_t^{r(Z_e)}(t)$ – рівень резерву пропускної спроможності ділянок ВДМ при реалізації керуючого впливу Z_e ;

$k_t^{r(B_i)}(t)$ – рівень резерву пропускної спроможності ділянок ВДМ, який відображає межу зони їх сервісної сталості.

Представлена система обмежень (2.38) є вихідною умовою для встановлення значення $k_h^{r(B_e)}$. Облік міжрівневих умов формування інтегральної ефективності реалізується шляхом визначення рівня необхідних резервів пропускної спроможності кожного i -го ЗП ТПВ з урахуванням їх відповідності зовнішнім середовищам

$$k_h^{r_i(B_e)} = \max\left(k_u^{r_i(B_u)}, k_t^{r_i(B_i)}\right). \quad (2.39)$$

Рівень резерву пропускної спроможності ЗП при якому ліквідується можливість виникнення конфліктних ситуацій визначає межу області сталості ТПВ. Відповідно до розроблених у третьому розділі ознак функціональної сталості, рівень резерву пропускної спроможності ЗП для безконфліктного перебування ТЗ у ТПВ відповідає межі безризикової області ймовірності дестабілізації k_{ep}^r , а межа значення $k_h^{r(B_e)}$ – межі зони допустимого ризику k_{ec}^r .

Рівень якості обслуговування пасажирів у ТПВ оцінюється ступенем відповідності фактичного часу переміщення через ТПВ до маркетингових вимог пасажирів

$$A_h^{(Z_e)}(t) = \frac{\sum_{i=1}^{r_n} q_{sp_i}^{st}(t) \cdot \overline{t_{r_i}^{sn(P)}}(t) + \sum_{j=1}^{SP_n} q_{sp_j}^{en}(t) \cdot \overline{t_{th_j}^{tr(P)}}(t)}{\sum_{i=1}^{r_n} q_{sp_i}^{st}(t) \cdot \overline{t_{r_i}^{sn(Z_e)}}(t) + \sum_{j=1}^{SP_n} q_{sp_j}^{en}(t) \cdot \overline{t_{th_j}^{tr(Z_e)}}(t)}, \quad (2.40)$$

де $q_{sp_i}^{st}(t)$ – кількість пасажирів, що переміщуються маршрутами без реалізації посадки-висадки в ТПВ, пас.;

$q_{sp_j}^{en}(t)$ – кількість пасажирів, що відправляються з ЗП, пас.;

$\overline{t_{r_i}^{sn(P)}}(t)$ – середній маркетинговий час перебування пасажирів в ТПВ, що переміщується маршрутами без реалізації пересадки, с.;

$\overline{t_{r_i}^{sn(Z_e)}}(t)$ – середній фактичний час перебування пасажирів в ТПВ, що переміщується маршрутами без реалізації посадки-висадки, с.;

$\overline{t_{th}^{tr(P)}}(t)$ – середнє значення маркетингового часу перебування пасажирів в ТПВ, що відправляється з ЗП, с.;

$\overline{t_{th}^{tr(Z_e)}}(t)$ – середнє значення фактичного часу перебування пасажирів в ТПВ, що відправляється з ЗП, с.

Під маркетинговим розуміється час який встановлюється пасажирів у виді вимоги до рівня якості транспортних послуг. Його значення визначається виходячи з досвіду використання та оцінювання можливостей технічної пропозиції. За таких умов, час який бажає витратити пасажир на транспортні операції в ТПВ є мінімально можливим при наявній технічній пропозиції. Середній маркетинговий час перебування пасажирів, що переміщується маршрутами без реалізації посадки-висадки в ТПВ визначається виходячи з мінімальної тривалості простою ТЗ, який враховує лише технологічні операції

$$\overline{t_r^{sn(P)}}(t) = \frac{\sum_{c=1}^{SP_n} \sum_{i=1}^{k_{rc}^{sp}(t)} (\tau_{ad}^{rs_{rci}} - \tau_{ar}^{rs_{rci}}) \cdot (q_{en}^{rci} \cdot \gamma_{en}^{rs_{rci}} - p_{ex}^{rs_{rci}})}{\sum_{c=1}^{SP_n} \sum_{i=1}^{k_{rc}^{sp}(t)} (q_{en}^{rci} \cdot \gamma_{en}^{rs_{rci}} - p_{ex}^{rs_{rci}})}, \quad (2.41)$$

де $\tau_{ad}^{rs_{rci}}$ – момент закінчення висадки-посадки пасажирів у ЗП, с;

$\tau_{ar}^{rs_{rci}}$ – момент прибуття ТЗ рейсу rs_{rci} у ЗП, с;

$k_{rc}^{sp}(t)$ – кількість рейсів маршруту r , що прибувають у періоді t ;

q_{en}^{rci} – місткість ТЗ на маршруті r , пас.;

$\gamma_{en}^{rs_{rci}}$ – рівень наповнення ТЗ при прибутті рейсу rs_{rci} ;

$p_{ex}^{rs_{rci}}$ – кількість пасажирів, що виходять з ТЗ при прибутті, пас.

Фактичний час переміщення пасажирів через ТПВ, визначається на основі розрахунку тривалості перебування пасажирів в ТЗ, які мають простій в ЗП

$$\overline{t_r^{sn(Z_e)}}(t) = \frac{\sum_{c=1}^{SP_n} \sum_{i=1}^{k_r^{sp}(t)} (\tau_{dp}^{rs_{rci}} - \tau_{ar}^{rs_{rci}}) \cdot (q_{en}^{rci} \cdot \gamma_{en}^{rs_{rci}} - p_{ex}^{rs_{rci}})}{\sum_{c=1}^{SP_n} \sum_{i=1}^{k_r^{sp}(t)} (q_{en}^{rci} \cdot \gamma_{en}^{rs_{rci}} - p_{ex}^{rs_{rci}})}, \quad (2.42)$$

де $\tau_{dp}^{rs_{rci}}$ – момент відправлення ТЗ рейсу rs_{rci} , с.

Маркетинговий час перебування в ТПВ пасажирів, який виконує пересадку визначається за умови, що очікування ТЗ не перевищує половини рейсового інтервалу руху

$$\overline{t_{th}^{tr(P)}}(t) = \frac{\sum_{c=1}^{SP_n} \sum_{d=1}^{SP_n} \sum_{i=1}^{k_r^{sp}(t)} ((\tau_{ad}^{rs_{rci}} - \tau_{ar}^{rs_{rci}}) + (\tau_{ad}^{rs_{r_{di}}} - \tau_{ar}^{rs_{r_{di}}}) + t_{sp_{c-d}}^P + \frac{I^{rs_{c-d}}}{2}) \cdot q_{sp_c}^{tr}(\tau_{ar}^{rs_{rci}})}{\sum_{c=1}^{SP_n} \sum_{i=1}^{k_r^{sp}(t)} q_{sp_c}^{tr}(\tau_{ar}^{rs_{rci}})}, \quad (2.43)$$

де $\tau_{ad}^{rs_{rci}}$ – момент закінчення висадки-посадки рейсу rs_{rci} , с;

$\tau_{ar}^{rs_{rci}}$ – момент прибуття ТЗ рейсу rs_{rci} , с;

$k_r^{sp}(t)$ – кількість рейсів маршруту r , що прибувають у періоді t ;

$\tau_{ad}^{rs_{r_{di}}}$ – момент закінчення висадки-посадки пасажирів рейсу $rs_{r_{di}}$,

на який здійснюється пересадка, с;

$\tau_{ar}^{rs_{r_{di}}}$ – момент прибуття ТЗ рейсу $rs_{r_{di}}$, с;

$t_{sp_{c-d}}^P$ – час переходу між ЗП, с;

$I^{rs_{c-d}}$ – міжрейсовий інтервал, с;

$q_{sp_c}^{tr}(\tau_{ar}^{rs_{rci}})$ – кількість пасажирів, що пересаджуються, пас.

Фактичний час переміщення пасажирів через ТПВ визначається на основі розрахунку тривалості перебування пасажирів

$$\overline{t_{th}^{tr(Z_e)}}(t) = \frac{\sum_{c=1}^{SP_n} \sum_{d=1}^{SP_n} \sum_{i=1}^{k_r^{sp}(t)} (\tau_{dp}^{rs_{r_{di}}} - \tau_{ar}^{rs_{rci}}) \cdot q_{sp_c}^{tr}(\tau_{ar}^{rs_{rci}})}{\sum_{c=1}^{SP_n} \sum_{b=1}^t q_{sp_c}^{tr}(\tau_{ar}^{rs_{rci}})}, \quad (2.44)$$

де $\tau_{dp}^{rs_{r_{di}}}$ – момент відправлення рейсу $rs_{r_{di}}$, с.

Межа допустимого сервісного рівня для ТПВ $A_{th}^{(B_e)}$ визначається оцінкою допустимого значення з позиції сприйняття пасажирями. Одним з найбільш зручних способів побудови узагальненого відгуку є функція бажаності Харрінгтона [68]. В основі її побудови лежить ідея перетворення натуральних значень окремих відгуків в безрозмірну шкалу бажаності або переваги. Шкала бажаності відноситься до психофізичних шкал, її призначення – встановлення відповідності між фізичними та психологічними параметрами сприйняття послуги. У межах об'єкта дослідження розглядаються можливі відгуки, що характеризують якість транспортного обслуговування в ТПВ. Відповідно до стандартних відміток шкали функції бажаності Харрінгтона [68] можна встановити мінімально допустимий рівень якості транспортного обслуговування в ТПВ який дорівнює $A_{th}^{(B_e)} = 0,63$. При такому значенні організація транспортного обслуговування оцінюється пасажирями на рівні оцінки «добре», що дає можливість стверджувати про його якісний стан.

Межа ресурсного рівня ЗП $k_h^{r(B_e)}$ визначається умовами забезпечення відповідного рівня якості транспортного обслуговування на маршрутах та організації руху на елементах ВДМ. Збільшення часу простою в ЗП призводить до збільшення часу оборту та зниження продуктивності ТЗ. Виникнення конфліктних ситуацій у залежності від планування ТПВ може призводити до блокування проїжджої частини ВДМ, зниження її пропускної спроможності, погіршення швидкісного режиму та зниження безпеки руху. Для оцінювання впливу на транспортну пропозицію маршрутів та якість руху по ВДМ використовуються показники: коефіцієнт провізної спроможності маршруту та рівень завантаження рухом. Коефіцієнт провізної спроможності маршруту розраховується за формулою

$$K_r^{cn}(t) = \frac{n_r^{rs}(t)}{V_r^{co}(t)}, \quad (2.45)$$

де $n_r^{rs}(t)$ – пасажиропотік на максимально завантаженій ділянці маршруту в періоді t , пас/год.;

$V_r^{co}(t)$ – провізна спроможність маршруту в періоді t , пас/год.

Рівень завантаження ділянки ВДМ рухом

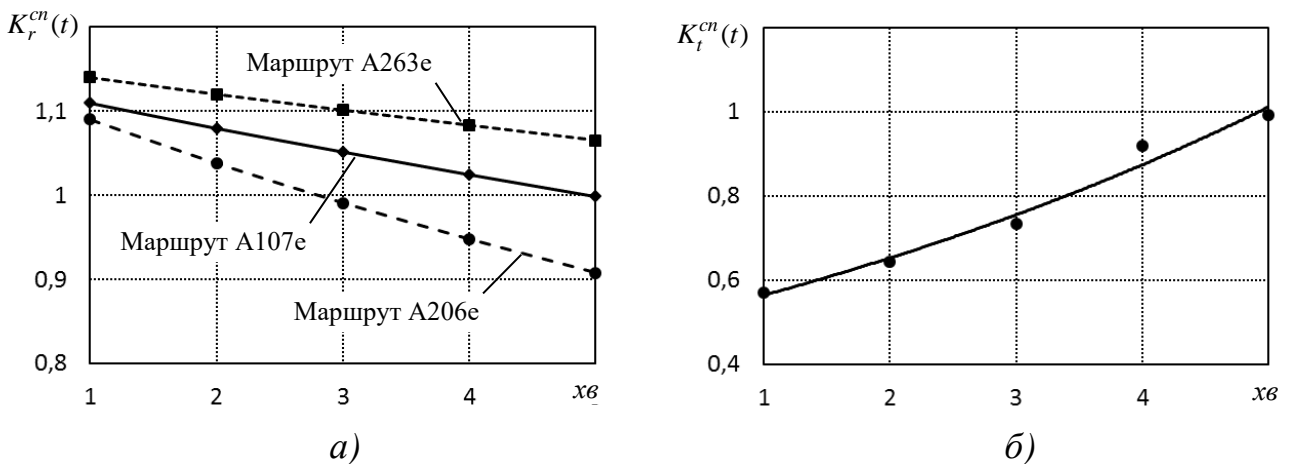
$$K_t^{cn}(t) = \frac{N^{it}(t)}{\sum_{i=1}^t P^{sv} \cdot k_{\tau_i}^{sv}}, \quad (2.46)$$

де $N^{it}(t)$ – інтенсивність руху по ВДМ в періоді t , авт/год.;

P^{sv} – пропускна спроможність смуги руху, авт/год.;

$k_{\tau_i}^{sv}$ – коефіцієнт багатосмуговості в момент часу τ_i .

Рівень резервів ресурсів ТПВ та складових показників визначаються за формулами, які представлені в складі сервісно-ресурсної моделі МПТ. Рівень резерву пропускної спроможності визначається параметрами вхідного маршрутного потоку, його розподілом між ЗП ТПВ та часом перебування ТЗ. На прикладі ЗП «вул. Валентинівська» (50.012744, 36.340177) розглянуто вплив часу простою ТЗ на показники транспортної пропозиції маршрутів та рівень завантаження ВДМ (рис. 2.14).



а – коефіцієнт провізної спроможності маршруту; *б* – коефіцієнт завантаження рухом ВДМ

Рисунок 2.14. Вплив часу простою ТЗ на параметри транспортної пропозиції та рівень завантаження рухом ВДМ

Аналізуючи представлені залежності можна зробити висновок про допустиму тривалість часу простою ТЗ. За умов відповідності технічної пропозиції (провізних можливостей) пасажиропотоку на маршруті тривалість простою в ЗП повинна забезпечувати $K_r^{cn}(t) \geq 1$, що для маршруту А206 складає 2,8 хв, для маршруту А107 – 5 хв, а для маршруту А263 – понад 5 хв. За умови допустимого обслуговування

рухом ВДМ (рівень завантаження не повинен перевищувати 0,9), в межах досліджуваного ЗП середня тривалість часу простою ТЗ повинна бути не більше 4,3 хв. Виходячи з цього можна зробити висновок, що основним критерієм встановлення допустимої тривалості простою ТЗ є вимога забезпечення відповідного рівня пропускної спроможності ВДМ. При вхідному маршрутному потоку 29 авт/год. рівень резерву пропускної спроможності ЗП «вул. Валентинівська» (при використанні наявних двох постів обслуговування) складає 0,371.

Для відбору множини допустимих альтернатив управлінських рішень також необхідно провести оцінку негативного впливу на МС. Якісною оцінкою негативного впливу керуючих дій Z_e на МС є кількість конфліктних ситуацій $N_{rl}^{sp}(t)$ яка характеризує основний чинник виникнення ДТП в ТПВ та тривалість непродуктивного простою ТЗ в черзі перед ЗП $T_{rsp}^{st}(t)$, що безпосередньо впливає на обсяг додаткового екологічного забруднення довкілля. Показник, що відображає рівень негативного впливу на МС представляється вербальною формою опису (негативний або нейтральний вплив) та може бути представлений бінарною функцією

$$A_c^{(Z_e)}(t) = \left\{ 1: k_{bt_i}^{(Z_e)}(t) > k_{bpt_i}; 0: k_{bt_i}^{(Z_e)}(t) \leq k_{bpt_i} \right\}, i = \overline{1, SP_n}, \quad (2.47)$$

де $k_{bt_i}^{(Z_e)}(t)$ – кількість ТЗ у i -му ЗП;

k_{bpt_i} – допустима кількість ТЗ для перебування у i -му ЗП.

Взагалі слід відзначити, що вирішення представленої функції (2.37), яка відноситься до задач векторної оптимізації є складним завданням, що не може бути розв'язане числовими методами. В умовах використання імітаційного моделювання для дослідження процесів взаємодії суб'єктів вхідного маршрутного потоку її вирішення може бути реалізовано використанням методів пошуку раціонального стану взаємодії в ТПВ. Раціональним є такий стан який забезпечує максимізацію критерію ефективності без погіршення стану інших рівнів. Негативний вплив організації взаємодії в ТПВ оцінюється через є облік міжрівневих зв'язків (рис. 2.15).

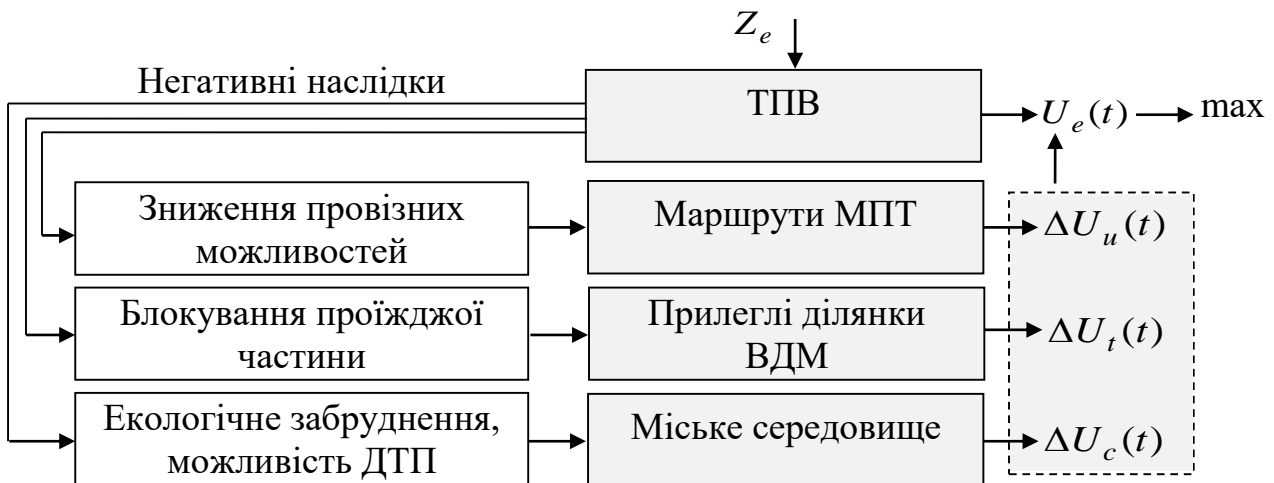


Рисунок 2.15. Структура оцінки негативного впливу керуючих дій

Можливість компенсації негативних наслідків для кожного рівня визначається ступенем критичності його стану по відношенню до граничних меж сервісно-ресурсної сталості. У разі, коли є достатній запас резервів ресурсів то негативний вплив не може розглядатися як критерій відбору альтернативи керуючого впливу. Якщо навпаки стан рівня під дією негативних впливів вийде з області сталості то такі керуючі дії недоцільні.

2.5 Параметри оцінки адекватності моделі

Серед умов, що висувуються перед функціональними моделями, є умова їх адекватності фактичним процесам. Встановлення адекватності для слабоструктурованих систем які піддані впливу багатьох чинників у тому числі психофізіологічного характеру є складним процесом. Для його реалізації необхідна розробка методики оцінки дисперсії окремих вибірок вихідних величин за переліком та в тих точках факторного простору, які є визначальними для оцінювання адекватності моделі за характеристичними параметрами. Якщо ця умова не виконується, отримані при реалізації різних етапів плану експерименту дисперсії вихідних величин будуть відрізнятися то розроблена модель потребує уточнення (калібрування) за рядом складових параметрів. В якості можливих причин низької адекватності моделі функціонування елементів ТПВ є наступні:

- наявність грубих помилок при вимірах вхідних параметрів маршрутного та споживчого потоків;

- дрейф (зміна) параметрів попиту протягом терміну реалізації плану натурних спостережень;
- наявність механізмів суб'єктивного прийняття керуючих рішень щодо встановлення часу перебування ТЗ в ЗП;
- різна точність виміру у крайніх точках діапазону зміни.

При практичній адаптації моделі до реальних умов функціонування ТПВ необхідно приділяти увагу усунення вказаних причин. Це реалізується шляхом встановлення законів формування параметрів вхідних потоків, комплексністю проведення натурних досліджень, використанням об'єктивних даних про час простою ТЗ та погодженням точок порівняння інформації.

Висновок про адекватність моделі робиться на основі розрахунку критерія Стьюдента. Використання цього методу обґрунтоване його пристосованістю до оцінювання середніх значень показників. Процедура перевірки адекватності моделі передбачає розрахунок значень t -критерія для обох показників за період моделювання t

$$t_i(t) = \frac{|M_i^{ex}(t) - M_i^{md}(t)|}{\sqrt{m_i^{ex}(t) - m_i^{md}(t)}}, \quad (2.48)$$

де $M_i^{ex}(t)$ – середньоарифметичне значення показника в періоді t отримане в ході натурних спостережень;

$M_i^{md}(t)$ – середньоарифметичне значення показника в періоді t отримане в ході моделювання;

$m_i^{ex}(t)$ – середня помилка величини $M_i^{ex}(t)$;

$m_i^{md}(t)$ – середня помилка величини $M_i^{md}(t)$.

Отримане значення t -критерія порівнюється з табличним значенням яке встановлюється для відповідного рівня значимості та ступеня свободи

$$f_i(t) = (n_i^{ex}(t) + n_i^{md}(t)) - 2, \quad (2.49)$$

де $n_i^{ex}(t)$ – кількість натурних спостережень в періоді t ;

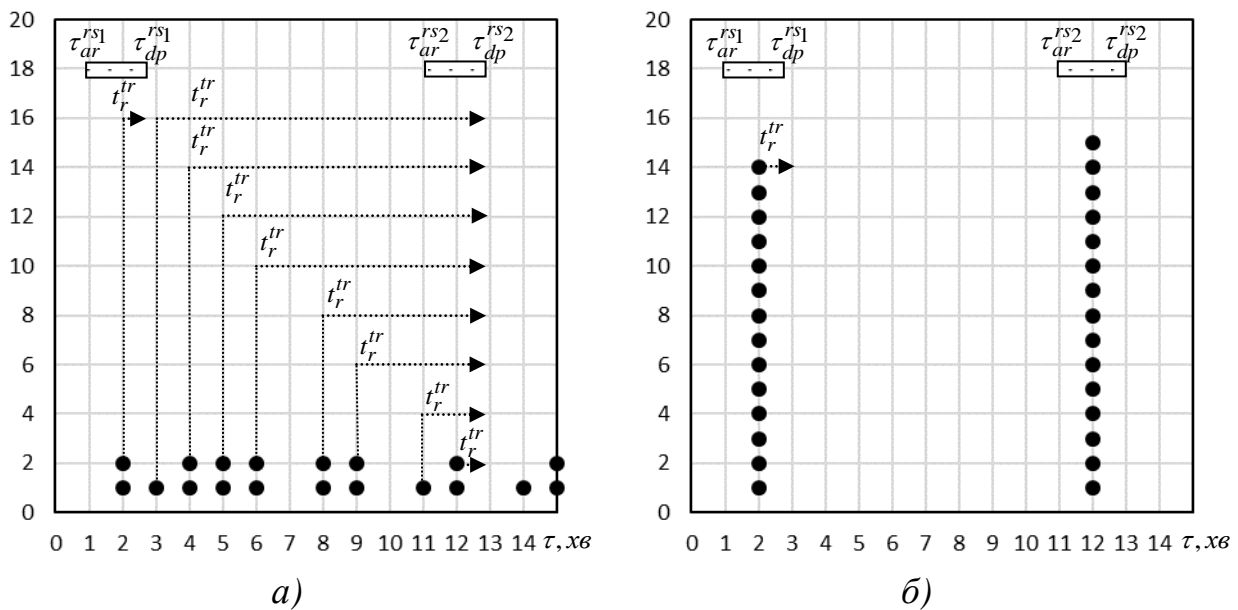
$n_i^{md}(t)$ – кількість спостережень за моделлю в періоді t .

Для підтвердження висновку про статистичну адекватність моделі необхідне виконання вимог, при яких розраховане значення t -критерію буде не менше табличного. Позитивне рішення про

адекватність моделі приймається за умов того, що вимоги виконуються одночасно для обох показників.

2.6 Аналітичне дослідження впливу часу сервісного простою ТЗ на сервісні показники взаємодії

Метою аналітичного дослідження є встановлення загальних тенденцій впливу часу сервісного простою ТЗ на ефективність ТПВ. Вплив тривалості сервісного простою ТЗ визначається умовами погодження часових параметрів утворення в ЗП обсягів відправлення пасажирів, планового часу відправлення та рівня флуктуації прибуття ТЗ. Скорочення часу пересадки пасажирів досягається синхронізацією періодів перебування ТЗ [59]. Доцільність впровадження синхронізації визначається характером формування обсягів пасажирів в ЗП. На рис. 2.16 наведена ілюстрація процесу впливу формування обсягів пасажирів в ЗП на час очікування пасажирами відправлення.



a – початкові поїздки; *б* – пересадочні поїздки

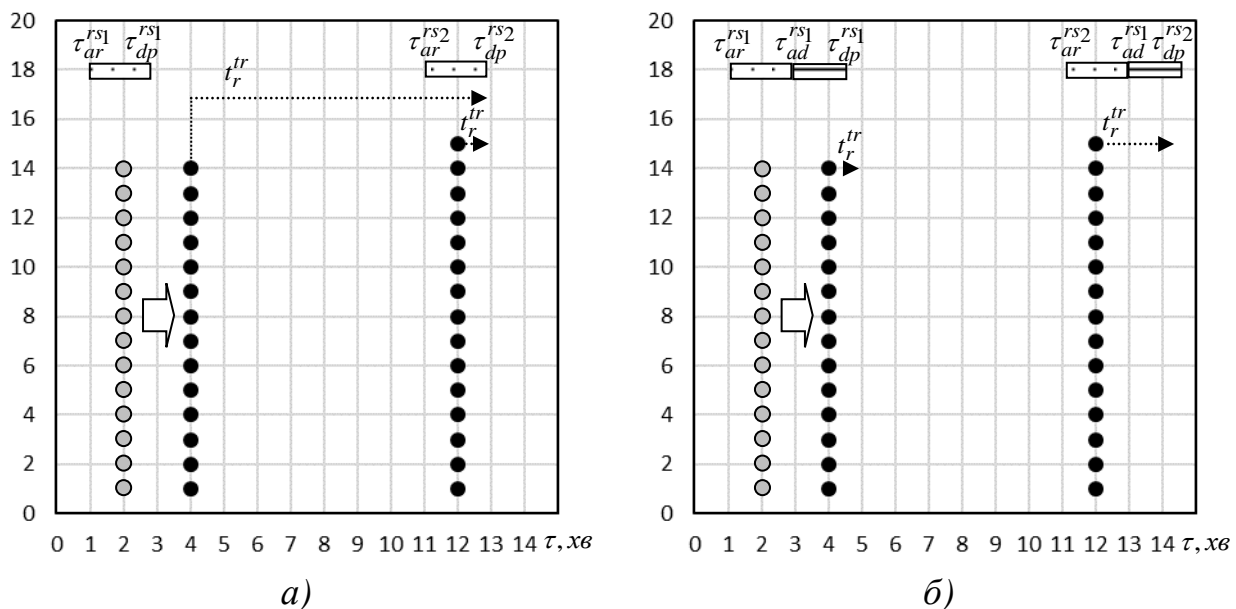
Рисунок 2.16. Графічне представлення впливу умов формування обсягу пасажирів на час очікування

У періоді $\tau_{ad}^{rs1} - \tau_{ad}^{rs2}$ між відправленням суміжних рейсів на ЗП формуються обсяги пасажирів які очікують відправлення. Для початкових поїздок (рис. 2.16*a*) характерним є рівномірний розподіл прибуття пасажирів у ЗП. За таких умов середній час очікування, який визначається як середньозважена величина, буде знаходитися в межах

близько $0,5I^{rs_{1-2}}$ (для наведеного прикладу – 5,7 хв). При виникненні флуктуації прибуття ТЗ час очікування буде змінюватися прямо пропорційно зміні міжрейсового інтервалу. Використання заходів синхронізації у цьому випадку не дає можливості впливати на час очікування.

Для пересадочних поїздок (рис. 2.16б) характерним є пакетне формування в ЗП обсягів прибуття пасажирів, що пояснюється їх підвозом іншими маршрутами. За таких умов впровадження синхронізації, яке реалізується через погодження моментів прибуття та відправлення ТЗ з періодом формування «пакету» пасажирів дозволяє значно скоротити середній час їх перебування в ЗП (для наведеного прикладу – 1 хв).

