

# Підвищення якості управління рухом приміських пасажирських поїздів

Наталя Гриценко

*Український державний університет залізничного транспорту*

## I. КЛЮЧОВІ ПАРАМЕТРИ АКТУАЛЬНОСТІ СИСТЕМИ ФОРМУВАННЯ ПАСАЖИРОПОТОКІВ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ

Економічні та політичні процеси, що відбуваються в Україні протягом останнього десятиліття, в тому числі розпад економічних зв'язків між колишніми радянськими республіками, поставили галузь залізничних пасажирських перевезень в країні, включаючи приміський сектор, в складне і збиткове становище. З метою зменшення збитковості необхідно визначити шляхи підвищення ефективності системи розвитку приміських пасажиропотоків. Це має включати визначення комплексу першочергових завдань, вирішення яких дозволить оптимізувати параметри системи формування пасажиропотоків на залізницях. Також необхідно підвищити конкурентоспроможність приміського залізничного транспорту, знизити собівартість перевезень пасажирів при одночасному підвищенні якості перевезень та наданні додаткових послуг приміським пасажиром. Аналіз сучасного стану теорії та практики організації приміських пасажирських перевезень у нашій країні та за кордоном свідчить про актуальність поставленої в роботі проблеми.

Виходячи з основних параметрів актуальності, метою даного дослідження є розробка комплексу оптимізаційних задач, які складають систему розвитку приміських пасажиропотоків. Ця система буде оцінена з точки зору її оптимальних параметрів в сучасних умовах. Крім того, в рамках дослідження буде досліджено питання розробки ресурсозберігаючих технологій для експлуатації приміського залізничного транспорту.

Фундаментальні принципи, що лежать в основі організації та планування пасажирських перевезень, впливають з теорії пасажиропотоків. Формування попиту на приміські пасажирські перевезення розглядалося вченими з різних дисциплін, включаючи статистику, економіку, дослідження операцій та географію. У нашій країні широко відомі роботи Н.В. Правдіна, В.Я. Негрія, О.І. Чупрова, Л.В. Некраша, І.А. Поплавського, І.В. Кочетова, Б.М. Беленького, Л.І.Василевського, Е.Д. Ханукова, Ф.П. Кочнева, Н.І. Бещевої, К.Ю.Скалова, В.І.Балча, В.Г. Давидовича, С.В. Дуваляна, В.Н.Лукашева, Е.П. Локтева, Н.І.Шиповскої, Е.В.Семакіна і ряду інших авторів. Однак, так і не було запропоновано та розроблено комплексного рішення підвищення ефективності функціонування приміських пасажирських перевезень.

Економічні перетворення, що відбуваються в Україні, не змінюють того факту, що залізничний транспорт продовжує відігравати ключову роль у розвитку пасажиропотоків. Щорічно послугами залізничного транспорту в Україні користуються понад 1,6 млрд. пасажирів, при цьому понад 90% загального обсягу пасажирських перевезень залізничним транспортом та понад 40% пасажиропотоку припадає на приміські перевезення [6]. Проте сучасні соціально-економічні процеси, що відбуваються в Україні, негативно впливають на ефективність роботи залізничного транспорту. В останні роки нестабільна економічна ситуація в Україні призвела до скорочення обсягів виробництва, що значно знизило природну мобільність населення. Як наслідок, впали обсяги приміських пасажирських перевезень. Водночас, існуюча технологія перевезень також сприяла цьому явищу. Серія опитувань та анкетувань пасажирів, проведених на низці залізниць, виявила, що на зменшення обсягів перевезень суттєво впливає низка факторів. Серед них - відсутність гнучкої тарифної політики, незручний графік руху поїздів, неефективна система контролю за безквитковим проїздом, низька швидкість руху та відсутність додаткових послуг у поїздах, недостатній комфорт вагонів, криміногенна ситуація. Незважаючи на це, частка пасажирських перевезень у приміському сполученні

зростає, що робить його домінуючим видом пасажирських перевезень. Таким чином, основною метою цього дослідження є підвищення рівня комфортності та безпеки пасажирських перевезень у приміському сполученні, а також покращення якості послуг.

## II. ОГЛЯД ПАРАМЕТРІВ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У ПРИМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ З ВРАХУВАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ ГРАФІКУ РУХУ ПРИМІСЬКИХ ПОЇЗДІВ

Безперебійність руху поїздів залежить від ефективної координації та виконання технологічних процесів на станціях, депо, тягових підстанціях, пунктах технічного обслуговування та інших підрозділах залізниць, пов'язаних з рухом поїздів. На залізничному транспорті рух поїздів суворо дотримується за графіком. Гарантується організація роботи і чітке виконання технологічних операцій на станціях, депо, тягових підстанціях, пунктах та інших підрозділах, пов'язаних з рухом поїздів.

Розклад базується на останніх досягненнях техніки, досвіді роботи та раціональному застосуванні досягнень науки і техніки. При створенні нового графіка важливо врахувати досягнення попередніх графіків і спланувати вдосконалення організації руху поїздів. Важливо також забезпечити повне використання рухомого складу.

Графік руху приміських поїздів є важливою частиною роботи залізничної інфраструктури, яка відіграє ключову роль у забезпеченні безпечного та ефективного перевезення пасажирів. Від точності та оперативності розкладу залежить регулярність руху поїздів, відсутність заторів, задоволення потреб клієнтури. У сучасну епоху, коли транспортна інфраструктура є фундаментальним аспектом соціального розвитку, ефективність та оптимізація графіка руху приміських поїздів відіграє ключову роль у гарантуванні безперебійного, безпечного та ефективного функціонування залізничних систем. Розклад руху поїздів визначає час відправлення і прибуття поїздів, інтервал між ними, розподіл їх у різних напрямках. Це сприяє злагодженій та злагодженій роботі залізниці в цілому.

Графік повинен гарантувати, що все працює гладко та синхронно, як єдина залізниця, залізнична дирекція, транспортна компанія та мережа залізниць працюють разом.

Розклад графіку руху потягів на залізничному транспорті розробляється для всієї мережі залізниць на літній період і в подальшому коригується на зимовий період. Розклад пасажирів зазвичай складається на два-три роки. Крім того, повинні бути складені варіанти графіків на періоди істотних змін. До них слід віднести розміри пасажирських і вантажних перевезень, заплановані перерви та рух поїздів.

Розклад руху поїздів узгоджується з планом формування, який визначає розміри руху, спеціалізацію ниток і розміри передач поїздів на міжзалізничних вузлах. Використовуються стабільні потоки вагонів для кожного плану, щоб зрозуміти, як налаштувати вантажні лінії. Це основна частина розкладу графіку руху поїздів. У розкладі передбачені спеціальні слоти для більш важких і довших поїздів, для порожніх маршрутів, для контейнерних поїздів, для швидкопсувних та інших вантажів.

Щоб ми максимально повно і логічно використовували всі наявні в нашому розпорядженні технічні засоби, нам необхідно узгодити графіки руху поїздів і рухомого складу з технологією сортування, районом, вантажними і пасажирськими станціями. Ми складаємо додаток до розкладу руху поїздів, який допоможе диспетчерським контролювати запізнення поїздів на ділянках і напрямках з інтенсивним трафіком. Це допоможе їм зменшити затримки.

Розклад графіку руху поїздів це велика сітка з лініями, які показують, як рухається кожен поїзд. Поїзд розглядається як точка на сітці. Горизонтальні лінії сітки на графіку показують розташування станцій, вузлів, обгінних колій, колійних стовпів і станційних парків. Відстані між горизонтальними лініями такі ж, як відстані між осями точок поділу. Окружні та проміжні станції показують технічні, прикордонно-митні та інші операції. Горизонтальні лінії показують кількість станцій прийому та відправки.

Основна мета графіку руху поїздів підкреслити важливість маршрутного руху в розкладі загальної мережі. У розкладі руху загальної мережі передбачено графік руху призначених поїздів, які прискорюються для просування вантажів державного значення. Крім того, поїзди загального мережевого графіка, які мають постійне чергування, забезпечують стабільність руху поїздів, ритмічність у діяльності сортувальних, дільничних і великих вантажних станцій, формують необхідні організаційні умови для роботи локомотивів відповідно до графік обороту та готують поїзні бригади за номінальним графіком.

Розклади загальної мережі розділені на конкретні часові інтервали, які встановлюються за постійним або змінним принципом. При фіксованій спеціалізації кожен розклад фіксується для проходження певного типу поїзда. Призначення кожного розкладу встановлюється планом формування.

У разі варіантної спеціалізації загального мережевого графіка допускається передача двох (іноді трьох) планових призначень, що прискорює оборот поїздів, і відповідно вагонів.

