СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
Навчально - науковий інститут транспорту і будівництва
Кафедра логістичного управління та безпеки руху на транспорті

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної випускної роботи

освітній ступінь - магістр
спеціальність - 275 – Транспортні технології
спеціалізація - 275.3 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті)

на тему: «ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОБУСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПОЛІПШЕННЯМ ПОКАЗНИКІВ ВИКОРИСТАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ НА МІСЬКИХ МАРШРУТАХ»

Виконав
Здобувач вищої освіти
групи ОПАТ-19зм ..... (підпис) Ільїн І.І.

Керівник: ..... (підпис) доц. Баранов І.О.

Завідувач кафедри: ..... (підпис) проф.Чернецька-Білецька Н.Б.

Рецензент: ..... (підпис) Сущенко А.Ю. (ініціали і прізвище)

Сєвєродонецьк – 2021

1. ОГЛЯД ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМІВ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Рівень організації автобусних перевезень пасажирів у містах

Теорія пасажирських перевезень, незважаючи на велику актуальність поставлених перед нею задач, до цього часу перебуває в стадії формування. Це пояснюється великою складністю досліджень транспортних проблем, які є глибоко соціальні у своїй основі. Розвиток проблем міських пасажирських перевезень заснований на поєднанні різних галузей знань: техніки, економіки, містобудування, соціології, економічної географії, маркетингу та ін.

Основні етапи наукових розробок у галузі пасажирських перевезень базуються на використанні математичного моделювання, теорії масового обслуговування, статистичного та соціального аналізів, теорії графів, кібернетики та інших наук [13-17]. Вирішення питань транспортного забезпечення населення поділяється на два напрями: проектування міських транспортних мереж та організація руху міського транспорту [18-24].

В умовах заданої вже існуючої мережі на рівень досконалості автобусних перевезень мають суттєвий вплив багато факторів. Окрім самої організації пасажирських перевезень, дуже важливим для них є технічне забезпечення оптимальним рухомим складом як за наявністю сучасних типів і моделей автобусів, так і за їх співвідношенням у загальній кількості, а також наявного сервісного обслуговування. У сучасний період це питання набуло гостроти через економічні складності роботи муніципальних АТП. Неможливо обминути і значення регулярності та безпеки руху автобусів, економічної витрати паливних ресурсів. У групу соціальних факторів входять правильне забезпечення надійності водіїв з погляду високої виробничої дисципліни, уважне обслуговування пасажирів, дотримання належного технічного стану та довговічності автобусів.

Транспорт у місті відіграє роль, подібну до кровоносної системи живого організму. Він забезпечує можливість життєдіяльності міста як цілісної системи з його адміністративними, культурними, виробничими та іншими функціями. У міру зростання міст підвищуються і вимоги до транспорту та його екологічної безпеки. Такими вимогами стимулюється розвиток нових технічних засобів міського транспорту. Незважаючи на це, досі зберігається розрив між потенціальними можливостями засобів міського транспорту та їх реальним використанням. Наприклад, експлуатаційна швидкість сполучення на міських автобусних маршрутах іноді коливається від 15 до 22 км/год. До деякого часу уявлялось можливим вирішувати транспортні проблеми міст, збільшуючи кількість рухомого складу. У даний період цей напрям уже не дає високого ефекту, а тому назріла актуальність подальшого розвитку теорії організації руху засобів транспорту міською мережею. Взагалі, необхідно створити такі системи організації руху, які забезпечували б в перспективі максимальну якість пасажироперевезень за умови зниження витрати транспортного часу пасажирами, мінімальної собівартості перевезень, комфорту і високої безпеки руху [1, 25-28]. Крім того, на автобусних перевезеннях мають бути стійко забезпечені рівномірність та частота обороту рухомого складу, бо ці фактори безпосередньо впливають на час очікування транспорту.

У даний момент існує ряд напрямів наукової думки відносно вибору показників для оцінювання раціональної організації перевезень. Під організацією пасажирських перевезень слід розуміти задоволення пасажиропотоку в просторі та часі при заданій комфортності та певному рівні собівартості.

У попередні роки багато авторів неодноразово брали за головний показник раціональної організації перевезень час пересування пасажирів, визначений як :

$$t_{пер} = \frac{2L}{V_n} + \frac{I}{2} + \frac{L_{in}}{Vc} + t_{перес}\,, \qquad (1.1)$$

де $2L$ – відстань до зупинки та від зупинки, км;

I – інтервал руху, год;

V_n – швидкість пішохода, км/год;

L_{in} – дальність поїздки пасажира, км;

V_c – швидкість сполучення, км/год;

$t_{перес}$ – час на пересадку, год.

Слід вказати на те, що час на поїздку пасажира не дозволяє зробити висновок про рівень організації транспортних перевезень, бо він не охоплює ні комфортності, ні собівартості перевезень та безпеку пасажирів. Відомо, що від комфортності поїздок залежить транспортна втома, а звідси і продуктивність праці людей. Отже, вираз (1.1) не відповідає всім вимогам раціональної організації пасажирських перевезень.

ДержавтотрансНДІпроектом запропоновано диференціальний критерій, який певним чином вже враховує якість експлуатації автобусів, але не оцінює її економічну сторону [29,30]:

$$K_{к.о.} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \qquad (1.2)$$

де K_1 - коефіцієнт відносного заповнення автобусів;

K_2 – коефіцієнт відносних витрат часу на пересування пасажирів;

K_3 - коефіцієнт регулярності руху;

K_4 - коефіцієнт регулярності зміни рівня ДТП.

Автори робіт [6, 11] пропонують оцінювати організацію пасажирських перевезень за допомогою категорії комфорту. Такою категорією приймають сумарний ефект впливу окремих ознак, а саме характеристик впливу комфорту на фізичний та психологічний стан пасажирів у процесі їх пересування в транспортній системі. Зокрема, при транспортно-соціологічних дослідженнях у

містах Європи було визначено багато ознак комфорту, з яких відмічені лише вісім таких, які гарантують: дотримання часу, що передбачається на поїздку і очікування транспорту; проїзд без пересадки; тиша в транспорті; наявність місця для сидіння; уникнення наслідків несприятливої погоди; невелика відстань до зупинки; мікроклімат у салоні. Вищенаведена характеристика автобусного сполучення, визначена як комфортність пересування, не є кількісною і враховує інтереси лише однієї сторони, а саме пасажирів.

Досить поширена оцінка рівня організації перевезень за допомогою декількох кількісних показників: часу поїздки, часу на пересадку, часу на очікування, часу щоб підійти до зупинки, загального часу на пересування. Проте такі показники, відповідаючи потребам пасажирів, не задовольняють інтереси власників транспортних засобів. Час, витрачений на поїздку, не дозволяє зробити висновок про те, чи повністю забезпечено бажані умови поїздки, бо це можливо оцінити лише тоді, коли відома та врахована відстань поїздки. Звичайно, розділивши відстань поїздки на час її здійснення і одержавши величину швидкості сполучення, в деякій мірі, можна частково судити про якість процесу поїздки. Але вона ще не враховує всього часу, потрібного для пересування пасажира. Цей час залежить від відстані до зупинки, часу очікування та часу, що витрачається на пересадку.

На тривалість поїздки пасажира безпосередньо в автобусі впливає його експлуатаційна швидкість, яка, в свою чергу, залежить від цілої низки об'єктивних та суб'єктивних факторів. Найважливішими з них є відстань між зупинками, час простою на зупинках, щільність руху. Час простою на зупинках залежить як від кількості пасажирів, так і від ширини, кількості та розміщення дверей у автобусі, що є його важливою технічною характеристикою. Виходячи з цього , в роботі [31] викладена методика оптимізації відстані між зупинками за критерієм найменшого часу на пересування.

Вкладаючи кошти у формування міської мережі пасажирських перевезень, можна значно зменшити час на пересування збільшенням кількості автобусів на маршруті (зменшується час на очікування), а також виділяти

реверсні смуги для автобусів (збільшується швидкість). Але такий підхід потребує великих капітальних вкладень. Отже, він не оптимальний. Таким чином, наведені вище показники поки що не дозволяють зробити висновок про фактично досягнутий достатній рівень маршрутної мережі та організації автобусних перевезень. Для комплексної оцінки цього рівня бажано не обмежуватися основним критерієм, який визначає народногосподарські витрати, а продовжувати його розробку на підставі соціально-етичного маркетингу в умовах ринкових відносин.

1.2 Порівняння сучасних моделей міського автобусного сполучення

Транспортний процес пасажирських перевезень залежить від досконалості маршрутної системи міста і стану організації та управління безпосереднім переміщенням нею задіяного рухомого складу.

Критичний огляд робіт [23, 29, 32-35] показав, що моделі міських пасажирських перевезень мають однакову організаційну структуру і складаються з моделей маршрутної системи, транспортної мережі, пасажирських кореспонденцій та їх розподілу за маршрутами в містах. Переважно математичне моделювання міських пасажирських перевезень здійснюється з метою прогнозування пасажиропотоків транспортною мережею міста . Поліпшенню організації та підвищенню ефективності використання автобусів присвячені наукові дослідження, результати яких представлені в багатьох роботах, проте вони мають часто принципово різні моделі перевізного процесу . На наш погляд, досить грунтовний аналіз різних моделей міських маршрутних систем наведено в роботі [3]. У результаті моделювання автор праці [6] приходить до висновку, що найбільш виразних результатів моделювання перевезень пасажирів у місті можна досягти на основі використання матриці міжрайонних кореспонденцій за допомогою анкетного методу. При цьому модель транспортної мережі повинна описуватися множиною зв’язків між суміжними мікрорайонами міста, а модель маршрутної

мережі - множиною видів транспорту. Маршрути міського транспорту, які зв'язують між собою мікрорайони міста, можуть бути представлені у вигляді двох ланцюжків, що описують прямий та зворотній напрямки. Недолік такого методу моделювання полягає в його складності та малій імовірності одержати потрібну інформацію за допомогою анкет.

Значно меншої кількості розрахунків потребує модель, яка відома з роботи [36]. Автор пропонує перехід від міжрайонної матриці до міжзупинкової і, виходячи з цього, будувати маршрутну та транспортну моделі. Недоліком такої моделі є те, що автор передбачає її побудову лише за маятниковими маршрутами. Крім цього, в умовах ринкових відносин можуть бути різними тарифи на перевезення, чого не враховує така модель.