Основною ключовою задачею синхронізації пересадок пасажирів є забезпечення чіткого дотримання розкладу прибуття ТЗ, що при відсутності організації пріоритетного руху МПТ на під'їзних ділянках ВДМ, робить її вирішення майже не можливою. Альтернативним способом підвищення рівня синхронізації пересадок є розширення діапазону прибування ТЗ у ЗП. На рис. 2.17 представлена ілюстрація впливу сервісного часу на час очікування пасажирами відправлення при впровадженні синхронізації пересадок.



a – без сервісного простоя; *б* – з сервісним простоем

Рисунок 2.17. Графічне представлення впливу сервісного часу простою ТЗ на час очікування пасажирами відправлення

При відсутності сервісного простою в разі запізненні прибуття ТЗ (рис. 2.17а) спостерігається ситуація при якій всі пасажирів, що прибули до ЗП, будуть очікувати наступний рейс. У такому випадку середній фактичний час очікування пасажирами значно збільшиться та може доходити до зони верхньої межі – величини інтервалу (для наведеного прикладу – 9 хв). Способом усунення такої ситуації є збільшення тривалості перебування ТЗ в ТПВ через впровадження сервісного простою. При впровадженні сервісного простою ТЗ (рис. 2.17б) за умов його відповідності значенню запізнення час очікування пасажирами може бути повністю ліквідований.

Розглянуті ситуації не враховують час, який витрачається пасажирами, що слідує через ТПВ без здійснення пересадочних операцій. Впровадження сервісного простою призведе до збільшення часу їх поїздки та має негативні наслідки на сприйняття ними якості транспортного обслуговування. Збільшення часу простою ТЗ в проміжних ЗП також призводить до зниження провізної можливості маршрутів та збільшенню рівня завантаження ЗП. Завантаження ЗП безпосередньо впливає на рівень резерву їх пропускнуої спроможності та кількість конфліктних ситуацій, які є джерелом зниження безпеки руху, виникнення черги ТЗ та збільшення екологічних викидів. Тому прийняття рішення про впровадження сервісного простою та встановлення його раціонального значення повинне бути обґрунтоване відповідними розрахунками, які повинні враховувати всі типи переміщень пасажирів через ТПВ та умови забезпечення функціональної сталості ЗП.

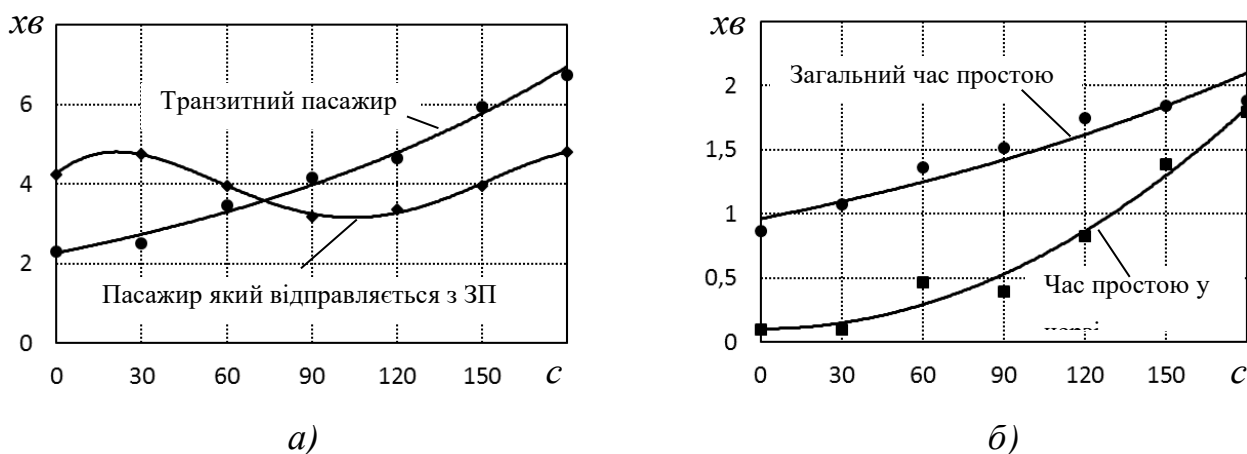
Для встановлення загальних тенденцій та закономірностей впливу сервісного простою ТЗ в ЗП на показники ефективності ТПВ проведені відповідні цикли аналітичних розрахунків. Прототипом для проведення аналітичних досліджень було обрано ЗП «вул. Валентинівська» (50.012744, 36.340177) який входить до ТПВ «вул. Гв. Широнінців – вул. Валентинівська». Розрахунковий період прийнято з 7³⁰ до 8⁰⁰. Через даний ТПВ проходять 4 тролейбусні та 9 автобусних маршрутів. На основі натурних спостережень встановлені базові характеристики вхідного маршрутного потоку та визначені обсяги відправлень пасажирів з ЗП. За допомогою натурних методів обстеження розкладу руху на маршрутах встановлені фактичні моменти прибуття ТЗ по всім ЗП ТПВ (табл. 2.4.).

Таблиця 2.4

Моменти прибуття ТЗ в ТПВ «вул. Гв. Широнинців – вул. Валентинівська»

Маршрут	ЗП «вул. Валентинівська»	
	Прямий напрямок	Зворотній напрямок
Тл 31	7:03, 7:24, 7:45	7:06, 7:29, 7:54
Тл 35	7:06, 7:17, 7:32, 7:41, 7:54	7:02, 7:19, 7:29, 7:42, 7:59
Тл 42	–	7:05, 7:19, 7:33, 7:45, 7:57
А 107е	7:08, 7:26, 7:41, 7:56	7:08, 7:22, 7:38, 7:57
А 152е	7:10, 7:28, 7:51	7:04, 7:25, 7:46
А 206е	7:07, 7:20, 7:31, 7:42, 7:55	7:05, 7:15, 7:27, 7:39, 7:51
А 259е	7:03, 7:26, 7:55	7:03, 7:28, 7:57
А 263е	7:06, 7:20, 7:37, 7:52, 7:59	7:07, 7:20, 7:34, 7:49
А 268е	–	7:03, 7:18, 7:34, 7:50
А 294е	7:05, 7:25, 7:46	7:03, 7:28, 7:48
Маршрут	ЗП «вул. Гв. Широнинців»	
	Прямий напрямок	Зворотній напрямок
Тл 34	7:00, 7:02, 7:05, 7:11, 7:17, 7:21, 7:25, 7:29, 7:32, 7:38, 7:44, 7:49, 7:52, 7:59	7:02:04, 7:05:28, 7:09:01, 7:13:44, 7:17:27, 7:21:34, 7:25:31, 7:29:08, 7:33:56, 7:36:50, 7:41:04, 7:45:18, 7:50:24, 7:55:44
Тл 42	7:05, 7:17, 7:33, 7:49	–
А 52е	7:02, 7:05, 7:12, 7:16, 7:23, 7:27, 7:34, 7:38, 7:46, 7:50, 7:58	7:03, 7:08, 7:15, 7:20, 7:26, 7:33, 7:39, 7:44, 7:48, 7:53, 7:57
А 268е	–	7:03, 7:20, 7:34, 7:49
А 272е	7:10, 7:36	7:30, 7:57

Аналіз моментів часу прибуття ТЗ на маршрутах з регулярним рухом дозволив встановити загальну тенденцію щодо зміни часу відхилення. Діапазон запізнення для тролейбусних маршрутів знаходиться в межах 2-5 хв. Для варіантів реалізації поїздок встановлені обсяги відправлення пасажирів з ЗП «вул. Гв. Широнинців – вул. Валентинівська» у відповідні моменти часу та за період в цілому. Встановлено, що основним джерелом формування пересадочних поїздок в ЗП є тролейбусний маршрут Тл 34. На основі аналітичних розрахунків реалізованих в Microsoft Office Excel отримані значення часових показників тривалості перебування пасажирів в ЗП. На їх основі побудовані характеристичні графіки зміни часових параметрів перебування пасажирів та ТЗ в ЗП, в залежності від середньої тривалості сервісного простою (рис. 2.18).



a – час перебування пасажирів в ЗП; *б* – час перебування ТЗ у ЗП

Рисунок 2.18. Зміна часових параметрів обслуговування в ЗП «вул. Гв. Широнінців – вул. Валентинівська»

Аналізуючи отримані графіки можна виділити наступні загальні тенденції впливу часу сервісного простою часу на складові ефективності ТПВ. При тривалості сервісного простою ТЗ в межах до 30 с відбувається збільшення середнього часу пересадки транзитних пасажирів (з 4,3 хв до 4,8 хв). Така ситуація пояснюється тим, що такий період не дає можливість реалізувати синхронізацію пересадок, а навпаки збільшує час перебування пасажирів в ТЗ, що простоюють в ЗП. Подальше збільшення часу сервісного простою з 30 с до 110 с дозволяє синхронізувати пересадку пасажирів, що забезпечує скорочення часу їх перебування в ТПВ до 3,5 хв. Впровадження сервісного простою понад 110 с призводить до зростання часу пересадки за рахунок збільшення непродуктивного простою ТЗ. Час, що витрачається транзитними пасажирами які проїжджають ЗП без пересадки збільшується пропорційно часу сервісного простою. Виходячи з наведеного аналізу графіків представлених на рис. 2.18а можна зробити висновок про можливість впровадження сервісного простою в межах від 30 до 110 с. Для прийняття остаточного рішення необхідно встановити значення сервісних показників ефективності, що повинні враховувати обсяг та структуру пасажиропотоків, які формуються в ТПВ.

Впровадження часу сервісного простою ТЗ призводить до підвищення рівня завантаження ЗП, що знижує резерв його пропускнуї спроможності та призводить до збільшення конфліктних ситуацій. На основі аналізу графіків представлених на рис. 2.18б можна встановити,

що час простою ТЗ в черзі змінюється за експоненціальною залежністю. При тривалості сервісного простою 90 с середній час простою ТЗ в черзі складає 0,4 хв, а при збільшенні до 180 с – 1,8 хв. Така закономірність пояснюється переходом суб'єктів взаємодії межі ресурсного забезпечення функціональної стабілізації ЗП.

2.7 Висновки за розділом 2

Базовим функціональним елементом ТПВ є зупинні пункти в межах, яких реалізується сукупність технологічних операцій характер протікання яких визначає поточний стан суб'єктів маршрутного потоку та описує у часі хронологічною послідовністю їх зміни. Складовим елементом параметризації взаємодії суб'єктів маршрутного потоку є кількісні та часові показники формування накопиченого в ЗП попиту, оцінку якого можна реалізувати за допомогою розробленої моделі міжмаршрутного розподілу пасажиропотоку. До складу моделі визначення часових параметрів взаємодії суб'єктів маршрутного потоку включається додатковий сервісний та непродуктивний простій ТЗ у черзі, що ґрунтується на необхідності обліку фактичної тривалості їх перебування в ЗП з позиції оцінки впливу на складові показники функціональної сталості ТПВ. Важливою складовою організації технологічної взаємодії суб'єктів маршрутного потоку є встановлення фактичного часу прибуття ТЗ, на який поруч з плановим розкладом руху оказує суттєвий вплив флуктаційні процеси, що формуються на ділянках ВДМ перед ТПВ. Наявність характерного міжрівневого впливу в структурі представлення взаємодії суб'єктів вхідного маршрутного потоку дало підґрунтя для виділення структури критерія ефективності у вигляді головної складової яка відтворює рівень функціональної сталості ЗП ТПВ та системи обмежень яка забезпечує облік її погодження з ресурсними вимогами маршрутів, ВДМ та забезпечення зниження негативного впливу на МС. Скорочення часу міжмаршрутної пересадки пасажирів досягається синхронізацією періодів перебування ТЗ у ТПВ за рахунок встановлення додаткового сервісного простою, доцільність якого визначається умовами погодження часових параметрів утворення обсягів відправлення пасажирів у ЗП, планового часу відправлення ТЗ та рівня флуктуації їх прибуття.

3 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНИХ ВУЗЛАХ

3.1 Загальні вимоги до управління стабілізацією процесів взаємодії в ТПВ

Відповідно до методологічних рівнів дослідження МПТ, головним критерієм оцінки результативності управління ОІ є узгодження сервісно-ресурсних параметрів взаємодії суб'єктів вхідного потоку з умовами забезпечення їх ефективності яка вимірюється рівнем запасу функціональної сталості ЗП. Однак у міру того, що вирішення такої задачі обумовлене значною багатоаспектністю, характеризується складними структурними зв'язками, має широку варіативність реалізації, а її можливі результати виходять за межі внутрішнього середовища стає потреба розробки сукупності локальних керуючих дій та алгоритмів формування управлінських рішень. Такі рішення за своїми логіко-характеристичними ознаками повинні бути зорієнтовані на забезпеченні поетапного досягнення глобальної мети МПТ.

При оцінці ефективності управлінських рішень з впровадження у ТПВ сукупності технологічних керуючих дій враховуються певні локальні критерії, що характеризуються показниками відображення головної міри бажаного результату та виступають основою для визначення раціонального варіанта їх реалізації. Використання групи локальних критеріїв для оцінювання ефективності технологічних рішень дозволяють забезпечити наступні переваги:

- скорочення варіативності простору можливих рішень за рахунок аналізу безпосередніх чинників внутрішнього впливу на параметричні області сервісно-ресурсної сталості ЗП ТПВ та усунення непридатних альтернатив;

- дозволяє сформувати логічну структуру алгоритму пошуку керуючих дій на основі оцінки стану суб'єктів маршрутного потоку;

- забезпечує можливість проведення причинно-наслідкового аналізу формування ризиків зниження ефективності ТПВ та виділення на їх основі комплексу керуючих дій спрямованих на усунення джерел їх виникнення;

- підвищує точність та знижує трудомісткість проведення експериментальних досліджень.

З позиції забезпечення раціональності опису технологічних процесів взаємодії суб'єктів маршрутного потоку, до локальних критеріїв оцінювання ефективності технологічних рішень в ТПВ висувуються наступні вимоги:

- використання доступної інформації, що може бути отримана за результатами модельних та експериментальних досліджень;
- здатність знаходити оптимальне рішення в найкоротший термін;
- оперативність встановлення раціональних показників сукупності керуючих дій;
- можливість чіткої реалізації керуючих дій у межах наявних ресурсних можливостей ЗП;
- цільова погодженість з загальним критерієм ефективності МПТ та можливість здійснення комплексного контролю за його досягненням.

На основі проведеного технологічного аудиту та сформованих вимог до функціонування ТПВ виділені основні групи управлінських рішень забезпечення ефективною взаємодією, що передбачають розробку локальних критеріїв встановлення параметрів керуючих дій за наступними напрямками: оптимізація використання ресурсних можливостей ЗП; дублювання функцій елементів ТПВ; об'єднання ресурсів ЗП; формування ресурсної інерційності взаємодії суб'єктів маршрутного потоку в межах наявних ЗП ТПВ; розосередження суб'єктів маршрутного потоку в ЗП у часі.

Виділені вимоги та напрямки формування керуючих дій є основою для встановлення контуру функціональних зв'язків системи управління та визначення її відповідності критерію комплексності.

Аналіз системності, повноти та взаємопов'язаності ризиків дестабілізації МПТ полягає у розгляді цілої ризик-системи, єдність якої забезпечується обліком взаємозв'язків, що виникають у процесі його функціонування. Функціональні процеси, що відбуваються в об'єктах підсистем обслуговування та забезпечення МПТ та зовнішніх системах МС розглядаються як ланка яка повинна відповідати принципам самоорганізації та єдності управління. Ризики у такій системі ототожнюються з внутрішніми відхиленнями, що виводять систему з рівноваги. Розмах цього виведення визначає величину їх оцінки, а відновлення рівноваги – методи впливу. Складність формалізації системності оцінювання ризиків полягає у нечіткості представлення та наявності складної ієрархічної структури їх

міжрівневого формування та впливу. Для оцінювання ризиків дестабілізації взаємодії в ТПВ з позицій оцінювання впливу МПТ на рівні метасистеми МС доцільно застосувати нечітку продукційну модель, в основі якої лежить структурно-логічна мережа, що дозволяє описати вплив різних компонент на формування її загального результату. Побудова нечіткої продукційної мережі передбачає визначення множини n_b чинників виникнення ризиків $U_x = \{u_i\}, i = \overline{1, n_b}$ та множини m_b показників ризиків $O_x = \{o_i\}, i = \overline{1, m_b}$. Виділені множини входять до відповідних методологічних рівнів представлення МПТ та характеризують його ризик-систему в межах метасистеми МС. Якісне оцінювання рівня параметрів ризик-системи проводиться за допомогою лінгвістичних змінних, що можуть бути представлені у вигляді базових терм-множин. Для чинників ризику терми представлені трьома варіантами: низька відповідність, часткова відповідність та повна відповідність. Виділення чинників ризиків проводиться на основі аналізу структури внутрішніх та зовнішніх зв'язків МПТ в межах метасистеми МС.

В умовах багаторівневого представлення ризик-системи необхідно описати переходи від чинників ризику одного рівня до іншого. Зв'язок реалізується на основі принципів MISO-структури (багато входів – один вихід) та представляє собою каскадне поєднання нечітких продукційних правил, що описують відображення вхідних чинників на показник ризику. Природно, що формування нечіткої продукції, в першу чергу, включає в себе опис її компонентів, тобто передумов (o_i) та висновку (u_i), комбінація яких визначає нечітку продукцію. Перелік чинників що впливають на формування ризиків сталості МПТ для виділених методологічних рівнів представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.
Чинники ризиків сталості МПТ

Позначення	Найменування лінгвістичної змінної
1 рівень – Об’єкти інфраструктури МПТ	
u_{11}	Перевищення часу перебування в ЗП вимогам пасажирів
u_{12}	Перевищення допустимої кількості ТЗ у ЗП
u_{13}	Тривалий простій ТЗ у ЗП
u_{14}	Ускладнення умов виконання операцій маневрування ТЗ
u_{15}	Переповнення ЗП
u_{16}	Одночасне прибуття ТЗ у ЗП
2 рівень – Маршрутна мережа МПТ	
u_{21}	Зниження якості транспортного обслуговування пасажирів
u_{22}	Відмова обслуговування пасажирів
u_{23}	Порушення режимів роботи ТЗ
u_{24}	Зниження провізних можливостей МПТ
u_{25}	Зниження рентабельності перевезень
u_{26}	Перевищення попиту над пропозицією
u_{27}	Використання додаткових ресурсів підприємств МПТ
u_{28}	Дискоординація взаємодії МПТ
u_{29}	Збільшення собівартості перевезень
3 рівень – Міська транспортна система	
u_{31}	Зниження пропускної спроможності ВДМ
u_{32}	Збільшення впливу транспорту на екологічне середовище
u_{33}	Зростання рівня використання індивідуального транспорту
u_{34}	Виникнення аварійних ситуацій
u_{35}	Збільшення економічного впливу транспорту
u_{36}	Необхідність будівництва нових об’єктів транспортної інфраструктури
4 рівень – Міське середовище	
u_{41}	Соціальна напруженість
u_{42}	Обмеженість використання потенціалу міського середовища
u_{43}	Дестабілізація економічного середовища
u_{44}	Непридатність міських територій для проживання
Загальний рівень	
u_{51}	Зниження якості життя населення

Сформована база продукційних правил має властивості повноти, ненадлишковості та несуперечності. Структуру багаторівневої нечіткої продукційної мережі оцінювання ризиків сталості МПТ подано на рис. 3.1.

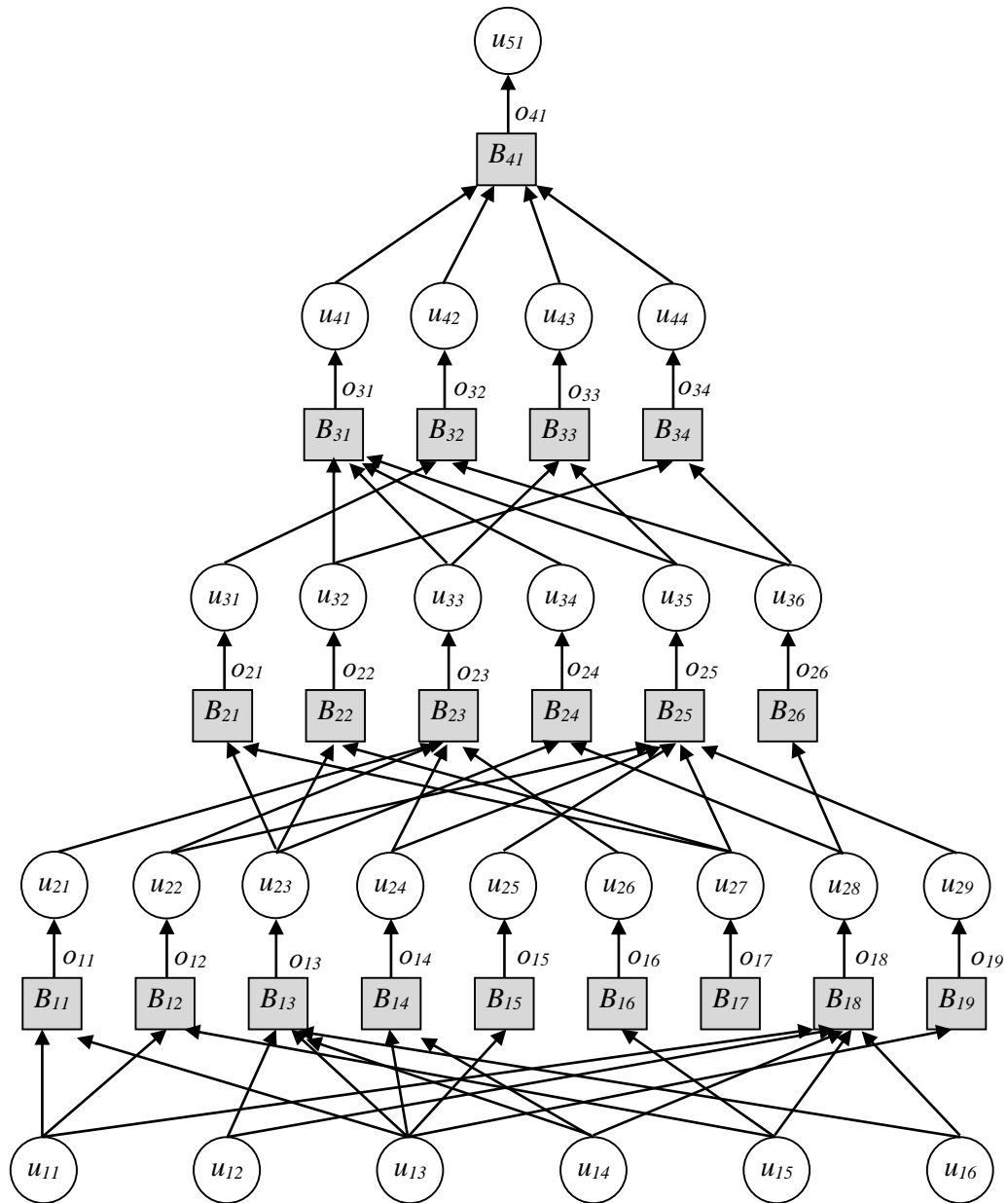


Рисунок 3.1. Багаторівнева нечітка продукційна мережа моделі оцінювання ризиків сталості МПТ

Оцінка показників ризику проводиться за допомогою чотирьох базових термів: низьке очікування ризику, середній рівень очікування ризику, високе очікування ризику та критичний рівень очікуваного ризику. Для формування оцінок та нечітких продукційних правил використовуються емпіричні форми представлення взаємозв'язків ризик-моделі. Причинно-наслідкове співвідношення між чинниками та показниками ризику задається у вигляді нечіткої множини на основі відповідних правил. Для кожного методологічного рівня розробляються свої бази правил (B_{ki}), що визначають лінгвістичний стан ризиків. Міжрівневий перехід між чинниками ризику та їх

показниками в моделі реалізуються шляхом встановлення відповідності лінгвістичних змінних

$$o_{ki} = u_{(k+1)i}, i = \overline{1, n_b}, \quad (3.1)$$

де k – методологічний рівень представлення МПТ.

Нечітка продукційна модель дозволяє забезпечити широкий спектр обліку чинників ризику, інтегрувати якісні та кількісні їх характеристики в оцінку ризику сталості МПТ. Представлена нечітка продукційна модель включає 6 базових чинників ризику першого рівня (об'єкти інфраструктури), 9 – другого (маршрутна мережа), 6 – третього (міська транспортна система) та 4 – четвертого (міське середовище). Модель реалізується на основі 20 правил, що забезпечують можливість проведення лінгвістичного аналізу ризику сталості МПТ в умовах міжрівневого оцінювання.

Виділена структура правил дозволяє оцінити ступінь пріоритету ризиків (низький, середній, високий, критичний) та визначити характер їх впливу на стан метасистеми МС. Процедура фазифікації чинників ризику сталості МПТ проводиться на основі встановлення функцій приналежності терм-множин вхідних та вихідних величин шляхом проведення експериментальних досліджень в області формування їх критичності відносно параметрів внутрішнього та вищого рівнів. Представлена нечітка продукційна модель оцінювання ризиків сталості МПТ базується на реалізації процедури виділення правил міжрівневого переходу станів. Необхідною умовою реалізації такої процедури є виділення функцій приналежності нечітких множин, що характеризують внутрішньорівневі чинники ризиків. Виділені терми їх оцінювання мають трьохрівневу шкалу оцінки, яка потребує виділення меж розподілу їх приналежності. Задача встановлення меж приналежності нечітких множин полягає у виділенні виду та характеру функції параметризації її ключових точок переходу. У загальному вигляді для запропонованої форми представлення термів можливо застосувати кусково-лінійну функцію приналежності. Чинником, що визначає ступінь належності елемента до відповідного терму, є рівень резервів ресурсних можливостей.

Задача управління ризиками є однією зі складових частин розробки концепції сталості МПТ. Реалізація технологічних процесів з транспортного обслуговування населення МПТ характеризується високою нестабільністю та динамічністю зміни функціональних

середовищ, що в поєднанні зі складністю та розмірністю контрольних параметрів оцінювання призводять до того, що формування сукупності керуючих дій відбувається в умовах значної невизначеності. Необхідність впровадження моделей управління ризиками в технологічні процеси обумовлюється значною розмірністю та складністю представлення МПТ в структурі МС. Технологія управління ризиками в складних неоднорідних системах – це послідовність процедур та операцій, що призводять до досягнення поставленої стратегічної мети, яка полягає у мінімізації ймовірності їх виникнення до допустимого або нульового рівня. Існує зв'язок між ризиком та ефективністю процесу, що представляє собою відповідні кореляційні моделі, що через структурну складність представлення об'єкту дослідження не можуть бути формалізовані в явному виді, а описуються за допомогою узагальнених форм.

Під ризиком сталості МПТ, слід розуміти можливі несприятливі події, що відбуваються в межах технологічних середовищ та призводять до критичного зниження його сервісно-ресурсних параметрів функціонування (вихід з простору сталості). Дестабілізуючі ситуації є результатом прояву певної сукупності чинників ризику, що породжуються тими чи іншими умовами їх формування та джерелами виникнення. Серед основних базових характеристик ризику також слід виділити їх наслідки та ступінь впливу на стан середовищ.

Основна мета управління ризиками сталості МПТ – це зниження ймовірності настання несприятливих подій та їх негативного впливу. Процес управління ризиками сталості МПТ передбачає реалізацію наступних етапів:

- визначення складу та структури зв'язків чинників ризиків;
- ідентифікація джерел ризиків;
- виділення груп заходів та розробка керуючих дій з їх усунення;
- оцінка ступеню результативності впливу керуючих дій на ризики;
- розробка моделі системного управління ризиками.

Оцінка ризиків, крім скорочення можливих негативних наслідків, дає можливість обґрунтувати стратегічні напрями управління МПТ. Аналіз можливих напрямів зниження ризиків сталості МПТ включає наступні етапи: виділення причин ризику, виявлення ймовірних негативних наслідків, оцінка впливу на всі рівні представлення МПТ,

визначення можливостей щодо запобігання та компенсації негативних наслідків.

Теоретичні дослідження у сфері сталості функціональних систем та аналіз структури формування ризиків сталості МПТ дозволили виділити стратегічні напрями їх ліквідації. Механізми сталого розвитку МПТ відповідно до закону необхідної різноманітності Ешбі У.Р. за своєю потужністю повинні відповідати сумі впливів та забезпечувати єдність процедур. Даний закон виступає в якості умов формування базового правила побудови ефективної системи управління функціональною сталістю ТПВ. Адаптація цього закону до ТПВ може бути реалізовано шляхом формування базового принципу: для ефективного управління ТПВ необхідно, щоб різноманітність сукупності керуючих дій була не менше, ніж різноманітність чинників ризику їх функціональної сталості. Це означає, що для управління ТПВ структура управлінської системи повинна мати різноманітність, що дозволяє забезпечити усесторонній вплив на умови ліквідації джерел виникнення ризиків сталості. Базою для формування моделі управління ТПВ є структура комплексної моделі, яка відображає зв'язки між основними компонентами управління ризиками сталості МПТ (рис. 3.2).