Найбільш суттєве прискорення обороту вагонів спостерігається в тих поїздах загального розкладу мережі, які проходять через вузлові та сортувальні станції. На цих станціях у графіку руху маршрутних поїздів передбачені зупинки, що відповідають типовій тривалості технологічних операцій із транзитними поїздами. Узгодження графіків за часом прибуття та відправлення забезпечує скорочення часу перебування на станціях для кожного маршрутного поїзда порівняно з неузгодженими графіками. Це скорочення кількісно визначається різницею в загальному часі, необхідному для завершення подорожі, як зазначено в кількісних наскрізних розкладах, викладених у розкладі руху в напрямку, що розглядається.

При формуванні розкладу руху маршрутна плата збільшується. Це для забезпечення збереження швидкості руху маршрутних поїздів за загальним графіком мережі з максимальним скороченням зупинок на всіх станціях розвороту локомотивів. У разі потреби розкладом

передбачено можливість перегону інших поїздів маршрутними поїздами на станціях району.

Основним способом скорочення часу очікування відправлення є здійснення узгодженої подачі поїздопотоку до технічних станцій, де формуються маршрутні поїзди. Це досягається шляхом встановлення графіка прибуття поїздів постачання на ці станції. В Одеському вузлі, наприклад, запроваджено графік завантаження груп вагонів на вантажних станціях, з подальшим переміщенням завантажених груп вагонів на станцію сортування за встановленим графіком, узгодженим з розкладом маршрутних поїздів вузол.

На тих же технічних станціях, де зазначені заходи ще не виконано, організація руху маршрутних поїздів супроводжується додатковими. Ці додаткові поїзди необхідні для компенсації витрат вагоно-годин, викликаних неспівпадінням закінчень, а також накопиченням складів з часом, які необхідно відправити на спеціалізоване планування.

Головною проблемою залишаються простої приміських пасажирських поїздів, що призводить до збільшення витрат та зниженню конкурентоспроможності державних приміських перевезень. Ситуація призведе до втрати частини користувачів приміського транспорту, і знов таки ж для залізничного транспорту це втрата прибутку. Тому потрібно цьому питанню приділити більш значну увагу бо це має вирішальне значення для ефективного функціонування залізничної галузі.

Зростання операційних витрат на приміські перевезення, пов'язане з інфляційними процесами, у поєднанні з підвищенням цін на електроенергію, паливо, паливно-мастильні матеріали, а також зростанням вартості рухомого складу, запасних частин та іншої продукції, що споживається залізничним транспортом, призвело до суттєвого зниження прибутковості приміських пасажирських перевезень. Загальні збитки приміських перевезень у 2023 році становили 1 781,92 тис. грн. Найбільших збитків зазнали Львівська (430,8 млн грн) та Одеська (359,99 млрд грн) залізниці (Таблиця 1)[2].

За оцінками, на залізницях мережі експлуатуються сотні вагонів, пошкоджених корозією до небезпечного рівня. У світлі несприятливих політичних та економічних обставин, що склалися в країні, виникла необхідність скоротити потужності вагонобудівного заводу, який є провідним постачальником приміського рухомого складу. Це робиться з метою усунення дефіциту, який утворився до цього часу. Загалом на українській залізничній мережі відчувається гострий дефіцит електропоїздів.

Таблиця 1 - Збитки від приміських перевезень у 2023 році (тис.грн)

Назва залізниці	Збитки від приміських перевезень, тис. грн.	Частка приміських поїздів, що виробили свій ресурс
Південно-Західна	265,78	71
Південна	195,2	66
Придністровська	347,85	40
Донецька	182,3	38
Одеська	359,99	63
Львівська	430,8	87

Враховуючи, що негативні процеси відбуваються і у вантажних перевезеннях залізничним транспортом, рекомендується поступово відмовитися від компенсації збитковості приміських перевезень за рахунок перехресного субсидування використовуючи доходи від вантажних перевезень. Виникає нагальна потреба у визначенні стратегій зменшення збитковості приміських пасажирських перевезень. Вона повинна бути основою на здійсненні заходів зміни тарифної політики у приміському сполученні, передбачати компенсацію збитків від приміських перевезень, забезпечувати приміського сполучення сучасним рухомим складом, змінювати структуру управління приміським пасажирським комплексом, а також підвищити економіку і технологічність приміських перевезень.

Відповідно до урядового доручення Мінінфраструктури щодо перегляду тарифів та забезпечення беззбитковості приміських перевезень, право встановлювати тарифи на перевезення пасажирів у приміському сполученні, які мають регіональний характер, було передано начальникам залізниць за погодженням з місцевими органами влади. Такий перехід до ринкових відносин був викликаний необхідністю імплементації вищезгаданої директиви.

Враховуючи, що основним джерелом доходів залізниць від приміських пасажирських перевезень є продаж разових та абонементних квитків, як це не гірко, одним з потенційних рішень для зменшення збитковості є підвищення тарифів на приміські перевезення. Тобто, реалізація забезпечення беззбитковості приміських перевезень вимагатиме значного підвищення рівня тарифів на приміські перевезення, особливо на абонементні квитки, що ляже на плечі населення, яке регулярно користується приміським транспортом. [3].

Як зазначено в відомих роботах науковців [8,9,10], оптимальна діяльність приміського залізничного транспорту потребує повного покриття експлуатаційних витрат та досягнення беззбитковості приміських перевезень.

Виходячи з наукового аналізу, приміський залізничний транспорт, як і інші види громадського міського транспорту в найбільших містах Європи, історично демонструє низьку прибутковість або навіть збитковість. Тому він отримує необхідну фінансову та інвестиційну підтримку з боку муніципальної влади. Приміський залізничний транспорт в Україні має всі шанси скористатися такою підтримкою.

Важливо, щоб спільна робота органів виконавчої влади та залізниць була врегульована відповідними юридичними угодами, договорами, які відображають механізм ціноутворення, порядок відшкодування збитків, зобов'язання та відповідальність сторін, пільги, санкції тощо.

У сучасних економічних умовах одним із найефективніших шляхів зменшення збитковості приміських перевезень та підвищення



ефективності роботи приміського залізничного транспорту є розвиток ресурсозберігаючих технологій.

Поточне використання приміського рухомого складу на залізничному транспорті є нижчим за оптимальний рівень. Так, середній коефіцієнт використання місткості поїздів на мережі залізниць України у 2023 році становив 0,45. Для зменшення нераціонального пробігу поїздів і, відповідно, експлуатаційних витрат на приміські перевезення необхідно розробити алгоритм дій які безпосередньо вплинуть на цей фактор.

Необхідно встановити кореляцію між розміром приміських поїздів та розміром і характером пасажиропотоку, як у пікові періоди, так і в періоди спаду пасажиропотоку. Крім того, важливо впроваджувати зональний рух на ділянках з різким спадом пасажиропотоку, коригуючи при цьому розміщення зональних технічних станцій відповідно до характеру пасажиропотоку.

Також необхідна розробка технології курсування приміських поїздів різної згуртованості (чотири-, шести-, восьми-, десяти- та дванадцятивагонних приміських поїздів) та методики складання групового графіка їх обороту.

Необхідна також розробка технології експлуатації секційного рухомого складу, здатного працювати за схемою багатьох одиниць та укорочених поїздів у неінтенсивні періоди доби зі зміною їх згуртованості в депо.

З метою удосконалення роботи приміських залізничних перевезень необхідно впроваджувати заходи з автоматизації та оптимізації графіку руху приміських поїздів, обігу приміських складів та роботи локомотивних бригад.

Для залучення пасажирів з альтернативних видів транспорту на залізницю також доцільно впроваджувати заходи з організації приміських залізничних перевезень, зокрема маятникового руху. На ділянках, де він вже існує, було б корисно збільшити швидкість руху поїздів по діаметру.

Для прийняття цільових рішень по управлінню приміськими перевезеннями пропонується розробка та впровадження сучасних технологій продажу квитків, обліку та звітності.

Забезпечення найточнішого обліку обсягів перевезень у часі можливо за рахунок модифікації системи обліку обсягів та якісних показників приміських перевезень. Наразі відсутні точні дані, які стосуються зміни обсягів перевезень за днями тижня та часом доби. Це ускладнює об'єктивну оцінку співвідношення попиту та пропозиції на ці транспортні послуги, що необхідно для ефективного управління ними в ринкових умовах. Без такої інформації неможливо проводити ефективну тарифну політику, яка б вимагала запровадження системи знижок за днями тижня, часом доби тощо. Оптимізація автоматизованої системи управління надасть можливість отримати таку інформацію, що, в свою чергу, дозволить підвищити ефективність управління приміськими перевезеннями [5].

Основним напрямком удосконалення системи інформації про приміським пасажирським перевезенням є глобальна інфо-автоматизація первинного обліку та обробки даних, що супроводжується комплексним статистичним аналізом інформації на різних рівнях, який проводиться за допомогою сучасних комп'ютерних технологій.