При моделюванні маршрутної мережі іноді враховують гіпотезу поведінки пасажира при виборі шляху сполучення [37]. Такий підхід неможливо визнати достатньо коректним, тому що в даному випадку мінімізація часу переміщення кожним пасажиром веде до загального мінімуму часу пересування в транспортному засобі. Подібна тотожність результатів індивідуальної та системної оптимізації можлива тільки в тому випадку, коли час руху на маршрутній мережі не залежить від величини потоків на маршрутах. Пасажири, що прагнуть мінімізувати час пересування та його вартість, орієнтуються на реальні значення потоків та вартість проїзду і на основі цієї апріорної інформації обирають шлях переміщення. Процес вибору маршруту здійснюється усіма учасниками руху і веде до рівноважного потоку, що базується на принципі Уордропа. Завдяки йому, здатні до самоорганізації потоки, прагнуть так розподілитися за маршрутною мережою, щоб досягти положення, в якому жоден пасажир не може зменшити витрати на свою поїздку в результаті зміни маршруту. З принципу Уордропа витікає методологічно важливий висновок про те, що сукупність індивідуальних оптимумів не узгоджується з загальносистемною метою оптимізації транспортного процесу. Зараз існують три основні моделі потокорозподілу пасажирів: ентропійна, дискретного вибору та Вебера-Фехнера.

Ентропійні моделі потребують знання внутрішньої структури і грунтуються на знанні ентропії системи [38, 39]. У міських автобусних перевезеннях неможливо виділити знання всіх показників. Це основний недолік даної моделі, з причини якого цей метод у даний час застосовується на практиці обмежено.

Моделі дискретного вибору розглядають обрання шляху переміщення на підставі витрат часу пасажирами. Деякі моделі навіть передбачають корегування залежно від завантаженості альтернативних шляхів. Недоліком такого методу є відсутність залежності ймовірності поїздки від її вартості. Результати ряду досліджень [37-39] підтверджують, що шлях пересування пасажира не залежить від вартості поїздки. Для умов ринкових відносин, за наявності конкуренції між різними формами власників транспортних засобів, а також різної комфортності і вартості поїздки, такий метод моделювання просто неприйнятний.

Моделі Вебера-Фехнера припускають різні за змістом показники оцінки, що є їх позитивною стороною. Негативною ознакою таких моделей є необхідність проведення регресійного аналізу значної кількості даних з метою визначення коефіцієнтів вагомості кожного показника. У роботах [40,59] для оцінки функціонування транспортної мережі прийнято декілька кількісних критеріїв, які дозволяють оптимізувати безпосередньо існуючу транспорту мережу в умовах заданої організації перевезень.

Здійснений аналіз різних моделей щодо удосконалення міських пасажирських перевезень показує, що вони не мають широкого системного підходу і не охоплюють багатьох факторів, які впливають на рівень організації перевезень. Це пояснюється в першу чергу тим, що теоретичні розробки з питань удосконалення автобусних перевезень у містах виконувалися в умовах монополії держави на транспортні засоби та тарифи перевезень. Внаслідок сучасної жорсткої конкуренції між різними формами власності на автобуси різномарочного складу існуючі моделі міських пасажирських перевезень не можуть бути використані без їх суттєвих змін. Крім цього, підвищувати рівень

пасажирських міських перевезень за наявності економічної кризи та жорсткої конкуренції потрібно не єдиним шляхом оптимізації одного або декількох параметрів, але, в основному, комплексним удосконаленням усіх відповідних систем, впливаючих на транспортний процес. Особливістю поліпшення якості експлуатації автобусів в АТП муніципального сектору є необхідність його здійснення без суттєвих капітальних вкладень, що особливо відчутно в сучасний період.

1.3. Заходи підвищення рівня якості автобусних перевезень у заданій транспортній системі міста

Порівняння різних напрямів підвищення якості пасажирських перевезень у містах підтвердило, що застосовані методи досі ще не стали комплексною системою. Провідне місце серед них займають засоби удосконалення маршрутизації перевезень [3, 40-47]. Їх аналіз показав, що вони поділяються на дві основні групи, а саме: проектування нових та корегування існуючих мереж. У тому та іншому випадках для оцінки маршрутної системи приймаються: час на пересування пасажирів, рівень обслуговування населення (без відмов у поїздках), витрат транспортних підприємств для його задоволення. Переважно завдання покращання маршрутної мережі міста вирішується за передумови використання існуючого, зафіксованого типу та наявної кількості транспортних одиниць рухомого складу.

Окрема частина наукових праць спрямована на раціональний розподіл рухомого складу за маршрутами. Автор роботи [8] виклав модель розподілу, прямо пропорційного до обсягу перевезень. В інших роботах [48-51] пропонують моделі розподілу рухомого складу між маршрутами пропорційно або відповідно значенню максимального пасажиропотоку, або обсягу транспортної роботи на маршрутах, а також прямо пропорційно часу очікування поїздки. З публікації [52] відома модель зрівнювання ймовірностей відмови пасажирів у поїздці. Недолік усіх цих моделей полягає в суттєвій

неточності, тому що вони містять багато припущень, які не піддаються кількісній оцінці. Незважаючи на велику кількість методик розподілу рухомого складу на маршрутах, до цього часу ще не визначена найбільш ефективна методика, яка була б прийнятна для ринкових відносин.

Важливою умовою оптимальної організації транспортних перевезень на мережі міста є точне визначення пасажиропотоку, його розподілу в просторі та часі. У свою чергу, від точності визначення пасажиропотоків залежить той достатній рівень організації роботи автобусів у містах та населених пунктах, на якому буде забезпечено переміщення пасажирів у просторі та часі із заданою комфортністю при мінімальних витратах на перевезення одного пасажира. Безпосередньо організація роботи автобусів на маршрутах полягає у таких заходах, як вибір оптимальних форм руху та відповідного їм типу рухомого складу, його розподілу на маршрутах за годинами доби, оперативне переміщення транспортних засобів з одного на інший маршрут, складання гнучкого розкладу руху.

Ряд авторів [6,49] оцінюють організацію роботи транспорту кількома категоріями. Основними з них є витрати часу на пересування, безпека руху (кількість дорожньо-транспортних пригод - ДТП), комфорт поза транспортними засобами в часі та просторі, а також безпосередньо в транспортних засобах.

Категорія витрат часу на пересування пасажира є кількісною і може бути охарактеризована одним критерієм (i=1), а точніше відношенням загального для міста середнього часу на пересування ($t_з$) до фактичного часу пересування ($t_ф$). Цю категорію можна охарактеризувати і різницею між $t_з$ та $t_ф$. Категорію безпеки руху або кількість ДТП пропонували оцінювати питомими показниками за кількістю випадків із смертельними наслідками та тяжкими пораненнями. Решта категорій не піддається кількісному визначенню. Отже, і такий підхід до оцінки рівня перевезень не є достатнім, а крім того, він не пов’язаний з економічними показниками.

Для організації перевезень велике значення мають дані про тенденцію змін обсягів перевезень та середньої дальності поїздки на окремих маршрутах і відомості про закономірність їх коливання. Формування пасажиропотоків - це складне соціально-економічне явище із всебічними кількісними зв'язками, які залежать від конкретних умов пролягання маршрутів. Пасажиропотоки у містах змінюються в часі та просторі, і тому бувають представлені у вигляді трьох компонентів: еволюції дії, періодичної зміни явища, випадкового коливання [7, 16, 43]. Виходячи з цього, дані про величини характеристик пасажиропотоків є інтервальними (враховані дані) та моментними (дані обстежень пасажиропотоків) рядами. Тому автором [53] визначена еволюція пасажиропотоків як відношення чисельних характеристик пасажиропотоків у звітному та базовому періодах відповідно (у відсотках).

У роботі [6] закономірності зміни пасажиропотоків запропоновано описувати за допомогою рівняння трейда-аналітичного вирівнювання. Для знаходження параметрів аналітичних функцій вирішуються відповідні системи нормативних рівнянь. Недоліком цього методу є неточність та складність розрахунків.

На пасажирському маршрутному транспорті розрізняють дві основні форми сполучення: звичайну та комбіновану. Звичайна форма - це рух автобусів на маршруті з умовою їх зупинки на усіх зупинкових пунктах, а комбінована форма - є поєднанням звичайної форми із швидкісною, експресною чи скороченою.

Визначення комбінованої форми руху полягає у дослідженні розподілу пасажиропотоків та пасажирообміну зупинкових пунктів і пошуках такого їх розподілу, який виправдовує з економічної точки зору встановлення різних форм руху. Ці форми руху були відомі давно, але реалізувати їх було можливо лише за допомогою картограмного методу [32], недолік якого полягає у великій трудомісткості та неточності. Ряд авторів [39, 43,53] спробували здійснити метод реалізації цих форм сполучення на електронно-

обчислювальних машинах (ЕОМ). Зміст цих методик полягає в перебиранні усіх можливих форм та їх поєднання. У ролі критерію автори використовували підвищення якості транспортного обслуговування без збільшення собівартості перевезень. Основним недоліком цих робіт були великі витрати на підготовчі й розрахункові роботи та складність методики, через що цей метод в АТП ніколи не використовувався. У даний час відомі й інші методики [54] для встановлення різних форм руху автобусів на маршрутах, проте в них критерієм приймається час на пересування пасажирів без урахування собівартості. Звичайно, що в умовах економічної кризи такий підхід не може поширитися на практиці.

2.4 Аналіз методів удосконалення технологічного процесу автобусних перевезень

До основних складових елементів технології та організації перевезень пасажирів обов'язково відносяться такі завдання, як-от: вибір типу та кількості рухомого складу АТП, розподілення певної кількості автобусів за окремими маршрутами, здійсненими у відповідності до розмірів пасажиропотоків по усіх обраних формах руху, а також заходи з його контролю і управління. Методика вирішення поставлених задач базувалася на застосуванні запропонованого в підрозділі 2.1 критерію (2.3) для оцінки якості автобусних перевезень. Результати розробки такої загальної методики висвітлено в даному та наступному підрозділах. Попередні передумови до даної методики передбачають її застосування тільки до вже оптимізованої маршрутної системи міста й автобусних маршрутів, для яких вже проведені обстеження реально існуючих пасажирських потоків за годинами доби, з урахуванням наявних зупинок на кожному із маршрутів. Для одержання потрібних відомостей щодо обстеження або перерозподілення пасажиропотоків складена самостійна методика, практична апробація якої далі викладена у розділі 3.