Основою формування керуючих дій з сталого розвитку МПТ є концепція посилення взаємозв'язків у структурі метасистеми МС та формування єдиної цілеспрямованої системи всебічної інтенсифікації, що забезпечує підвищення його позитивного впливу на якість життя населення. Виходячи з виділених вимог можливий склад керуючих дій сталого розвитку МПТ подано на рис. 3.3.

Задача стабілізації МПТ безпосередньо виникає з проблеми формування умов сталості та може реалізовуватися за допомогою керуючих дій зі створення їх інерційності, обмеження або регулювання. Формування механізмів інерційності МПТ реалізується на основі принципу погашення імпульсних коливань за рахунок забезпечення раціонального співвідношення між амплітудою зовнішнього коливання та ресурсними можливостями. Цей механізм передбачає створення потужної ресурсної бази МПТ шляхом залучення відповідних фінансових можливостей транспортних підприємств та органів муніципальної влади.



Рисунок 3.2. Структура комплексної моделі управління ризиками сталості МПТ



Рисунок 3.3. Керуючі дії формування сталого розвитку МПТ

Створення потужної ресурсної бази передбачає підвищення пропускної спроможності елементів ВДМ, розбудову об'єктів пасажирської транспортної інфраструктури, збільшення парку рухомого складу та ін. Такий механізм в умовах обмеження фінансових можливостей організаторів та учасників транспортного процесу є мало реальним для практичного впровадження, потребує пошуку інших доступних рішень, у тому числі, за рахунок стабілізації через обмеження обміну зі зовнішнім середовищем.

Керуючі дії зі збереження типу функціонування, спрямовані на підтримку нормального порядку протікання процесів. Дублювання елементів є механізмом забезпечення надійності функціонування МПТ та реалізується шляхом створення резервів відповідних ресурсів. Важливим є встановлення балансу дублювання елементів, як складового чинника забезпечення надійності МПТ. Заміна елементів МПТ, яка відображає властивості еластичності, передбачає таку процедуру зі складниками, що стають неефективними під дією впливів. Серед таких форм можна виділити наступне: заміна виду транспорту, транспортного засобу, траси маршруту та ін. Важливим за своїм практичним значенням є механізм розосередження, що

передбачає взаємну адаптацію використання ресурсів через їх ефективний розподіл у часі та територією. В умовах ТПВ така форма реалізується через формування єдиного розкладу руху, погодження технічних та технологічних умов взаємодії всіх видів транспорту, виділення пріоритетів обслуговування та ін. Збереження структури спрямоване на забезпечення сталості МПТ шляхом формування умов інваріантного стану реалізації процесів. При значних рівнях впливів, структура МПТ може бути принесена в якості жертви для забезпечення її функціонування шляхом заміни окремих складових внутрішніми або зовнішніми елементами. В умовах МПТ таким прикладом є перехід до використання індивідуальних автомобілів, перетік пасажиропотоку на інші види транспорту, переорієнтація маркетингових потреб пасажирів та ін. Однак ці перетворення призводять зниження ефективності міської транспортної системи та сталості МПТ. Збереження структури МПТ є необхідною умовою створення передумов сталого розвитку та реалізується шляхом формування резервів, тимчасовим включенням програм їх використання, адаптацією до нових умов функціонування, реорганізацією зовнішнього середовища та впровадженням принципів синергетичного підходу.

3.2 Адаптаційний цикл управління ТПВ

Методологічними засадами управління технологічним процесом функціонування ТПВ є багаторівнева нечітка продукційна модель оцінювання ризиків сталості МПТ, контур адаптаційного циклу оптимізаційно-конструктивних заходів, аналітичний опис оцінювання переходу функціонального стану ЗП ТПВ та моделі прийняття локальних рішень. Метою управління є зниження часу перебування пасажирів у ТПВ за умов одночасного забезпечення стабілізації стану ЗП у межах безконфліктного рівня взаємодії суб'єктів маршрутного потоку. Основними суб'єктами взаємодії виступають ТЗ, що прибувають до ТПВ. Потік суб'єктів характеризується інтервалом прибуття та сукупністю параметрів, що визначають час перебування ТЗ в ЗП. Виходячи з розгляду МПТ, як багаторівневої функціональної системи виникає потреба розробки міжрівневої системи управління ТПВ в якій повинна бути реалізована сукупність зворотних зв'язків, що характеризують системні аспекти роботи МПТ. Така форма ґрунтується

на обліку характеристичних контурних зв'язків в межах єдиної міжрівневої системи управління ТПВ (рис. 3.4).

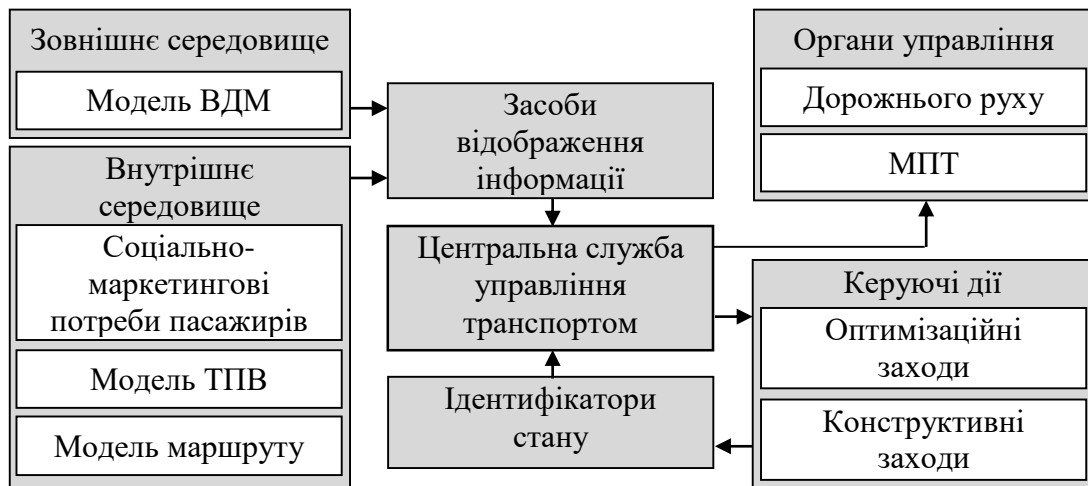


Рисунок 3.4. Структура міжрівневого управління ТПВ

Об'єктом управління виступають ЗП ТПВ, що описуються вихідною величиною (S_s) відносно конфліктності взаємодії та перебувають під дією зовнішніх збурень (G_h^u) які характеризуються флуктуацією прибуття ТЗ та тривалістю їх простою в ЗП. В якості керуючих впливів на об'єкт управління виступає сукупність дій (Z_e^i), що реалізуються в межах ЗП, маршрутної мережі та ВДМ. У ході реалізації необхідно забезпечити такий тип управління ЗП ТПВ, при якому досягається стабілізація вихідного стану (S_s) в межах допустимого рівня (S_s^v). У разі ефективного управління буде забезпечена відповідність $S_s \geq S_s^v$ при цьому міра невизначеності $H(S_s) = 0$. Завдання системи управління – шляхом зменшення різноманітності станів ЗП ТПВ забезпечити стабілізацію їх сервісно-ресурсних параметрів у межах просторів функціональної сталості. Міра невизначеності переходів станів визначається величиною інформації у величині Z_e^i про величину S_s

$$I(S_s, Z_e^i) = H(S_s) - H(S_s / Z_e^i). \quad (3.2)$$

У межах адаптаційного циклу, що має своєю метою знаходження рівноважного стану величини S_s реалізується сукупність оптимізаційних (Z_e^o) та конструктивних (Z_e^c) рішень. Послідовність адаптації управлінських рішень передбачає на першому кроці реалізацію сукупності оптимізаційних заходів: розподіл маршрутів між ЗП (Z_e^{ol}),

встановлення раціонального рівня резервів ЗП (Z_e^{o2}), слот-координація розкладу руху ТЗ (Z_e^{o3}), оперативний перерозподіл маршрутів між ЗП (Z_e^{o4}). Однак існує бар'єр ефективності таких рішень (U_h^b), що не може бути подоланий без реалізації рішень, пов'язаних зі зміною конструкції ЗП ТПВ (Z_e^{c1}) та умов руху ТЗ МПТ на елементах ВДМ (Z_e^{c2}). Послідовність реалізації оптимізаційно-конструкторських рішень визначає адаптаційний цикл управління ТПВ (рис. 3.5).

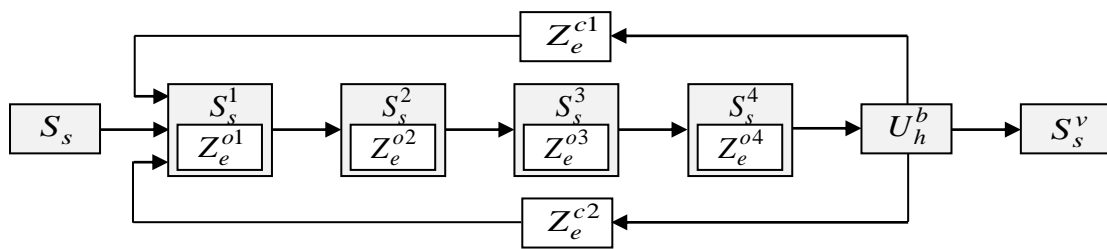


Рисунок 3.5. Елементи адаптаційного циклу управління ТПВ

Встановлення достатності управлінських рішень проводиться на основі оцінювання зміни стану ЗП ТПВ, яка у загальному виді описується рівнянням переходу

$$S_s[k_z + 1] = \Phi(S_s, Z_e^i, G_h^u, t) \cdot S_s[k_z] + B_h^z(t) \cdot Z_e[k_z] + B_h^G(t) \cdot G_h^u[k_z], \quad (3.3)$$

де $\Phi(S_s, Z_e^i, G_h^u, t)$ – функція переходу яка враховує зміну стану ЗП;

$S_s[k_z]$ – вектор початкового стану ЗП;

$B_h^z(t)$ – векторні перетворення керуючих дій;

$Z_e[k_z]$ – керуючі дії;

$B_h^G(t)$ – векторні перетворення збурень;

$G_h^u[k_z]$ – збурення.

Оцінка ефективності управлінських дій реалізується на основі визначення можливості переходу стану ЗП ТПВ до простору функціональної сталості в межах при яких забезпечується відповідний рівень якості транспортного обслуговування пасажирів та зниження конфліктних ситуацій.

3.3 Базові методи управління технологічними процесами в ТПВ

Процедура узгодження взаємодії суб'єктів вхідного маршрутного потоку в ТПВ у значній мірі визначається параметрами та структурою їх об'єднання на вході у ЗП. Рациональна структура об'єднання вхідних потоків у ЗП ТПВ передбачає пошук такого варіанта закріплення маршрутів, при якому забезпечується досягнення базових умов підвищення їх сервісно-ресурсної ефективності. Розподіл маршрутів між ЗП передбачає пошук рационального групування вимог на обслуговування суб'єктів між ЗП ТПВ за попередньо встановленим закріпленням, яке визначається умовами доцільності впровадження відповідної розподільчої комбінації. За існуючими правилами перетворення потоків у системі масового обслуговування при їх об'єднанні або розподілі утворюється новий потік, в якому зберігаються всі параметри сукупності вхідних потоків. За виділених умов, загальне замовлення на обслуговування суб'єктів у ЗП ТПВ визначається сукупністю маршрутів, що в залежності від розподілу маршрутів між ЗП формують відповідне значення сумарного потоку в кожному ЗП. Процес переміщення та розподілу ТЗ між ЗП ТПВ можливо представити у вигляді орієнтованого графа (рис. 3.6).

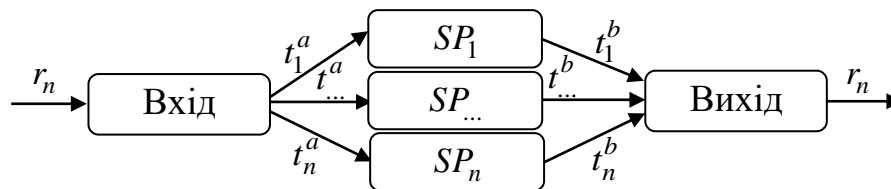


Рисунок 3.6. Граф проходження ТЗ через ТПВ

В якості вершин графа виступають ЗП, вхідні та вихідні межі ТПВ. Вершини сполучають ребра t_i^a що відображають операції з подачі ТЗ у ЗП та ребра t_i^b , що відображають операції пов'язані з простоем ТЗ у ЗП та виїздом з ТПВ. Тривалість перебування ТЗ у ТПВ визначається сумарною довжиною обраного шляху проходження, що описується у вигляді її умовної вартості

$$C_{SP_n(r_n)_i} = t_i^a + t_i^b. \quad (3.4)$$

За такої форми представлення переміщення ТЗ через ТПВ, процедура розподілу зводиться до пошуку розподільчої комбінації закріплення маршрутів за ЗП, при якій буде забезпечена мінімальна вартість шляху проходження. Основою формування такого розподілу є принцип рівноваги, що реалізується на формах самоорганізації складних систем та передбачає вибір раціонального варіанта проходження ТПВ шляхом оцінювання можливих альтернатив кожним окремим суб'єктом потоку замовлень. Процедура самоорганізації передбачає упорядкування обслуговування суб'єктів вхідного маршрутного потоку у ТПВ за рахунок внутрішніх чинників без спеціального зовнішнього впливу шляхом вільного вибору рішення. В основі алгоритму розподілу суб'єктів за ЗП на основі принципу самоорганізації лежить припущення про те, що кожен водій ТЗ має вільний вибір шляху проходження ТПВ та прагне мінімізувати його умовну вартість. Рівноважний розподіл за ЗП визначається на основі вирішення оптимізаційної задачі

$$\sum_{i=1}^{SP_n} \int_0^t C_{SP(r)i}(\tau) d\tau \rightarrow \min. \quad (3.5)$$

Рівноважний розподіл без обліку вимог щодо попереднього закріплення маршрутів за ЗП не може бути використаний в якості однозначного критерію вибору шляху проходження. Задача розподілу маршрутів може бути вирішена за допомогою створення алгоритму в якому поєднуються принципи рівноваги та обліку інформативних ознак маршрутів. В основу такого алгоритму покладений метод Франка-Вульфа, що відноситься до категорії градієнтних методів та передбачає процедуру пошуку оптимального плану через перебір сукупності рішень. Модифікація цього методу для вирішення поставленої задачі полягає у впровадженні процедури ранжування маршрутів відносно їх ресурсної критичності. За такої постановки задача пошуку раціонального розподілу може бути зведена до визначення для кожного маршруту оптимального набору керуючих впливів $\overline{C}_{c_r}(t)$, що визначають реалізацію процедури вибору відповідного шляху проходження ТПВ

$$\overline{C}_{c_r}(t) = (C_{c_{r_1}}^{SP}(t), \dots, C_{c_{r_n}}^{SP}(t)), \quad (3.6)$$

де $Cc_{\bar{n}}^{SP}(t)$ – керуючий вплив щодо вибору ЗП.

Процедура опорного розподілу маршрутів є складовою частиною загального алгоритму та шляхом оцінювання рівня виникнення непродуктивних простоїв ТЗ передбачає реалізацію покрокового відбору сукупності маршрутів для кожного ЗП. Базовим параметром, що визначає ступінь критичності по відношенню до рівня виникнення черги в ТПВ є резервні можливості пропускнуї спроможності ЗП. Пошук раціонального розподілення маршрутів передбачає формування сукупності комбінаторних конфігурацій опорного розподілу $SOM = \{Ccm_i\}, i = (\overline{1, c})$. При формуванні комбінаторних конфігурацій опорного розподілу необхідно врахувати умови відповідності рівню резервних можливостей окремих ЗП. Послідовність формування опорної комбінаторної конфігурації розподілу реалізується на основі виділення рангу пріоритетів маршрутів. Ранжування маршрутів проводиться в зворотному порядку (від максимального до мінімального значення) на основі оцінювання критичності резервів провізних можливостей маршрутів. У результаті ранжування отримується базовий кортеж рангу маршрутів $\langle r_1^1, r_2^1, r_3^1, \dots, r_n^1 \rangle$ що відображає загальну пріоритетність обслуговування маршрутів. З базового кортежу за ЗП розподіляються перші N_{s1r} маршрутів загальною кількістю N_{SP} . Далі для відповідних моментів часу τ фіксуються операції обслуговування розподілених маршрутів, що виступають в якості зафіксованих шляхів переміщення. Процедура повторюється за циклічним характером за умов використання в якості фіксованих параметрів для оцінювання рівня завантаження шляху проходження ТПВ часу обслуговування ТЗ розподілених маршрутів. На кожній наступній ітерації з сукупності нерозподілених маршрутів формується їх ранжований кортеж відповідного рівня, що є базовим для оцінювання прийняття можливих рішень з розподілу маршрутів які залишились не закріпленими. Закріплення кожної наступної групи маршрутів відбувається на основі оцінювання рангу очікуваних станів ЗП з урахуванням закріплення попередніх груп маршрутів. Критерій ранжування ЗП відображає рівень їх ресурсних резервів, що залишились після попереднього циклу розподілу

$$R_{SP}^m(t) = \sum_{i=1}^t \tau_i - \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{SP} \tau_{o_{ij}}^P, \quad (3.7)$$

де τ_o^p – планований момент часу обслуговування ТЗ.

На основі ранжування залишкових резервних можливостей ЗП створюється їх кортеж відповідного рівня. Розподіл перших маршрутів кортежу наступного рівня відбувається за умовою закріплення їх за першими ЗП кортежу другого рівня. Після розподілу маршрутів цикл повторюється з урахуванням використаних ресурсів ЗП на попередніх рівнях розподілу. На кожному кроці комбінаторна комбінація перевіряється на рівень відповідності рівномірності розподілу.

Формування резервів пропускної спроможності ЗП ТПВ, спрямоване на створення відповідних умов компенсації збурень їх роботи, викликаних відхиленням часу прибуття, зміною пасажирообміну та неузгодженістю періодів простою ТЗ. Основним елементом управління рівнем резерву пропускної спроможності ЗП є сервісний час (t_r^{ad}), що входить до змінної частини тривалості перебування ТЗ в ТПВ.

Управління ТПВ встановленням раціональної тривалості сервісного простою ТЗ реалізується на основі регулювання через зворотній зв'язок. Механізми регулювання через зворотній зв'язок показали свою ефективність та набули поширення в теорії та практиці управління складними системами. Адаптація такого підходу до умов стабілізації взаємодії суб'єктів маршрутного потоку в ЗП ТПВ передбачає виконання процедури узгодження часу сервісного простою ТЗ на основі оцінювання зворотного негативного або позитивного зв'язку. Принцип негативного зворотного зв'язку, оснований на формуванні відповіді-реакції на керуючий вплив, яка спрямована на ліквідацію або зменшення чинників виникнення негативних наслідків. Позитивний зворотній зв'язок передбачає в якості реакції-відповіді збільшення тривалості сервісного часу. Процедура має циклічний характер та триває до встановлення рівноважного стану між позитивним та негативним зворотнім зв'язком. На рис. 3.7 представлена процедура визначення часу сервісного простою ТЗ.

Інформацією для реалізації процедури встановлення раціонального рівня резервування пропускної спроможності ЗП виступають параметри вхідного маршрутного потоку, що визначають мінімальний час перебування ТЗ в ТПВ. У залежності від інтенсивності та часу простою ТЗ встановлюється допустимий діапазон сервісного простою.

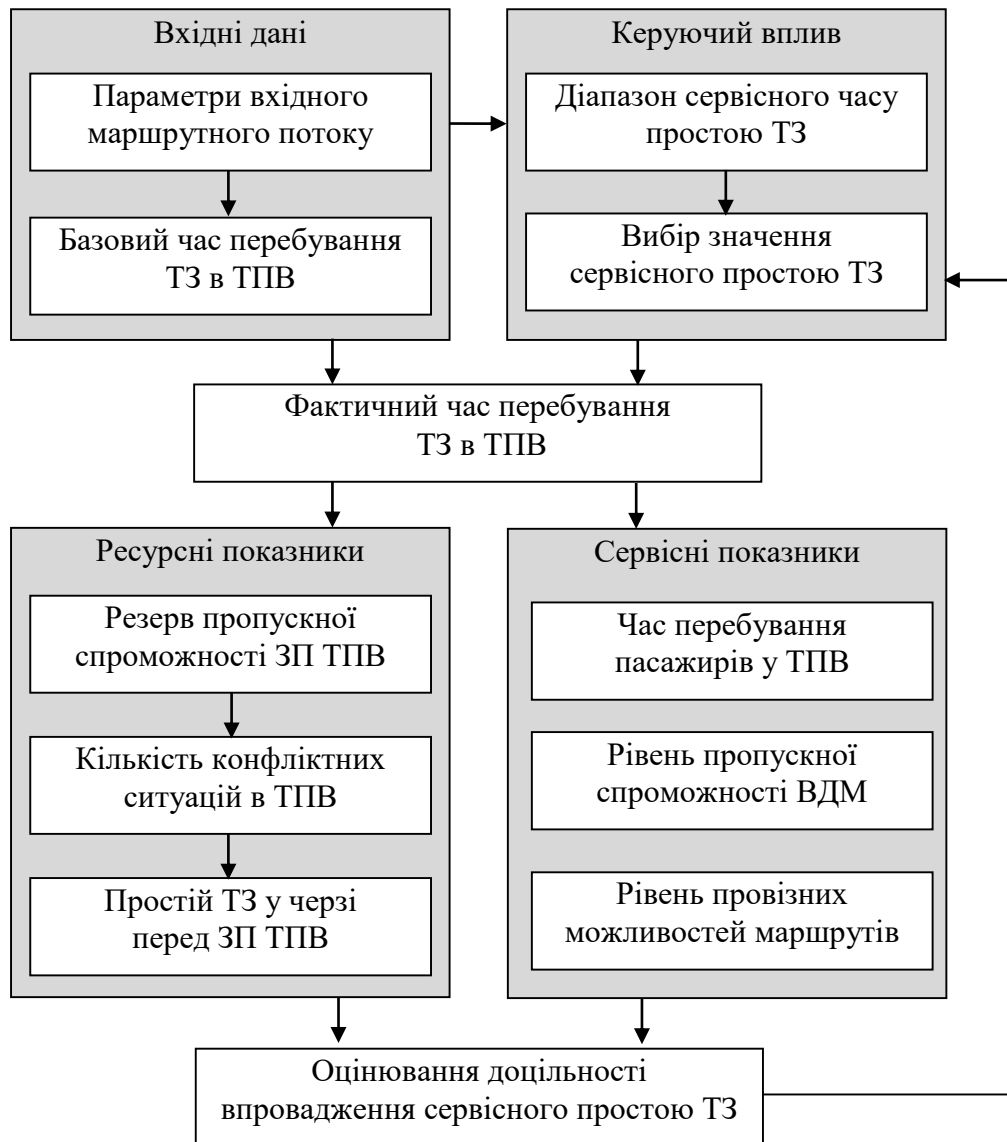


Рисунок 3.7. Послідовність визначення тривалості сервісного простою ТЗ

У подальшому з допустимого діапазону обирається значення сервісного часу простою ТЗ який додається до базового часу перебування ТЗ в ТПВ та визначаються сервісно-ресурсні показники функціонування ТПВ. Процедура має циклічний порядок. В якості контролю завершеності циклу виступає перевірка вимог до одержання на кожному кроці зниження часу перебування пасажирів у ТПВ та дотримання умов безконфліктності руху. При виконанні виділених вимог відбувається завершення процедури визначення доцільної тривалості сервісного часу простою ТЗ та встановлення рівня резерву пропускної спроможності ЗП.

Слот-координація має своєю метою розподіл у часі моментів прибуття та періодів обслуговування ТЗ. Слот-координація розкладу руху передбачає формування такого впливу на підсистеми МПТ при якому досягається погодженість взаємодії у ТПВ відносно поставленої мети – забезпечення стабілізації функціонування ЗП. В умовах багаторівневого представлення МПТ, процедуру слот-координації необхідно розглядати, як системну задачу, що вимагає обліку відповідного обсягу структурованого інформаційного забезпечення та вирішується в межах єдиного координаційного центру. Єдність централізму та автономності функціонування маршрутної мережі МПТ досягається шляхом встановлення відповідних принципів слот-координації, в основі яких лежить оцінка характеристичного взаємозв'язку між окремими суб'єктами маршрутного потоку та визначенню відповідних локальних відносин між ними при реалізації загальної виробничої програми. Структура слот-координації руху представлена на рис. 3.8.

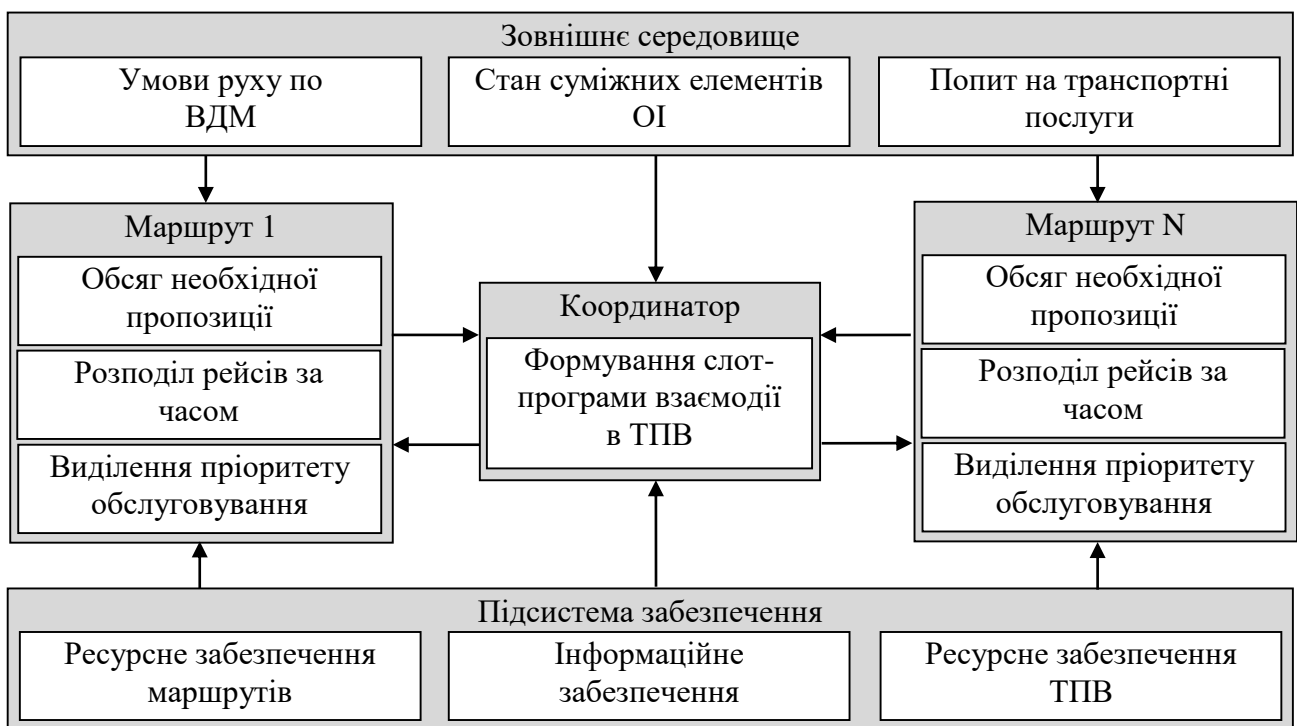


Рисунок 3.8. Структура слот-координації руху ТЗ через ТПВ

Основними принципами слот-координації є:

- принцип доміанти (ранжування маршрутів);
- принцип гальмування (процедура зниження пріоритету);
- принцип субординації (виділення зони автономності);

- принцип загального кінцевого шляху (передбачає оцінку ефективності координації на основі загального критерію);
- принцип зворотного зв'язку (передбачає облік відповідності умов соціально-маркетинговим вимогам споживачів послуг).

Процедура визначення розкладу руху ТЗ через ЗП ТПВ відноситься до задач цілочисленного програмування, складність яких зростає експоненційно зі зростанням кількості можливих значень змінних величин. Такі задачі відносяться до класу NP – складних задач. Незважаючи на наявність широкого спектру методів цілочисленного програмування (метод повного перебору, метод гілок і меж, метод розкраски графів та ін.), вказані складності перешкоджають автоматизації процедури складення слот-розкладу руху для ЗП ТПВ та обумовлюють використання методів штучного інтелекту.

У процесі руху ТЗ по маршруту можуть відбуватися дестабілізуючі події, що призводять до значних відхилень їх прибуття до ТПВ. За таких умов усунення конфліктності взаємодії може бути реалізоване впровадженням оперативних дій щодо перенаправлення ТЗ до інших ЗП. Цей метод управління спрямований на дублювання функцій ЗП. Принципова схема подана на рис. 3.9.