Для аналізу факторів, що формують приміські пасажирські перевезення, всі приміські поїздки поділено на три категорії: робочі, культурно-побутові та рекреаційні (з метою відпочинку). Таке групування узгоджується з класифікацією основних видів діяльності населення, а також відповідає цілям поїздок, які здійснюють приміські пасажирі. З урахуванням цієї цільової структури в роботі [9] було розроблено систему індикаторів попиту, яка включає чотири групи показників: пасажироутворення, пасажирообмін, пасажиропотік та пасажирооборот. Дослідження також продемонструвало, що наявність незадоволених потреб у місці проживання населення є основним чинником формування переміщень у приміському транспорті. У цьому контексті запропоновано систему індикаторів взаємного розселення, яка

враховує ємність і потужність транспортних районів для трудової, культурної та побутової рекреаційної діяльності, чисельність зайнятого населення та розмір існуючих зв'язків "за населенням". Система показників дозволяє визначити пасажиропотоки між містом і передмістям, а також між окремими транспортними районами відповідно до їх потужності за видами діяльності.

### III. КОНЦЕПЦІЯ МОДЕЛІ ГРАВІТАЦІЙНОГО ТИПУ ЯК ІНСТРУМЕНТ ДОСЛІДЖЕННЯ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ ВІДНОСИН ПРИ ФОРМУВАННІ ОБСЯГУ ПОПИТУ НА ПАСАЖИРСЬКІ ПРИМІСЬКІ ПОЇЗДКИ

З метою вивчення всіх кореляційних залежностей формування обсягу попиту на приміські поїздки більш доцільним підходом є модель гравітаційного типу, яка на сьогодні є одним з найпотужніших інструментів дослідження соціально-економічних відносин.

Ця модель базується на твердженні, що пасажиропотік з одного населеного пункту в інший прямо пропорційний чисельності населення цих пунктів і обернено пропорційний відстані між ними.

Модифікація гравітаційної формули, запропонована С. Біндером [10], передбачає безпосереднє включення в модель раніше встановлених потреб населення в перевезеннях і здійснює їх розподіл за конкретними кореспонденціями, за допомогою врахування сили взаємного тяжіння транспортних районів. Соціальні аспекти потреби населення в приміських перевезеннях визначаються методом прямих розрахунків на основі даних органів генерального планування для території, віднесеної до зони активного пасажиропотоку.

Оперативні працівники пасажирських служб залізниць, які відповідають за забезпечення потреб населення у перевезеннях, приймають необґрунтовані, часто запізнілі рішення про введення та скасування приміських поїздів через використання застарілих і не завжди достовірних даних та розрахунків. Це знижує ефективність роботи залізниць.

Визначальною особливістю приміських перевезень є їх нерівномірність як у просторі, так і в часі. Про просторову нерівномірність приміських перевезень свідчить той факт, що щільність пасажиропотоку по довжині приміської ділянки не є постійною величиною. Навпаки, вона зменшується з віддаленням від головної станції. У зв'язку з цим виникає необхідність поділу приміської ділянки на технічні зони з метою раціонального використання місткості приміських електропоїздів. Крім того, необхідно визначитись з розміщенням зонних станцій на приміській ділянці. Отже, одним з головних параметрів, що впливають на ефективність системи розвитку приміського пасажиропотоку, є кількість технічних зон на приміській дільниці, а також їх довжина.

Ефективність системи розвитку приміських пасажирських перевезень залежить від максимізації різниці ( $\Delta$ ) між доходами ( $D$ ) від приміських перевезень та витратами ( $B$ ), пов'язаними з їх розвитком.

Чистий дохід від приміських перевезень ( $D$ ) включає доходи від продажу квитків, доходи від комерційної діяльності підприємств приміського залізничного транспорту, компенсації, що виплачуються суб'єктам України, які направляються залізниці на покриття збитків від приміських перевезень, а також державні та регіональні інвестиції, спрямовані на розвиток матеріально-технічної бази приміського залізничного транспорту. Водночас, зменшення прямих грошових компенсацій можливе внаслідок надання податкових пільг, зниження тарифів на електроенергію, участі суб'єктів господарювання України у будівництві та реконструкції основних фондів приміського залізничного транспорту.

Доходи ( $D$ ) визначаються множиною чинників, які впливають на них. Великою і характерною рисою приміського пасажиропотоку, що виражається через щільність пасажиропотоку ( $\rho$ ) та діючою на лінії системою приміських тарифів.

На рівень витрат ( $B$ ) залізниць по освоєнню приміських перевезень впливають такі чинники як:

- питома потужність локомотиву, дизель- чи електропоїзду;

- швидкості руху потягів (ходова –  $V_x$  та дільнична швидкість  $V_d$ )
- число технічних зон на приміській ділянці ( $n$ ) і їх довжини;
- число шляхів для відстою складів на станціях обороту ( $r$ );
- составність приміських потягів, число вагонів з кабінами управління, моторних і причіпних вагонів, схема складу потягу і його місткість ( $a$ );
- зонні розміри руху приміських потягів ( $N$ );
- частота руху потягів в пікові і неінтенсивні періоди доби;
- тип графіку руху приміських потягів, у тому числі зонний паралельний і непаралельні графіки, режим стоянок потягів в дорозі дотримання, черговість прокладення потягів на графіці;
- пропускна спроможність приміських залізничних ділянок і міра їх використання;
- рівень комфортабельності вагонів приміських потягів.

Очевидно, що для максимізації величини  $\Delta$  (скорочення збитковості залізничних приміських перевезень, або підвищення їх прибутковості) є три шляхи:

- підвищувати доходи (Д);
- скорочувати витратну частину (Е);
- комплексне рішення.

У практиці має два потенційних шляхи збільшення доходів: по-перше, за рахунок підвищення тарифів на приміські залізничні перевезення; по-друге, за рахунок залучення додаткового обсягу пасажирів з альтернативних видів транспорту, використовуючи гнучкість попиту на приміські пасажирські перевезення. Для досягнення цієї мети необхідно розробити

1) впровадження інтегрованих примісько-міських перевезень, що сприятиме маятниковому руху приміських поїздів, які з'єднують дві або більше приміські зони, що прилягають до міста та об'єднані спільним діаметром.

2) підвищення якості обслуговування пасажирів у приміському залізничному транспорті передбачає підвищення комфортності перевезень, прискорення швидкості руху поїздів, запровадження експресів, надання додаткових послуг пасажирам.

3) впровадження гнучкої системи тарифів на приміські перевезення призведе до надання пільг та зниження вартості проїзду в поїздах нижче рівня автомобільного транспорту.

Впровадження ресурсозберігаючих технологій та вирішення комплексу завдань, що оптимізують перевізний процес у приміському сполученні, призведе до зниження витрат. До таких завдань відносяться:

- визначення оптимальної кількості технічних зон та найбільш раціонального розміщення розворотних станцій на приміській дільниці;

- необхідно оптимізувати габарити руху приміських поїздів різного складу;

- зосклад руху приміських поїздів має будуватися автоматично, з оптимізацією схем формування;

- необхідно оптимізувати графік роботи приміських складів, у тому числі одиночних та групових;

Також, подальшого широкого розвитку потребують наступні напрямки:

- розробка графіка обороту складу при маятниковому русі поїздів;

- автоматизація розрахунку графіка роботи локомотивних бригад з метою оптимізації кількості робочих змін;

- застосування секціонування приміських поїздів та курсування укорочених поїздів у неінтенсивні періоди доби;

- обґрунтування базового приміського тарифу та встановлення залежності між розміром руху приміських поїздів та розміром плати за проїзд пасажирів.

Комплексне рішення щодо підвищення ефективності системи розвитку приміських пасажирських перевезень ґрунтується на одночасному зменшенні витрат та збільшенні доходів.

При фіксованому пасажиропотоці та діючій тарифній системі на лінії дохідна частина (D) становитиме фіксовану величину. Для того, щоб зменшити збитковість приміських перевезень, необхідно мінімізувати витратну частину (B).

Мета дослідження є подвійною: по-перше, розробити ресурсозберігаючі технології, по-друге, визначити та впровадити оптимізаційні стратегії організації приміських пасажирських перевезень з метою зменшення витратної складової.

При цьому вартісна критеріальна функція може бути виражена як у грошових, так і в натуральних одиницях.

Загальновідомо, що найбільш точним показником зміни вартості інфраструктурних одиниць в контексті приміських перевезень є показник поїздо-кілометра. Проте, вартість приміського поїздо-кілометра при фіксованому обсязі приміських пасажирських перевезень перебуває у неспадній функціональній залежності від необхідної кількості приміських поїздів, що курсують на ділянці. Отже, ці критерії є еквівалентними.

За функціональними ознаками систему розвитку приміського пасажиропотоку можна розділити на ряд оптимізаційних підсистем, взаємодія між якими забезпечується інформаційними зв'язками (рис. 1).