Із наукових джерел [1, 22] відомо, що в залежності від максимального значення пасажиропотоку P, пас/год., вибирають тип рухомого складу, а потім визначають його кількість.

Очевидно, що чим більшою буде пасажиромісткість ($q_н$), тим менше знадобиться автобусів для задоволення пасажиропотоку. Поруч із цим, чим більшою буде пасажиромісткість автобуса, тим довшими мають ставати інтервали руху при умові повного наповнення автобусів. У такому випадку витрати пасажирами часу на пересування будуть зростати. З іншого боку, задоволення пасажиропотоку автобусами великої місткості, в порівнянні з автобусами малої місткості, зменшує збитки від екологічного забруднення. На експлуатаційні витрати АТП впливають вартість автобуса, терміни амортизації,

технічне обслуговування та поточний ремонт, оплата палива та інші фактори. При використанні автобусів малої пасажиромісткості скорочуються інтервали руху, зростає швидкість сполучення за рахунок маневреності та зменшується час на зупинки, а в цілому скорочується час на пересування пасажирів і відповідні до нього соціальні витрати.

Грошові збитки від екологічного забруднення міст (на кожну 1000пас.км) при використанні автобусів малої місткості (мікроавтобусів) в порівнянні з автобусами великої місткості збільшуються майже в десять разів. Виходячи з цього, зроблено висновок про те, що в залежності від величини пасажиропотоку та при наявності маршрутів з різними пасажиропотоками слід формувати і відповідну їм структуру парку різними типами автобусів. При цьому одним із критеріїв щодо вибору типу рухомого складу далі в роботі вибрано мінімальну сумарну собівартість перевезень (грн. на одного пасажира) на маршрутах з різними пасажиропотоками:

$$S_n = \frac{\sum_{i=1}^{3} B}{Q} \quad , \tag{2.26}$$

де $\sum_{i=1}^{3} B$ - сумарні річні витрати (екологічні, експлуатаційні, соціальні) на перевезення пасажирів, грн.;

Q - річний обсяг перевезень, пас/рік.

Методика та результати дослідження сумарної собівартості S_n - викладені у розділі 4. При цьому для наочного порівняння автобусів різної пасажиромісткості визнано зручним користуватися залежністю собівартості S_n від величини пасажиропотоку P, пас/год. Тоді шляхом порівняння цих залежностей можна знаходити такі інтервали у змінному пасажиропотоці, на яких більш раціонально реалізується можлива продуктивність різних типів

автобусів. Розробка такої, більш досконалої методики сприятиме досить вагомому обгрунтуванню вибраного рухомого складу АТП, що актуально для сучасної перспективи оновлення міського парку автобусів.

На наступному етапові удосконалення організації перевезень, використовуючи дані щодо пасажиромісткості конкретно обраних марок автобусів, важливо раціонально визначати необхідну їх кількість A_{pi} для кожного маршруту. Слід відмітити, що в існуючих методиках вибору кількості автобусів увага зосереджена переважно тільки на задоволенні максимального пасажиропотоку. Приймаючи цей параметр за вихідну величину також і в даній роботі, надалі потрібно досліджувати залежність від неї всіх визначених критерієм (2.3) витрат: соціальних $B_{пер}$, експлуатаційних $B_{ек}$, екологічних B_e, сумарних $\sum B$. У такому розширеному обгрунтуванні збережена базова основа із загальноприйнятих у практиці методів розрахунку кількості автобусів, але введена умова більш детального урахування форм руху та їх комбінацій. З іншого боку, із введенням оціночного критерію (2.3) розробленою методикою передбачено корегування початково розрахованої кількості автобусів на кожному маршруті. Як відомо з різних джерел, потрібна кількість автобусів A_{pi} обчислюється для загальної форми руху за виразом:

$$A_{pi} = \frac{P_{\max i} \cdot T_{об} \cdot K_н}{60 q_н}, \qquad (2.27)$$

де A_{pi} - мінімально необхідна кількість одиниць автобусів;

$P_{\max i}$ - максимальне значення пасажиропотоку, пас.;

$T_{об}$ - час обороту автобусів на маршрути, год;

$K_н$ - коефіцієнт внутрігодинної нерівномірності;

$q_н$ - номінальна пасажиромісткість одного автобуса, пас.

Для скороченої форми руху тип і кількість автобусів визначаються аналогічно загальній формі, але виходячи із особливостей розподілу пасажиропотоку по довжині маршруту. Для швидкісної та експресної форм руху вибір автобусів залежить від значення пасажирообміну зупиночних пунктів. При цьому використовують епюру пасажирообміну зупинок за годинами доби (часу роботи автобусів), а середнє значення максимального пасажирообміну має бути обчисленим, згідно положень математичної теорії експерименту, не менше ніж із семи вимірів.

Відносно формули (2.27) слід зауважити, що до неї включена пасажиромісткість $q_н$ однієї вибраної марки автобуса. У сучасних умовах поширюється практика експлуатації на одному маршруті одночасно кількох типів автобусів, наприклад, середньої та малої місткості. Відповідно до цієї обставини слід очікувати на певну трансформацію даної формули, проте після проведення окремого самостійного дослідження.

У даній роботі прийнято нове положення про те, що згаданий вище розрахунок за існуючою методикою слід вважати за необхідний, беручи для цього початковий попередній етап для визначення кількості автобусів. Така методика в цілому придатна забезпечити перевезення усіх пасажирів даного маршруту в просторі і часі. Проте остаточну раціональну кількість автобусів краще обирати після того, як будуть визначені та враховані параметри критерію якості автобусного сполучення. Таке завдання визначено, як другий етап розрахунку кількості автобусів, а для його здійснення складено описану нижче нову методику.

Практичний досвід показав, що мінімальною кількістю автобусів $A_{\text{p}i}$ забезпечується існуючий пасажиропотік у просторі та часі на граничному рівні. Поряд з цим, бажано передбачити певний резерв автобусів для надійності та підвищеної якості сполучення. Досі вважалося, що від необгрунтованого збільшення кількості автобусів на маршруті, проти необхідної мінімальної, загальний обсяг перевезених пасажирів не збільшиться, бо пасажиропотік є

відносно стабільною величиною. Однак при наявності конкуренції мають підвищуватись рівень обслуговування та комфортність поїздок. З другого боку, через збільшення кількості задіяних на маршрутах автобусів не повинні помітно зростати витрати автотранспортного підприємства на пасажирські перевезення. Щоб узгодити таке протиріччя, у даній методиці запропоновано звернутися до критерію (2.3) та графіку на рис. 2.12, щоб оптимально спланувати вибір кількості рухомого складу на маршруті при заданому пасажиропотокові.

Зображений на рис. 2.12 графік відображає узагальнений приклад застосування критерію (2.3) для вирішення важливого питання щодо вибору потрібної кількості автобусів на маршруті, коли оптимальну кількість A_{opt} віднесено до мінімуму сумарних питомих витрат $B_{\min}$.

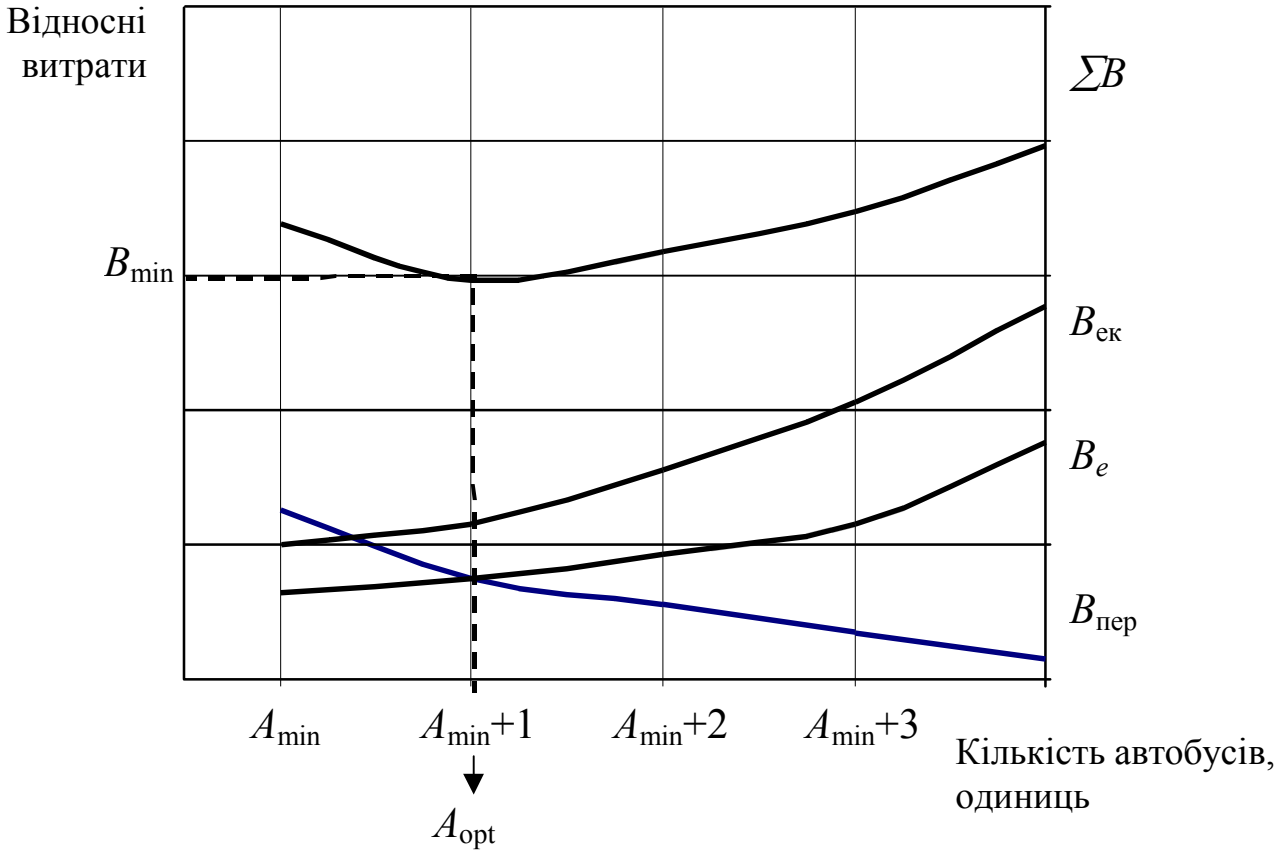

Рис. 2.12. Застосування критерію якості перевезень до визначення потрібної оптимальної кількості автобусів для заданого маршруту

Бажана мінімізація складових частин критерію (2.3) у вигляді відносних соціальних $B_{пер}$, експлуатаційних $B_{ек}$, екологічних B_e витрат та їх суми $\sum B$, згідно рис. 2.12, досягатиметься використанням певної оптимальної кількості автобусів A_{opt}, яка перевищує $A_{\min}$, розраховану за виразом (2.27) для i-го маршруту. Забезпечуючи заданий пасажиропотік за мінімальний час, названа величина A_{opt} відповідатиме (по вертикалі) мінімуму сумарних витрат $B_{\min}$. Крім того, кількість автобусів A_{opt} ще знаходиться в зоні початково обмежених значень інших складових витрат, а саме від екологічного забруднення міста B_e та експлуатаційних витрат АТП - $B_{ек}$. Головним позитивним результатом методики є те, що помітно знижуються соціальні витрати $B_{пер}$ пасажирів, пов'язані із загальним часом поїздки.