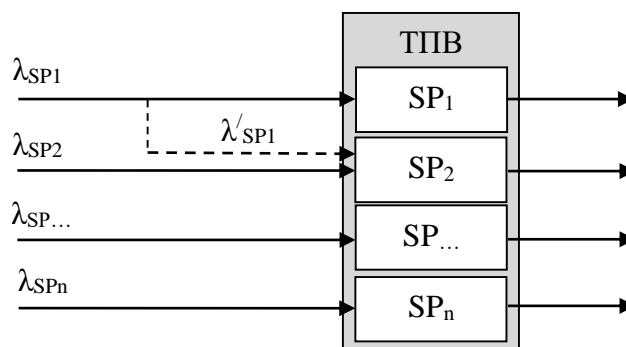


Рисунок 3.9. Принципова схема дублювання ЗП ТПВ

У ТПВ прибувають маршрути трьох типів: кінцеві, початкові та транзитні. Для маршрутів, де є лише висадка пасажирів можливе використання будь якого вільного ЗП, для маршрутів з посадкою або посадкою-висадкою використання інших ЗП є обмеженим та може бути реалізовано за умов своєчасного інформаційного повідомлення пасажирів про зміну пункту прибуття ТЗ. Загальною умовою можливості реалізації оперативного перезакріплення маршруту за ЗП є наявність вільного проміжку часу в періоді між моментом τ_{ar}^r (час

прибуття маршруту r_1) та моментом закінчення простою $\tau_{dp}^{r_1}$. Критерієм прийняття рішення є функція, що оцінює зайнятість ЗП

$$D_{SP_x-SP_y}^{pr} = \sum_{i=\tau_{ar}^{r_x}}^{\tau_{dp}^{r_x}} \tau_{o_i}^{SP_y}, \quad (3.8)$$

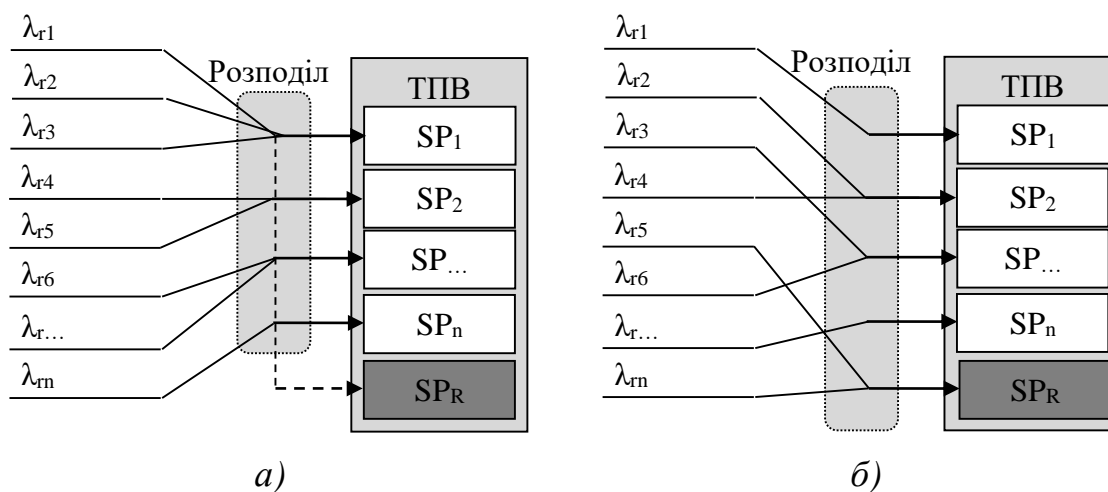
де $\tau_{o_i}^{SP_y}$ – стан операцій у момент часу τ_i в ЗП;

$\tau_{ar}^{r_x}$ – час прибуття ТЗ у ЗП;

$\tau_{dp}^{r_x}$ – час виїзду ТЗ з ЗП.

Позитивне рішення про перезакріплення маршрутів за ЗП приймається за умов того, що значення критерію буде дорівнювати 0, що свідчить про відсутність виникнення конфліктних ситуацій у відповідний період.

Ресурсна інерційність – це фундаментальна властивість динамічних об'єктів та їх елементів, що полягає у формуванні умов протидії об'єктам зовнішніх впливів, їх спробам змінити його стан та поведінку. Тобто в межах ТПВ, абсолютне збільшення пропускної спроможності ЗП, роблячи опір впливу зовнішнім чинникам, перешкоджає зміні вихідної величини стану процесів взаємодії, намагаючись зберегти її значення через внутрішнє поглинання коливань. Схеми можливих варіантів цільового використання додаткових ЗП пунктів наведені на рис. 3.10.



а – резервування ЗП; б – розподіл маршрутів

Рисунок 3.10. Варіанти використання додаткових ЗП

В умовах ТПВ така форма передбачає створення додаткових або резервних ЗП, що виконують функцію компенсатора дестабілізуючих впливів. Додаткові ЗП можуть бути використані для розподілу потоків замовлень або, в якості резервного пункту обслуговування для обслуговування маршрутів, що оперативно перенаправляються з інших ЗП які зайняті у відповідний період часу. Рішення про доцільність створення додаткових ЗП може розглядатися як стратегічна двохваріантна задача: з будівництвом нових ЗП або без будівництва. Задача встановлення доцільності будівництва додаткових ЗП може розглядатися в якості структурного етапу адаптаційного циклу управління. Позитивна оцінка стратегії будівництва нових ЗП надається у разі забезпечення переходу сервісно-ресурсних параметрів до області сталості.

Доцільність створення додаткових ЗП оцінюють, виходячи з характеру протікання процесів у ТПВ, фактичного рівня конфліктності взаємодії суб'єктів маршрутного потоку, можливості її ліквідації за допомогою оптимізаційних керуючих дій та економічної оцінки інвестування у створення додаткових ЗП. Така постановка задачі за свою суттю може розглядатися у вигляді ігрової, що дозволяє обґрунтувати можливість використання для її вирішення теорії ігор. Рішення щодо доцільності створення додаткових ЗП розглядається як вибір стратегії поведінки трьох учасників: транспортних підприємств, пасажирів та обслуговуючого оператора ТПВ.

Додаткові ресурсні можливості ЗП ТПВ забезпечують зростання їх резервів, що дозволяє скоротити час непродуктивного простою ТЗ та позитивно вплинути на збільшення провізних можливостей маршрутів. Результатом таких дій є позитивний вплив на рівень сервісної якості МПТ. Цільові інтереси оператора ТПВ мають зворотну орієнтацію – будівництво додаткових ЗП вимагає інвестицій та збільшує поточні експлуатаційні витрати. Збіг цільових інтересів транспортних підприємств та пасажирів дозволяє використовувати умовну кооперацію учасників гри об'єднуючи їх в одного представника відповідної стратегії. Задача визначення доцільності будівництва ЗП може розглядатися в якості окремого етапу визначення їх загальної кількості. Розглянемо загальну задачу визначення раціональної кількості ЗП. Всього може бути розглянуто N_{str} стратегій, а саме: стратегія 1 – в межах ТПВ існує $N_{SP}^h = 1$ ЗП, стратегія 2 – $N_{SP}^h = 2$ ЗП, N_{str} стратегія - $N_{SP}^h = N_{str}$ ЗП. Ймовірність вибору стратегії

гравцями може приймати одне значення з множини $\{0,1\}$. Гра має відкритий характер та у разі коли ймовірності вибору оператором ТПВ першої стратегії $p_{str1}^1=1$ то ймовірність вибору цієї стратегії другого гравця (кооперація транспортних підприємств і пасажирів) дорівнює $p_{str1}^2=0$.

Враховуючи те, що в ТПВ існує не менше одного ЗП виграш від впровадження першої стратегії для всіх учасників гри буде відсутній, тобто $W_{str1}^1=0$ та $W_{str2}^1=0$. Розмір виграшу першого гравця (оператора ТПВ) від реалізації кожної наступної стратегії визначається виходячи з оцінки інвестиційних витрат на будівництво та поточних експлуатаційних витрат

$$W_{str1}^{i+1} = -(D_{vb}^b + C_{vb}^e) \cdot N_{SP}^{i+1}, \quad (3.8)$$

де D_{vb}^b – амортизаційні відрахування, грн/рік.;

C_{vb}^e – змінна складова експлуатаційних витрат на утримання базової частини ТПВ, грн/рік.;

N_{SP}^{i+1} – кількість ЗП у ТПВ при стратегії $(i+1)$.

Розмір виграшу другого гравця (транспортні підприємства та пасажирів) визначається виходячи з вартісної оцінки часу непродуктивного простою ТЗ, витрат часу пасажирів на переміщення через ТПВ, рівня задоволення соціально-маркетингових потреб пасажирів

$$W_{str2}^{i+1} = D_y^w \cdot T \cdot \left(\sum_{m=1}^{N_{SP}^{i+1}} \sum_{j=1}^{N_{SP}^r} \sum_{i=1}^t \tau_{q_{mi}}^{i+1} \cdot \frac{C_{r_j}^e \cdot \Psi_t^r}{t} + \frac{C_{ph}}{t} \cdot \sum_{m=1}^{N_{SP}^{i+1}} \sum_{j=1}^{N_{SP}^r} l_u^{q_{th}} \cdot Q_{r_j}^v \cdot \Psi_t^q \cdot \frac{\sum_{i=1}^t \tau_{o_{mi}}^{i+1}}{N_{r_j}(t)} \right), \quad (3.9)$$

де $C_{r_j}^e$ – постійні витрати для моделі транспортного засобу на j -му маршруті, грн/год.;

$\tau_{q_{mi}}^{i+1}$ – момент часу в якому спостерігається черга в ТПВ при реалізації стратегії $(i+1)$;

$\tau_{o_{mi}}^{i+1}$ – момент часу в якому виконується обслуговування в ТПВ при реалізації стратегії $(i+1)$;

D_y^w – кількість робочих днів у році;

T – тривалість роботи протягом доби, год;

Ψ_t^r – коефіцієнт нерівномірності пропозиції для періоду t ;

Ψ_t^q – коефіцієнт нерівномірності попиту для періоду t ;

l_u^{qth} – рівень несвоєчасності реалізації пересувань в наслідок неефективної організації взаємодії в ТПВ;

$Q_{r_j}^v$ – обсяг перевезень на маршруті, пас.;

C_t^{ph} – вартісна оцінка часу пасажирів, грн/год.;

$N_{r_j}(t)$ – інтенсивність руху на маршрутах за період t .

Основою для прийняття рішення є матриця вигравів яка відображає результативні показники (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2.
Матриця вигравів стратегій

Учасник	Стратегія			
	1	2	...	N_{str}
1 (оператор ТПВ)	W_{str1}^1	W_{str1}^2	...	W_{str1}^{Nstr}
2 (транспортні підприємства та пасажирів)	W_{str2}^1	W_{str2}^2	...	W_{str2}^{Nstr}
Підсумковий результат	$W_{str\Sigma}^1$	$W_{str\Sigma}^2$...	$W_{str\Sigma}^{Nstr}$

Значення елементів матриці вигравів визначається шляхом моделювання параметрів взаємодії суб'єктів вхідного маршрутного ТПВ для відповідної кількості ЗП та обраного варіанту обслуговування ТЗ. Рішення про вибір раціональної стратегії будівництва додаткової кількості ЗП приймається за умови отримання позитивного значення підсумкового результату $W_{str\Sigma}^{Nstr} \geq 0$. Послідовність дій з встановлення доцільності будівництва додаткових ЗП передбачає реалізацію наступних етапів:

- аналіз існуючого стану взаємодії в ТПВ;
- оцінка результативності оптимізаційних заходів з удосконалення взаємодії суб'єктів маршрутного потоку;
- вибір стратегії розбудови ЗП в межах ТПВ;
- встановлення проектної кількості ЗП;
- визначення сервісно-ресурсних параметрів функціонування ТПВ;
- оцінка доцільності реалізації обраної стратегії реконструкції ТПВ.

Запропоновані керуючі дії мають послідовність реалізації, яка спрямована на скорочення часу непродуктивного простою ТЗ та збільшення ресурсної ефективності ЗП ТПВ, що дозволяє в існуючих або перспективних умовах забезпечити зростання рівня їх функціональної сталості.

3.4 Висновки за розділом 3

Оцінка доцільності впровадження управлінських рішень з удосконалення взаємодії, що визначається на основі обліку погодженості показників обслуговування суб'єктів маршрутного потоку з умовами забезпечення запасу функціональної сталості ТПВ, передбачає встановлення сукупності локальних критеріїв за такими напрямками: раціоналізація розподілу маршрутів між ЗП, оптимізація використання пропускнує спроможності ЗП, дублювання їх функцій, формування ресурсної інерційності та розосередження у часі.

Оцінювання ризиків дестабілізації взаємодії в ТПВ з позицій виділення їх багаторівневого характеру дозволило встановити необхідність цільової орієнтації внутрішніх керуючих дій на реалізації концепції посилення позитивних метасистемних взаємозв'язків та формуванні єдиної цілеспрямованої системи всебічної інтенсифікації процесів підвищення сервісно-ресурсної ефективності МПТ.

Сукупність управлінських дій що реалізуються в ТПВ, визначається передумовами переходу сервісно-ресурсних показників взаємодії вхідного маршрутного потоку до простору функціональної сталості ЗП, в межах якого досягається відповідний рівень якості транспортного обслуговування пасажирів та забезпечується зниження кількості конфліктних ситуацій.

Процедура адаптації управлінських рішень передбачає реалізацію базової сукупності оптимізаційних дій, до складу яких входить: розподіл маршрутів між ЗП, встановлення раціонального рівня резервів ЗП, слот-координацію розкладу руху ТЗ, оперативний перерозподіл маршрутів між ЗП.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТУ В ТРАНСПОРТНО- ПЕРЕСАДОЧНИХ ВУЗЛАХ (НА ПРИКЛАДІ ТПВ «СТ. М. ІНДУСТРІАЛЬНА» М. ХАРКІВ)

4.1 Огляд сучасного стану транспортного обслуговування пасажирів в ТПВ м. Харкова

Визначальним фактором розвитку м. Харкова поруч з соціально-економічними аспектами є ефективний міський пасажирський транспорт, основне призначення якого полягає у забезпеченні своєчасної та якісної мобільності населення. До початку військових дій транспортний попит в м. Харкові значно перевищував можливості його транспортної інфраструктури. Перш за все це проявляється у зростанні кількості автомобілів, що спричиняє перенасичення вулично-дорожньої мережі (ВДМ) м. Харкова наземними видами транспорту та як наслідок приводе до великої загазованості атмосфери шкідливими викидами від легкових автомобілів та виникненню заторів руху. Приватні автомобілі стали джерелом дискомфорту місцевих жителів, а шум, загазованість та запиленість у значній мірі оказують негативний вплив на якість їх життя. Але, слід визначити, що пасажирський транспорт має велику соціальну та економічну значимість тому що саме він забезпечує: по-перше, необхідний рівень транспортної мобільності населення, а по-друге – комунікаційні зв'язки для підприємств регіону.

Особливу роль в єдиній транспортній системі м. Харкова відіграє міський громадський пасажирський транспорт. Його роль обумовлена тим, що він є реальною альтернативою приватному автомобілю та в порівнянні з ним дозволяє значно скоротити негативні наслідки роботи транспорту, знизити рівень завантаження ВДМ та підвищити ефективність транспортної системи в цілому. Важливою умовою формування пріоритету у використанні МПТ є забезпечення якості транспортного обслуговування. Саме за таких умов МПТ може стати реальною альтернативою приватного автомобіля.

Кожен із видів громадського транспорту має свою інфраструктуру та особливості, але всі вони мають функціонувати спільно як єдина система з притаманними їй ознаками. Однак, сьогодні всі види громадського транспорту у Харкові мають окремі диспетчерські пункти (метрополітен, тролейбусний та трамвайний

парк), які управляють процесом перевезення пасажирів окремо, керуючись не стільки потребами громади та гостей міста, скільки своїми внутрішніми інтересами. Автобусне сполучення, маршрутні та пасажирські таксі не мають централізованого управління, що значно ускладнює узгодженість маршрутів, зменшує ефективність перевезень пасажирів, приводе до нестабільного графіку перевезень, знижує якість пасажирських перевезень.

Метрополітен є лідером перевезення пасажирів у Харкові, тому що володіє перевагами над іншими видами транспорту, а саме забезпечує:

- відсутність заторів на автошляхах;
- стабільне функціонування незалежно від пори року;
- значно менші витрати часу на подолання шляху в межах міста;
- високу швидкість сполучення.

Харківський метрополітен експлуатує 39 км підземних залізничних колій та 29 станцій. Загальна кількість вагонів метрополітену у 2016 році – 326 од. (у 2021 р. – 321 од.). Нинішні проблеми метрополітену – це знос технічних засобів, а саме: вагонів на 80% (306 вагонів експлуатуються понад 16 років), ескалаторів на 90 %.

Наступним видом транспорту, який посідає друге місце у м. Харкові за кількістю перевезень пасажирів – це автомобільний транспорт. Він складається із автобусів, маршрутних таксі, легкових таксі і має наступні переваги:

- найбільша маневреність;
- існує наявна розвинута мережа вулиць та доріг;
- потребує найменших витрат на створення мережі.

На автобусних маршрутах м. Харкова у 2021 р. працювало 875 одиниць рухомого складу, з них 83 – малої місткості, 699 – середньої, 93 – великої.

Третім за кількістю перевезень пасажирів у м. Харкові є тролейбусний транспорт. Тролейбусний транспорт Харкова добре інтегровано у транспортну систему міста і комбінується з автомобільним оскільки використовує зупинки та автомобільні шляхи разом із автобусами та маршрутними таксі. Експлуатаційна довжина тролейбусних ліній (в однопутному обчисленні) складає 284 км. на кінець 2021 р. Кількість тролейбусних машин у період до 2021 р.

поступово зростала, активно йшло оновлення рухомого складу. До основних недоліків тролейбусного транспорту належать:

- більші капітальні вкладення у порівнянні з автомобільним, що пов'язане з додатковим спорудженням контактної мережі;
- наявність контактної мережі на ВДМ;
- прив'язаність та залежність тролейбусів від контактної мережі;
- зношення контактної мережі.

Експлуатаційна довжина трамвайних колій загального користування в одноколійному обчисленні складає 218 км. на кінець 2021 р. Трамвай у м. Харкові забезпечує більшу провізну спроможність ніж автобус або тролейбус, а його поточна експлуатація обходиться дешевше (у порівнянні з автобусом або тролейбусом). Але, у м. Харкові прослідковується негативна тенденція щодо кількості трамвайних вагонів: 2015 р. – 269 од., 2018 р. – 260 од., 2021 р. – 252 од. До основних недоліків трамвайного транспорту належать:

- трамвайні колії ускладнюють організацію руху;
- витрати на спорудження та експлуатацію трамвайної колії;
- складність організації графіку руху;
- зношення рухомого складу, контактної мережі та колій;
- наявність вібрацій та шумового ефекту, що спричиняє дискомфорт.

В таблиці 4.1 наведено склад МПТ м. Харкова для двох характерних періодів.

Таблиця 4.1
Склад МПТ м. Харкова станом на 2021 р. та 2022 р.

Показник	Метро	Тролейбус	Трамвай	Автобус
2021 р.				
Кількість маршрутів (ліній)	3	29	10	107
Загальна довжина маршрутів, км	37,6	284	231	556
Кількість транспортних одиниць	321	224	252	875
2022 р.				
Кількість маршрутів (ліній)	3	25	7	47
Загальна довжина маршрутів, км	37,6	261	183	346
Кількість транспортних одиниць	315	142	160	203
Зміна				
Кількість маршрутів (ліній)	0	4	3	60
Загальна довжина маршрутів, км	0	23	48	210
Кількість транспортних одиниць	6	82	92	672

Водночас слід відзначити, що після початку військових дій в лютому 2022 р. відбулися значні зміни у роботі МПТ м. Харкова. Ці зміни пов'язані перш за все з появою ризиків небезпеки для населення та транспортних компаній. Після повної зупинки МПТ у березні-травні 2022 р. поступово мережа маршрутів почала поновлюватися та частково трансформувалася в залежності від попиту населення та умов безпеки життєдіяльності міста.

Як видно з таблиці відбулося скорочення транспортної пропозиції по автобусному сполученні на 672 транспортних одиниці (77 %) та 60 маршрутів (56 %), по тролейбусному – на 82 транспортних одиниць (37 %) та 4 маршрути (8 %), по трамвайному – на 92 транспортних одиниць (38 %) та ще 3 маршрути (10 %), по метрополітену – маршрутна мережа не змінилася, лише скоротилася загальна кількість вагонів через пошкодження депо. На основі аналізу складу та структури МПТ м. Харкова встановлено, що його високий потенціал забезпечується наступними сильними сторонами маршрутної мережі:

- комплексністю її структури, до складу якої входять всі види міського транспорту;
- наявністю метрополітену як основоположного каркасу мережі;
- компактністю маршрутів наземного транспорту та їх переважною локалізацією в межах окремих житлових масивів.

На рис. 4.1 представлена структура розподілу обсягу перевезення між видами МПТ м. Харкова у 2021 р.

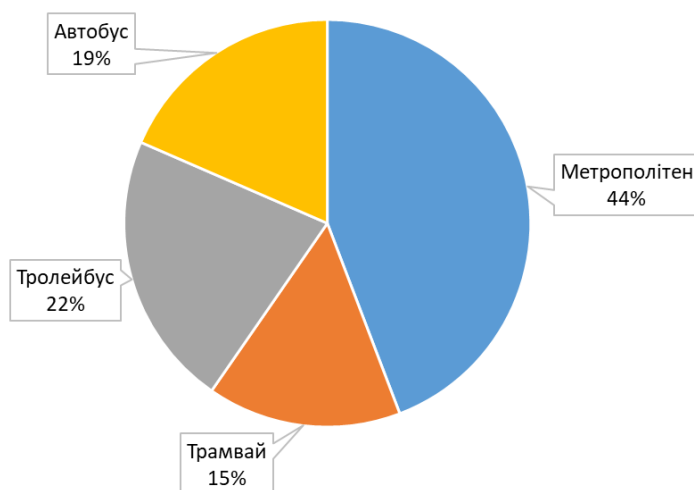


Рисунок 4.1. Розподіл обсягу перевезення між видами МПТ у 2021 р.

На рис. 4.2 представлений розподіл пересувань населення м. Харкова за кількістю пересадок.

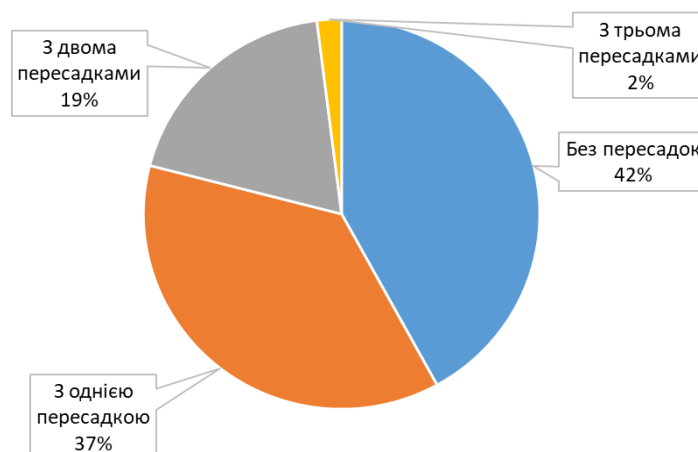


Рисунок 4.2. Розподіл пересувань за кількістю пересадок

У 2021 р. на МПТ в м. Харків перевезено 468,8 мільйона пасажирів. На метрополітені в минулому році перевезено понад 207,2 мільйонів пасажирів. На другому місці – тролейбус. Цим видом транспорту в 2021 році скористалися понад 102,5 мільйонів осіб, трамваєм – 72,4 мільйони пасажирів. Послугами автомобільного транспорту в минулому році перевезли понад 86,7 мільйонів пасажирів. Окрім загальної статистики до розподілу транспортного попиту між видами транспорту важливу роль в оцінці ефективності МПТ відіграють показники якості транспортного обслуговування. Одним з найважливіших параметрів оцінки якості транспортного обслуговування виступає кількість пересадок. Проведені вибіркові опитування дозволили встановити тенденції до умов здійснення пересувань у м. Харкові.

На основі результатів проведеного дослідження щодо фактичного стану транспортних проблем та з урахуванням перспектив розвитку сучасної транспортної системи у м. Харкові пропонується SWOT-аналіз у таблиці 4.2.

SWOT-аналіз транспортних проблем м. Харкова [69]

Проблеми	Переваги
<ul style="list-style-type: none"> - завантаженість вулиць центральної частини міста автомобільним транспортом; - значний моральний і фізичний знос рухомого складу міського транспорту; - високий рівень аварійності у порівнянні з містами ЄС; - значний рівень забруднення атмосферного повітря від автотранспорту; - низька середня швидкість транспортних потоків у робочі часи; - застарілість транспортної інфраструктури 	<ul style="list-style-type: none"> - діюча система регулювання руху на основних магістралях і перехрещеннях; - каркасом системи перевезень пасажирів у місті є розвинена мережа метрополітену; - громада міста позитивно налаштована на розвиток міського транспорту, зокрема із застосуванням інноваційних технологій; - наявність розвиненої трамвайної та тролейбусної мережі з потужною матеріально-технічною базою
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> - оптимізувати комплексну транспортну систему міста з урахуванням пріоритетів МПТ; - підвищити рівень технічного оснащення об'єктів інфраструктури міста; - сформувані у Харківській агломерації мультимодальну систему МПТ; - сприяти розвитку державно-приватного партнерства; 	<ul style="list-style-type: none"> - нестабільна політична ситуація в країні; - низький рівень доходів та платоспроможності населення; - зменшення попиту на громадський транспорт; - зменшення кількості населення міста

МПТ м. Харкова має розвинуту транспортну інфраструктуру до складу якої крім локальних зупинних пунктів входить сукупність транспортно-пересадочних вузлів (ТПВ). Сучасні ТПВ являють собою елементи транспортної системи, в яких починається, закінчується перевізний процес одним з видів транспорту чи здійснюється взаємодія магістральних і міських видів транспорту і перерозподіл пасажирських потоків. В ході аналізу маршрутної мережі визначені основні ТПВ міського наземного пасажирського транспорту, що розташовані в м. Харків (рис. 4.3)



Рисунок 4.3. Транспортно-пересадочні вузли м. Харкова

В структурі м. Харкова налічується 12 ТПВ з участю наземного транспорту. Серед існуючих ТПВ 4 створені на базі метрополітену та сполучають виключно внутрішньоміські сполучення (ТПВ ст. м. «Ак. Барабашова», ТПВ ст. м. «Перемога», ТПВ ст.м. «Історичний музей», ТПВ ст. м. «Палац спорту»), 1 – на базі наземного МПТ (ТПВ «Одеська»), інші 7 – забезпечують взаємодію міських та позаміських сполучень.

Комплексний підхід до питань забезпечення якості транспортного обслуговування і моніторингу є необхідною умовою ефективного розвитку МПТ, особливо в період обмеження ресурсних можливостей і відсутності державної підтримки транспорту у вигляді дотацій. Процедура визначення шляхів удосконалення ТПВ починається з проведення моніторингу рівня задоволеності пасажирів отриманими транспортними послугами. Для цього доцільно застосувати форму анкетування пасажирів, що здійснюють пересування через ТПВ. Даний підхід повністю відповідає першому принципу менеджменту якості, покладеного в основу стандартів ISO 9000 – 2000 та має своєю цільовою метою орієнтацію на потреби споживача. До споживачів в ході аналізу ТПВ відносять всі типи пасажирів, що прибувають до ТПВ. До таких типів відносяться

мешканці міст, приміське населення. Вони можуть користуватися різними видами транспорту. Визначення ступеня задоволеності пасажирів є однією з головних задач проведення аналізу поточного стану функціонування ТПВ «ст. м. Індустріальна». Така оцінка необхідна для встановлення пріоритетів в програмі транспортного обслуговування пасажирів і внесення змін в управління організацією, надання рекомендацій щодо відповідності РС наявному попиту, пристосованості технології транспортного обслуговування до потреб пасажирів, а також при визначенні пріоритетів розвитку ТПВ. Інформація про існуючі потреби та очікування пасажирів може бути отримана за допомогою їх анкетування протягом певного проміжку часу або по закінченні циклу перевезень. Анкетування, як один з механізмів моніторингу, являє собою досить непростий процес. Це пов'язано з тим, що в анкетуванні визначальну роль відіграє людський фактор. Тобто в якості «датчика» при проведенні вимірювань виступає людина яка часто відтворює сою суб'єктивну оцінку. Саме тому необхідно дуже ретельно і досконало підходити до оцінки отриманих результатів і, особливо, до їх аналізу. В 2023 р. були проведені натурні спостереження за умовами роботи ТПВ «ст. м. Індустріальна». На основі натурних спостережень отримані розподіли часу простою транспортних засобів та часу перебування пасажирів в ТПВ, які наведені на рис. 4.4 – 4.5.