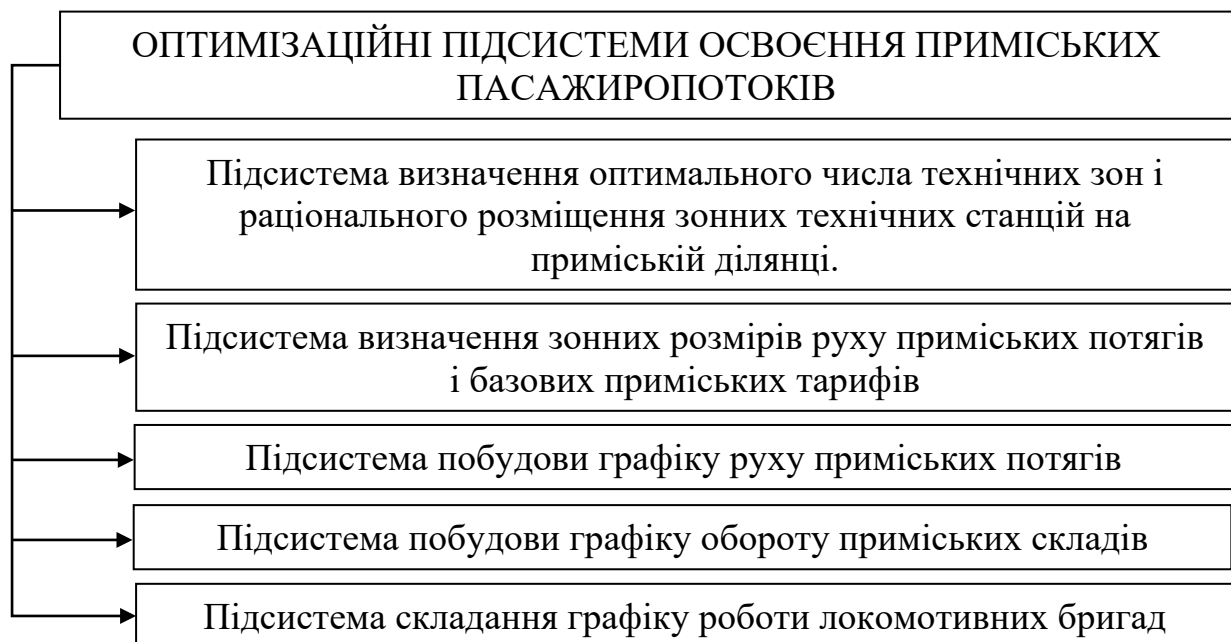


Рисунок 1 - Ряд оптимізаційних підсистем освоєння приміських пасажиропотоків

При подальшому науковому вивченні потрібен детальний аналіз характеристик кожної підсистеми.

Перша підсистема відповідає за визначення оптимальної кількості технічних зон та раціональне розміщення зональних технічних станцій у приміській зоні. Визначальними параметрами цієї підсистеми є кількість технічних зон та відстань від головної станції до кожної зональної технічної станції.

Наступна підсистема необхідна для визначення розмірів руху приміських поїздів та базових тарифів, що застосовуються до такого руху. Визначальними параметрами в даному випадку є зональні розміри руху поїздів відповідно в пікові та непікові періоди доби в обох напрямках, а також базові тарифи на перевезення пасажирів у приміському сполученні в кожній технічній зоні.

Для побудови розкладу руху приміських поїздів необхідна ще одна підсистема. Визначальними параметрами цієї підсистеми будуть розклад відправлення та прибуття кожного поїзда на оборотну станцію. Наступна підсистема необхідна для побудови розкладу приміських складів, де визначальним параметром буде кількість необхідних складів. Ще одна підсистема необхідна для підготовки графіка роботи локомотивних бригад. Визначальними параметрами цієї підсистеми будуть необхідна кількість локомотивних бригад та час початку і закінчення робочої зміни кожної локомотивної бригади.

Функціонування системи залежить від послідовності розв'язання оптимізаційних задач для кожної підсистеми відповідно до схеми, представленої на рисунку 2.

Крім прямих зв'язків між підсистемами системи, існують і зворотні зв'язки. Наприклад, четверта і третя підсистеми можуть бути пов'язані між собою для того, щоб зменшити кількість необхідних приміських депо. Аналогічно, п'ята та четверта підсистеми можуть бути з'єднані, якщо неможливо підтримувати необхідні норми безперервної роботи локомотивних бригад.

Для того, щоб система ефективно функціонувала, необхідно розробити інформаційні, математичні та програмні ресурси.



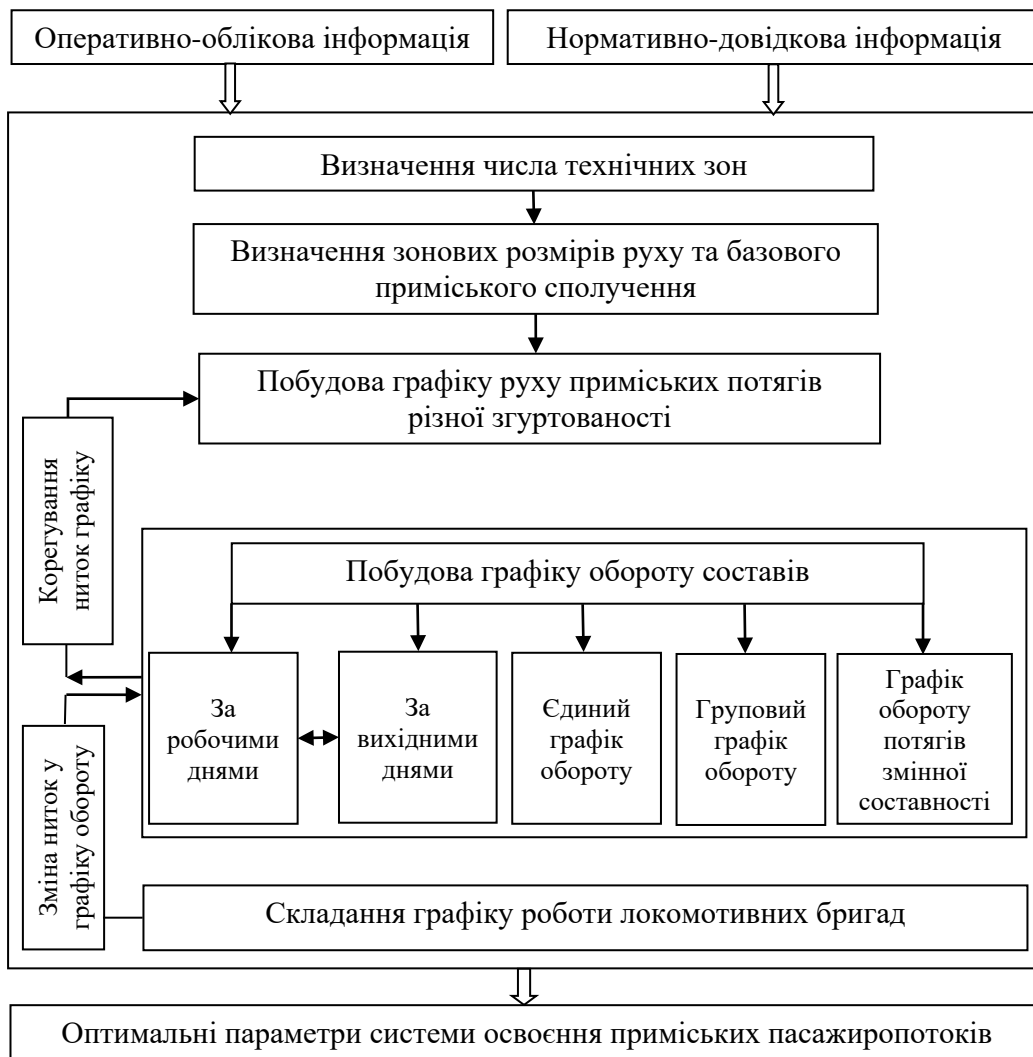


Рисунок 2 - Функціональний склад системи освоєння приміських пасажиропотоків

Система підтримується двома різними типами інформації: нормативно-довідковою та оперативно-обліковою.

Нормативно-довідкова інформація складається з переліків, норм, схем та констант. Перелік станцій та зупинних пунктів у приміській зоні; назви станцій, на яких депо має об'єкти; норми міжремонтних пробігів складів; норми тривалості ремонтів та оглядів складів; норми часу оборотності складів; норми приймання та здавання поїздів локомотивними бригадами. Додатково в системі передбачені норми часу на безперервну роботу локомотивних бригад, елементи графіка руху приміських поїздів, схеми станцій оборотності складів, кількість колій для зберігання складів на дільничних станціях, тип рухомого

складу, категорії зчеплення поїздів, тип графіка руху приміських поїздів, пропускна спроможність приміської дільниці.