Згідно рис. 2.12, якщо надалі не обгрунтовано збільшувати кількість автобусів відносно A_{opt}, щоб зменшувати соціальні витрати пасажирів, тоді помітно та швидко зростатимуть екологічні та експлуатаційні витрати, враховані критерієм (2.3). Виходячи з того, що протягом доби на кожному маршруті найбільша потрібна кількість автобусів припадає на ранкові та вечірні години "пік", то розрахунки параметра A_{opt} раціонально проводити, орієнтуючись на ці години. Притому загальні витрати обчислюватимуться відносно однієї години.

Надалі неможливо обминути того факту, що коли з метою зниження соціальних витрат пасажирів здійснюється певне збільшення кількості автобусів на маршруті від $A_{\min}$ до A_{opt}, то цим зменшуватиметься коефіцієнт використання їх пасажиромісткості. А звідси будуть зростати питомі витрати, тобто собівартість перевезень [1].

Відносно тієї обставини, що на рис.2.12 по осі абсцис відкладаються цілі числа кількості автобусів A_{pi} потрібно пояснити, чому сумарні витрати $\sum B$

зображені не ламаними відрізками, а плавною кривою. Тут було враховано теоретично можливі випадки, коли у проміжку між цілими числами автобусів задаються при розрахунках критерію (2.3) різні величини статичного коефіцієнту γ_c використання пасажиромісткості автобуса. Тоді будуть змінюватися також графіки параметрів $B_{пер}$, $B_{ек}$, $B_{е}$.

Проведені розрахунки прикладів показали, що із застосуванням критерію $\sum B$ для загальної форми руху автобусів іноді можливе певне збільшення потрібної їх кількості (на 8…10%), хоча це виправдовується поліпшенням якості перевезень. Проте наступними дослідженнями визначено, що уникнути цього збільшення рухомого складу дозволяє запровадження одночасно загальної та комбінованої форм руху автобусів.

Дослідження, здійснені автором на автобусних маршрутах м. А, показали, що в години “пік” можна як постійний захід впроваджувати більш рівномірне використання рухомого складу з різною пасажиромісткістю шляхом перерозподілу автобусів у відповідності до зміни пасажиропотоків на маршрутах. Виходячи з цього положення, за пропозиціями автора розроблялася та була впроваджена в АТП 14129 методика перерозподілу автобусів за маршрутами в години “пік”.

Для формування можливих варіантів перерозподілу автобусів необхідно, щоб коефіцієнт використання місткості автобусів на лімітованому піковому перегоні за контактний період був більшим одиниці, а на передислокованому перегоні в цей же період був меншим одиниці. Взагалі вважається, що вибираючи оптимальну пасажиромісткість автобусу на міжпікові періоди доцільно приймати інтервал руху наближеним до інтервалу пікового режиму.

Під контактним періодом слід розуміти час, за який здійснюється перестановка автобусів з маршруту на маршрут. Інтервал руху між періодами пік на двох маршрутах має дорівнювати (або бути більшим) часу перегону автобусів з маршруту на маршрут. Формування можливих варіантів перерозподілу здійснюється в такій послідовності [105, 106].

Спочатку визначають коефіцієнт наповнення автобусів на лімітованому перегоні за контактний період:

$$K_{н}^{п}=\frac{Q_{\max п}\cdot K_{ВГ}\cdot T_{об}\cdot l_{із}\cdot K_{н}}{A\cdot q\cdot T_{к}\cdot L_{м}}, \qquad (2.28)$$

де $Q_{\max. п}$ - кількість пасажирів, перевезених за години “пік”, пас;

$K_{ВГ}$ - коефіцієнт внутрішньогодинної нерівномірності;

$T_{об}$ - час обороту автобусів на маршруті, год;

$l_{із}$ - середня відстань поїздки пасажирів, км;

$K_{н}$ - коефіцієнт нерівномірності пасажиропотоку;

A - кількість автобусів в години “пік”;

q - пасажиромісткість автобуса, пас;

$T_{к}$ - тривалість контактного періоду на маршрутах, год;

$L_{м}$ - довжина маршруту, км.

Як маршрут, на якому буде виконуватись передислокація, слід обирати маршрут з найбільшим коефіцієнтом $K_{н}$.

Оптимальна кількість автобусів, що підлягають передислокації, повинна визначатися, виходячи з мінімуму сумарних витрат часу $T_{сум}$ пасажирів на пересування:

$$T_{сум}=Q^{Д}(t_{о}^{Д}+t_{НТ}^{Д})+Q^{П}(t_{о}^{П}+t_{НТ}^{П}), \qquad (2.29)$$

де $Q^{Д}$ - обсяг перевезень на маршруті $Д$, з якого можна вилучити автобуси за контактний період, пас;

$Q^{П}$ - обсяг перевезень на маршруті $П$, на який передислокують автобуси, пас;

$t_o^{Д}$, $t_o^{П}$ - відповідно середні витрати часу пасажирів на очікування на маршрутах $Д$ і $П$, год;

$t_{НП}^{Д}$, $t_{НП}^{П}$ - відповідно середні витрати часу пасажирів на маршрутах $Д$ і $П$, з причини відмови від поїздки через переповнення транспорту, год.

Мінімальне значення витрат часу на пересування пасажирів відповідає оптимальній кількості автобусів на маршруті:

$$A_{пер\ opt} = A_{вих}^{Д} \pm A_{opt}^{Д}, \qquad (2.30)$$

де $A_{вих}^{Д}$ - кількість автобусів при вихідному їх розподіленні на маршрутах;

$A_{opt}^{Д}$ - кількість автобусів, яку раціонально передислокувати між маршрутами.

Після визначення оптимальної кількості автобусів, що підлягають передислокації між маршрутами за усіма можливими варіантами перерозподілу, обирається їх раціональна кількість. Критерієм вибору цієї кількості є максимальне скорочення витрат часу пасажирів на пересування. Величина скорочення сумарних витрат часу на пересування визначається за формулою:

$$T_{сум} = T_{сум.вих} - T_{сум.opt}. \qquad (2.31)$$

Щоб визначити сумарні витрати часу пасажирами на пересування, використовується вже відомий вираз, але з урахуванням обсягу перевезень:

$$T_{сум.вих} = \left(\frac{2l_n}{V_n} + \frac{I}{2} + \frac{l_{in}}{V_c} \right) \cdot Q_{пас}, \qquad (2.32)$$

де $2l_n$ - відстань від (до) зупинки, км/год;

V_n - швидкість пішохода, км/год;

I - інтервал руху для вихідного маршруту, год;

l_{in} - відстань поїздки пасажира, км;

V_c - швидкість сполучення автобуса, км/год;

$Q_{пас}$ - обсяг перевезень за добу, пас.

Після вибору раціонального варіанту відповідна пара автобусів виключається з групи попередньо відібраної кількості. Формування можливих варіантів перерозподілу автобусів для вибору чергового раціонального варіанту здійснюється аналогічним методом.

При складанні розкладу рейсів інтервал руху автобусів визначається як:

$$I = \frac{T_{об}}{A \pm A_{пер}}, \qquad (2.33)$$

де $A_{пер}$ - кількість передислокованих автобусів.

У технологічному процесі перевезень важливе місце належить формам руху автобусів. Базовими вихідними даними для їх вибору є відомості про пасажиропотоки в кожному окремому місті. Існуючі методи їх обстеження висвітлені в літературних джерелах [1, 42], але і досі не всі вони збирають повну інформацію із визначенням потрібних параметрів. Для цілі даного дослідження у розділі 3 розроблена і реалізована окрема методика збирання відомостей щодо параметрів пасажиропотоку в просторі й часі, пасажирообміну на зупинках, кореспонденцій поїздок. Виходячи з цього

завдання, за участю автора була розроблена спеціальна картка обстеження (рис. 2.13), яка дозволяє визначати табличним методом вищеназвані та інші параметри .

Методика досліджень передбачає, щоб у кожну одиницю рухомого складу (автобус) були розміщені обліковці відповідно до кількості дверей. Обов'язком кожного обліковця була реєстрація пасажирів, які входили та виходили з автобуса на кожній зупинці, а також записи в картці часу посадки та висадки пасажира. Послідовність обстеження така. Обліковець на своєму посту при вході пасажира в автобус проставляє в картці (в клітинці з номером зупинки) знак "+", записує час входу пасажира на відповідній зупинці і вручає її пасажирові. При виході пасажир віддає картку другому обліковцю, який, у свою чергу, проставляє знак "–" і записує час виходу пасажира в клітинці з номером відповідної зупинки.

Дата _____ Автобус _____

Маршрут _____ Обліковець

туди ⟶ ⟵ Звідти

1	**+11^{30}** 2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	**-11^{50}** 14	15	16
1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16

Позначення:

⟶ напрямок руху автобуса; 1...16 – номери зупинок;

$+11^{30}$ – зайшов об 11.30; $- 11^{50}$ – вийшов об 11.50

Рис. 2.13. Картка обстеження пасажиропотоків у місті

Результати обстеження пасажиропотоків за даною методикою дозволили після оброблення матеріалів обстеження (карток) одержати такі дані, необхідні для удосконалення організації перевезень:

1. Наповненість одиниці рухомого складу.

2. Пасажирообмін зупинкових пунктів за весь період обстеження в прямому та зворотному напрямках.

3. Кількість перевезених пасажирів.

4. Транспортна робота автобусів на різних маршрутах.

5. Характеристика зміни величин наповненості автобусів між зупинками, епюри розподілу пасажиропотоку за довжиною маршруту.