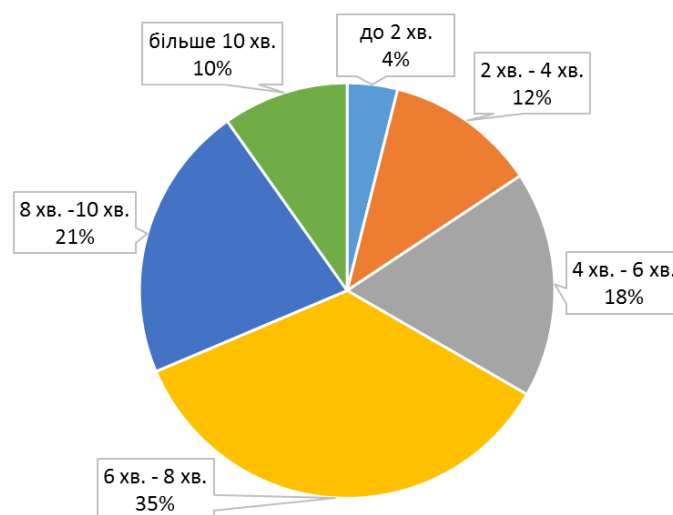


Рисунок 4.4. Розподіл часу простою автобусів в зупинних пунктах ТПВ «ст. м. Індустріальна»

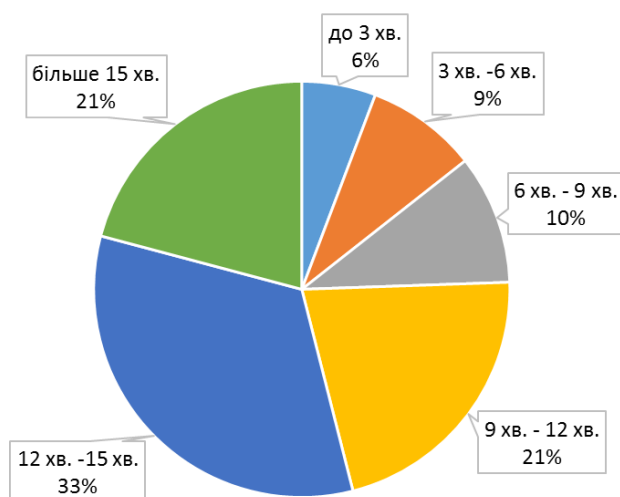


Рисунок 4.5. Розподіл часу перебування пасажирів в зупинних пунктах ТПВ «ст. м. Індустріальна»

З метою виявлення інтересів і переваг пасажирів були проведені анкетні опитування. Форма анкети, використаної при опитуванні пасажирів, представлена в таблиці 4.3. Аналіз одержаних результатів анкетування показав, що у структурі пасажиропотоку який проходить через ТПВ «ст. м. Індустріальна» 54 % складають трудові пересування, що пояснюється тим, що цей вузол обслуговує активні версти населення які мешкають у Роганському житловому масиві. Наявність високої концентрації трудових пересувань призводить до підвищення рівня пред'явленого попиту у години «пік». Дослідження структури пересувань показали, що основна частина пасажирів (86 %) для реалізації пересувань використовує міське сполучення, при цьому 17 % використовують для подальшої поїздки автобусне сполучення, тобто роблять пересадку з автобуса на наземний транспорт. Аналіз тривалості міжмаршрутних пересадок для такої, що відбуваються у ТПВ «ст. м. Індустріальна» показав, що лише 7 % витрачають на них менше 5 хв., 35 % пасажирів – від 5 хв. до 10 хв., 41 % пасажирів – від 10 хв. до 15 хв. та 17% пасажирів – більше 15 хв. В умовах ТПВ «ст. м. Індустріальна» витрати часу на пересадку більше 10 хв. є неприємними для пасажирів. Значний час на реалізацію пересадок обумовлений відсутністю корегування розкладу руху між автобусними маршрутами та відсутність обліку формування обсягів прибуття пасажирів з метрополітену.

Таблиця 4.3.

Результати анкетування пасажирів

Питання	Відповіді	Питима вага, %
1. Ви працюєте?	Працюю	54
	Безробітний	26
	Студент (учень)	12
	Пенсіонер	8
2. Мета вашої поїздки?	Трудова	52
	Ділова	1
	Культурно-побутова	47
3. Які види транспорту Ви використовуєте?	Автобус – Метрополітен	68
	Автобус – Приміський автобус	2
	Автобус – Тролейбус	1
	Автобус – Автобус	17
	Метрополітен – Приміський автобус	9
	Тролейбус – Приміський автобус	3
4. Кількість маршрутів які використовуються для пересування?	1	8
	2	64
	3	28
5. Час витрачений на пересування?	До 30 хв.	3
	30-45 хв.	25
	45-60 хв.	52
	Більше 60 хв.	20
6. Час на пересадку в ТПВ для схеми «автобус-наземний транспорт»?	До 5 хв.	7
	5-10 хв.	35
	10-15 хв.	41
	Більше 15 хв.	17
7. Час на пересадку в ТПВ для схеми «автобус-метрополітен транспорт»?	До 5 хв.	10
	5-10 хв.	42
	10-15 хв.	33
	Більше 15 хв.	15

Встановлено, що майже половина опитаних пасажирів (52 %) витрачають на поїздки до однієї години. Час є основним критерієм оцінки якості транспортного обслуговування і може свідчити про ефективність роботи транспорту. Виходячи з отриманої об'єктивної та суб'єктивної інформації про стан функціонування ТПВ «ст. м. Індустріальна» можна зробити висновок про наявність проблем пов'язаних з координацією руху автобусів у межах ТПВ «ст. м. Індустріальна». Це призводить до зниження якості

транспортного обслуговування пасажирів та висуває вимоги щодо необхідності розробки заходів пов'язаних з реалізацією методів скорочення часу очікування пересадки пасажирів.

4.2 Характеристика технологічного процесу взаємодії в ТПВ «ст. м. Індустріальна»

Складність будови ТПВ залежить від класу, рівня та призначення. ТПВ пропонується розглядати як вертикальну інтегровану систему, що складається з трьох рівнів транспортна зона (зупинні пункти), маршрути, пасажирів. Більшість сучасних ТПВ МПТ формуються на базі існуючих станцій метрополітену, планувальні характеристики яких часто не узгоджені з параметрами роботи наземного транспорту і не в змозі у повній мірі відповідати новим вимогам.

Важливою складовою ТПВ є його транспортна зона, що є його базовою та невід'ємною частиною кожного. В цій зоні ТПВ розміщуються зупинні пункти громадського транспорту, вона містить транспортні та пішохідні шляхи, що об'єднують пункти пересадки та «перехоплюючі парковки» за наявності останніх. Через транспортну зону ТПВ проходять шляхи руху пасажирського транспорту: метрополітену, наземного пасажирського транспорту, залізничного транспорту та індивідуального.

При формуванні ТПВ на основі торговельного комплексу до структури додаються зона архітектурних споруд та об'єктів соціального призначення, що сприяють комфортному перебуванню пасажирів у ТПВ та доповнюють основну транспортну функцію. Комерційні площі виділяються для надання додаткових послуг: торговельних, культурно-розважальних, харчувальних тощо, та підвищенню інвестиційної привабливості ТПВ. Резервна зона забезпечує можливість розбудови та розширення ТПВ у разі збільшення попиту, інтенсивності прибуття транспортних засобів тощо. ТПВ «ст. м. Індустріальна» в повній мірі відповідає представленим складовим елементам передового ТПВ та містить всі вище перераховані складові. На рис. 4.6 наведена структура ТПВ «ст. м. Індустріальна».

ТПВ «СТ. М. ІНДУСТРІАЛЬНА»	
ТРАНСПОРТНА ЗОНА (базова складова ТПВ)	
<ul style="list-style-type: none"> - зупиночні пункти наземного пасажирського транспорту (автобус, тролейбус, приміський автобус) <li style="padding-left: 40px;">- пасажирські платформи - пішохідні шляхи, що об'єднують пункти посадки/висадки та пересадки <li style="padding-left: 40px;">- «перехоплюючі парковки» 	
ЗОНА АРХІТЕКТУРНИХ СПОРУД ТА ОБ'ЄКТІВ СОЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	
Некомерційні площі – розміщують допоміжні служби ТПВ	Комерційні площі – розміщують об'єкти додаткового обслуговування
<ul style="list-style-type: none"> - адміністративні приміщення - криті майданчики для очікування - білетні каси - санітарно-гігієнічні пункти - місця відпочинку 	<ul style="list-style-type: none"> - торгівельні приміщення - пункти харчування - культурно-розважальні майданчики - пункти побутового обслуговування - місця фінансового обслуговування - аптеки - ін. комерційні заклади
РЕЗЕРВНА ЗОНА (додаткові платформи)	

Рисунок 4.6. Структура ТПВ «ст. м. Індустріальна»

У загальному тлумаченні структури ТПВ – це сукупність зупинних пунктів пасажирського транспорту, що знаходяться у зоні пішохідної доступності один від одного. Аналіз просторової конфігурації ТПВ наземного МПТ дозволив виділити наступні їх види:

- зона ТПВ розташована на перехресті;
- зона ТПВ сформована на Т-образному перехресті;
- зона ТПВ складає зупиночні пункти, розміщені послідовно;
- зона ТПВ містить зупиночні пункти, що паралельно розташовані;
- комбінований вид ТПВ.

Виділяються ТПВ, на зупиночних пунктах яких розпочинаються та закінчуються маршрути, а також ТПВ, в яких перетинаються лінії маршрутів. Таким чином ТПВ може включати початкові та кінцеві зупиночні пункти маршрутів МПТ а також проміжні зупинні пункти. Головною відмінністю ТПВ від іншого територіального об'єднання

зупиночних пунктів є наявність обов'язкового пасажирообміну між маршрутами пасажирського транспорту.

У структурі пасажирської транспортної системи м. Харкова транспортно-пересадочний вузол «ст. м. Індустріальна» відіграє вагомую роль та являє собою пасажирський комплекс в межах якого виконуються функції з перерозподілу пасажиропотоків різних видів сполучення між видами транспорту і напрямками руху. ТПВ «ст. м. Індустріальна» є одним з важливих елементів транспортної інфраструктури міського пасажирського транспорту м. Харкова. ТПВ «ст. м. Індустріальна» – базовий елемент планувальної структури Роганського масиву м. Харкова транспортно-громадського призначення, в якому здійснюється пересадка пасажирів між різними видами міського пасажирського та зовнішнього транспорту або між різними лініями одного виду транспорту, а також попутне обслуговування пасажирів об'єктами соціальної інфраструктури.

В межах функцій ТПВ «ст. м. Індустріальна» крім забезпечення міського транспортного сполучення відіграє значну роль у формуванні транспортного обслуговування приміського населення Чугуївського напрямку сполучення. ТПВ «ст. м. Індустріальна» представляє собою місце концентрації потоків автомобілів та пасажирів міського та приміського сполучення. Цей вузол є потужним об'єктом тяжіння населення через значну концентрацію в його межах торговельних комплексів. Планувальна структура ТПВ «ст. м. Індустріальна» в себе включає наступні елементи:

- приміську автостанцію (ПА);
- станція метрополітену «Індустріальна» (М);
- зупинні пункти (ЗП) тролейбуса та трамвая (ЗПТ);
- зупинні пункти міського автобусу (ЗПМА);
- стоянки легкових таксі (СТ);
- в зоні пішохідної доступності знаходиться пасажирська залізнична станція «Лосево» (ПЗС);
- елементи вулично-дорожньої мережі (ВДМ).

Схема розташування елементів планувальної структури ТПВ «ст. м. Індустріальна» представлена на рис. 4.7.



Рисунок 4.7. Схема ТПВ «ст. м. Індустріальна»

На рисунку 4.8 представлено зовнішній вид базових структурних елементів термінальної частини ТПВ «ст. м. Індустріальна».

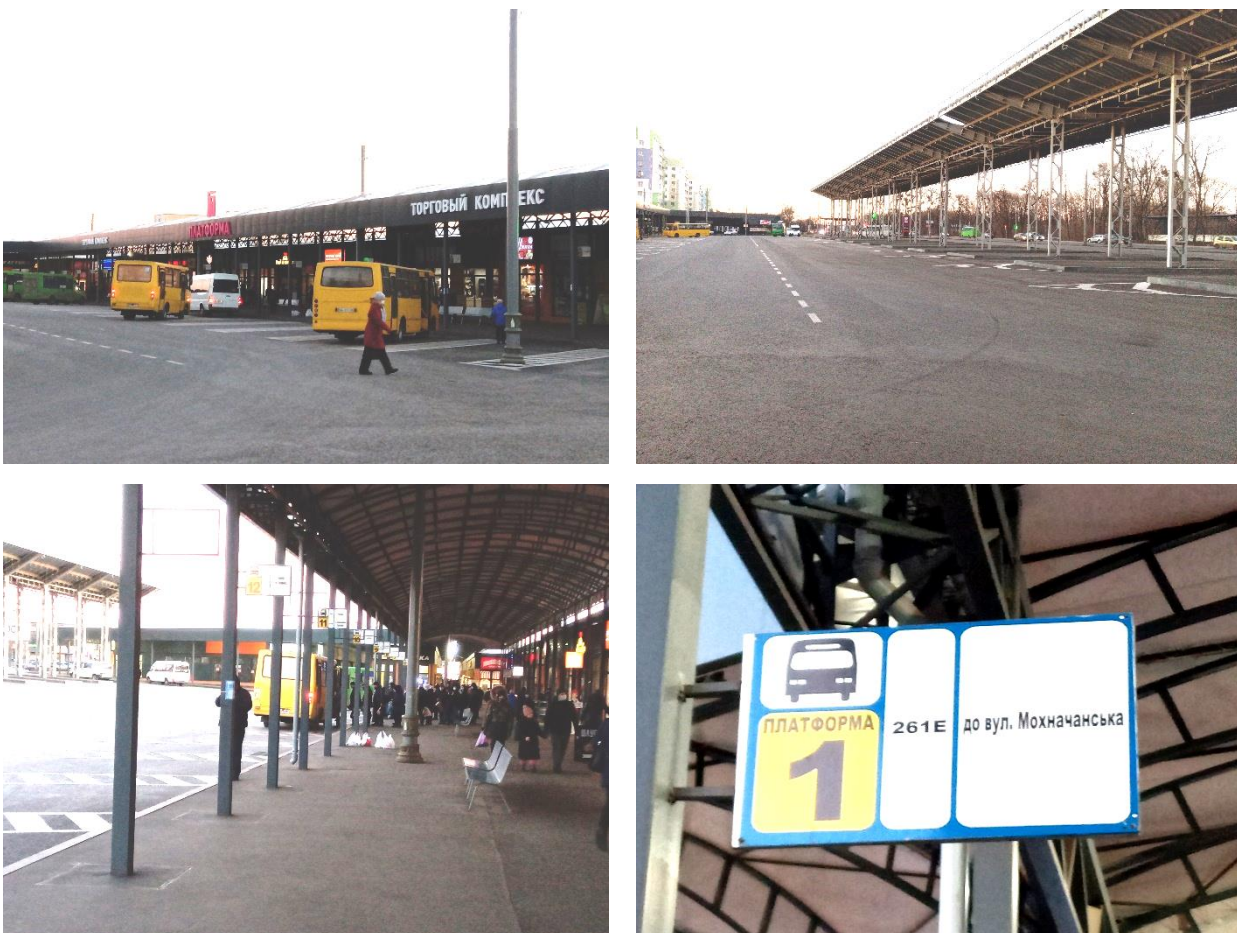


Рисунок 4.8. Зовнішній вид базових структурних елементів термінальної частини ТПВ «ст. м. Індустріальна»

У 2020 році було завершено капітальну реконструкцію транспортно-торгівельної частини ТПВ «ст. м. Індустріальна». Транспортна частина ТПВ була значно розширена, що дало можливим розмістити велику кількість місць для перебування маршрутних транспортних засобів. До складу перонного господарства входить дві частини: зупинки по пр. Московському (№16, 17) та термінальна площадка (№1-15). На термінальній частині розташовано 15 зупинних пунктів. З 15 зупинних пунктів в обслуговуванні пасажирів задіяно лише 12, а 3 знаходяться в резерві. Загальна характеристика параметрів функціонування ТПВ «ст. м. Індустріальна» представлена в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4.
Характеристика ТПВ «ст. м. Індустріальна»

Показник	Значення
Загальна інформація ТПВ	
Кількість видів транспорту, що взаємодіють в межах планувальної структури ТПВ	5
Кількість однотипних технологічних ліній взаємодії між різними транспортними підсистемами ТПВ	20
Зона міського автобусного сполучення	
Кількість маршрутів обслуговування	13
Кількість однотипних технологічних ліній взаємодії в межах всіх видів сполучення ТПВ	52
Кількість однотипних технологічних ліній взаємодії в межах міського сполучення	156
Кількість зупинних пунктів обслуговування	11
Загальна кількість постів у зупинних пунктах	11
Максимальна сумарна пропускна спроможність, авт/год	1452
Максимальна сумарна переробна спроможність, тис. пас/год	58,1
Інтенсивність вхідного маршрутного потоку (у годину «пік»), авт/год	82
Інтенсивність вхідного пасажирського потоку (у годину «пік»), пас/год	7940
Інтенсивність транспортного потоку по прилеглий ділянці ВДМ (у годину «пік»), авт/год	1420

Зона міського автобусного сполучення ТПВ «ст. м. Індустріальна» включає 15 зупинних пункти на які прибувають транспортні засоби (ТЗ) 13 міських автобусних та 3 приміських маршрутів (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5.
Характеристика маршрутів

Номер	Сполучення	Час рейсу, хв	Модель ТЗ
Тролейбус			
7	вул. 12 Квітня – Східний	34	Т701
45	вул. 12 Квітня – вул. Зубарева	40	Т701
46	вул. 12 Квітня – м/р Горизонт	40	Т701
Автобус			
16е	ст. м. Індустріальна – вул. Зубарева	24	БАЗ-А079
21т	ст. м. Індустріальна – Затище	32	БАЗ-А079
24е	ст. м. Індустріальна» – вул. Зубарева	25	БАЗ-А079
71е	ст. м. А. Барабашова – вул. Зубарева	47	БАЗ-А079
121е	Вул. Університетська (к-р Зірка) – м/р Горизонт	55	Богдан А092
147е	ст. м. А. Барабашова – ринок ХТЗ	42	БАЗ-А079
213е	ст. м. Індустріальна – вул. Плиткова	32	
252е	ст. м. Індустріальна – вул. Мохначанська	35	БАЗ-А079
261е	ст. м. Індустріальна – - вул. Зубарева (буд 47)	28	БАЗ-А079
262е	ст. м. Індустріальна – м/р Горизонт	30	БАЗ-А079
276е	ст. м. Індустріальна – вул. Кольцева	25	БАЗ-А079
Приміський автобус			
186	ст. м. Індустріальна – Агроуніверситет	55	БАЗ-А079
200	Харків – ХНАУ	55	БАЗ-А079
1174	Харків – Велика Рогань	65	БАЗ-А079

Вимоги до ТПВ «ст. м. Індустріальна» ґрунтуються на необхідності забезпечення скорочення часу пересадки пасажирів, підвищення сервісно-ресурсної ефективності роботи пасажирського транспорту та зниження його негативного впливу завантаження елементів ВДМ. Вагому роль на час пересадки оказує тривалість переміщення пасажирів між ЗП ТПВ. В таблиці 4.6 представлена інформація про тривалість переміщення пасажирів з виходу станції метрополітену. Час переходу встановлюється від вихідних турнікетів розташованих в середині станції. Час переміщення між зупинними пунктами ТПВ визначається як різниця між часом переходу до станції метрополітену.

Таблиця 4.6.

Час переходу від станції метрополітену до зупинних пунктів

Номер ЗП ТПВ	Час переходу, хв
1	4,2
2	4,7
3	5,2
4	5,7
5	6,2
6	6,7
7	7,2
8	7,7
9	8,2
10	8,7
11	9,2
12	9,7
13	10,2
14	10,7
15	6,4

Вхідні, вихідні та внутрішні пасажиропотоки характеризуються параметрами до складу яких входять наступні показники: абсолютна величина, інтенсивність у часі, тимчасова і територіально-просторова нерівномірність, закономірність розподілу інтервалів між прибуттям транспортних одиниць.

Показниками оцінки технологічної потужності елементів підсистем ТПВ «ст. м. Індустріальна» є:

- кількість зупинних пунктів та постів обслуговування транспортних засобів;

- переробна і пропускна спроможність зупинних пунктів.

У ході збору первинної інформації визначені основні базові характеристики функціонування зупинних пунктів (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7.
Характеристика зупинних пунктів

Номер	Тип	Кількість постів	Інтенсивність, авт/год.	Маршрути	Максимальний простій у черзі, хв	Кількість конфліктних ситуацій
1	Початковий	1	6	261е	0	0
2	Початковий	1	6	262е	0	0
3	Початковий	1	13	16е	0	0
4	Початковий	1	7	71е	0	0
5	Початковий	1	11	147е, 276е	1,5	2
6	Початковий	1	7	252е	0	0
7	Початковий	1	3	121е	0	0
8	Початковий	1	4	200	0	0
9	Початковий	1	3	186, 1174	0	0
10	Початковий	1	4	21т, 213е	0	0
11	В резерві	1	-	-	-	-
12	В резерві	1	-	-	-	-
13	В резерві	1	-	-	-	-
14	В резерві	1	-	-	-	-
15	Кінцевий	5	32	16е, 71е, 276е, 252е	0	0
16	Транзитний	2	22	Тл45, Тл46	4,5	8
17	Транзитний	2	19	Тл45, Тл46	1,5	5

До особливостей ТПВ «ст. м. Індустріальна» відноситься:

- організація безперебійної роботи всіх видів сполучення (міського автобуса, трамвая, метрополітену, приміського автобуса, залізниці);
- розташування в межах одного перонного господарства маршрутів внутрішнього та зовнішнього видів транспорту (міського та приміського автобусного сполучення у напрямку Харків – Чугуїв,);
- складність організації взаємодії суміжних видів транспорту;
- розподіл вузла на значну кількість взаємопов'язаних зон обслуговування (зона приміського автобусного, міського електротранспортного, міського автобусного сполучення).

За результатами натурних досліджень пасажирів, що здійснюють пересадку на автобусні маршрути в ТПВ встановлений розподіл питомої ваги між варіантами вибору маршрутів сполучення (таблиця 4.8).

Таблиця 4.8.

Питома вага розподілу пасажиропотоку з метрополітену

Маршрут	Питома вага вибору маршруту для пересадки з метрополітену, %
16е ст. м. Індустріальна – вул. Зубарева (буд 35А)	23,4
21т ст. м. Індустріальна – Затище	1,7
71е ст. м. Індустріальна» – вул. Зубарева (буд 35А)	12,3
121е ст. м. А. Барабашова – вул. Зубарева (буд 35А)	4,7
147е вул. Університетська (к-р Зірка) – м/р Горизонт	11,5
213е ст. м. А. Барабашова – ринок ХТЗ	1,7
252е ст. м. Індустріальна – вул. Плиткова	12,6
261е ст. м. Індустріальна – вул. Мохначанська	11,7
262е ст. м. Індустріальна – - вул. Зубарева (буд 47)	9,7
276е ст. м. Індустріальна – м/р Горизонт	10,7

Визначені територіально-планувальні параметри ЗП ТПВ «ст. м. Індустріальна» та характерні особливості розподілу сформованого в них попиту на пересадку дає можливість встановити, що даний об'єкт інфраструктури відноситься до категорії великих елементів яким притаманні складні комбіновані (початково-кінцеві) форми реалізації переміщень. Для удосконалення роботи ТПВ такого типу необхідне

застосування комплексного підходу до формування управлінських який ґрунтується на принципах системного підходу.

Підвищення ефективності функціонування ТПВ включає два аспекти: зниження часу очікування пасажирів при пересадці у ТПВ та координація прибуття транспортних засобів МПТ на зупинні пункти для уникнення їх скупчення. Синхронізація розкладів руху МПТ має своєю метою скорочення часу пересадки між маршрутами за рахунок одночасного знаходження транспортних засобів на зупинних пунктах ТПВ. На рис. 4.9 представлено схему розташування транспортних засобів при синхронізованому прибутті та без синхронізації.

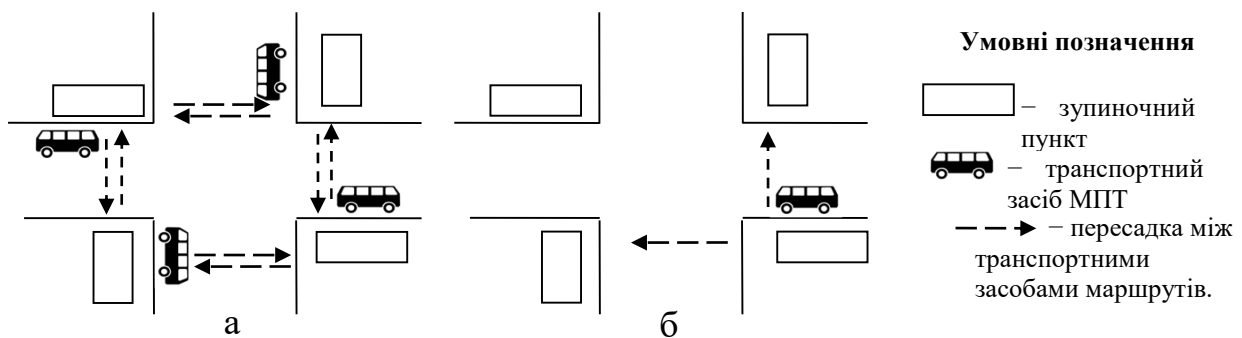


Рисунок 4.9. Схема розташування транспортних засобів при синхронізованому прибутті та без синхронізації

За умов недостатньої кількості постів на зупиночних пунктах у ТПВ для розміщення транспортних засобів МПТ при одночасному прибутті відбувається їх скупчення, у результаті чого виникають конфліктні ситуації та непродуктивні простої, наслідком яких є погіршення екологічної ситуації та зниження безпеки здійснення технологічних операцій.

У ТПВ під конфліктною ситуацією розуміємо наявність на зупиночному пункті кількості транспортних засобів, що перевищують кількість постів. При виникненні конфліктної ситуації транспортні засоби МПТ вимушені простоювати на проїжджій частині, при цьому створювати перешкоди для руху потоку індивідуальних та інших транспортних засобів та здійснювати посадку-висадку пасажирів у непередбачених для цього місцях, порушуючи безпеку виконання транспортного процесу. Основною тезою є наступне: конфліктна ситуація – це чинник виникнення потенційної ДТП. Розглядаючи конфліктну ситуацію, визначимо основні її складові елементи:

– суб'єкти конфліктної ситуації – транспортні засоби, що прибувають на зупинний пункт у ТПВ;

- об’єкт конфліктної ситуації – пост на зупинному пункті;
- інцидент – прибуття транспортних засобів на зупиночний пункт, який не дозволяє одночасне їх знаходження (утворення черги).

Причино-наслідковий ланцюг між організацією прибуття транспортних засобів на зупиночний пункт ТПВ, тобто розкладом, та створенням можливості виникнення ДТП є наступним: одночасне прибуття транспортних засобів МПТ призводить до того, що зупиночний пункт не може забезпечити одночасне знаходження транспортних засобів, а це веде за собою виникнення конфліктної ситуації, в якій можлива ДТП. Для уникнення черг та конфліктних ситуацій в зоні зупиночних пунктів необхідно забезпечити достатню кількість постів, але зазначене технічне рішення є небажаним, тому що вимагає використання додаткових земельних ресурсів. Способом забезпечення зниження конфліктності прибуття транспортних засобів є їх координація. Поєднання синхронізації і координації дає можливість скоротити час пересадок пасажирів та знизити негативні наслідки одночасного знаходження транспортних засобів на умови функціонування ТПВ.

При дослідженні функціонування ТПВ важливим є оцінювання ризиків дестабілізації процесів. Дестабілізацією ТПВ є результат зовнішньої та внутрішньої дії чинників впливу, які призводять до втрати його стаціонарності шляхом порушення рівномірності та рівноваги технологічних процесів. До основних видів дестабілізуючих чинників відносяться: кількісна та якісна недостатність ресурсів, конфлікти, відмови, збої, дефекти, структурна недосконалість, невідповідні зовнішні явища. Цінність у визначенні областей і груп чинників представляє можливість проведення факторного аналізу, який дозволив виділити структурну схему дестабілізації ТПВ. Характеристика чинників дестабілізації ТПВ наведена в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9.