Нормативно-довідкова інформація є умовно постійною складовою інформаційного забезпечення. Проте, окремі параметри, що входять до нормативно-довідкової інформації, можуть змінюватися при проведенні варіантних розрахунків для встановлення впливу вищезазначених параметрів на параметри, що входять до системи управління пасажиропотоками. Прикладом може бути кількість накопичувачів на зональних технічних станціях, кількість категорій зчеплення поїздів, значення швидкостей руху тощо.

Інформація оперативного обліку представлена даними про обсяг приміських пасажирських перевезень, виражених у вигляді щільності пасажиропотоку.

Математичну основу системи складають математичні моделі та методи розв'язання оптимізаційних задач, які інтегровані у функціональні підсистеми розвитку приміських пасажиропотоків.

Сучасне математичне моделювання процесів, що відбуваються в системі, дозволяє встановити взаємозв'язки між параметрами системи та факторами впливу, а також оптимізувати ці параметри.

Виходячи з основних параметрів, програмне забезпечення системи підтримує пакет розрахункових програм на ПК. До них відносяться: кількість технічних зон та розміщення дільничних станцій у приміському сполученні, розміри руху приміських поїздів, базовий приміський тариф на перевезення пасажирів, схеми розстановки поїздів на графіку руху, графік обороту приміських складів, графік роботи локомотивних бригад.

Модель розрахунку руху приміських поїздів залежить від технології роботи з поїздами різного складу. Крім того, розглядаються наступні варіанти:

- курсування поїздів однакового складу;
- курсування поїздів різного складу з ув'язкою поїздів кожної категорії складу в окремий оборот (груповий графік обороту поїздів);

- курсування поїздів різного складу з ув'язкою поїздів в один оборот зі зміною складу поїздів на станціях їх обороту.

#### IV. ОПТИМІЗАЦІЯ ЗОНАЛЬНОГО ПАРАЛЕЛЬНОГО ГРАФІКУ РУХУ В ПІКОВІ ПЕРІОДИ ТА ПОБУДОВА АЛГОРИТМУ РОЗРОБКИ ГРАФІКУ РУХУ ПРИМІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ

Кількість приміських поїздів також залежить від типу графіку руху. У пікові години приміських перевезень доцільно використовувати максимальну місткість рухомого складу з урахуванням розрахункової та готівкової місткості. Отже, у ці періоди доцільно запроваджувати зональний паралельний графік руху приміських поїздів, за яким поїзди здійснюють зупинки на всіх визначених зупинних пунктах та зональних станціях на ділянці [3].

По суті, графік руху поїздів визначає послідовність зайняття перегонів поїздами, час відправлення та прибуття поїздів у кожний окремий пункт, швидкість руху поїздів на перегонах, норми часу стоянки поїздів на станціях, серії локомотивів, які обслуговують поїзди, вагові норми та довжину поїздів. Графік руху поїздів - це графічне зображення процесу руху поїзда на ділянці в декартовій системі координат, де поїзд приймається за матеріальну точку.

У періоди спаду пасажиропотоку можна використовувати класичний зональний непаралельний графік, який забезпечує найвищу швидкість руху поїздів на відповідній ділянці. Цей графік дозволяє кожному поїзду зупинятися тільки в проміжних пунктах своєї зони та на відповідній зональній станції. У періоди низького пасажиропотоку можливе також застосування зонального непаралельного графіка, який передбачає зупинки поїздів на зональних станціях на шляху прямування поїзда та на зупинках відповідної зони. Крім того, може застосовуватися зональний непаралельний графік руху, який передбачає зупинки поїздів на зональних станціях за маршрутом прямування поїзда, а також на зупинках відповідної зони та на зупинках інших зон зі значним обсягом посадки та висадки пасажирів. У цьому контексті розрахунки

розмірів руху приміських поїздів, виходячи із заданої точності, можуть бути виконані для того чи іншого типу графіка руху.

Науково-дослідний аналіз розподілу приміських пасажиропотоків на реальних приміських маршрутах показав, що в пікові та неінтенсивні періоди приміських перевезень інтенсивність входу пасажирів можна вважати постійною. Про це свідчать дані з [1,6,4]. У цьому контексті важливо забезпечити рівномірний розподіл поїздів кожної технічної зони на графіку руху в ці періоди.

У пікові періоди перевезень необхідно забезпечити, щоб приміська дільниця працювала з максимальною пропускнуою спроможністю. Отже, рекомендується застосовувати зональний паралельний графік руху в пікові періоди.

У періоди пікових перевезень порядок розміщення поїздів по відношенню до ближньої та дальньої зон не впливає на провізну спроможність ділянки. Тим не менш, послідовність розташування поїздів на графіку в ці періоди має значний вплив на умови перевезень пасажирів. Отже, в пікові періоди рекомендується розміщувати поїзди в порядку проходження ближніх зон, а потім подальших. Вищезазначений метод розміщення поїздів на графіку руху гарантує, що пасажирів найближчих зон не будуть змушені займати поїзди, призначені для далеких зон, тим самим покращуючи умови проїзду для пасажирів далеких зон.

У періоди спаду пасажиропотоку доцільно використовувати зональний непаралельний графік руху. При цьому для забезпечення найбільшої пропускнуої спроможності дільниці, як показано професором Н.Ю. Бещевим, доцільно спочатку вводити поїзди у віддалені зони, а згодом - у ближчі [2].

При підведенні поїзда до станцій обороту необхідно ув'язувати час прибуття поїзда з графіком зайнятості колій на станції, враховуючи ворожість маршрутів прибуття і відправлення поїздів.

Соціальне значення приміських залізничних перевезень є значним, оскільки воно безпосередньо впливає на інтереси пасажирів. У більшості випадків приміські залізниці працюють зі стабільним і надійним пасажирським ядром. Ті, хто регулярно користуються

приміською залізницею, звикли до зручних для них конкретних поїздів. Тому необхідно враховувати цю психологічну особливість при розробці нового графіка руху з метою збереження ядра поїздів з пасажиропотоком.

У світлі викладеного стає очевидним, що гнучка організаційно-технологічна база є необхідною для експлуатаційної роботи приміських пасажирських поїздів. Загальновідомо, що своєчасність руху приміських поїздів залежить від ефективної організації роботи та чіткого виконання технологічних процесів, пов'язаних з рухом приміських поїздів. Це неможливо без злагодженої розробки моделі розрахунку габаритів руху приміських поїздів. Тому доцільно розглянути основні принципи побудови розкладу руху приміських поїздів і проаналізувати модель розподілу руху в пікові періоди доби.

Необхідно враховувати період найбільшого руху відправлення з головного вокзалу приміської зони. Аналогічні розрахунки можна виконати для пікового періоду після прибуття на головну станцію. У цей період залежність пасажиропотоку від часу можна виразити так [3]:

$$A_{ij} = K_{ij}t \quad (1)$$

де  $K_{ij}$  - постійна інтенсивність пасажиропотоку з  $i$ -ої станції зародження на  $j$ -устанцію його погашення.

При цьому:

$$i = 0.1.....,n-1;$$

$$j = 1.2.....,n;$$

$$i < j$$

де  $n$ - число зонних станцій обороту приміських складів.

Позначимо через  $t_i$  - моменти відправлення з головної станції приміської ділянки на  $j$ -у станцію обороту (рис. 3). Приймемо величину  $t_n$  за одиницю, тоді ці величини будуть виражені в долях одиниці.

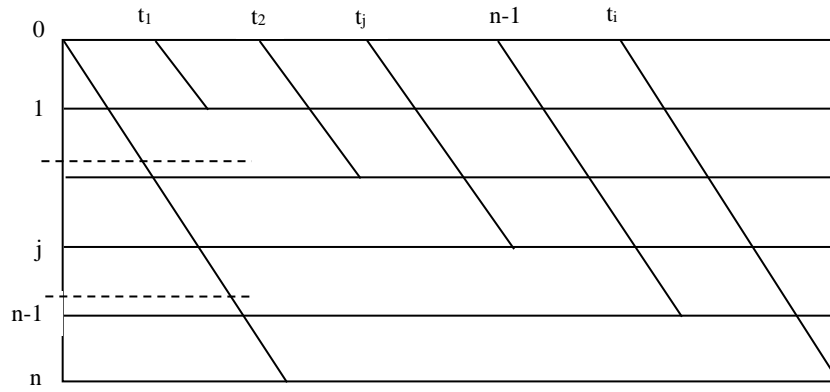


Рисунок 3 - Схема прокладання потягів на графіку [1]

де  $t_i$  – моменти відправлення з головної станції приміської ділянки до  $j$ -ї станції обороту; кількість зонних станцій обороту приміських составів.

Оптимальний час відправлення поїздів з головного вокзалу визначатиметься сумарним пасажиро-годинним очікуванням.

Згодом, для пасажирів, які відправляються з головного вокзалу та прямують до  $j$ -ї зони, загальна кількість пасажиро-годин очікування ( $\sum A_{t_{пас.}}$ ) буде еквівалентна площі заштрихованої фігури, зображеної на малюнку 4.