6. Дальність поїздки пасажира в цілому на маршруті та згідно напрямків.

7. Коефіцієнт змінюваності пасажирів.

8. Зміни пасажиропотоку за годинами доби (епюри розподілу на маршрутах).

9. Коефіцієнт використання пасажиромісткості автобусів.

Обстеження пасажиропотоків за допомогою вищеприведеного методу дає змогу визначити пасажирообмін зупинок і побудувати їх епюри. У схематизованому вигляді на рис. 2.14 наведено приклад епюри пасажирообміну зупинок на маршруті. Одержаний розподіл пасажиропотоків у просторі та часі, а також змін пасажирообміну зупинок надають змогу побудувати їх епюри, а потім за їх допомогою визначити такі форми руху автобусів, як звичайна, швидкісна, експресна, скорочена.

Під звичайною формою розуміють рух автобусів від початку до кінця маршруту із зупинками на всіх проміжних пунктах (зупинках). Основою для організації такої форми руху є рівномірний пасажирообмін зупинкових пунктів. Причому [107] загальна форма руху приймається тоді, коли коефіцієнт нерівномірності пасажирообміну не перевищує значення 1,2. Цей коефіцієнт

прирівнюється чисельно до відношення максимального пасажиропотоку $P_{\max}$, до його середньої величини P_c.

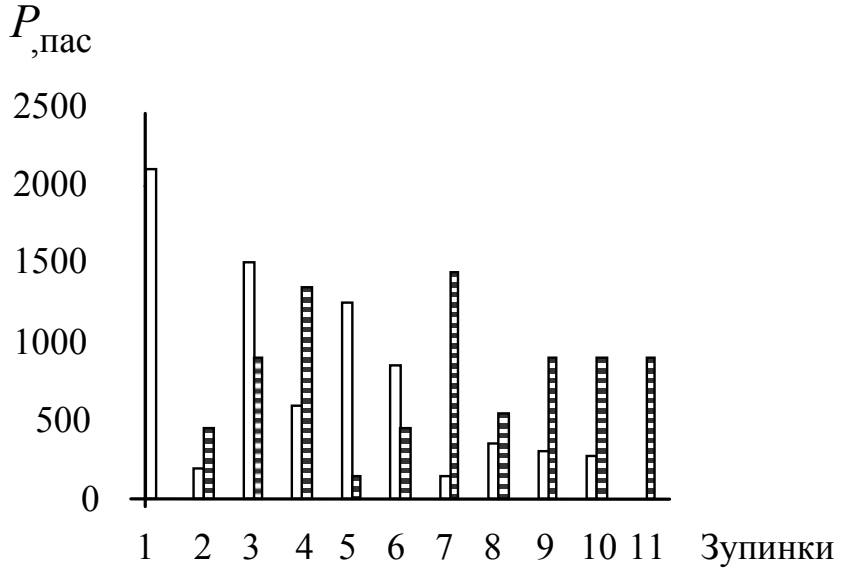

Рис. 2.14. Епюра розподілу пасажирообміну зупинок на маршруті № 67 (кількість пасажирів, які: ——— зайшли в автобус; - - - - - - - вийшли з автобуса на даній зупинці)

Скорочена форма руху автобусів визначається за допомогою епюри розподілу середнього значення пасажиропотоку у відповідності довжини маршруту. За умови, що попередніми обстеженнями чітко встановлена наявність значного падіння пасажиропотоку після певної зупинки, тоді на інші відрізки маршруту раціонально ввести скорочений маршрут у поєднанні із звичайною формою руху. При цьому витримується вимога про те, що відношення максимального пасажиропотоку $\overline{P}_{nac\max}$ до мінімального $\overline{P}_{nac\min}$ перевищує величину 1,2…1,3.

Слід зауважити, що за такого скорочення маршруту щогодинне значення пасажиропотоку на вибраному відрізку має бути не меншим необхідної кількості пасажирів для заповнення одного міського автобуса середньої місткості (80…100 пас.) Разом з цим, для визначення можливості впровадження скороченого маршруту може бути використана і така умова:

$$M_{ск} = \frac{Q_{пас\max} - Q_{пас\min}}{q_н} \geq 1, \qquad (2.34)$$

де $q_н$ - пасажиромісткість одного автобуса, пасажирів.

Швидкісна (напівекспресна) форма руху автобусів на маршруті визначається залежно від пасажирообміну зупинок і передбачає проїзд автобуса за маршрутом, пропускаючи встановлену кількість проміжних зупинок.

Така форма руху доцільна, якщо на початковій одній або декількох проміжних зупинках (але не на всіх) пасажирообмін значно більший, ніж на інших, тобто, для випадку, коли витримується відношення максимального $\overline{P}_{\max}$ до мінімального $\overline{P}_{\min}$ середніх значень пасажирообміну (пас/год), на рівні 1,1 або більше. Якщо при цьому значення $\overline{P}_{\min}$ співпадає або перевищує пасажиромісткість автобуса, то приймається швидкісна форма руху паралельно із звичайною. У випадку однакових значень $\overline{P}_{\max}$ і $\overline{P}_{\min}$ доцільна лише швидкісна форма руху.

Експресна форма руху може бути прийнята, як в поєднанні із звичайною, так і окремо. Цю форму визначають також залежно від епюри розподілу пасажирообміну, при цьому така епюра відрізняється взагалі саме тим, що на жодній з проміжних зупинок немає максимального значення пасажирообміну [108].

Номери маршрутів з бажаним впровадженням різних форм руху зводять в таблиці, які складають відповідно до пасажиропотоків у місті.

Після визначення пасажиропотоків у просторі та часі, виконується їх аналіз, у результаті якого виділяють пасажиропотоки із значними “піками”. Вони обов’язково підлягають розподіленню в часі, особливо у великих містах.

Досі розроблено різні засоби до зняття «пікових» навантажень у міському транспорті. Поширений у містах перерозподіл потоків проводиться шляхом зміни початку роботи підприємств, працівники яких складають 50%

пасажирів в години “пік”. Після цього будується нова епюра розподілу пасажиропотоку, для якого вдається знизити як максимальне, так і середнє значення рівня потреби в термінових одночасних перевезеннях пасажирів. Як показав практичний досвід, впровадження запропонованого перерозподілу надає можливість зменшувати “пікові” значення пасажиропотоків у два і більше рази. До других засобів відноситься використання резервних автобусів із інших, менш завантажених маршрутів. Певні корисні зміни у скорочені годин “пік” досягаються в результаті сполучення на маршрутах автобусів великої та малої місткості за заздалегідь узгодженими графіками їх роботи.

2.5 Скорочення витрати часу на пересування пасажирів автобусами за маршрутами міської системи транспорту

Введений до критерію (2.3) показник - витрати часу пасажирами на поїздки автобусами – є важливою кількісною характеристикою організації роботи автобусів. Безпосередньо вона буде оцінюватись у абсолютному вимірі - в частках години. Окрім того, у відносному безрозмірному вигляді також можна розглянути відношення загального для міста середнього часу $t_з$ пересування пасажирів до фактичного конкретного часу $t_{сер}$ пересування пасажира на розглянутому маршруті в певний часовий період.

Роль такого показника, як витрата часу на поїздку, зростає за останній період через конкуренцію між АТП з різними формами власності на автобуси, бо пасажири віддаватимуть перевагу рейсам більш швидкої, надійної або дешевшої поїздки.

Розгляд витрат часу пасажирами був тісно пов’язаний у даному дослідженні з реалізацією засобів покращання таких параметрів, впливаючих на організацію автобусних перевезень, як існуючі відстані між зупинками, інтервали руху і швидкість сполучення автобусів, скорочення витрат часу на підхід до зупинки та відхід від зупинки до кінцевого пункту призначення.

Попередньо вже має бути вирішеним питання щодо розподілу на міських маршрутах автобусів в експресному, швидкісному, скороченому режимах руху. Крім того, принципово різняться витрати часу на безпосередній рух у транспортному засобі та додаткові допоміжні витрати часу пасажирів. У дослідженні приділено увагу всім складовим частинам загальної витрати часу t пасажирами (в годинах або частіше в хвилинах), а саме: відрізками часу на підхід до зупинки $t_{під}$, очікування автобуса $t_{ок}$, пересування маршрутом безпосередньо в автобусі $t_{авт}$, відхід від зупинки $t_{від}$ [1]. На окремих маршрутах у години "пік" може збільшуватися витрата часу через відмову від посадки у переповнений автобус [3].

Для визначення в першому наближені середньої витрати часу $t_{авт}$ на поїздку в автобусі можна скористатися відомим виразом:

$$t_{авт} = \frac{60 \cdot l_{сер}}{V_c}, \qquad (2.35)$$

де V_c - швидкість сполучення автобусів, км/год;

$l_{сер}$ - середня відстань поїздки пасажира, км.

У скороченні середньої витрати часу $t_{авт}$ найсуттєвіші резерви закладені в застосуванні нових моделей автобусів, здатних досягати більш високої середньої технічної швидкості на маршрутах міста. Так, наприклад, скороченню часу поїздки пасажира в мікроавтобусі помітно сприяють вже зараз не тільки підвищена швидкість його руху в транспортному потокові, але й беззупинковий проїзд ряду зупинок і висадка між ними пасажира на його прохання, чим скорочено підхід до місця призначення поїздки. Позитивний вплив матимуть автоматизовані системи оперативного контролю і управління рухом автобусів на лінії.

Витрати $t_{ок}$ часу пасажиром на очікування транспортного засобу визначені, головним чином, встановленим на маршруті (по годинам доби) інтервалом руху автобусів. Поряд із їх кількістю, на інтервал впливатимуть прийняті на маршруті форми руху. Зокрема, обмежуючою умовою до кількості автобусів для роботи в швидкісному режимі може бути інтервал руху на звичайному основному маршруті. Тоді інтервал руху $I_ш$ для автобусів, які працюють у швидкісному режимі, визначається так:

$$I_ш = \frac{T_{об.ш.р.}}{A_{р.ш.р.}}, \tag{2.36}$$

де $A_{р.ш.р.}$ - кількість автобусів, задіяних у швидкісному режимі;

$T_{об.ш.р.}$ - час обороту автобусів у швидкісному режимі, хв.

Час обороту автобусів у швидкісному режимі дорівнює за скоригованим виразом:

$$T_{об.ш.р.} = t_{пер.з} - \left(n \cdot t_{зуп}\right), \tag{2.37}$$

де $t_{пер.з}$ - час на пересування у звичайному режимі, хв;

n - кількість проміжних зупинок;

$t_{зуп}$ - середні витрати часу на зупинках, хв.