Характеристика чинників дестабілізації ТПВ

Чинники	Характеристика
1	2
Кількісна недостатність ресурсів	Абсолютна недостатність компонентів для забезпечення функціональних потреб
Якісна недостатність ресурсів	Невідповідність параметрів пристроїв, споруд, засобів вимогам функціональних потреб МПТ

Продовження таблиці 4.9

1	2
Структурна недосконалість	Невідповідність умов функціонування необхідній сукупності процесів
Конфлікт	Ситуація взаємного очікування звільнення ресурсів для виконання процесів
Дефект	Некоректне (одноразове або регулярне) виконання елементами своїх функціональних завдань
Збій	Тимчасове порушення дієздатності елементів
Відмова	Порушення дієздатності, яке призводить до неможливості виконання своїх функціональних завдань
Непідконтрольні зовнішні явища	Ситуації раптового порушення функцій елементів які вимагають втручання зовнішніх резервних можливостей та систем керування

Процедура оцінювання переходу між станами може бути виконана за допомогою нечіткої логіки, яка передбачає встановлення функцій приналежності для відповідних умов формування дестабілізаційних чинників. Розділення функції на кластери передбачає визначення верхньої та нижньої межі в яких функція приналежності представлена однозначно. В якості критерію формування функції приналежності термам стану суб'єктів виступає час обслуговування автобусів у зупинних пунктах ТПВ. Основним чинником впливу на фактичну тривалість часу перебування автобусів у зупинних пунктах є умови реалізації технологічних процесів, стан яких визначається ресурсними можливостями ТПВ. Мінімальна тривалість обслуговування автобусів досягається наявністю вільних місць на зупинних пунктах при їх прибутті. Можливість реалізації операцій без черги забезпечує повну відповідність математичного очікування та дисперсії часу простою автобусів умовам стабілізації ТПВ. Виникнення конфліктів та подальший перехід їх до дефектного стану призводить до збільшення часу обслуговування автобусів.

Можливо виділити типові схеми пересадочного процесу (рисунок 4.10), базовим структурним технологічним процесом є пересадка із транспортного засобу i -го маршруту на j -й. Розподілення передбачає здійснення пересадки пасажирів з одного маршруту МПТ на декілька інших. Протилежною схемою є об'єднання, тобто пасажирів декількох маршрутів тяжіють до певного маршруту. Найчастіше в таких випадках виділяються підвізні маршрути та основні.

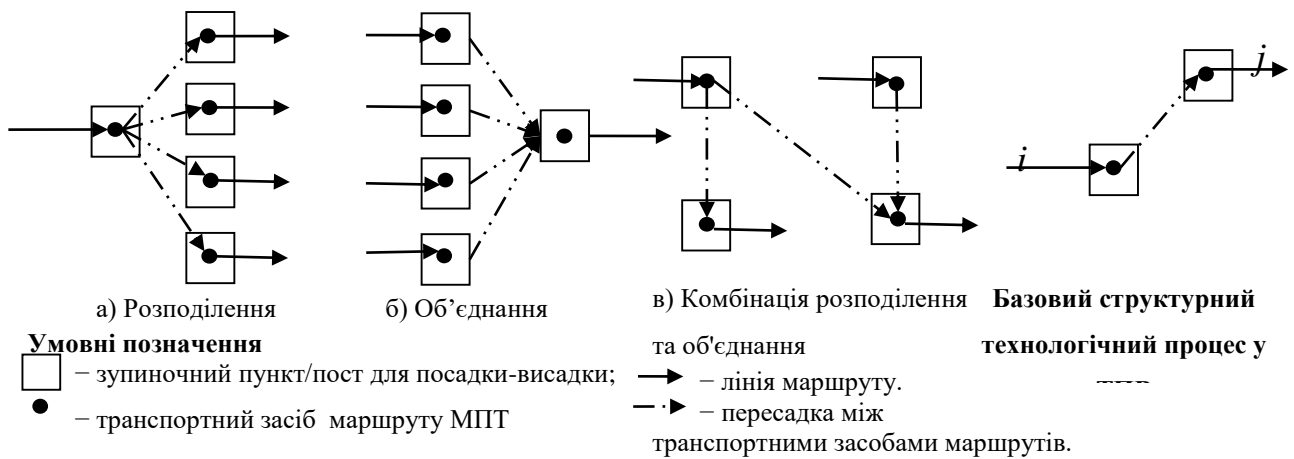


Рисунок 4.10. Типові схеми пересадочного процесу в ТПВ [55]

Складність реалізації синхронізації та координації руху МПТ обумовлена:

- випадковістю прибуття транспортних засобів МПТ;
- різними часовими характеристиками роботи маршрутів (інтервали, тривалість знаходження транспортних засобів на зупиночних пунктах);
- наявними ресурсними обмеженнями пропускної здатності зупиночних пунктів.

Сполучення ліній маршрутів відбувається у різноманітних комбінаціях у залежності від їх характеристик та будови ТПВ, що обумовлює важкість пошуку універсальних рішень та рекомендацій для підвищення ефективності взаємодії МПТ та функціонування ТПВ.

У процесі прийняття рішень щодо розвитку систем громадського транспорту інженери-транспортники часто використовують підходи, засновані на аналітичних моделях, але адекватність таких моделей набагато нижча в порівнянні з імітаційними, що дозволяють дослідникам розглянути стохастичні параметри технологічних процесів. Крім того, внутрішні зв'язки між елементами системи та входними параметрами можуть бути описані з високою точністю, що робить імітаційні моделі систем громадського транспорту та їх елементів набагато більш придатними для дослідження.

Дослідження функціональної процесів у ТПВ потребує використання адекватних моделей, які дають змогу реалізувати попередню оцінку управлінських дій відносно досягнення поставленої мети. Представлення МПТ через складову частину МПТ відноситься до складних багаторозмірних задач, вирішення якої потребує використання адекватних структур моделювання. Існуючі підходи до моделювання МПТ мають обмеженість відносно повноти обліку

сервісно-ресурсних параметрів функціонування всіх рівнів розгляду та як правило не передбачають процедуру опису зовнішніх взаємовпливів та зв'язків. ТПВ – ключовий елемент транспортної системи, в якому відбувається взаємодія пасажирського транспорту та перерозподіл пасажиропотоків. Таке визначення диктує необхідність при моделюванні його функціонування виокремлення операцій для суб'єктів перевезень: пасажирів та транспортних засобів МПТ. Для пасажирів, що пересаджуються у ТПВ, виділяються наступні: перехід між зупиночними пунктами різних маршрутів та очікування. Під час обслуговування пасажирів виконується наступна послідовність технологічних операцій: прибуття транспортних засобів на зупиночний пункт, знаходження транспортних засобів у ТПВ (очікування у черзі, знаходження на зупиночному пункті), відправлення транспортних засобів. Схема технологічного процесу у ТПВ представлена на рис. 4.11.

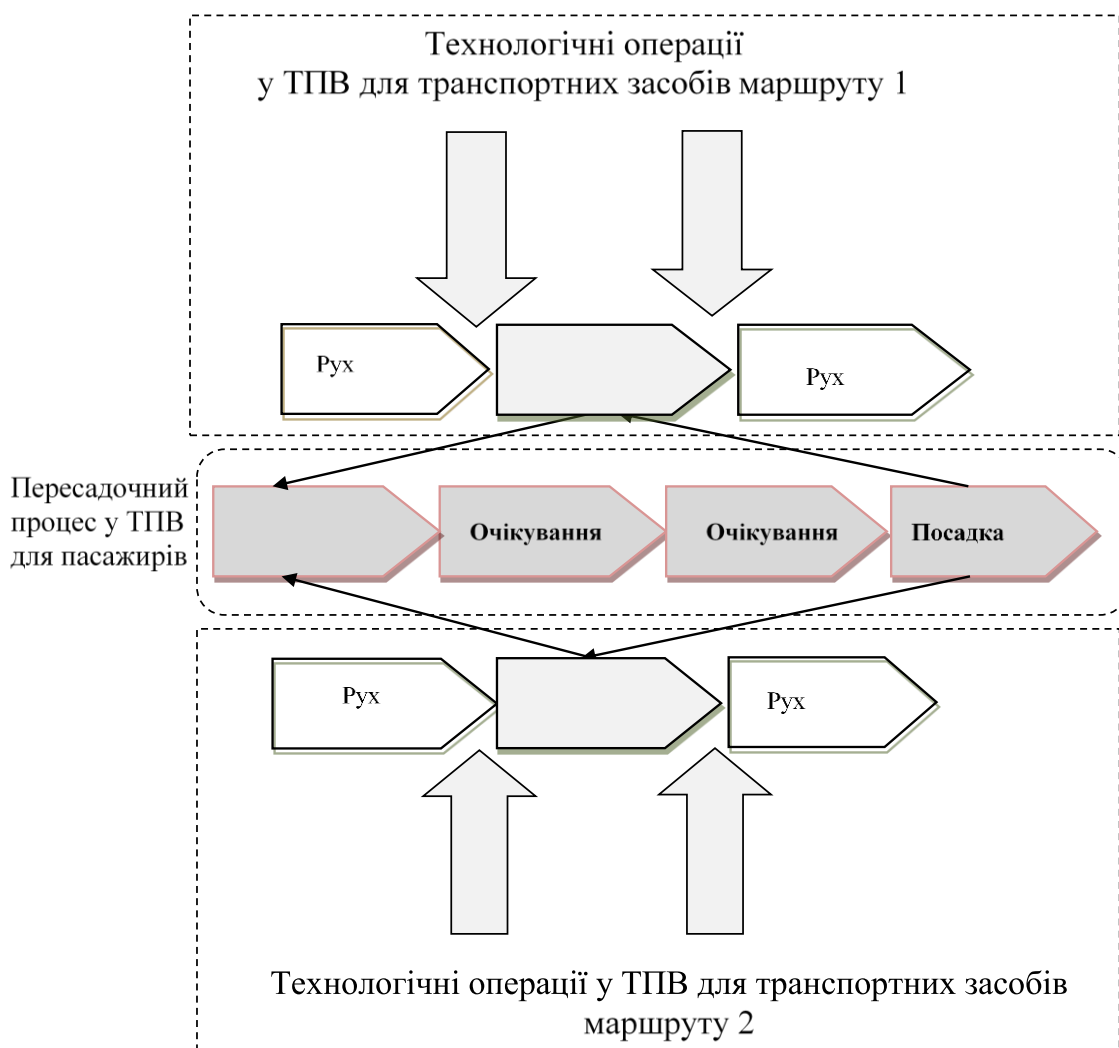


Рисунок 4.11. Схема технологічного процесу у ТПВ [55]

Для розробки реалістичних та адекватних моделей необхідно враховувати випадковий характер різних параметрів руху громадського транспорту. На функціонування громадського транспорту впливає значна кількість різних збурень: природні явища, вихід з ладу рухомого складу, можливі ДТП, зміни напрямків і інтенсивності транспортних потоків. Це обумовлює стохастичну природу такого показника, як тривалість руху від початкового зупиночного пункту до ТПВ. До випадкових величин також відносяться тривалість знаходження на зупиночному пункті, оскільки будь-яке коливання попиту призводить до відхилення тривалості посадки-висадки пасажирів, крім того, цей показник залежить від часу, що витрачається на звільнення зупиночного пункту. Характеристика операцій для пасажирів та МПТ наведена у таблиці 4.10.

Таблиця 4.10.

Характеристика операцій, що відбуваються у ТПВ

Операція	Показники, якими характеризується	Показники, які дозволяють визначити характеристику
Очікування	Витрати часу на очікування транспортного засобу	Інтервал руху транспортних засобів на маршруті, інтервал руху транспортних засобів на зупиночному пункті, різниця моментів прибуття транспортних засобів, між якими здійснюється пересадка у ТПВ
Перехід	Витрати часу на перехід	Відстань між зупиночними пунктами різних маршрутів у зоні ТПВ
Прибуття	Момент прибуття	Час відправлення з початкового зупиночного пункту, тривалість руху від пункту відправлення до ТПВ
Знаходження у ТПВ	Витрати часу на знаходження у ТПВ	Кількість постів на зупиночному пункті, наявність іншого транспортного засобу на зупиночному пункті, час знаходження на зупиночному пункті
Відправлення	Момент відправлення	Час знаходження транспортних засобів у ТПВ

Функціонування ТПВ є стохастичним технологічним процесом, оскільки на окремі його складові діє велика кількість факторів зовнішнього середовища. Цей факт враховується у моделі через розгляд як випадкових величин тривалості окремих технологічних операцій.

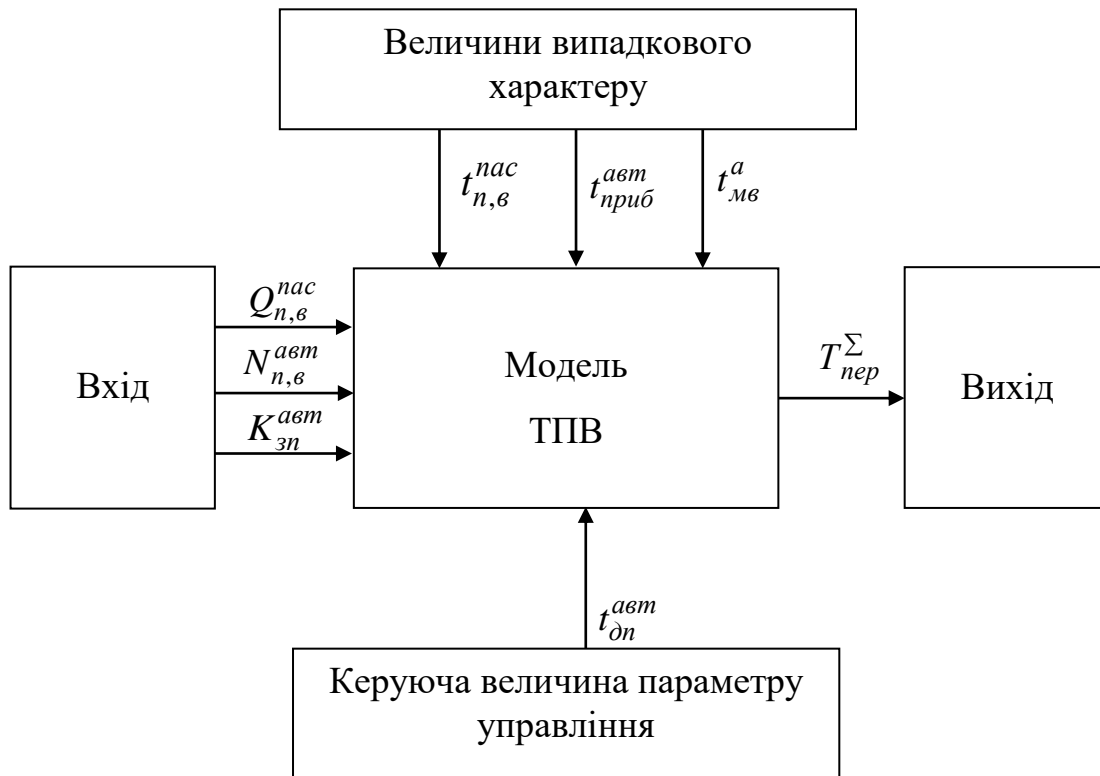
У якості вхідних параметрів та факторів зовнішнього середовища обрано:

- вектор моментів відправлення транспортних засобів з початкового зупиночного пункту;
- кількість постів на зупиночному пункті;
- вектор випадкових величин тривалості руху транспортних засобів від початкового зупиночного пункту до ТПВ;
- вектор випадкових величин, що характеризують час знаходження транспортних засобів на зупиночних пунктах у ТПВ.

Крім того, задається матриця середньої кількості пасажирів, що пересаджуються між маршрутами, та матриця часу переходу між зупиночними пунктами у ТПВ, а також час відправлення транспортних засобів з початкового зупиночного пункту та інтервал руху для кожного маршруту.

Виділені концепти дозволяють описати загальний характер взаємозв'язку процесів формування сталого розвитку МПТ у вигляді структурно-логічної схеми. Знаходження умов забезпечення зниження часу перебування пасажирів в ТПВ це складна детермінована задача, що не може бути розв'язана числовими методами. Необхідним є проведення попереднього аналітичного обґрунтування ключових показників впливу, що виступають у вигляді керуючих впливів. Основою такого аналізу є опис структури технологічного процесу взаємодії в ТПВ та її адаптація до можливих керуючих заходів.

Виходячи з представлених елементів технологічної схеми взаємодії суб'єктів перевізного процесу можливо розділити параметри впливу на основні категорії. На рисунку 4.12 у формі моделі білої скрині представлена концептуальна структура процесу управління функціонуванням ТПВ.



Умовні позначення: $Q_{n,в}^{nac}$ – рейсовий обсяг прибуття (відправлення) пасажирів, пас., $N_{n,в}^{авт}$ – інтенсивність вхідного маршрутного потоку, авт./год.; $K_{зп}^{авт}$ – кількість постів на зупинному пунктів, од.; $t_{приб}^{авт}$ – час прибуття автобуса до ТПВ, год. хв.; $t_{мв}^a$ – час маневрування автобуса при заїзді-виїзді, с.; $t_{n,в}^{nac}$ – час посадки-висадки одного пасажирів, с.; $t_{дп}^{авт}$ – час додаткового простою автобуса на зупинному пункті, хв.; $T_{пер}^{\Sigma}$ – середні витрати часу пасажирів на здійснення пересадки в ТПВ., год.

Рисунок 4.12. Модель білої скрині процесу управління ТПВ

Основною метою удосконалення ТПВ є зниження витрат часу пасажирів на здійснення пересадки ($T_{пер}^{\Sigma}$). В якості вхідного потоку виступають: рейсовий обсяг прибуття (відправлення) пасажирів ($Q_{n,в}^{nac}$) інтенсивність вхідного маршрутного потоку ($N_{n,в}^{авт}$), кількість постів на зупинному пунктів ($K_{зп}^{авт}$). На процес перебування автобусів у зупинних пунктах ТПВ впливає час прибуття автобуса до ТПВ ($t_{приб}^{авт}$), час маневрування автобуса при заїзді-виїзді ($t_{мв}^a$), час посадки-висадки одного пасажирів ($t_{n,в}^{nac}$). Основним керуючим заходом є впровадження

часу додаткового простою автобусів ($t_{\partial n}^{asm}$), спрямованого на розширення діапазону часу перебування в ТПВ, що дає можливість збільшити ймовірність синхронізації пересадки пасажирів та тим самим знизити загальні витрати часу пасажирами на здійснення пересадки.

На основі виділеної структури концептуальної моделі та представленої схеми технологічного процесу розробляється контур управління. Контури управління в складних системах відіграють ключову роль. Розглядаючи складні системи управління необхідно з відповідним рівнем абстрагування і спрощенням представити характеристичні зв'язки та впливи. У подальшому такі елементи є основою для розробки аналітичних моделей опису технологічних параметрів взаємодії елементів у ТПВ.

4.3 Натурні спостереження параметрів роботи транспорту та формування вхідного пасажиропотоку в ТПВ

Вирішення завдань удосконаленні організації перевезень та функцій ТПВ неможливе без систематичного та об'єктивного вивчення характеру зміни пасажиропотоків. Дослідження пасажиропотоків в ТПВ дозволяє виявити їх розподіл по зупинним пунктам, за часом і напрямками руху. Серед основних задач, що вирішуються в межах ТПВ на основі інформації про пасажиропотік є: визначення кількості зупинних пунктів та їх розміщення; розподіл маршрутів між зупинними пунктами; розробка та коригування розкладу руху; вибір раціональної місткості й кількості рухомого складу; міжмаршрутний розподіл рухомого складу; підвищення якості перевезень пасажирів.

Систематичні обстеження пасажиропотоку в ТПВ проводяться щодня протягом усього часу роботи маршрутів. Проведення систематичних обстежень, як правило, виконується силами співробітників пасажирських АТП. В останні часи значного поширення для проведення систематичних обстежень набуло використання засобів відео фіксації, розташованих у салонах транспортних засобів або в зоні зупинних пунктів ТПВ.

Разовими обстеженнями називаються обстеження, які проводяться протягом обмеженого періоду часу. Такі обстеження, як правило, виконуються в рамках окремих програм, що розробляються для досягнення відповідних окремих цілей транспортного планування

пасажирського транспорту: відкриття, закриття маршрутів, корегування провізних можливостей маршрутів, раціоналізація розкладу руху, підвищення ефективності транспортного процесу та ін. Проведення разових обстежень пасажиропотоків в ТПВ може виконуватися силами підприємства або з залученням сторонніх організацій що мають відповідні ресурси, досвід та навички виконання таких робіт.

При плануванні обстежень пасажиропотоків в ТПВ важливим є визначення періодичності їх проведення. Періодичність обстеження пасажиропотоків визначається в залежності від рівня обхвату мережі і умов роботи маршрутів. Відповідно до існуючих норм періодичність обстеження пасажиропотоків регламентується наступним чином:

- суцільне обстеження (на всій міській, приміській та міжміській маршрутній мережі) – не рідше одного разу на три роки;
- вибіркове (на окремих міських, приміських і міжміських маршрутах) – не рідше двох разів на рік (в осінньо-зимовий і весняно-літній періоди), а також при різкій зміні пасажиропотоків;
- на знов відкритих маршрутах – обстеження проводиться після трьох місяців регулярної роботи маршруту.

Робота з обстеження пасажиропотоків в ТПВ незалежно від тривалості і широти охоплення повинна здійснюватися за заздалегідь складеним і затвердженим планом. План розробляється з урахуванням конкретних умов проведення обстеження і повинен бути реальним за термінами виконання, обсягом робіт і кількістю виконавців. План проведення обстеження пасажиропотоків в ТПВ, як правило, складається з трьох етапів:

- підготовка до проведення обстеження пасажиропотоків;
- робота з виконання обстеження пасажиропотоків;
- обробка зібраної первинної інформації обстеження пасажиропотоків;
- аналіз отриманих результатів обстеження пасажиропотоків.

Підготовку до проведення обстеження пасажиропотоків починають з вибору конкретного методу. Вибір методу визначається метою обстеження, характером доступності інформації, трудомісткістю і необхідними витратами на проведення обстежень. Натурні методи обстеження пасажиропотоків виключно трудомісткі і вимагають, як правило, залучення великої кількості обліковців. Для виконання облікової роботи можуть залучатися студенти технікумів і вищих навчальних закладів, працівники АТП, громадські організації

та ін. Перед початком проведенням обстеження пасажиропотоків з обліковцями проводять відповідні інструктажі з охорони праці, виконують закріплення обліковців за маршрутами, місцями, рейсами, пояснюють методику обстеження та складають графік проведення обстеження, ознайомлюють на місці з об'єктом дослідження. Для проведення натурних спостережень за пасажиропотоками в ТПВ «ст. м. Індустріальна» була підготовлена адаптована методика, яка заснована на табличному методі обстеження. Табличний метод є найбільш ефективним методом, що використовується для визначення транспортної рухливості населення, він дозволяє отримати велику кількість вихідних даних про функціонування маршруту та системи громадського транспорту в місті (обсяг перевезень пасажирів по транспортній мережі, окремих її ділянках і маршрутах, пасажирообмін зупиночних пунктів, коефіцієнт використання місткості рухомого складу та ін.).

Для визначення пасажиропотоків була визначена вибірка для натурального обстеження в кількості не менше 30% рухомого складу на кожному маршруті міського пасажирського транспорту загального користування. Відсутні дані по пасажиропотоку визначалися методами математичної статистики. В результаті обробки і аналізу ці дані повинні надати розуміння про формування у часі попиту в зупинних пунктах ТПВ. Додатково при аналізі функціонування транспорту використовувалися дані диспетчерських служб, отримані за допомогою системи GPS моніторингу. На першому етапі встановлювалася добова кількість пасажирів, що відправляються по кожному початковому та транзитному зупинному пункту. Така інформація представлена в таблиці 4.11.

Таблиця 4.11.
Добовий пасажирообмін зупиночних пунктів

Номер зупинного пункту	Інтенсивність відправлення, авт/год.	Обсяг прибуття пасажирів, пас.	Обсяг відправлення пасажирів, пас
1	2	3	4
1	53	2429	2504
2	45	1914	1823
3	98	0	4729
4	53	0	2205
5	83	4545	4208
6	53	0	2205

Продовження таблиці 4.11

1	2	3	4
7	23	872	855
8	30	1197	1260
9	23	1014	1035
10	30	678	714
15	0	0	0
16	285	9360	0
17	220	169	182

Інформація про загальний пасажирообмін зупиночних пунктів дає можливість встановити, що найбільш потужними є зупинні пункти №1-6 та 10. Це пояснюється тим, що через дані зупинні пункти проходять в основному маршрути які мають локальну трасу. Ці маршрути обслуговують пасажирів Роганського житлового масиву які як правило в своїй більшості здійснюють пересадку на автобусні маршрути з метрополітену. Для виділення найбільш інформативного періоду завантаження даних зупинних пунктів було праведно на основі візуального методу обстеження зміни пасажиропотоку протягом доби. Результати обстеження розподілено за характерними періодами формування попиту з відправлення пасажирів. Ця інформація представлена в таблиці 4.12.

Таблиця 4.12.

Розподіл обсягу відправлення пасажирів з ЗП 1-6, 10 у часі

Номер зупинного пункту	Кількість пасажирів, що відправляються, пас.			
	Ранок 6 ⁰⁰ -9 ⁰⁰	День 6 ⁰⁰ -9 ⁰⁰	Вечір 6 ⁰⁰ -9 ⁰⁰	Всього протягом дня
1	876	501	1127	2504
2	675	365	784	1824
3	1939	804	1986	4729
4	772	419	1014	2205
5	1599	842	1767	4208
6	772	397	1036	2205
10	257	128	470	855

Наступним кроком було встановлення в для найбільш завантаженого періоду динаміки формування пасажиропотоку в зупинних пунктах. Кількість пасажирів, що прибувають до зупинного пункту ТПВ фіксувалася відповідно до кожного типового моменту

часу, який дорівнює 1 хв. Період проведення обстеження покриває найбільш напружені моменти часу, а саме – вечірній період «пік» з 16⁰⁰ до 15⁰⁰. На основі натурних спостережень визначений обсяг відправлення пасажирів з зупиночних пунктів.

У ТПВ «ст. м. Індустріальна» у вечірній період основним джерелом формування обсягу пасажирів на зупиночних пунктах є потоки пасажирів, що прибувають з метрополітену та формуються з прилеглих територій. Потік пасажирів з прилеглих територій представляється найпростішим Пуасонівським потоком. Потік пасажирів, що прибувають з наземного транспорту та метрополітену є неординарним. Час їх формування відповідає моментам часу прибуття автобусів та потягів метрополітену, з урахуванням часу на здійснення переходу пасажирів до зупиночних пунктів наземного транспорту. На основі натурних спостережень встановлена динаміка формування пасажирів на зупинних пунктах 1-6. Інформація про загальний обсяг підходу пасажирів на зупинний пункти графічно відображена на рис. 4.13 – 4.18.

Аналізуючи представлені графіки формування пасажиропотоків на зупинних пунктах можна встановити, що існує загальна тенденція до появи пікових моментів які призводять до хвилеподібного характеру їх зміни. Дані виплески обумовлені наявністю характеристичного впливу прибуття автобусів сполучення з Роганського масиву, приміської зони та прибуття потягів метрополітену. Величина пікового підходу пасажирів до зупинного пункту змінюється від 9 пас. до 30 пас.

Для імітаційного моделювання необхідно встановити закони розподілу випадкових величин. Вихідною інформацією для цього є проведені натурні спостережень за рухом транспортних засобів. Для розрахунку часу простою під посадкою-висадкою пасажирів використовується час який витрачається пасажирами для реалізації цих операцій. Враховуючи стохастичні властивості процесів доцільно дослідити закономірності розподілу середнього часу посадки-висадки пасажира. В таблиці 4.13 представлені параметри опорних натурних спостережень за параметрами руху та середнього часу посадки-висадки пасажирів. В таблиці 4.14 представлені фрагменти натурних спостережень.