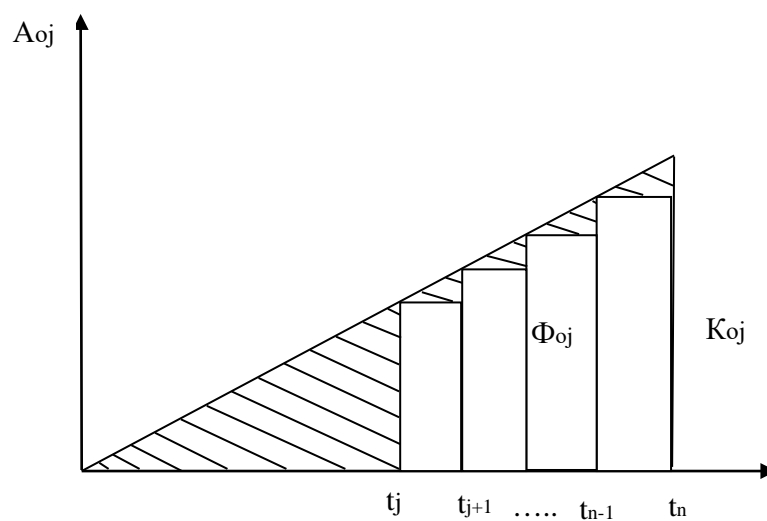


Рисунок 4 - Залежність пасажиропотоку від часу

де  $\Phi_{oj}$  – площа не замальованої фігури;

$K_{ij}$  – постійна інтенсивність пасажиропотоку з  $i$ -ї станції зародження до  $j$ -ї станції його погашення.

Залежність пасажиропотоку від часу має вигляд  $A_{ij} = K_{ij}t$ . Нехай  $\Phi_{oj}$  - площа замальованої фігури. Тоді:

$$\left(\sum A t_{nac}\right)_{oj} + \Phi_{oj} = \frac{1}{2} K_{oj} = const.$$

Отже, щоб мінімізувати загальну кількість пасажиро-годин, витрачених на очікування пасажирів від головного вокзалу до станції  $j$ -ї зони, достатньо максимізувати площу додаткової фігури.

$$\Phi_{oj} = k \sum_{k=1}^{n-1} (t_{k+1} - t_k) t_k$$

Для мінімізації сумарних пасажиро-годин очікування пасажирів, які прямують від головного вокзалу до всіх станцій ділянки, достатньо максимізувати суму.

$$\Phi_o = \sum_{j=1}^{n-1} \Phi_{oj} = \sum_{j=1}^{n-1} K_{oj} \sum_{k=1}^{n-1} (t_{k+1} - t_k) t_k$$

Так само, щоб мінімізувати загальну кількість пасажиро-годин, витрачених на очікування пасажирів, які подорожують від станції першої зони до наступних зон, достатньо максимізувати значення [3]:

$$\Phi_i = \sum_{j=2}^{n-1} K_{ij} \sum_{k=j}^{n-1} t_k (t_{k+1} - t_k)$$

В загальному випадку:

$$\Phi_i = \sum_{j=i+1}^{n-1} K_{ij} \sum_{k=j}^{n-1} t_k (t_{k+1} - t_k),$$

$$i = 0, \dots, n-2$$

Тоді сума площ усіх додаткових фігур буде рівна:

$$\Phi = \sum_{i=0}^{n-2} \Phi_i = \sum_{i=0}^{n-2} \sum_{j=i+1}^{n-1} K_{ij} \sum_{k=j}^{n-1} t_k (t_{k+1} - t_k)$$

Для максимізації цієї функції вимагається виконувати умови:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t_1} = K_{01}(t_2 - 2t_1) = 0$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t_1} = K_{01}t_{01} + (t_3 - 2t_2)(K_{01} + K_{02} + K_{12}) = 0$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t_1} = (K_{01} + K_{02} + K_{12})t_2 + (K_{01} + K_{02} + K_{03} + K_{12} + K_{13} + K_{23})(t_4 - 2t_3) = 0$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t_e} = \sum_{i=0}^{e-2} \sum_{j=1}^{n-1} K_{ij} t_{e-1} + \sum_{i=0}^{e-1} \sum_{j=1}^e K_{ij} (t_{e+1} - 2t_e) = 0$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t_e} = \sum_{i=0}^{e-3} \sum_{j=1}^{n-2} K_{ij} t_{e-2} + \sum_{i=0}^{e-2} \sum_{j=1}^{n-1} K_{ij} (t - 2t_{n-1}) = 0$$

Розв'язок системи звичайних алгебраїчних рівнянь дасть оптимальні значення моментів відправлення поїздів з головного приміського вокзалу:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \Phi}{\partial t} = K_{01}(t_2 - 2t_1) = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial t_1} = K_{01}t_1 + (1 - 2t_2)(K_{01} + K_{02} + K_{12}) = 0 \end{array} \right\}$$

Звідки отримаємо:

$$t_1 = \frac{K_{01} + K_{02} + K_{12}}{3K_{01} + 4K_{02} + 4K_{12}},$$

$$t_2 = \frac{2(K_{01} + K_{02} + K_{12})}{3K_{01} + 4K_{02} + 4K_{12}}.$$

Побудувавши та систематизувавши модель розрахунку величини руху приміських поїздів, ми змогли отримати уявлення про відправлення поїздів з головного приміського вокзалу в інші райони пасажиропотоку.

Подальшим етапом наукового дослідження є теоретична перевірка алгоритму побудови графіка руху приміських поїздів.

Алгоритм планування повинен забезпечувати: задоволення потреб приміського пасажирського транспорту, безпеку руху, найбільш ефективне використання пропускної здатності та провізної спроможності станційних ділянок, раціональне використання рухомого складу, дотримання встановленої тривалості безперервної роботи локомотивних бригад, можливість проведення робіт з поточного утримання та ремонту колій, споруд, обладнання ЦЗ, засобів зв'язку та електропостачання з безумовним дотриманням вимог охорони праці.

Загальний схематичний вид алгоритму надано на рисунку 5.



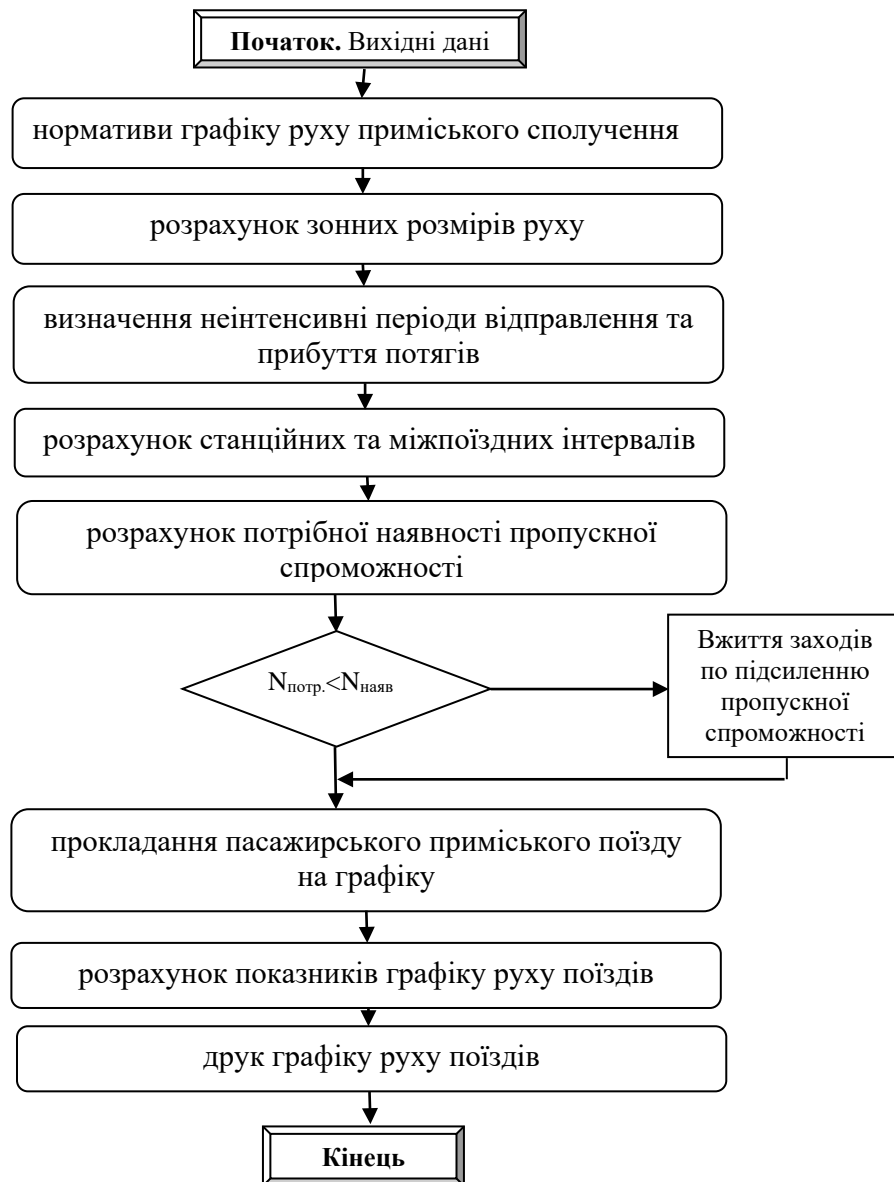


Рисунок 5 – Алгоритм розробки графіку руху приміських пасажирських поїздів

Більш детальний розгляд та аналіз етапів розробки розкладу руху приміських пасажирських поїздів показує, що рівень автоматизації процесів, пов'язаних з розробкою стандартів, розміщенням поїздів на розкладі та створенням розроблених розкладів, вже достатньо високий, і спостерігається тенденція до його збільшення аж до переходу до повної автоматизації процесу. З цієї причини актуальним стає також питання якісної підготовки працівників транспортної галузі, які б якісно та результативно використовували існуюче та перспективне програмне забезпечення [1,7].