Згідно проведених досліджень, у місті Кривому Розі в середньому $t_{зуп}$= 40 сек. Виходячи з цього, можна визначити швидкість сполучення автобусів у швидкісному режимі.

Як видно з формули (2.37), на витрати часу в швидкісному сполучені, а також і в звичайному режимі, найбільше впливає кількість зупинок, яка у свою

чергу залежить від відстані між зупинками. Дослідження показали, що введення скорочених маршрутів значно підвищує швидкість пересування пасажирів, бо це дає можливість при одній і тій же кількості автобусів зменшити інтервал руху. При організації скорочених маршрутів головна складність полягає в пошуку конкретного місця кінця цього маршруту для розвертання автобусів у зворотному напрямку. Інтервал I_o руху автобусів на основному маршруті, після введення швидкісних рейсів, може бути встановлений як:

$$I_o = \frac{T_{об.з}}{A_з - A_ш}, \tag{2.38}$$

де $T_{об.з}$ - час оберту автобусів на маршруті в звичайному режимі руху, хв;

$A_з$ - кількість автобусів на маршруті до впровадження швидкісної форми руху;

$A_ш$ - кількість автобусів на маршруті в швидкісному режимі.

На скороченому маршруті, аналогічно основному, на швидкість руху автобусів найбільший вплив мають кількість зупинок та відстань між ними. При скороченій і звичайній формі руху швидкість пересування пасажирів залежить від загальної відстані поїздки, інтервалу руху, швидкості сполучення автобусів, пасажиропотоку.

Для підвищення швидкості V_c автобусного сполучення необхідно збільшувати відстань між зупинками, а це приводить до небажаного зростання часу руху на відстані до зупинки, яку пасажир долає пішки. Згідно моделей пішохідного руху [49], витрата часу на подолання людиною зони пішохідної доступності до зупинки автобуса оцінюється за виразом:

$$t_n = \frac{K_{н.п}}{V_n}\left(\frac{1}{3\delta} + \frac{l_n}{4}\right), \tag{2.39}$$

де $K_{н.п}$=1,2 - коефіцієнт непрямолінійності підходу (відношення фактичної відстані пересування пішоходів до віртуальної найкоротшої відстані до зупинки по "повітряній лінії");

δ - щільність маршрутної автобусної мережі, км/км^2;

V_n=4 км/год – середня швидкість руху пішохода;

l_n - довжина перегону між зупинками, км.

При оптимізації розміщення зупинок береться до уваги відома залежність між швидкістю сполучення автобусів та довжиною перегонів [31]:

$$V_c = a \cdot l_n^{в}, \tag{2.40}$$

де $a, в$ - емпіричні коефіцієнти, які для міських маршрутів становлять a = 27,1; $в$=0,387.

Орієнтовно середні витрати часу пасажирів на очікування поїздки $t_{ок}$ приймають такими, що дорівнюють половині інтервалу руху автобусів.

Вищевикладеними положеннями обгрунтовано вираз для обчислення витрат часу пасажирами, де враховані складові частини від підходу (відходу) до зупинки, очікування автобуса та поїздки в ньому, а саме:

$$t_{пер} = \frac{2l}{V_n} + \frac{I}{2} + \frac{l_{in}}{V_c}, \tag{2.41}$$

де l - відстань підходу до зупинки, км;

V_n - швидкість руху пішохода, км/год;

I - інтервал руху автобусів, год;

l_{in} - дальність (відстань) поїздки пасажира, км;

V_c - швидкість сполучення автобусів, км/год.

Аналіз показує, що при наперед визначених оптимальних відстанях між зупинками та середніх значеннях параметрів V_n та V_c найбільш суттєво та безпосередньо впливатиме на витрати часу пасажирами інтервал руху автобусів. У зв'язку з цим, для оптимальної організації автобусних перевезень суттєву роль відіграватиме обгрунтований вибір кількості автобусів, бо від нього залежить інтервал руху. Відомо, що саме відношення часу обороту $T_{об}$ автобуса на маршруті до загальної кількості обслуговуючих його одиниць рухомого складу чисельно приймають за певний інтервал руху.

Встановлено [6], що чим коротша відстань поїздки, тим менше пасажир користується швидкісним автобусом, тому що ефект від більшої швидкості гаситься витратами часу на очікування автобусів та пересадки. Для вирівнювання витрат часу на пересування автобусом звичайного режиму руху з автобусами в швидкісному режимі необхідно, щоб різниця в додаткових витратах часу компенсувалась економією часу від збільшення швидкості руху, визначену як:

$$t_{ш} - t_{зв} = \frac{60 \cdot l_{сер.ш}}{V_{с.ш}} - \frac{60 \cdot l_{сер}}{V_c}, \qquad (2.42)$$

де $t_{ш}$ - час на пересування при швидкісному русі автобусів, хв;

$t_{зв}$ - час на пересування при звичайному русі автобусів, хв;

$V_{сш}, V_c$ - швидкості сполучення у швидкісному та загальному режимах руху, км/год;

$l_{сер.ш}, l_{сер}$ - відповідно середні відстані поїздки при швидкісному та звичайному русі, км.

Після визначення величини часу на пересування пасажирів, для розрахунку соціальних витрат $B_{пер}$ у грошовому вираженні за одиницю часу слід скористатися виразом:

$$B_{пер} = \left(\frac{2l}{V_n} + \frac{I}{2} + \frac{l_{in}}{V_c} \right) \cdot B_T , \qquad (2.43)$$

де B_T - прийнята нормативна оцінка вартості витрат часу пасажиром, грн/год, розглянута у розділі 4.

У роботі [3] викладено метод дослідження більш складних варіантів у поїздках пасажирів із пересадками. Для визначення ймовірності вибору ними шляху слідування враховано вплив не тільки часу на переміщення в транспортних засобах, а також кількість пересадок та вартість проїзду.

У великих містах оперативно впливають на транспортний процес пасажирських перевезень впровадженням автоматизованої системи диспетчерського управління автобусами. У літературі широко висвітлені досягнення в галузі розроблення і застосування різного типу автоматизованих систем для міського транспорту [109-111]. Глибоко змістовними є математичні методи моделювання систем управління на базі ЕОМ, створено високотехнічне електронне обладнання для керування потоками транспортних засобів, вдосконалюється світлофорне регулювання рухом автомобілів. Темпи впровадження таких складних систем у містах значно сповільнилися в сучасний період, тому заслуговує на увагу використання локальних нескладних систем диспетчерського управління міським транспортом.

3. МЕТОДИКА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ОБГРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ МІСЬКИХ АВТОБУСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

3.1 Алгоритм та основні передумови розробленої методики

Розробка удосконаленої методики для підвищення рівня якості автобусних перевезень пасажирів у містах була спрямована на урахування певних особливостей переходу країни до ринкових відносин, а також зростаючих вимог населення, наявності нових і розширених за інтересами форм власності на рухомий склад, прояви конкуренції поміж перевізниками. Вказані обставини відтворені у запропонованій новій концепції соціально-етичного маркетингу в автобусних перевезеннях та відповідному до неї оцінювальному критерію (2.3) їх якості.

Для раціональної організації транспортного обслуговування пасажирів у містах належить системно враховувати вплив багатьох чинників. Із такою метою за результатами проведених у роботі теоретичних досліджень складено в узагальненому вигляді алгоритм послідовних операцій з метою виявлення та оцінки можливих заходів для удосконалення організації автобусних перевезень на заданій міській мережі (рис.3.1). Обгрунтування позицій 1…7 даного алгоритму зроблено у розділах 2 і 3, а розрахункове дослідження стосовно позицій 8…11 з конкретними прикладами викладено в даному розділі 4.

В алгоритмі рис.3.1 перші блоки 1…3 складають накопичення та обробку основних вхідних даних щодо пасажирських потоків на заданому маршруті із зафіксованими на ньому усіма зупинками автобусів. До застосованого з метою обстеження пасажиропотоків способу висувається вимога високої достовірності та повноти, тому що через відхилення прийнятих даних від реально існуючих можуть виникати наступні складності в організації перевезень[3]. У даній роботі проведено збирання вихідних даних про

пасажиропотоки у місті за досить надійним табличним методом, здійснена їх математична обробка, згідно з позиціями 2, 3.

У блоках 4…6 вирішуються важливі питання відносно безпосередньої організації роботи рухомого складу за маршрутами з пошуком засобів оптимізації та урахуванням годин доби, середньої відстані поїздок пасажирів. По кожному з принципових рішень запропоновано здійснювати техніко-економічну оцінку в позиціях 7…10, спираючись на розроблений оцінювальний критерій (2.3) соціально-етичного маркетингу в автобусних перевезеннях.

Для сучасних ринкових умов необхідні нові, більш гнучкі та розширені за змістом наукові підходи до вирішення передбачених у блоці 11 завдань. При визначенні типу задіяних в роботу автобусів підлягає порівняльній оцінці ефективність вибору їх малої, середньої або великої пасажиромістскості. Особливої уваги потребує раціональне використання мікроавтобусів через наявність конкуренції поміж перевізниками. Відносно передбаченого в позиції 12 автоматизованого та оперативного контролю за роботою на маршрутах автобусів доводиться базувати його на існуючих вже схемах [109, 110], а поряд із ними розширювати практику оперативних виїздів окремих контролюючих бригад від адміністрації міста.