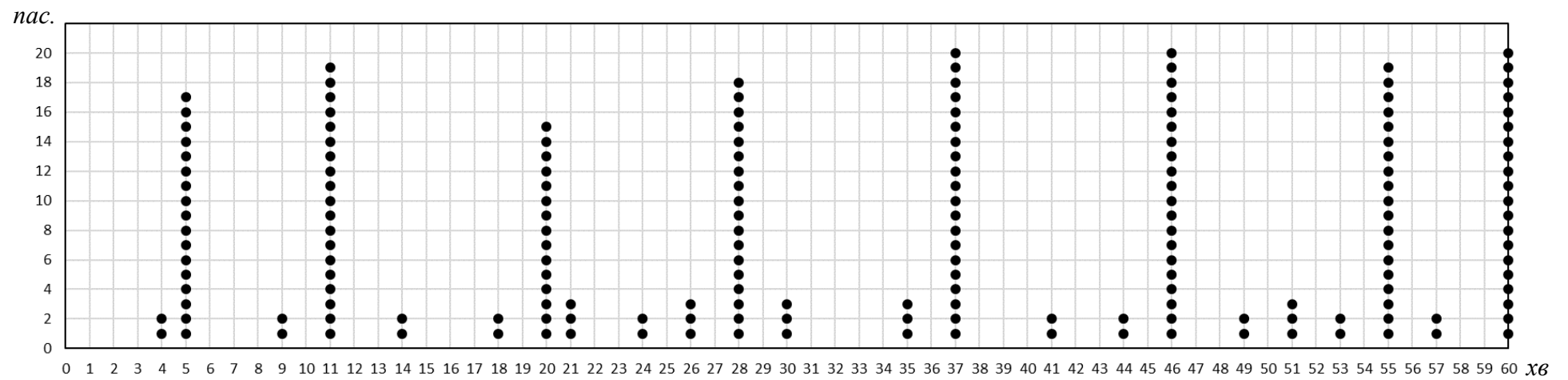


Рисунок 4.13. Прибуття пасажирів на зупинний пункт 1 (вечірній період «пік» з 16⁰⁰ до 17⁰⁰)

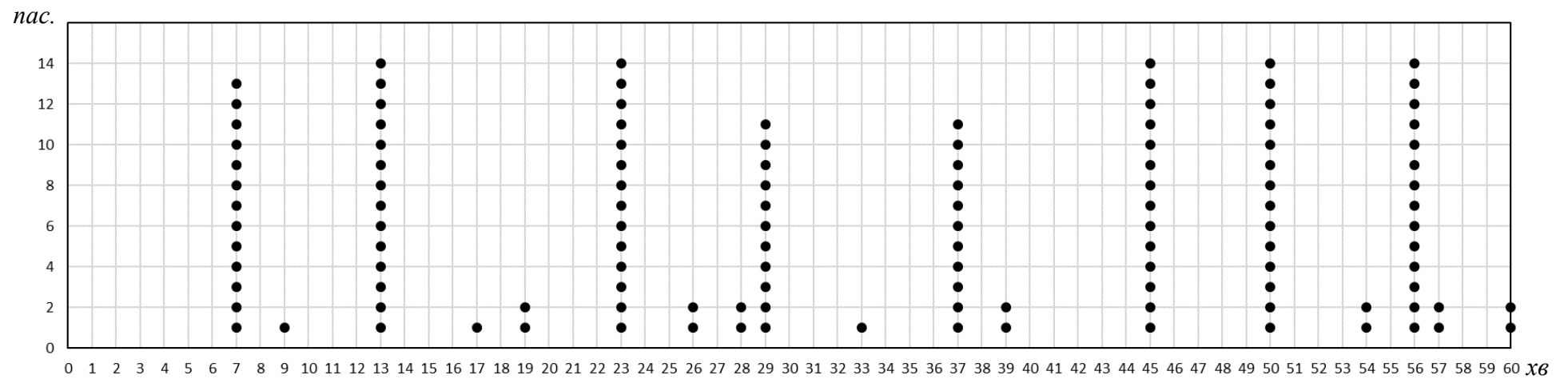


Рисунок 4.14. Прибуття пасажирів на зупинний пункт 2 (вечірній період «пік» з 16⁰⁰ до 17⁰⁰)

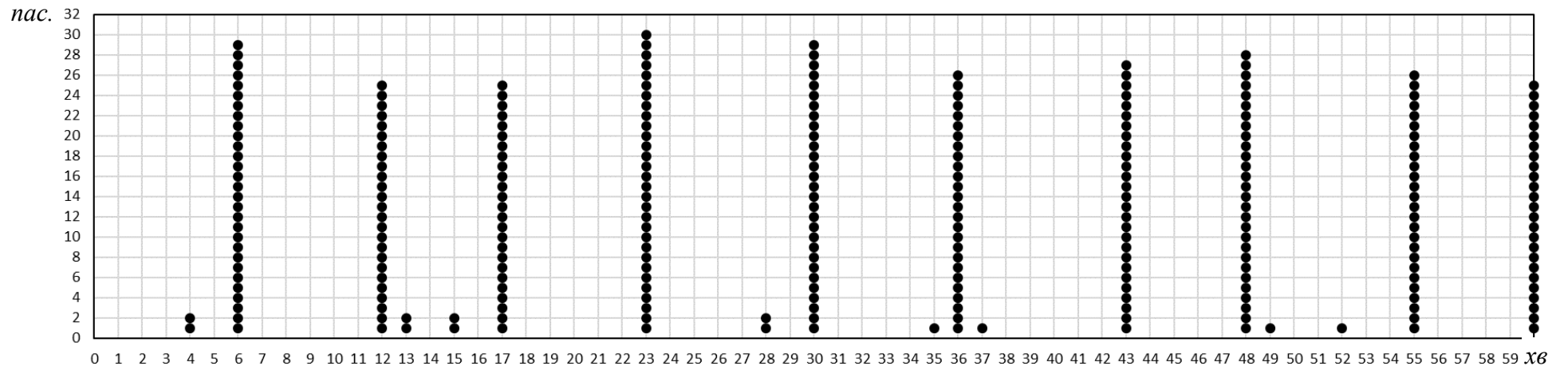


Рисунок 4.15. Прибуття пасажирів на зупинний пункт 3 (вечірній період «пік» з 16⁰⁰ до 17⁰⁰)

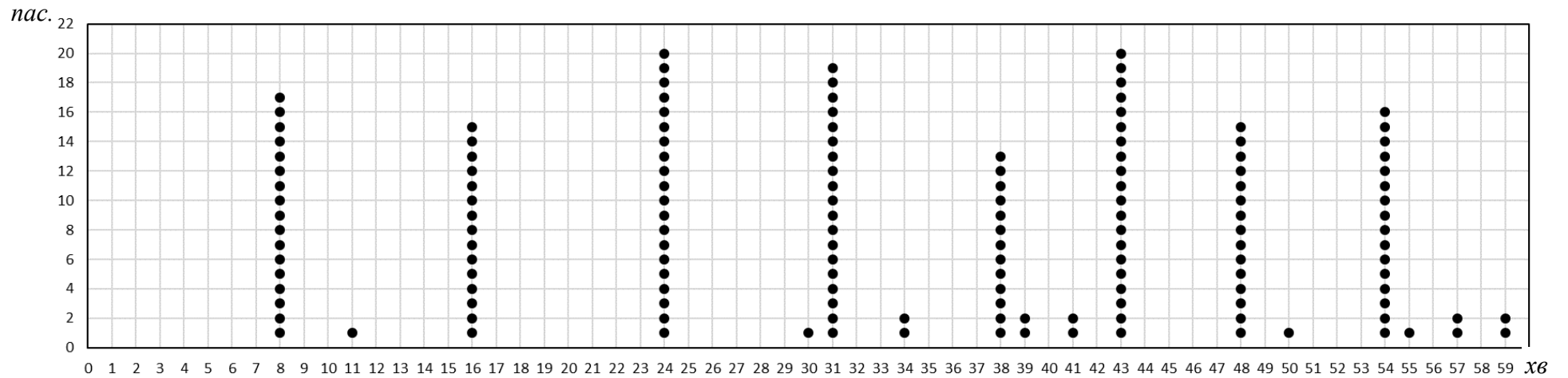


Рисунок 4.16. Прибуття пасажирів на зупинний пункт 4 (вечірній період «пік» з 16⁰⁰ до 17⁰⁰)

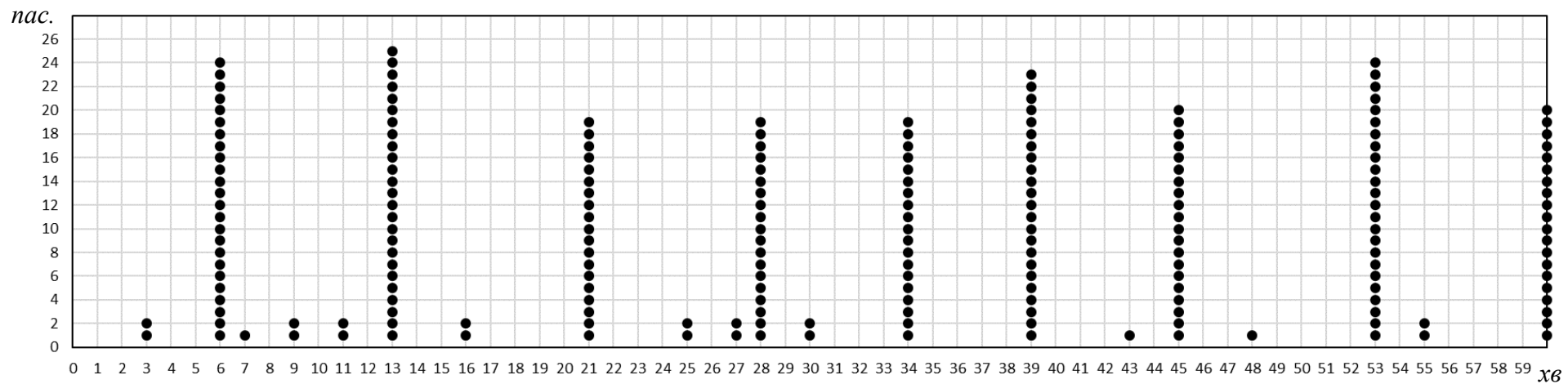


Рисунок 4.17. Прибуття пасажирів на зупинний пункт 5 (вечірній період «пік» з 16⁰⁰ до 17⁰⁰)

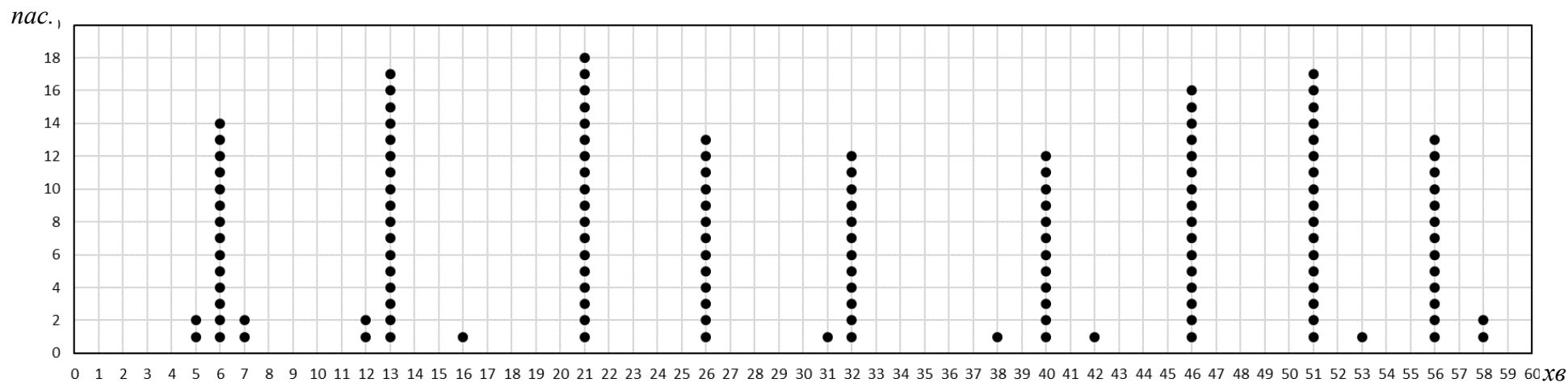


Рисунок 4.18. Прибуття пасажирів на зупинний пункт 6 (вечірній період «пік» з 16⁰⁰ до 17⁰⁰)

Таблиця 4.13.
Параметри опорних натурних спостережень

Параметр	Середньоквадратичне відхилення	Гранична допустима помилка
Час маневрування при заїзді на зупинний пункт, с	7,3	2,9
Час маневрування при виїзді з зупинного пункту, с	5,4	2,5
Середній час висадки пасажирів, с	0,81	0,37
Середній час посадки пасажирів, с	0,92	0,48

Таблиця 4.14.
Результати натурних обстежень (фрагмент)

Номер	Час маневрування при заїзді на зупинний пункт, с	Час маневрування при виїзді з зупинного пункту, с	Середній час висадки пасажирів, с	Середній час посадки пасажирів, с
1	27	42	4,4	5,9
2	26	37	4,4	6
3	28	35	4,6	5,3
4	28	39	4,9	5,2
5	29	38	4,6	5,8
6	29	36	4,3	5,5
7	28	36	4,2	5,3
8	29	35	4	4,8
9	28	41	3,7	4,9
10	28	38	4,1	4,4
11	27	39	4,3	5,4
12	29	42	4,3	5,7
13	28	38	4,1	5,4
14	30	39	4,4	6,2

Отримані з експерименту (спостереження, вимірювання) величини містять випадкові помилки, які не піддаються точному обліку і в кожному окремому вимірі діють по-різному. Врахувати такі помилки можна тільки в середньому. Якщо досліджувані величини визначаються безпосередньо, то обробка отриманих результатів ведеться статистичними прийомами. У межах статистичного аналізу розглядається вирішення двох основних задач: розробка методології збору та угруповання отриманого статистичного матеріалу; розробка методів аналізу отриманих статистичних даних на основі оцінки

імовірнісних подій, функції та щільності розподілів ймовірностей, оцінку параметрів розподілу, а також зв'язків між випадковими величинами. На основі їх обробки встановлені графіки розподілу частот випадкових величин (рис. 4.19 – 4.22).

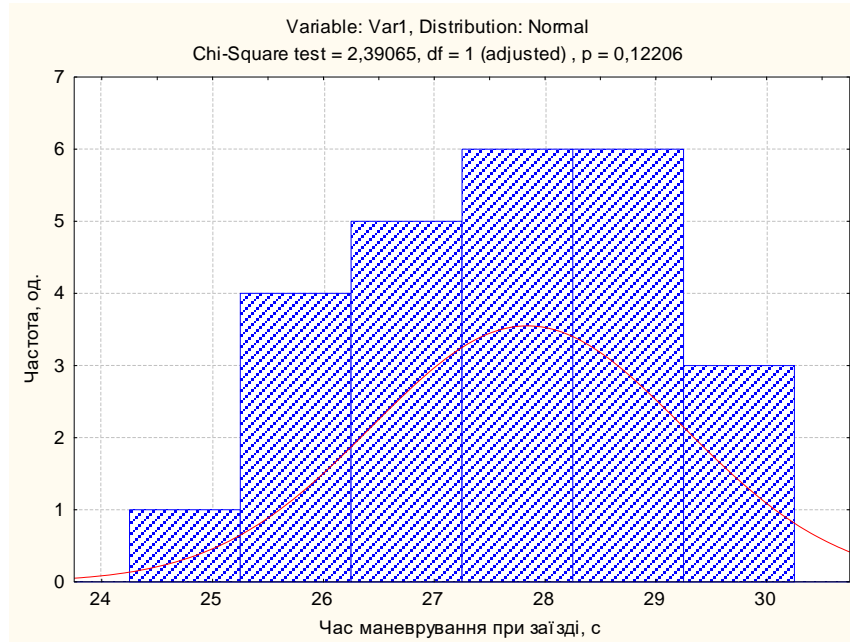


Рисунок 4.19. Розподіл часу маневрування автобусів у зупинному пункті при заїзді

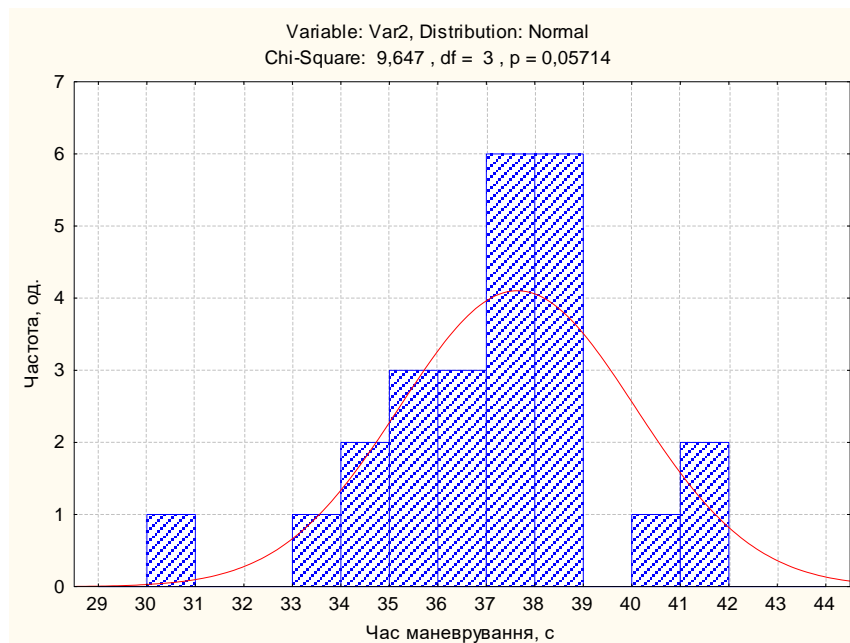


Рисунок 4.20. Розподіл часу маневрування автобусів у зупинному пункті при виїзді

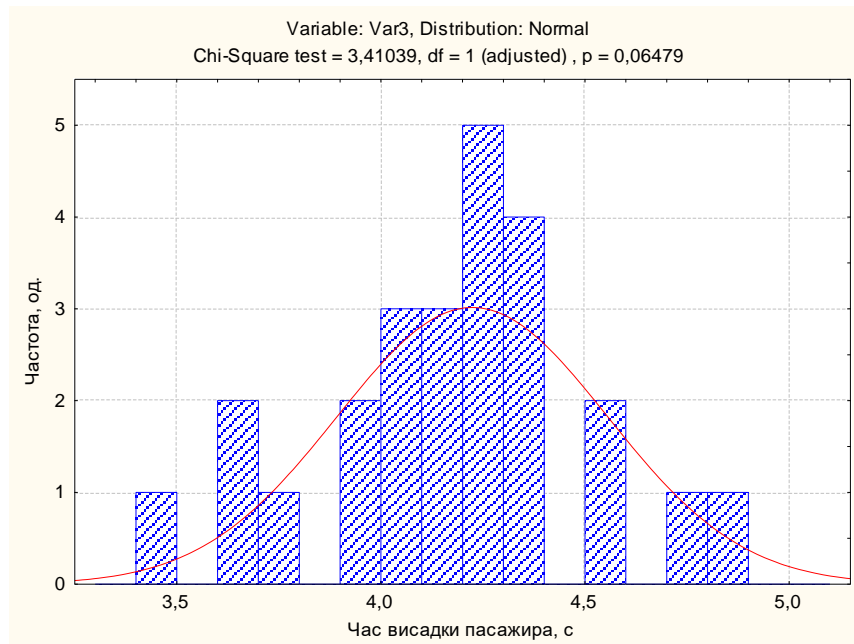


Рисунок 4.21. Розподіл середнього часу посадки пасажирів

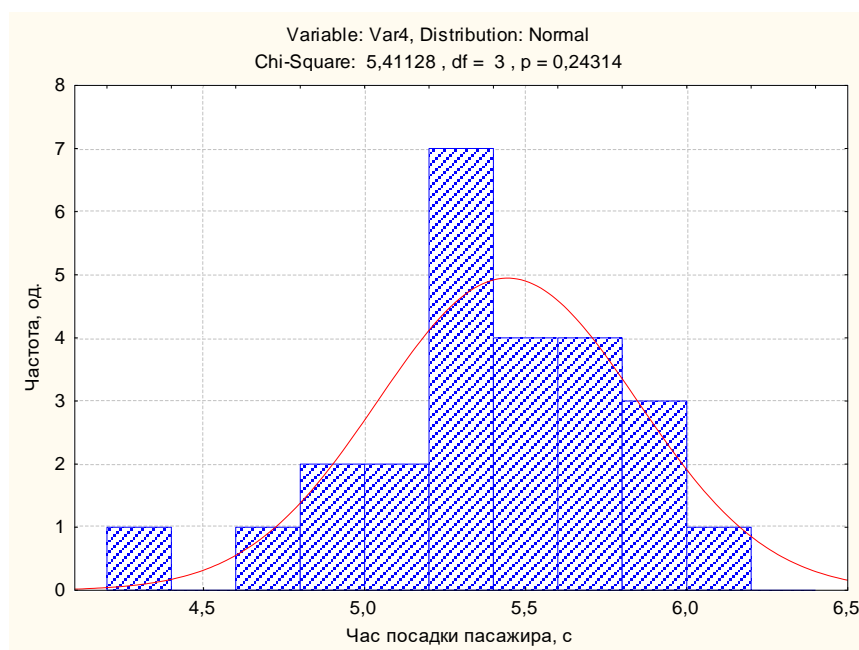


Рисунок 4.22. Розподіл середнього часу висадки пасажирів

Результати перевірки гіпотез про закони розподілу величин часових параметрів наведені в таблиці 4.15.

Таблиця 4.15.
Результати перевірки гіпотез

Показник	Кількість ступенів свободи	Розрахункове значення критерію Пірсона
Час маневрування при заїзді на зупинний пункт, с	3	2,309
Час маневрування при виїзді з зупинного пункту, с	2	9,647
Середній час висадки пасажирів, с	1	3,410
Середній час посадки пасажирів, с	3	5,441

Розрахункові значення критерію Пірсона не перевищують табличні значення, тому гіпотези про нормальний закон розподілу не відхиляються. Встановлені значення показників формування попиту та складових параметрів простою автобусів у зупиночних пунктах є базовими елементами формування імітаційного експерименту.

4.4 Моделювання параметрів технологічного процесу взаємодії в ТПВ

Планування експерименту – комплекс заходів для впровадження методів математичної статистики, спрямованих на мінімізацію витрат ресурсів часу для реалізації процедури моделювання і проведення раціональних вимірювань величин, схильних до випадкових помилок. Загальна схема проведення експерименту виглядає наступним чином. З випадковими помилками вимірюється деякі вихідні змінні системи, що залежать від невідомих значень параметрів і відомих значень змінних – чинників. Основна мета планування експерименту – досягнення максимальної точності вимірювань при мінімальній кількості проведених дослідів і збереженні статистичної достовірності результатів.

Основні етапи планування експерименту:

- встановлення мети експерименту – постановка цілей і завдань проведення експерименту;
- уточнення умов проведення експерименту – вибір обладнання, термінів робіт, способу проведення експерименту і т.п.;
- вибір вхідних та вихідних параметрів – вибір залежної вимірюваної змінної, визначення випадкових і детермінованих незалежних змінних;

- встановлення необхідної точності результатів вимірювань – вибір компромісу між мінімальним числом випробувань і статистичною достовірністю отриманих результатів;
- складання плану і проведення експерименту – кількість і порядок випробувань, завдання сукупності значень, що задаються, змінних чинників і їх взаємодій в експерименті;
- статистична обробка результатів експерименту – застосування методів математичної статистики для обробки результатів, побудова математичної моделі експерименту;
- формулювання висновків.

Метою проведення експериментальних досліджень є встановлення емпіричних залежностей впливу додаткового сервісного часу простою транспортного засобу в зупинному пункті на час пересадки пасажирів. Базовою гіпотезою виступає встановлення моделей у вигляді вибору виду функцій

$$T_{nep} = f(t_{cn}), \quad (4.1)$$

де t_{cn} – час додаткового простою автобуса в зупинному пункті для очікування пасажирів, с.

Екстремум цільової функції відповідає оптимальному стану системи транспортного обслуговування та набуває мінімального значення при впровадженні раціонального варіанту розкладу руху. Умовою приналежності до раціонального розкладу є впровадження відповідного часу додаткового простою автобусів. Під час простою автобусів у зупинному пункті відбувається очікування та посадка пасажирів які підходять до зупиночного пункту. Однак збільшення часу простою автобуса в зупиночному пункті призводить до зниження провізних можливостей маршруту. Задача експерименту полягає в тому, щоб визначити раціональну тривалість часу простою автобусів виходячи з встановлення кількісних значень констант (коефіцієнтів) рівнянь (4.1).

Логіка проведення експерименту передбачає встановлення раціональних значень додаткового простою для кожного маршруту який проходить через зупинний пункт. В якості зупинних пунктів виступають пункти 1-6. Ці пункти використовуються для забезпечення відправки пасажирів на маршрутах 261е, 262е, 16е, 71е, 147е, 276е, 252е.

Потрібно вибрати основний рівень і інтервал варіювання вхідного фактору – додаткового сервісного часу простою автобуса на зупинному пункті (t_{cn}), який буде безпосередньо використаний при плануванні експерименту. Інтервали фактору повинні дозволити знайти оптимальний стан. Чинники $t_{cn} \in \{t_{cn}^{\min}, t_{cn}^{\text{mid}}, t_{cn}^{\max}\}$ представляються для кожного маршруту трьома рівнями: t_{cn}^{\min} – мінімальна тривалість сервісного простою автобусів; t_{cn}^{mid} – середній час сервісного простою; t_{cn}^{\max} – максимальна тривалість сервісного простою автобусів. Значення рівнів тривалості додаткового часу сервісного простою автобусів визначається виходячи з умови поступової зміни їх значення відносно мінімального значення на 3 хв., а саме: $t_{cn}^{\min} = 0$ с, $t_{cn}^{\text{mid}} = 180$ с, $t_{cn}^{\max} = 360$ с. В повному факторному експерименті реалізуються всі можливі сполучення рівнів факторів. Всього було проведено 81 дослід. Фрагмент матриці планування серії повнофакторного експерименту представлена в таблиці 4.16.

Реалізація розрахункової процедури імітаційного моделювання проведена в програмному середовищі «MS Excel 10». В межах розробленої програми основними блоками є модулі відтворення моментів прибуття пасажирів у зупинний пункти, базового часу перебування автобуса на зупинному пункті, встановлення фактичного часу простою та обчислення значення критерію ефективності та системи обмежень. Для встановлення величин часу маневрування транспортних засобів та часу посадки-висадки пасажирів реалізації використані данні статистичної обробки результатів обстеження. Базою для формування значень випадкових величин є встановлені закони розподілу часу. Пасажиропотік, час простою на зупинках приймається як середні значення встановлені в ході обстеження. Базові моменти прибуття транспортних засобів у зупинний пункт приймаються з фактичних спостережень за роботою зупинного пункту. За результатами розрахунків отримані відповідні значення показників рівня впливу на провізні можливості маршрутів та на час знаходження пасажирів у ТПВ.

Таблиця 4.16

Матриця планування серії експерименту (фрагмент)

Зупинний пункт	Пункт 1			Пункт 2			Пункт 3			Пункт 4			Пункт 5			Пункт 6		
Маршрут	261е			262е			16е			71е			147е, 276е			252е		
Номер досліду	Додатковий час простою автобусів для очікування пасажирів, с																	
	0	180	360	0	180	360	0	180	360	0	180	360	0	180	360	0	180	360
1	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-
2	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-
3	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-
4	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-
5	+	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-
6	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-
7	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+
8	-	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+
9	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+
10	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	+	-	-
11	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-
12		+			+			+		-	-	+		+		-	-	+

Аналіз експериментальних даних має своєю метою практичну інтерпретацію встановлених в ході моделювання характеристичних зв'язків між вхідними параметрами (додатковим сервісним простоем автобусів) та значенням критерію ефективності та системи обмеження. Якісний аналіз результатів це сукупність процедур та методів опису дослідницьких даних на основі теоретичних умов та узагальнень, індивідуального досвіду, інтуїції, методів логічного висновку. Такі умови дозволяють приблизити експеримент до реальних умов. Отримані результати розрахунків оброблені в програмному середовищі «MS Excel 10». На рис. 4.23 – 4.28 представлені графіки зміни критерія ефективності в залежності від тривалості сервісного простою автобусів для різних зупинних пунктів.