Складність процесу інформ-автоматизації розробки розкладів полягає в тому, що цей процес досить важко формалізувати [8]. З цієї причини найбільш доцільно розробити автоматизовану систему формування розкладів, яка працює в режимі діалогу і дозволяє інженеру-розкладнику або диспетчеру (якщо він веде розклад виконаного руху) керувати програмою. Тобто цю задачу доцільно буде розв'язати, розбивши її на підзадачі, де частина завдань вирішуватиметься автоматично, а частина коригуватиметься людиною.

Для забезпечення обмежень колійного розвитку пересадочних станцій приміських поїздів необхідно запровадити спеціальні поїзди. Для цього необхідно розробити алгоритм, що забезпечує можливість формування оптимального графіка руху приміських пасажирських поїздів.

У загальному сенсі алгоритм побудови графа необхідно скласти в наступному порядку:

- зібрати вихідні дані для розкладу (технічні характеристики станції; розміри пасажиропотоку);
- розрахувати норми приміського розкладу руху (інтервал між станціями та поїздами; тривалість поїздів);
- розрахувати доступну і необхідну пропускну здатність;
- визначити зональні розміри руху (рівномірно направляємо поїзди від головного вокзалу до відповідної зонної станції у вечірній «піковий» період і поїзди, що прибувають на головний вокзал у ранковий «піковий» період);
- визначаємо неінтенсивний час відправлення та прибуття поїздів (поїзди, що відправляються на зонові станції, і поїзди, що прибувають на головний вокзал, розташовуються рівномірно в цей час доби);
- враховувати умови стаціонарності процесу, які стверджують, що кількість поїздів, які прибувають на кожну станцію обороту  $t^k_i$ , буде дорівнювати кількості поїздів  $T^k_j$ , що відправляються. Це досягається шляхом поділу осі часу, що відповідає станції, на  $2nk+1$  відрізків, де  $n$  – кількість поїздів, які прибувають і відправляються зі станції за одиницю часу. Для кожної з цих ділянок можна визначити

кількість поїздів, які простоюють на станції в цей період часу;

- встановити відрізки тимчасової осі, що відповідають головній станції, за умови, що кількість простою поїздів перевищує кількість колій для простою поїздів;

- визначити відрізок, що визначає зону відправлення для прокладання резервної «нитки» розкладу спеціального поїзда. Індокси сегментів, розташованих праворуч від виділеного сегмента, обчислюються та зменшуються на одиницю. Ідентифікується перший сегмент з індексом мінус один. Сусідній лівий сегмент визначає зону прибуття спеціального поїзда на головний вокзал.

- зображаємо пасажирський приміський поїзд на графіку.

Тепер звернемо увагу на станцію першої зони. Якщо зона відправлення спеціального поїзда перетинає відповідні даній станції відрізки тимчасової осі з показниками, що перевищують або дорівнюють числу шляхів зупинки поїздів на цій станції, то переходимо до перегляду станції наступної зони. Але якщо зона відправлення спеціального поїзда перетинає хоча б одну ділянку з індексом меншої кількості колій для зберігання складів, то «нитка» розкладу прокладається в зоні відправлення з основною до цього вокзалу, а в свою чергу прокладається «нитка» в зоні прибуття спецпотяга до головного вокзалу.

У подальшому необхідно перерахувати індекси відрізків для основної та розглянутої зонних станцій і перейти до визначення відрізків часової осі алгоритму. Цей процес повторюється до тих пір, поки не буде ідентифікований сегмент з великою кількістю шляхів для зберігання складів на головній станції.

Для реалізації алгоритму розробки розкладу руху приміських пасажирських поїздів у програмній формі використовується мова програмування, що дозволяє створювати достатньо функціональні програмні продукти, що не вимагають значних комп'ютерних потужностей. Середовище програмування Borland C++ Builder 6 використовується як програмний продукт, засіб для швидкої розробки додатків (RAD) і система для розробки програмістами програмного забезпечення.

При підготовці розкладу графіка руху для спеціальних поїздів необхідно забезпечити

- безпеку руху, яка досягається розрахунком інтервалів руху поїздів між станціями;

- економіко-оптимальність, яка забезпечується побудовою критеріїв оптимальності та формуванню складу поїзда; максимальним використанням пропускної та переробної потужностей станцій; формуванням поїзда без додаткових зупинок і простоїв; використанням додаткового часу не для збільшення паркомісць, а для економії енергоресурсів;

- максимальний ступінь автоматизації будівництва, який забезпечується запровадженням системи пріоритетів прокладання різних типів поїздів та розпаралеленням процесу створення розкладів руху;

- адаптивність, що забезпечується гнучкою взаємодією завдань розрахункових елементів розкладу;

- максимальна стабільність розкладу в порівнянні з попереднім роком, забезпечується алгоритмом побудови, який надає високий пріоритет критерію близькості двох розкладів;

- стабільність розкладу, що забезпечується врахуванням впливу можливих випадкових факторів на розрахункові параметри елементів розкладу.

Виходячи з цього будуюмо схему впровадження резервного потоку ниток графіку руху для спеціальних поїздів (рис.6).

Виходячи з його практичної цінності, можна стверджувати, що він поліпшує організацію роботи диспетчерів та підвищує загальну ефективність станційної роботи.

Отриманий на рисунку графік розкладу спеціальних поїздів корисний для диспетчеризації та навчання, оскільки забезпечує безперебійний рух приміських пасажирських поїздів. Вночі поїзди чекають на станціях, і кількість колій на кожній станції ніколи не перевищує число шляхів.

Це було враховано, коли ми розраховували, скільки приміських потягів можемо прийняти.

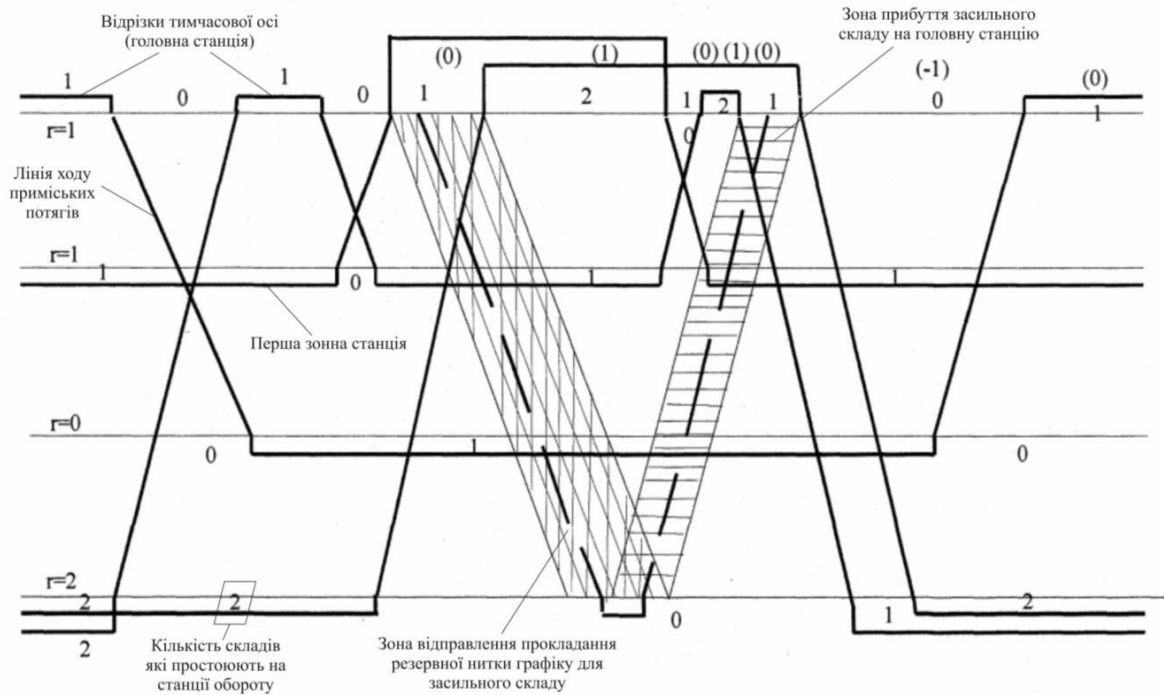


Рисунок 6 – Схема впровадження резервного потоку ниток графіку руху для спеціальних поїздів

Протягом дня загальна кількість приміських поїздів, які можуть скористатися цією лінією, не змінюється, але фактично в будь-який момент часу рухаються лише деякі, а решта знаходяться на станціях.