Розробленою методикою передбачено проводити аналіз окремих заходів предметно, відповідно до конкретних марок автобусів малої, середньої та великої пасажиромісткості. Об’єктами дослідження обираються , з одного боку, моделі існуючого рухомого складу, в даній роботі – автобуси з місткістю 12...14 пасажирів (мікроавтобуси), моделі ЛАЗ та SC. З іншого боку, потрібно оцінювати ефективність використання нових марок автобусів, що є необхідною передумовою оновлення рухомого складу в кожному АТП на перспективу [121]. Для такої цілі створено і далі викладено розроблений метод імітаційного математичного моделювання з програмовим забезпеченням для

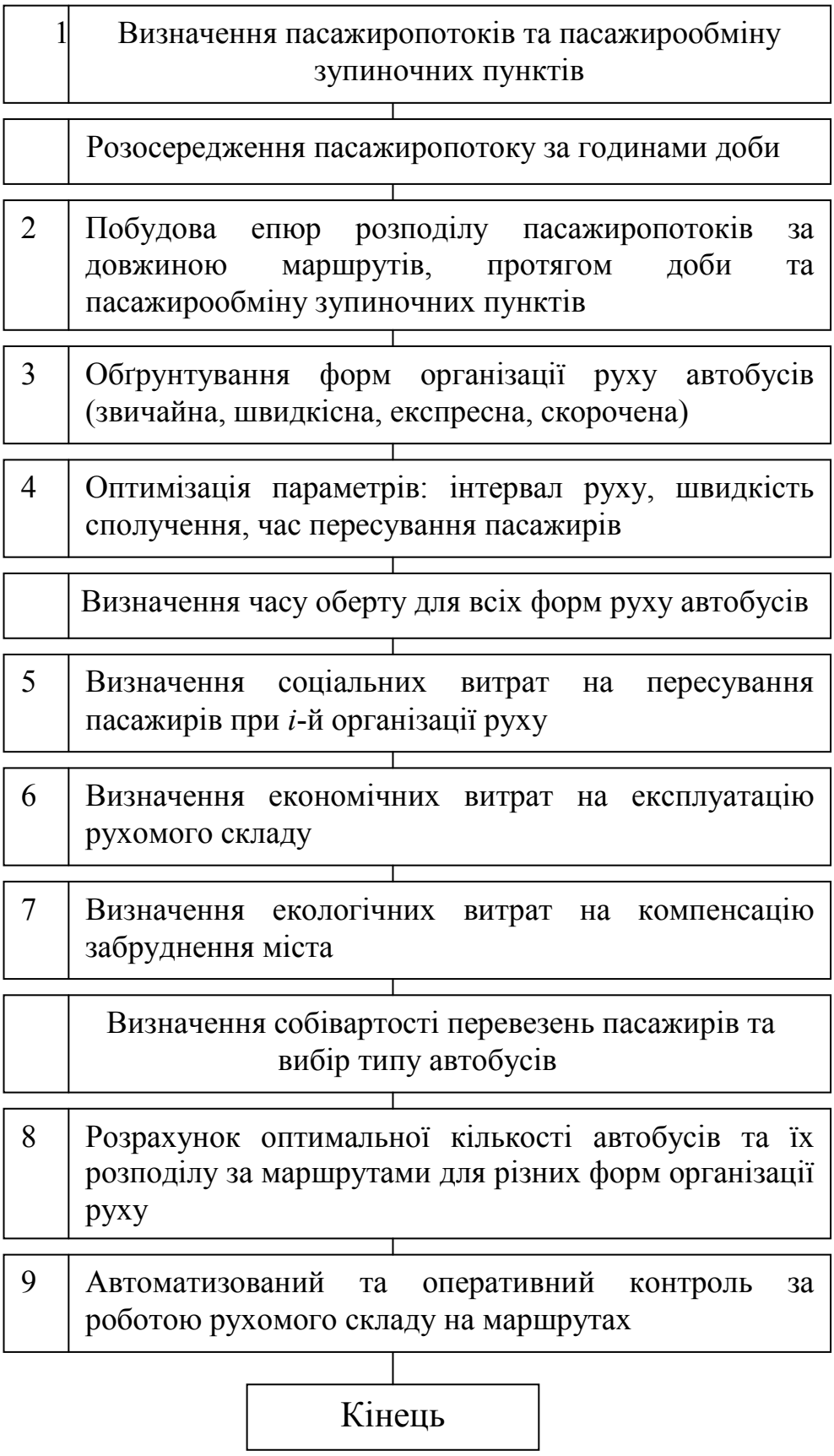

Рис. 3.1 Алгоритм удосконаленої методики організації автобусних перевезень у міській маршрутній системі

ПЕОМ, проілюстрований конкретними прикладами для вибраного маршруту.

Передумовою методики техніко-економічного аналізу прийнято обов'язкове застосування оціночного критерію (2.3) у розгляді вибору типу автобусів та визначенні їх оптимальної кількості для наперед заданої міської мережі автобусного сполучення, а також додатково передбачено робити раціональний перегляд існуючих форм руху з суттєвим удосконаленням їх оперативного впровадження.

Самостійним етапом розрахункового дослідження визнана доцільність розгляду не тільки кінцевого значення критерію (2.3), а також детальний аналіз кожної із його складових величин. Їх оптимізація можлива шляхом розроблених заходів для удосконалення окремих ланок технологічного процесу перевезень. У розробленій методиці значно посилена увага до шляхів покращання екологічного стану міст, зниження забрудненості повітряного басейну відпрацьованими газами від автобусів. Враховуючи важливу роль соціального "людського фактору", до розробленої методики включено також окрему систему заходів, спрямованих на забезпечення надійності роботи водіїв на міських маршрутах підвищеної складності.

Із позитивних сторін практичного значення розробленої удосконаленої методики доцільно вказати на доступність її застосування на рівні автотранспортних підприємств різного типу. Це забезпечується, зокрема, меншою трудомісткістю та вищою точністю обчислень параметрів руху автобусів з урахуванням оновлення парку моделями від малої до особливо великої пасажиромісткості.

3.2 Математичне моделювання до вибору заходів для поліпшення показників використання рухомого складу на маршрутах

З метою підвищення достовірності та розширення інформаційної бази даних до передбачених в алгоритмі рис.3.1 операцій за позиціями 6…11 застосовано метод імітаційного математичного моделювання на ПЕОМ. Із

доступним рівнем наближення в ньому відтворено реальний процес протікання поступального руху автобусів на міських маршрутах з розрахунком комплексу його характерних показників. До розробленої імітаційної моделі входять наступні складові елементи: характеристики параметрів транспортного засобу та вибраного маршруту; математичні рівняння з таблицями відповідних їм коефіцієнтів для описання змінних показників руху та шкідливих викидів автобусу у вигляді їх залежностей від домінуючих чинників; структурні частини, алгоритми, програми для ПЕОМ з виведенням результатів розрахунку.

У розробці даного методу математичного моделювання однією із важливих і обгрунтованих передумов є прийняте поняття щодо циклічного характеру руху автобусів на кожному відрізку маршруту між зупинками, де водієм свідомо додержуються почергово такі фази руху: рушання з місця – розгін - усталений рух - сповільнення накатом – гальмування - зупинка. Наявність названих фаз визначає “повний цикл” руху автобуса на відстані між двома сусідніми зупинками. Такі цикли повторюються вдовж усіх передбачених на маршруті зупинок. Вищевведена передумова забезпечуватиме однорідність вхідних даних до математичних моделей, а це важливо для порівняння результатів проведеного за ним розрахунку для різних моделей автобусів. Безумовно, що в реальних умовах експлуатації автобусів мають місце певні відхилення від “повного циклу”, зокрема із випаданням або заміною окремих фаз руху. Проте для руху автобусів обсяг таких відхилень при кваліфікованій роботі водіїв не буде досить значним. Крім того, їх вплив можна в наступному врахувати, наприклад, через корегуючий коефіцієнт нерівномірності швидкісного режиму руху.

Вихідні математичні моделі та методика обчислення технічних параметрів описані у підрозділі 2.2 при розгляданні одиночного (окремого) циклу руху автобуса (рис.2.2). Метод поширення таких моделей на розрахунки параметрів руху автобусів за маршрутом, де послідовно дотримується циклічний рух з проходженням усіх передбачених зупинок, розроблявся згідно

із вже згаданим договором про науково-технічну співдружність між Українським транспортним університетом та управлінням А.

Розроблений розрахунковий метод проілюстрований на рис. 3.2 укрупненою блок-схемою алгоритму обчислення параметрів роботи автобусів на маршруті. Перевірка можливостей даного методу здійснена в багатоваріантних розрахунках для різних маршрутів.

Базовими автобусами для розрахункового дослідження за методом чисельного моделювання на ПЕОМ були вибрані: автобус малої місткості ГАЗ-3213; автобус середньої місткості ЛАЗ-695Н з бензиновим двигуном та ЛАЗ-4202 з дизелем. Встановлено, що одержання розрахованих параметрів корисне для прогнозованого вибору нових моделей автобусів на заданих маршрутах. Застосування ПЕОМ і відповідних програм на рівні АТП повніше забезпечує зручність та допустимість багатоваріантних оперативних розрахунків для різних вхідних даних стосовно міської автобусної мережі та типажу рухомого складу. Порівняння одержаних показників є правомірним, тому що більша частина із них обчислена відносно однакового параметру – 1000 пас.км.

Сутність запропонованого розрахункового методу полягає в наступному. На основі дослідження показників руху автобусів в окремому циклі при вказаних у п. 2.3 умовах, з використанням методів математичного планування експерименту, отримані поліноміальні залежності часу циклу $T_{Ці}$, витрати палива $M_{ПЦі}$ та викидів шкідливих речовин $M_{COці}$, $M_{CHці}$, $M_{Noці}$, $M_{Cці}$ в функції від довжини циклу $S_{Ці}$, швидкості усталеного руху $V_{уі}$ та завантаження автобуса Q_{ai} (кількості пасажирів), виду:

$$Y_i = A_0 + A_1 \cdot S_{Ці} + A_2 \cdot V_{уі} + A_3 \cdot Q_{ai} + A_4 \cdot S_{Ці}^2 + A_5 \cdot V_{уі}{}^2 + \\ + A_6 \cdot Q_{ai}{}^2 + A_7 \cdot S_{Ці} \cdot V_{уі} + A_8 \cdot S_{Ці} \cdot Q_{ai} + A_9 \cdot V_{уі} \cdot Q_{ai} \quad (3.1)$$

Закладене в основу математичного моделювання на ПЕОМ рівняння (3.1) охоплює широкий діапазон змінення шляху окремих циклів $S_{Ці}$=500…1500м,

швидкостей усталеного руху $V_{уі}$=30…60км/год, завантаженості автобуса малої місткості $Q_{ал}$=1…13 пасажирів, автобуса середньої місткості з бензиновим двигуном $Q_{вл}$=1…67 пасажирів, автобуса середньої місткості з дизелем $Q_{дл}$=1…69 пасажирів. Звичайні коефіцієнти поліноміальних залежностей $T_{Цi}$, $M_{COцi}$, $M_{CHцi}$, $M_{NOцi}$, $M_{Cцi}$ для автобуса малої місткості та автобусів середньої місткості з бензиновим двигуном і дизелем наведені в [45]. Слід підкреслити, що у рівнянні (3.1) враховані домінуючі фактори, які впливають на ефективність пасажирських перевезень. При цьому підсилено увагу до пошуку шляхів зниження забрудненості атмосфери міст відпрацьованими газами від автобусів.