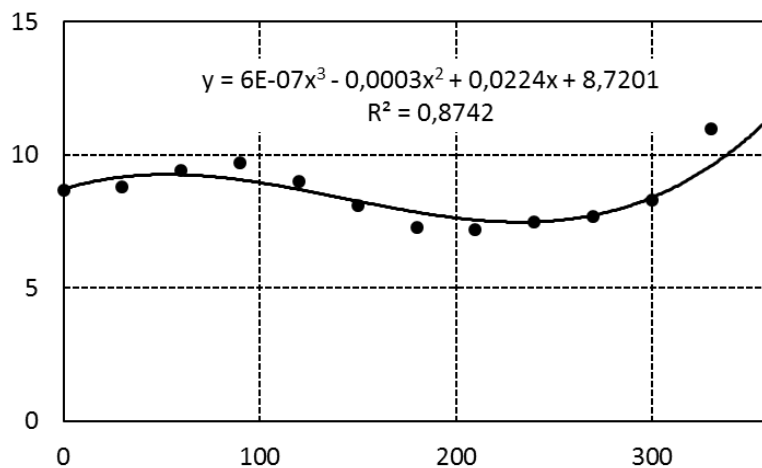


Рисунок 4.23. Вплив тривалості сервісного простою автобуса на час пересадки пасажира для зупинного пункту 1

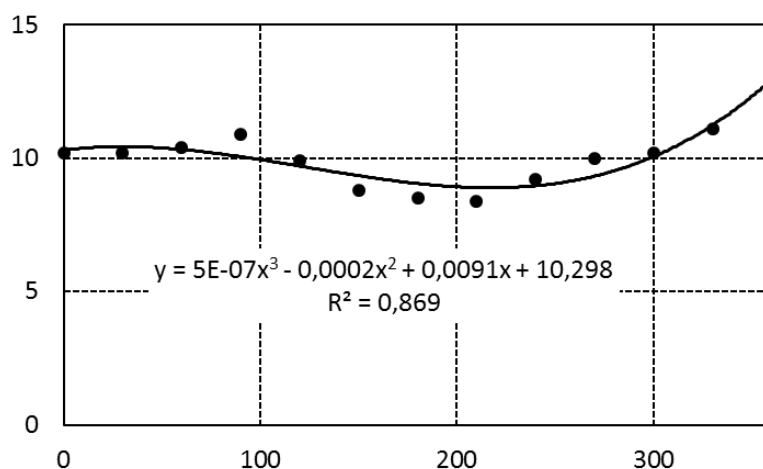


Рисунок 4.24. Вплив тривалості сервісного простою автобуса на час пересадки пасажира для зупинного пункту 2

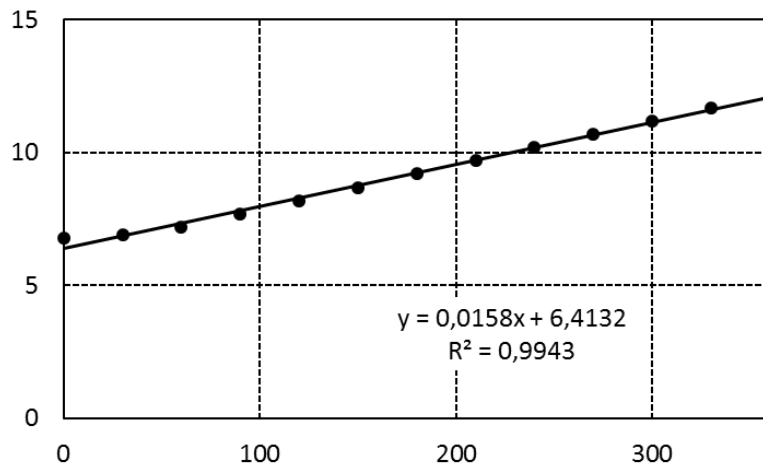


Рисунок 4.25. Вплив тривалості сервісного простою автобуса на час пересадки пасажира для зупинного пункту 3

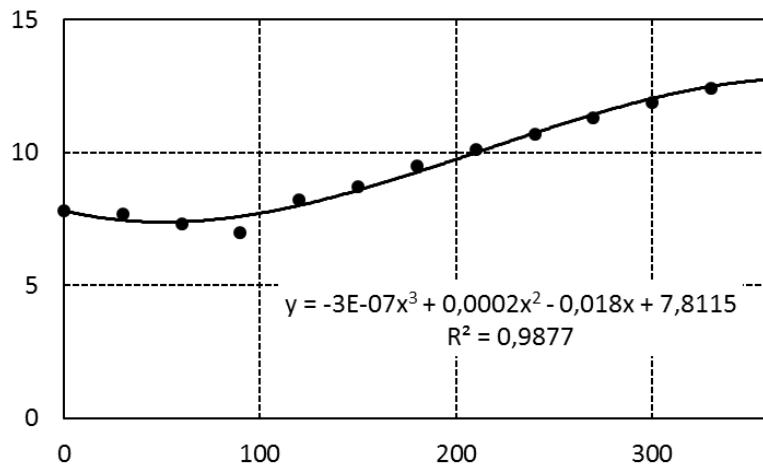


Рисунок 4.26. Вплив тривалості сервісного простою автобуса на час пересадки пасажира для зупинного пункту 4

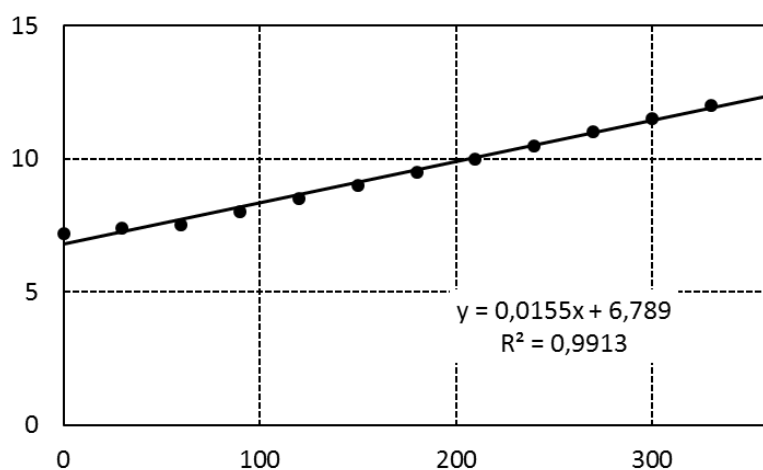


Рисунок 4.27. Вплив тривалості сервісного простою автобуса на час пересадки пасажира для зупинного пункту 5

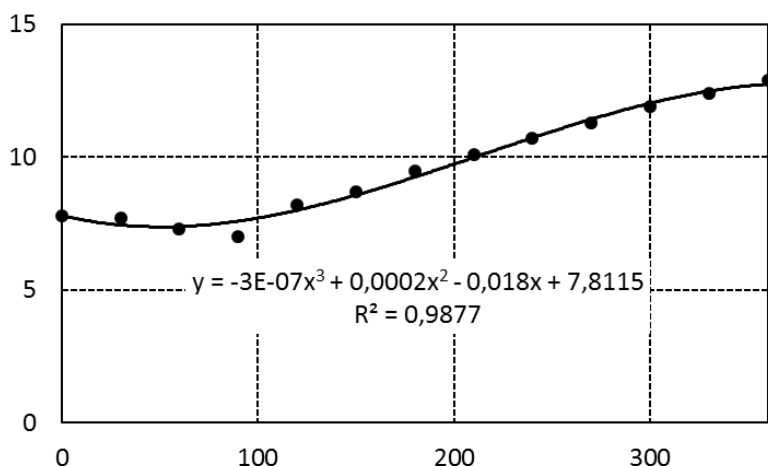


Рисунок 4.28. Вплив тривалості сервісного простою автобуса на час пересадки пасажира для зупинного пункту 6

Аналізуючи отримані залежності зміни часу очікування пересадки та рівня провізних можливостей маршрутів від часу додаткового сервісного простою автобусів в зупинних пунктах можна встановити наявність характеристичної залежності.

В межах зупинних пунктів 1 та 2 впровадження додаткового сервісного простою від 0 с до 90 с призводить до збільшення часу очікування пасажирами пересадки на 12 % (з 8,7 хв до 9,9 хв). Така ситуація пояснюється тим, що цей час не створює реальних умов для синхронізації часу взаємодії транспортних засобів різних маршрутів, а навпаки призводить до збільшення тривалості затримок пасажирів у ТПВ. У разі коли сервісний простій знаходиться в межах від 90 с до 240 с спостерігається скорочення часу очікування пасажирами пересадки в ТПВ на 6 % (з 8,7 хв до 7,2 хв). При подальшому збільшенні тривалості додаткового сервісного простою понад 240 с час очікування зростає та приймає значення більше ніж при його повній відсутності (доходить до 11 хв та 13 хв). Крива, що відтворює характеристичний зв'язок $T_{пер} = f(t_{cn})$ описується поліномом третього роду. Коефіцієнт детермінації моделей складає 0,874 та 0,869, що свідчить про високий рівень їх об'єктивності.

Для зупинних пунктів 4 та 6 закономірність має схожий характер з попередніми. Існує оптимальне значення додаткового простою яке складає в діапазоні від 60 с до 120 с. При цьому можливе скорочення середнього часу пересадки пасажира на 1,1 хв (на 6 %). Подальше збільшення призведе до погіршення ситуації та зниження ефективності роботи ТПВ. Крива, що відтворює характеристичний

вплив на час пересадки також описується поліномом третього роду. Коефіцієнт детермінації моделей складає 0,987, що свідчить про високий рівень їх об'єктивності.

Для зупинних пунктів 3 та 5 закономірність зміни часу пересадки показує, що впровадження будь якого додаткового простою призведе до його збільшення. Так при збільшенні сервісного простою до 120 с час пересадки пасажира зросте на 1,3 хв, а при збільшенні на 360 с – до 4,8 хв. Крива, що відтворює характеристичний вплив на час пересадки описується лінійною функцією. Коефіцієнт детермінації моделей складає 0,99, що свідчить про високий рівень їх об'єктивності.

Виходячи з аналізу отриманих залежностей впливу додаткового простою автобусів на час очікування пересадки пасажирів можна обґрунтувати доцільність встановлення тривалість додаткового сервісного простою автобусів у зупинних пунктах з пасажирообміном до 250 пас. за годину. Тривалість такого простою повинна складати від 90 с до 240 с. Для зупинних пунктів с пасажиробміном від 250 пас. до 350 пас. можливий додатковий простій тривалістю до 90 с. Для зупинних пунктів с пасажиробміном від 350 пас. впровадження будь якого додаткового простою є недоцільним, так як призводить до збільшення часу пересадки пасажирів.

4.5 Висновки за розділом 4

У структурі пасажирської транспортної системи м. Харкова транспортно-пересадочний вузол «ст. м. Індустріальна» відіграє вагомую роль та являє собою пасажирський комплекс в межах якого виконуються функції з перерозподілу пасажиропотоків різних видів сполучення між видами транспорту і напрямками руху. ТПВ «ст. м. Індустріальна» є одним з важливих елементів транспортної інфраструктури міського пасажирського транспорту м. Харкова.

Підвищення ефективності функціонування наземного пасажирського транспорту в ТПВ «ст. м. Індустріальна» включає два аспекти: зниження часу очікування пасажирів при пересадці та координація прибуття транспортних засобів МПТ на зупинні пункти. Синхронізація часу перебування автобусів в зупинних пунктах ТПВ має своєю метою скорочення часу пересадки між маршрутами за рахунок забезпечення можливості накопичення пасажирів, що виходять з метро. Складність реалізації синхронізації та координації руху МПТ у ТПВ обумовлена: випадковістю прибуття транспортних

засобів МПТ, різними часовими характеристиками роботи маршрутів, наявними ресурсними обмеженнями пропускну здатності зупиночних пунктів.

Основною метою удосконалення ТПВ є зниження витрат часу пасажирями на здійснення пересадки. В якості вхідного потоку виступають: рейсовий обсяг прибуття (відправлення) пасажирів інтенсивність вхідного маршрутного потоку, кількість постів на зупинному пунктів. На процес перебування автобусів у зупинних пунктах ТПВ впливає час прибуття автобуса до ТПВ, час маневрування автобуса при заїзді-виїзді, час посадки-висадки одного пасажиря. Основним керуючим заходом є впровадження часу додаткового простою автобусів, спрямованого на розширення діапазону часу перебування в ТПВ, що дає можливість збільшити ймовірність синхронізації пересадки пасажирів та тим самим знизити загальні витрати часу пасажирями на здійснення пересадки.

Аналізуючи формування пасажиропотоків на зупинних пунктах в період з 16⁰⁰ до 15⁰⁰ встановлено, що існує загальна тенденція до появи пікових моментів які призводять до хвилеподібного характеру їх формування. Дані виплески обумовлені наявністю характеристичного впливу прибуття автобусів сполучення потягів метрополітену. Величина пікового підходу пасажирів до зупинного пункту змінюється від 9 пас. до 30 пас.

Праведна статистична обробка показників (час маневрування при заїзді та виїзді автобуса з зупинного пункту, час посадки-висадки пасажиря) , що мають статистичний характер дозволила визначити їх закони розподілу. Розрахункові значення критерію Пірсона не перевищують табличні значення, тому гіпотези про нормальний закон розподілу не відхиляються.

Виходячи з аналізу отриманих залежностей можна зробити висновок, що є доцільність встановлення тривалість додаткового сервісного простою автобусів у зупинних пунктах з пасажирообміном до 250 пас. за годину. Тривалість такого простою повинна складати від 90 с до 240 с. Для зупинних пунктів с пасажиробміном від 250 пас. до 350 пас. можливий додатковий простій тривалістю до 90 с. Для зупинних пунктів с пасажиробміном від 350 пас. впровадження будь якого додаткового простою є недоцільним, так як призводить до збільшення часу пересадки пасажирів.

ВИСНОВКИ

За результатами аналізу стану сучасних міських пасажирських транспортних систем встановлено, що 16-45% пересувань населення реалізується з пересадками, питома вага конфліктних ситуацій, що виникають у ЗП сягає до 55%, а витрати часу пасажирів на здійснення пересадочних операцій в ТПВ складають від 20% до 34% від загального часу переміщення. Існуючі науково-практичні підходи до вдосконалення функцій ТПВ зорієнтовані на дослідження їхніх внутрішніх технологічних процесів, при цьому не враховують характер та рівень впливу організації взаємодії на провізні можливості маршрутів, пропускну спроможність елементів ВДМ, безпеку руху та екологічні наслідки для МС, що робить їх обмеженими для застосування в умовах сталого розвитку міст. Напрямок дослідження визначено необхідністю розробки нових науково обґрунтованих методик та підходів до вдосконалення технологічної взаємодії суб'єктів МПТ у ТПВ на базі основоположних принципів сталого розвитку міст, що спрямовані на погодження сервісно-ресурсних, екологічних та соціальних аспектів їхнього функціонування.

Загальна схема функціональної сталості об'єктів інфраструктури МПТ ґрунтується на представленні її у вигляді сервісно-ресурсної параметризації внутрішніх динамічних процесів, характер протікання яких є визначальним для оцінювання ефективності взаємодії суб'єктів маршрутного потоку. Допустимі межі параметричних просторів сервісно-ресурсних індикаторів взаємодії встановлюються шляхом відображення множини організаційно-управлінських рішень на показники стабілізації технологічних процесів та умови забезпечення їхньої відповідності маркетинговим вимогам споживчої підсистеми. Представлення функціональної сталості об'єктів інфраструктури відповідає цільовому відтворенню базових принципів формування потенціалу МПТ, уможливорює реалізацію процедури пошуку ефективних механізмів протидії чинникам внутрішньої та зовнішньої дестабілізації, в межах узагальнених характеристик ресурсних та результативних показників взаємодії забезпечує виконання основоположних принципів сталого розвитку міського середовища.

За результатами аналізу технологічних операцій обґрунтовано структуру та склад функціональної моделі ТПВ, що дозволило відокремити як базові елементи формування ефективності такі параметри: експлуатаційні показники вхідного маршрутного потоку,

тривалість технологічного та сервісного простою ТЗ, закономірності утворення та міжмаршрутного розподілу пасажиропотоків у ЗП. Встановлено, що ефективним параметром управління взаємодією суб'єктів маршрутного потоку є тривалість сервісного простою ТЗ.

Підвищення рівня функціональної сталості ТПВ забезпечується інваріантністю процесу функціонування ЗП шляхом формування необхідного рівня резерву їхньої пропускної спроможності, раціональним розподілом маршрутів, слот-координацією розкладу руху та оперативним коригуванням закріплення маршрутів. Запропоновані управлінські дії щодо стабілізації функціонування ЗП є технологічною основою виробничої програми ТПВ, вони вносять певну впорядкованість у процеси планування та управління роботою, дозволяють систематизувати їхні сервісно-ресурсні параметри, сприяють підвищенню якості транспортного обслуговування пасажирів, реалізують можливості максимального використання потенціалу МПТ та забезпечують його відповідність умовам сталого розвитку міського середовища. Розрахунки сервісно-ресурсних показників взаємодії, досягнуті у ході реалізації керуючих заходів, довели можливість підвищення абсолютного рівня функціональної сталості ЗП ТПВ, тим самим забезпечивши перехід їхнього стану до параметричного простору стабілізації, що дало можливим усунути необхідність залучення додаткових витрат на їхню капітальну реконструкцію.

Розроблена теорія та концепція забезпечення функціональної сталості взаємодії суб'єктів МПТ, що репрезентовані в роботі, створюють методологію, що згідно з експериментальними даними та отриманими практичними результатами дозволяє підвищити ефективність ТПВ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Goldman T., Gorham R. Sustainable urban transport: Four innovative directions. *Technology in society*. 2006. Т. 28. №1-2. С. 261-273.
2. Вдовиченко В.О. Методологічні основи формування системної ефективності громадського пасажирського транспорту в умовах сталого розвитку: монографія. Харків: ХНАДУ, 2017. 212 с.
3. Вакуленко К. Є., Харченко В. Ф. Щодо якості перевезень на маршрутах міського пасажирського транспорту. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2012. №3(4). С. 57-59.
4. Щербак Н.О. Потенціал автотранспортного підприємства як іманентна ознака його ресурсів. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2010. №49. С. 52-56.
5. Campbell S. Green cities, growing cities, just cities?: Urban planning and the contradictions of sustainable development. *Journal of the American Planning Association*. 1996. Т. 62. №3. Р. 296-312.
6. Newman P., Kenworthy J. Sustainable urban form: the big picture. *Achieving sustainable urban form*. 2000. Р. 109-120.
7. Gudmundsson. H, Hall R. P., Marsden G., Zietsman J. European Union Transport White Paper. Sustainable Transportation. *Springer Berlin Heidelberg*, 2016. Р. 209-232.
8. Kiba-Janiak M., Cheba K. City Logistics versus Quality of Life in The Area of Public Transport After an Example of a Medium-Sized City. *International Logistics and Supply Chain Congress*. 2010. Р. 279-286.
9. Вдовиченко В.О. Формування сервісно-ресурсних умов сталості міського громадського пасажирського транспорту. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2016. №6/2(32). С. 47-52.
10. Вдовиченко В.О. Структура оцінки ефективності міського громадського пасажирського транспорту з позицій сталого розвитку. *Наукові нотатки*. 2017. №59. С. 38-44.
11. Нагорний Є.В., Вдовиченко В.О. Концепція підвищення ефективності взаємодії міського пасажирського транспорту з позицій стійкого розвитку. *Залізничний транспорт України*. 2014. №6(109). С. 3-8.
12. Fatnassi E., Chaouachi J., Klibi W. Planning and operating a shared goods and passengers on-demand rapid transit system for sustainable

city-logistics. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2015. Т. 81. С. 440-460.

13. Economic Evaluation Methods for Road Projects in PIARC Member Countries. World Road Association, 2004. URL: http://www.publications.piarc.org/ressources/publications_files/1/628-09-07-VCD.pdf. (дата звернення: 10.10.2016).

14. Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment. Deliverable 1. Current practice in project appraisal in Europe. European Commission EC-DG TREN, 2005. URL: <http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/hd1final.pdf>. (дата звернення: 10.10.2016).

15. Hensher D. A. Productive efficiency and ownership of urban bus services. *Transportation*. 1987. Т. 14. №3. Р. 209-225.

16. Sampaio B. R., Neto O. L., Sampaio Y. Efficiency analysis of public transport systems: Lessons for institutional planning. *Transportation research part A: policy and practice*. 2008. Т. 42. №3. Р. 445-454.

17. Куниця О. А. Зниження часу очікування пасажирями міських маршрутних транспортних засобів: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. Харків, 2008. 200 с.

18. Давидич Ю. А., Понкратов Д. П., Куш Е. И., Вакуленко Е. Е., Горносталь В. И. Определение факторов, влияющих на выбор пассажирами вида городского транспорта. *Коммунальное хозяйство городов*. 2009. №86. С. 344-350.

19. Cortés C. E., Sáez D., Milla F., Núñez A., Riquelme M. Hybrid predictive control for real-time optimization of public transport systems' operations based on evolutionary multi-objective optimization. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2010. Т. 18. №5. Р. 757-769.

20. Стригунова М. Н., Никитюк М. А. Причинно-следственный анализ факторов, влияющих на качество пассажирских автотранспортных услуг. *Збірник наукових праць «Якість технологій та освіти»*. 2011. №2 С. 14-18.

21. Paulley N. et al. The demand for public transport: The effects of fares, quality of service, income and car ownership. *Transport Policy*. 2006. Т. 13. №4. Р. 295-306.

22. Гілевська К.Ю. Удосконалення організації перевезень пасажирів міським громадським транспортом за критеріями якості: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. Київ, 2017. 193 с.

23. Ламбуцький М. М. Формування структури парку міського пасажирського транспорту: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. Київ, 2007. 20 с.
24. Горяинов А. А., Терлецкая И. В., Кочина А. А. Оценка функционирования транспортной системы перевозки пассажиров. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2006. №22. С. 10-12.
25. Awuah A. Jnr. About Transport Fatigue as an Impact Factor on Workplace Productivity in Accra, Ghana. *Journal of Information Technology and Economic Development*. 2013. Vol. 4(1). P. 9-25.
26. Ильчук В. П., Бабаченко Л. В. Організаційно-економічне забезпечення пасажирських перевезень. *Вісник чернігівського державного технологічного університету*. 2013. №4(70). С. 205-210.
27. Mazzulla G., Eboli L. A service quality experimental measure for public transport. *European Transport*. 2006. №34. P. 42-53.
28. 199. Ortuzar, J. D., Willumsen L. G. Modelling Transport. Third Edition. *John Wiley & Sons Ltd*, 2006. 499 p.
29. Camagni R., Gibelli M. C., Rigamonti P. Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion. *Ecological economics*. 2002. Т. 40. №2. P. 199-216.
30. Горбачов П.Ф. Концепція формування систем маршрутного пасажирського транспорту в містах: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.01. Харків, 2009. 370 с.
31. Губенко В.К., Николаенко И.В. City Logistic: имплементация парадигмы креативных логистических цепей: монографія. Мариуполь, 2015. 493 с.
32. Дмитрієв М. М. та ін. Концепція сітологістики і пасажирські перевезення. *Вісник Національного транспортного університету*. 2008. №17. С. 76-80.
33. Ильчук, В. П., Базилюк А. В., Хоменко І. О. Організаційно-економічні засади реформування міського пасажирського транспорту. *Проблеми і перспективи економіки та управління*. 2015. №1(1). С. 42-49.
34. Banister D. Energy, quality of life and the environment: the role of transport. *Transport reviews*. 1996. Т. 16. №1. P. 23-35.
35. Carse A. Assessment of transport quality of life as an alternative transport appraisal technique. *Journal of Transport Geography*. 2011. Т. 19. №5. P. 1037-1045.

36. Лібанова Е.М., Гладун О.М., Лісогор Л.С. Вимірювання якості життя в Україні. Київ: Інститут демографії та соціальних досліджень імені М.В. Птухи НАН України, 2013. 48 с.

37. Genuine Progress Indicator. URL: <http://www.interreg4c.eu/good-practices/practice-details/?practice=271-genuine-progress-indicator-gpi&>. (дата звернення: 18.10.2016).

38. Liveability Indices: What can we learn from them? URL: <http://www.clc.gov.sg> (дата звернення: 18.10.2016).

39. Roadmap to a Single European Transport Area-Towards a competitive and resource efficient transport system. EC-European Commission. White Paper. 2011. 30 p.

40. ДБН Б.2.2-12:2018 Планування і забудова територій. [Чинний від 2018-04-23]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон, 2018. 230 с.

41. City Trans Ukraine 2019. URL: <http://www.minregion.gov.ua/press/news/u-velikih-mistah-budut-stvoryuvatisya-transportno-peresadochni-vuzli-dlya-zruchnoyi-ta-shvidkoyi-peresadki-pasazhiriv-mizh-riznimi-vidami-transportu-partshaladze> (дата звернення: 15.04.2018).

42. Transport Interchange as city centers of activity. URL: <http://winteruni.com/wp-content/uploads/2014/02/doc1-16-session-en.pdf> (дата звернення: 15.04.2018).

43. City transport hubs and public transport. URL: <https://medium.com/city-design/city-transport-hubs-and-public-transport-7e0a3bd97dd9> (дата звернення: 15.04.2018).

44. People's Republic of China: Developing Multimodal Passenger Transport Hubs. URL: <https://www.adb.org/sites/default/files/project-document/181207/45024-001-tcr.pdf> (дата звернення: 15.04.2018).

45. Русанова І. В., Склярова І. М. Транспортно-пересадочні вузли у планувальній структурі найбільшого міста. *Досвід та перспективи розв. міст України: зб. наук. пр. Укр. держ. наук.-дослід. ін-т проектув. міст «Діпромісто» ім. Ю. М. Білокопя. 2011. №20. С. 259-268.*

46. Берлог А.И. Усовершенствование транспортно планировочной организации пересадочных узлов на метрополитене. (на примере г. Киев). *Містобудування та територіальне планування. 2013. №47. С. 90-100.*

47. Кристопчук М.Є., Бичко З.В. До питання розміщення міських транспортно-пересадочних вузлів. *Комунальне господарство міст. 2012. №103. С. 374-378.*

48. Горбачов П.Ф., Вдовиченко В.О., Россолов О.В., Колій О.С. Комплексна оцінка функціонування маршрутної мережі міста Кривий Ріг. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2009. №2/6(38). С. 4-7.
49. Vdovychenko V. Analysis of the resources provision of stopping points of transport-transfer stations of urban passenger transport. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2018. №2/2(40). С. 50-56.
51. Pitsiava-Latinopoulou M., Iordanopoulos P. Intermodal passengers terminals: Design standards for better level of service. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2012. Т. 48. Р. 297-306.
52. Hernandez S., Monzon A. Key factors for defining an efficient urban transport interchange: Users' perceptions. *Cities*. 2016. Т. 50. Р. 158-167.
53. Щурова В.А. Архітектурно-планувальна організація міської забудови у зоні впливу транспортно-пересадочних вузлів: автореф. дис. ... канд. арх. наук: 18.00.04. Київ, 2005. 20 с.
54. Горбачев П. Ф., Далека В. Ф., Гузненков І. Г. Рациональное размещение автобусных транспортно-пересадочных узлов в городах. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2011. Т. 4. №3. С. 4-6.
55. Самчук Г.О. Підвищення ефективності функціонування транспортно-пересадочних вузлів наземного міського пасажирського транспорту: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. 2018. 206 с.
56. Domschke W. Schedule synchronization for public transit networks. *Operations-Research-Spektrum*. 1989. №11/1. Р. 17-24.
57. Daduna J., Branco I., Paixão J. Practical Experiences in Schedule Synchronization. *Computer-Aided Transit Scheduling*. 1995. №430. Р. 39-55.
58. Chakroborty P. Genetic algorithms for optimal urban transit network design. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2003. Т. 18. №3. Р. 184-200.
59. Ceder A., Golany B., Tal O. Creating bus timetables with maximal synchronization. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2001. Т. 35. №10. Р. 913-928.
60. Hadas Y., Ceder A. A. Optimal coordination of public-transit vehicles using operational tactics examined by simulation. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2010. Т. 18. №6. Р. 879-895.

61. Wu Y., Tang J. Optimizing timetable synchronization for regional public transit with minimum transfer waiting times. *24th Chinese Control and Decision Conference (CCDC): 23-25 May, Taiyuan, China, 2012*. P. 3782-3786.
62. Ibarra-Rojas O. J., Rios-Solis Y. A. Synchronization of bus timetabling. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2012. Т. 46. №5. P. 599-614.
63. Poorjafari V., Yue W.L., Holyoak N. A New Mathematical Programming Model for Transit Timetable Synchronization. The 32nd Conference of Australian Institutes of Transport Research, University of New South Wales, Sydney, Feb 2014. URL: <http://trid.trb.org/view.aspx?id=1309706> (дата звернення: 19.12.2017).
64. Voss S. Network design formulations in schedule synchronization. *Computer-Aided Transit Scheduling*. 1992. P. 137-152.
65. Shafahi Y., Khani A. A practical model for transfer optimization in a transit network: Model formulations and solutions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2010. №44. Issue 6. P. 377-389.
66. Jansen L.N., Pedersen M.B., Nielsen O.A. Minimizing Passenger Transfer Times in Public Transport Timetables. *7th Conference of the Hong Kong Society for Transportation Studies: Transportation in the information age. 2002, Hong Kong*. P. 229-239.
67. Daganzo C. F. A headway-based approach to eliminate bus bunching: Systematic analysis and comparisons. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2009. Т. 43. №10. P. 913-921.
68. Dubnitskiy V., Kobylin A., Kobylin O., Kushneruk Y., & Khodyrev A. Обчислення значень функції Харрінгтона (функції бажаності) при інтервальному визначенні її аргументів. *Advanced Information Systems*, 2023 №7(1), P. 71-81.
69. Вдовиченко В.О., Воліков В.В. Оцінка доцільності впровадження швидкісного пасажирського сполучення другого рівня у м. Харків. *Комунальне господарство міст*. 2018. №140. С. 69-75.

Підписано до друку 10.12.2020 р. Формат 60×84¹/₁₆.
Умов. друк. арк. 9. Папір офсетний. Наклад 300 прим. Зам. № 567.

КП «Міська друкарня»
м. Харків, 61002, вул. Алчевських, 44.
Свідоцтво про державну реєстрацію
серія ДК, № 5495, від 22.08.2017 р.