Якщо колій більше, ніж поїздів, можна переставити поїзди з однієї станції на іншу. Зараз потягів на станціях менше, ніж колій, тому це не проблема.

## ВИСНОВКИ

У сучасному світі приміський залізничний транспорт залишається основним видом громадського транспорту.

Наш аналіз сучасного стану та роботи приміського залізничного транспорту в Україні показав, що він перебуває у певній кризі. Щоб вийти з кризи і зробити приміські пасажирські перевезення більш прибутковими, нам потрібно підвищити ефективність роботи приміської залізниці. Це передбачатиме створення та впровадження нового рухомого складу та нової техніки, а також розробку гнучкої

тарифної політики, реформування управління приміським транспортом тощо. Нам потрібно придумати нову економічну модель для спільної роботи залізниці та бізнесу. Важливо розробити нові способи економії ресурсів, які дозволять нам підтримувати рух наших приміських поїздів, а також зменшити витрати на електроенергію, паливо та ремонт. Це допоможе нам покращити обслуговування пасажирів, пришвидшивши поїзди та зробивши їх комфортнішими.

У дослідженні викладено теоретичні та методичні основи вибору оптимальних параметрів системи розвитку приміського пасажиропотоку, що дозволяє підвищити ефективність роботи приміського залізничного транспорту.

Показано, що розміри приміських поїздів є одним із найважливіших факторів у системі розвитку приміського пасажиропотоку. Було показано, що розмір трафіку пов'язаний з іншими ключовими факторами в системі, такими як кількість пасажирів і місткість рухомого складу. Доведено, що при розрахунку габаритів приміських поїздів необхідно враховувати особливості приміського транспорту, наприклад, вагу, розподіл по зонах, пори року, дні тижня і години доби.

Обґрунтовано, що при збільшенні розмірів руху приміських потягів знижується провізна здатність ділянки для вантажного і далекого пасажирського руху, тому потрібно збільшувати парк рухомого складу, а це призведе до збільшення числа бригад потягів і відповідно витрат на ремонт і зміст вагонів. Отже, нам потрібно вивести на дороги більше рухомого складу, а значить, більше поїзних бригад і, звісно, більше витрат на ремонт і обслуговування. І, навпаки, надмірне зменшення розмірів руху може привести до погіршення обслуговування пасажирів, оскільки при цьому збільшується час очікування пасажирами потягів, потяги слідуватимуть переповненими. Тобто, занадто мало трафіку призведе до негативних наслідків, що вплинуть на клієнтів приміських потягів. При цьому пасажирам доведеться довше чекати потяги, і вони все одно будуть переповнені. Крім того, з більшою конкуренцією з боку

автомобільного транспорту деякі пасажирів можуть перейти на інші види транспорту (автобуси, маршрутні таксі тощо).

На основі системних досліджень побудовано комплексну математичну модель оптимізації параметрів приміських пасажиропотоків. Він складається з купи взаємопов'язаних завдань і моделей. Моделювання процесу роботи системи приміського пасажиропотоку допомагає нам зрозуміти, як різні фактори впливають на ефективність системи, побачити, як з'єднані різні частини системи, знайти найкращі значення для параметрів системи та найкращий спосіб розвитку приміський пасажирський транспорт у перспективі.

Було доведено, що розміщення зональних технічних станцій у більшості реальних приміських зон потребує коригування. Розроблено теоретичні методики вибору оптимальної кількості технічних зон і оптимального їх розміщення в потрібних місцях на приміській ділянці. Тобто тепер ми можемо зрозуміти, як розмір і характер пасажиропотоку на ділянці впливає на кількість і розміщення технічних зон. Поділ приміської зони на технічні зони необхідний тому, що пасажиропотік по довжині приміської зони розподілений нерівномірно. Дослідження ефективності зональних графіків руху та оптимальної кількості технічних зон проводились лише в припущенні рівномірного розподілу пасажиропотоку по довжині приміської ділянки, що не відображає реальних коливань пасажиропотоку.

Нова модель розрахунку габаритів руху приміських поїздів також передбачає зниження вартості тарифів приміського залізничного транспорту для перевезення пасажирів завдяки можливості використання різних типів поїздів (шести-, восьми-, десяти- та дванадцятивагонних електропоїздів).

Модель побудови графіка руху приміських поїздів, яку ми розробили в роботі, забезпечує відсутність резервування складів на оборотних станціях за рахунок впровадження приміських поїздів з їх мінімальними рейсами.

Нами була побудована модель розрахунку графіка товарообігу

приміських складів з використанням методів математичного програмування та оригінальних методів, розроблених у роботі. Це дозволяє створити найменшу кількість складів, що працюють у заміській зоні. Ця техніка гарантує, що рухомий склад використовується рівномірно, що ремонти та технічні огляди відбуваються з рівними інтервалами, а поїзди на одному маршруті знаходяться близько один до одного за кілометражем. Розроблена модель дозволяє будувати графіки обороту приміських складів у місцях з великим трафіком, а також дозволяє скорочувати необхідну кількість приміських складів. Більше того, модель можна використовувати в маятникових умовах для руху поїзда.

Методика, алгоритми та програма розрахунку вирішують завдання розробки єдиного розкладу руху приміських поїздів, як за відсутності резервного курсування поїздів, так і з його впровадженням. В окремих випадках впровадження зустрічного резервного рейсу дозволяє скоротити необхідний парк приміських поїздів. На кількість приміських поїздів істотний вплив робить тип рухомого складу, що експлуатується на приміській ділянці.

Наприкінці дослідження ще раз треба відмітити, що організація розкладу руху приміських поїздів є складним і витонченим процесом, який вимагає врахування безлічі факторів та інтеграції інтересів різних груп користувачів. Добре спланований розклад служить для задоволення потреб споживачів, забезпечує безпеку та ефективність руху та реагує на зміни обставин.



## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Пасажирські перевезення (залізничний транспорт): навч. посіб. / Т. В. Бутько, О. А. Малахова, А. В. Прохорченко, Д. В. Константинов; за ред. Т. В. Бутько. Харків: Райдер, 2014. С. 190–194
- [2] Інструкція зі складання графіка руху поїздів на залізницях України: ЦД-0040. Затв. наказом Укрзалізниці 05.04.2002 № 170-Ц. Київ, 2002. 142 с.
- [3] Організація швидкісних та високошвидкісних перевезень: Конспект лекцій / А. В. Прохорченко, Т. Ю. Калашнікова, Д. В. Константинов, П. В. Долгополов. – Харків: УкрДУЗТ, 2021. – Ч. 1. – 62с.
- [4] Рух пасажирських поїздів прискорений. Вимоги до інфраструктури та рухомого складу. СТП 01-005:2016. Затв. наказом ПАТ «Укрзалізниця» від 29.04.2016 № 343. Київ, 2016. С. 87.
- [5] Commission Decision of 30 May 2002 concerning the technical specification for interoperability relating to the rolling stock subsystem of the trans-European high-speed rail system referred to in Article 6(1) of Directive 96/48/EC (Text with EEA relevance) (notified under document number C(2002) 1952): Directive 2002/735/EC. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32002D0735> (дата звернення: 20.04.2024).
- [6] Fuchsberger Martin. Algorithms for railway traffic management in complex central station areas: a dissertation for the degree of doctor of sciences. Zurich. 2022. 145 p.
- [7] Kontaxi Evangelia, Ricci Stefano. Railway capacity analysis: methodological framework and harmonization perspectives. 12th WCTR. July 11-15, 2020. Lisbon, Portugal. P. 21.
- [8] Kontaxi Evangelia, Ricci Stefano. Railway capacity analysis: methodological framework and harmonization perspectives. 12th WCTR. July 11-15, 2020. Lisbon, Portugal. P. 21.
- [9] Efficient rail transport with the Vicos OC operations control system family: Cost-effective operations management. Siemens AG Industry Sector Mobility Division P.O. Box 3327D-38023 Braunschweig, Germany. 16 p.
- [10] Binder S., Maknoon M. Y., Sharif A. Sh., Bierlaire M. Passenger-centric timetable rescheduling: A user equilibrium approach. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2021. Vol. 132. P. 103.