Отримані поліноміальні залежності зручні до моделювання руху автобусів на реальних маршрутах та для комплексної, узагальненої оцінки ефективності їх транспортної роботи.

Витрата палива на маршруті, викиди окремих компонентів шкідливих речовин і сумарні викиди кожним типом автобуса визначаються як суми цих величин в окремих циклах.

Питомі витрати палива та викиди шкідливих речовин встановлені за залежностями (2.19 – 2.21).

Середня швидкість автобуса на маршруті визначена як:

$$V_C = \frac{\Sigma S_{Цi}}{\Sigma T_{Цi}} \quad , \tag{3.2}$$

де $\Sigma S_{Цi}$ - сумарна довжина всіх відрізків маршруту, на кожному із яких здійснено “повний цикл” руху автобусів, км;

$\Sigma T_{Цi}$ - сума часу проїзду за всіма циклами руху на маршруті, год.

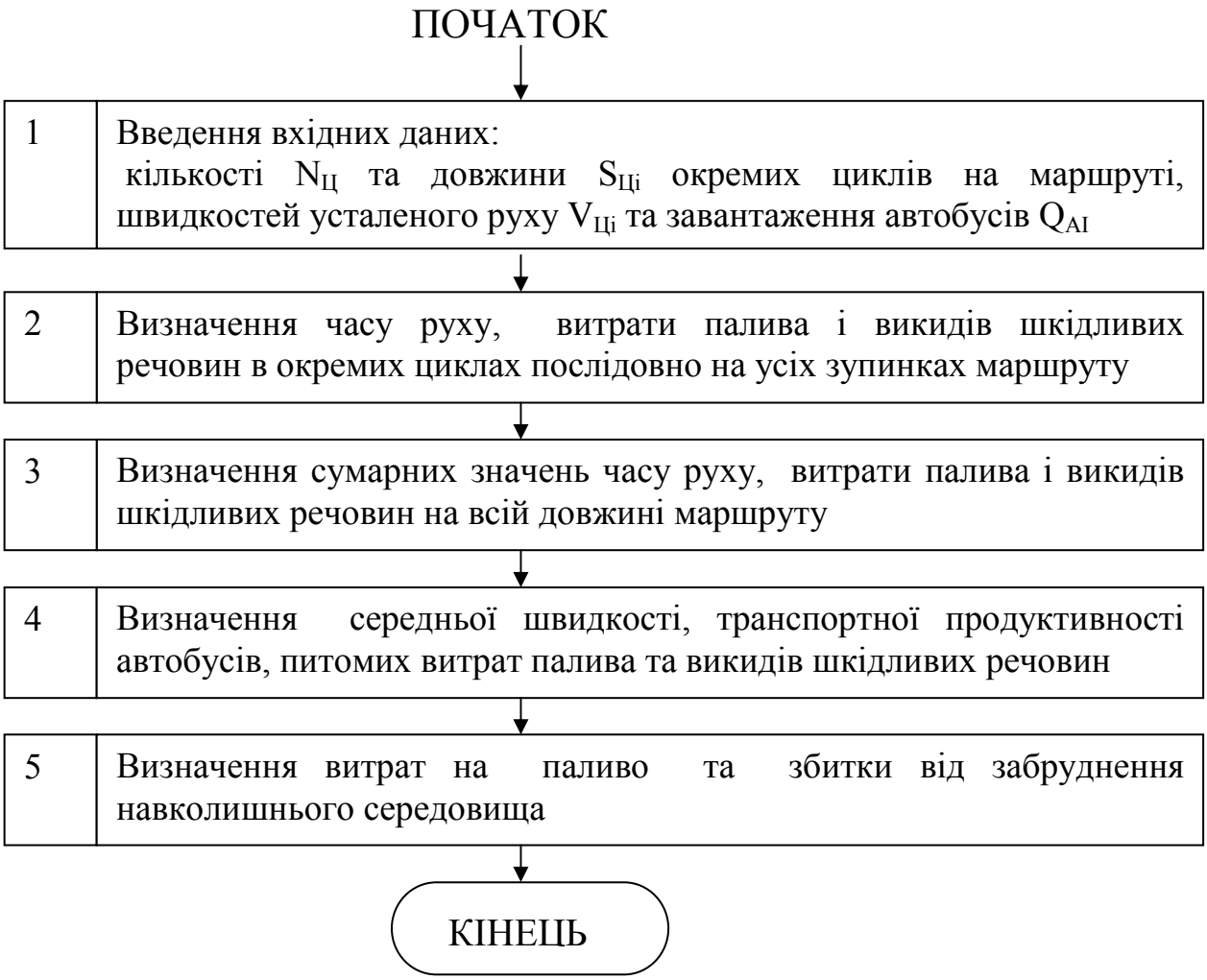

Рис. 3.2. Укрупнена блок – схема алгоритму математичного моделювання транспортної роботи автобусів на маршруті

Грошові витрати АТП на паливо обчислені за виразом:

$$Z = M_П \cdot Ц_П, \tag{3.3}$$

де $M_П$ - об'єм витраченого автобусом палива на всьому маршруті, л; $Ц_П$ - ціна одного літра палива, грн.

Плата АТП за забруднення навколишнього середовища (мікроекономічний рівень) визначалася згідно з "Базовими нормативами плати

за забруднення навколишнього природного середовища" [122], зареєстрованими в Міністерстві юстиції України.

Для оцінки збитків від забруднення навколишнього середовища шкідливими викидами автобусів (макроекономічний рівень) застосовувалися методики [123 - 124], які широко використані авторами робіт [94,103 і ін.].

Відповідно до цього [123], економічна оцінка збитків від шкідливих викидів будь-якого джерела визначається за формулою:

$$Y = \gamma \cdot \delta \cdot f \cdot M_{\Sigma}, \tag{3.4}$$

де γ - коефіцієнт, за допомогою якого здійснюється перехід від величини умовного викиду до економічної оцінки; δ - показник відносної небезпеки забруднення атмосферного повітря над територією різних типів (згідно [123] для центральної частини міста з населенням більше 300000 чоловік приймається δ = 8); f - коефіцієнт, що враховує характер розсіювання забруднюючих домішок в атмосфері (для оцінки збитків від викидів транспортних засобів f = 10); M_{Σ} - сумарні викиди шкідливих речовин, які визначаються за залежністю (2.18).

Для дослідження показників роботи автобусів на маршруті та визначення їх ефективності була розроблена програма для ПЕОМ, яка складена на алгоритмічній мові FORTRAN 77. Вона включає головний модуль, блок даних BLOCK DATA і підпрограму типу FUNCTION.

У головному модулі задаються вихідні дані, що характеризують досліджуваний міський маршрут: кількість $N_{Ц}$ та довжини $S_{Цi}$ окремих циклів на маршруті, швидкостей усталеного руху $V_{Цi}$ та завантаження автобусів пасажирами $Q_{AI.}$ Далі розраховуються час руху, витрата палива і викиди шкідливих речовин автобусами в окремих циклах і на маршруті в цілому. Після цього визначаються середні швидкості автобусів на маршруті, продуктивність автобусів, питомі витрати палива та викидів шкідливих речовин, а також

визначаються витрати на паливо та збитки від забруднення навколишнього середовища.

У блоці даних BLOCK DATA наведені коефіцієнти поліноміальних моделей часу циклу $T_{Ці}$, витрати палива $M_{ПЦі}$ та викидів шкідливих речовин $M_{COці}$, $M_{CHці}$, $M_{Noці}$, $M_{Cці}$ у функції від довжини циклу $S_{Ці}$, швидкості усталеного руху V_{yi} в режимі рівномірного руху та завантаження автобуса Q_{ai} (кількості пасажирів).

У підпрограмі FUNCTION FUNCCC розміщена функція для розрахунку часу циклу, витрати палива та викидів шкідливих речовин в окремих циклах.

Числові приклади початкового та кінцевих результатів розрахунку показників роботи автобусів на маршруті показані розпечатками ПЕОМ у [34]. У наведених прикладах для оцінки показників роботи автобусів на реальному маршруті вибрано маршрут №35 м. А довжиною 18 км при заданому пасажиропотоці 1000 пас/год. При цьому враховувалося, що перевезення здійснюється різними типами автобусів окремо при номінальному їх завантаженні з коефіцієнтом внутрігодинної нерівномірності 1,2. Час стоянки на кінцевих зупинках складав 3 хв. Швидкість рівномірного руху в перегонах залежала від відстані між зупинками і приймалася в окремих перегонах однаковою для всіх типів автобусів, технічні характеристики яких наведені в [56].

З результатів розрахунків, наведених у [56], видно, що середня швидкість на маршруті автобуса малої місткості за таких умов складає 21,8 км/год, автобусів середньої місткості – 20,7 км/год. Для перевезення пасажирів необхідно 68,5 автобусів малої місткості, 14 автобусів середньої місткості з бензиновим двигуном або 13,6 автобусів середньої місткості з дизелем. При цьому автобуси малої місткості витратять 206,7 л бензину, автобуси середньої місткості з бензиновим двигуном - 126,5 л бензину, а автобуси з дизелем 101,8 л дизельного палива. Однак на макроекономічному рівні збитки навколишньому середовищу при перевезеннях автобусами середньої місткості з дизелями – найбільші. Це підтверджує необхідність диференційованого

підходу до вибору моделей автобусів при комплектуванні рухомого складу АТП та організації перевезень пасажирів на кожному маршруті з метою врахування як інтересів підприємства, так і суспільства.

В організації автобусних перевезень окремо належить підкреслити важливу роль рівня заповнення автобуса пасажирами на різних відрізках маршруту. Про вплив цього фактора на показники роботи автобусів в окремому циклі наведено відомості на прикладах у підрозділі 2.4. З погляду раціонального виконання автобусних перевезень, потрібно визначати та аналізувати критерії (2.3) в залежності від зміни загального пасажиропотоку й кількості обраних для роботи автобусів. За розробленим програмовим забезпеченням для ПЕОМ доцільно застосовувати реалізацію імітаційного моделювання в багатьох варіантах за типами автобусів (особливо нових моделей) та конкретних маршрутів на рівні АТП. За одержаними розрахунковими даними зручно досягається прогнозування очікуваних величин для попереднього або уточненого нормування часу рейсів, швидкості сполучення, розкладу руху автобусів. Кінцеві результати розрахунків виводяться в табличній формі та на графіках, що є зручними для наступного аналізу.