

## РОЗВИТОК ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАСАЖИРСЬКО-ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ МІСТА

© Мазур В.В., Фронц С.В., 2005

**Розглядають підходи до розв'язання задач розвитку та оптимізації пасажирсько-транспортної системи міста.**

**Approaches to the solution of the problem of the city passenger transport system development and optimization are considered.**

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Розвиток та вдосконалення пасажирсько-транспортної системи (ПТС) міста є однією із найважливіших задач для органів місцевого самоврядування. Забезпечення ефективного функціонування ПТС як складної організаційно-технічної (технологічної) системи вимагає наукового розв'язання ряду складних управлінських та оптимізаційних задач із застосуванням сучасних інформаційних технологій та засобів автоматизованого проектування. В роботі описано методи розв'язання деяких практичних задач оптимізаційного характеру, які виникають у ході розвитку та вдосконалення ПТС міст і, зокрема, міста Тернополя.

Пасажирсько-транспортна система сучасного міста є складною динамічною розподіленою системою, яка функціонує в часі та просторі під впливом дестабілізуючих факторів. Параметри та характеристики, що описують пасажирські та транспортні потоки, мають статистичний характер, а зв'язки між ними часто не формалізовані. Багатомодельність представлення ПТС зумовлює необхідність сумісного розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації з використанням математичних та евристичних методів, а також багатоваріантного аналізу. На практиці часто ставиться задача не тільки пошуку оптимального чи квазіоптимального розв'язання, але і визначення характеру поверхні відгуку в околі оптимальної точки для оцінки впливу дестабілізуючих факторів та розкиду параметрів на функціонування оптимізованої системи. Все це вказує на складність і актуальність постановки і розв'язання задач розвитку та оптимізації ПТС.

**Аналіз останніх досліджень та виділення невирішених частин проблеми.** Традиційні методи вивчення транспортних потреб на основі табличних, матричних і облікових методів та планування маршрутів на основі помаршрутних та міжрайонних кореспонденцій [1] орієнтовані, переважно, на формування нової маршрутної мережі. Однак на практиці ставиться задача **вдосконалення** наявної мережі із сформованими пасажиропотоками та освоєними маршрутами, звичними для пасажирів та перевізників.

**Мета роботи та постановка завдання.** Метою роботи є розв'язання низки практичних задач оптимізаційного характеру, які спрямовані на вдосконалення ПТС міста із урахуванням її особливостей.

**Основна частина роботи.** Передбачаються такі напрямки розвитку ПТС міста:

- подальше зменшення затрат часу на переміщення пасажирів по території міста;
- забезпечення всіх мікрорайонів міста (як пасажиронасичених, так і малонасичених пасажирами) послугами громадського транспорту;
- підвищення комфортності міських пасажирських перевезень;
- реалізація багаторівневої системи оплати різних за якістю послуг громадського транспорту та закріплення права вибору за пасажирами;

- надання соціально значущих транспортних послуг для малозабезпечених категорій населення;
- впровадження нових перспективних систем пасажирських перевезень та засобів громадського транспорту;
- підтримання інвестиційної привабливості сфери громадського транспорту для подальшого її розвитку.

Вдосконалення пасажирсько-транспортної системи міста базується, насамперед, на виявленні її специфічних особливостей. На основі виконаних досліджень можна виділити такі основні особливості постановки і розв'язання задач оптимізаційного характеру для ПТС м. Тернополя, які визначають проблематику поданої роботи:

1. Тривале функціонування наявної ПТС забезпечило формування стабільних пасажирських потоків і певну оптимізацію основних маршрутів міста шляхом природного відбору. Це забезпечує початкове наближення і порівняльну базу для подальшої оптимізації ПТС.

2. Вдосконалення ПТС розглядається як поетапний процес на основі **моніторингу** системи, на відміну від підходів, що базуються на основі разових обстежень.

3. Ставилась задача **комплексного аналізу та оптимізації системи "Пасажир–Перевізник"**, а не розв'язання локальних оптимізаційних задач.

4. Враховуючи комплексність поставленої задачі, а також відсутність чітко сформульованих критеріїв оптимальності, на першому етапі розв'язувалась задача пошуку допустимої системи, що задовольняє визначену систему обмежень, з перспективою подальшого переходу до розв'язання наступних оптимізаційних задач.

5. Основні зусилля були спрямовані на створення базової системи громадського транспорту міста для забезпечення перевезень переважної більшості пасажирів з врахуванням просторових, добових та сезонних змін пасажирських потоків.

На основі аналізу вимог до перспективної ПТС м. Тернополя була сформована система обмежень на її параметри.

Назва параметра	Обмеження
Середня швидкість прибуття пасажирів на зупинку:	
– для маршруту в пасажиронасичених районах (ПНР)	не менше ніж 1 пас/хв
– для маршруту в малонасичених пасажиронасичених районах (МНР)	не більше ніж 0.2 пас/хв
Затрати пасажирів на транспортні послуги, % до доходу	не більше ніж 15 %
Максимальний час поїздки з периферійних районів до центру	не більше ніж 40 хв
Максимальний час поїздки з віддалених районів (ВР) до центру	не більше ніж 60 хв
Максимальний час поїздки між периферійними районами (ПР)	не більше ніж 60 хв
Максимальна віддаль між зупинками в ПНР	не більше ніж 600 м
Максимальна віддаль підходу до зупинки в ПНР	не більше ніж 300 м
Максимальний час очікування на зупинці для маршруту в ПНР	не більше ніж 10 хв
Максимальний інтервал між автобусами в ПР	не більше ніж 15 хв
Максимальний інтервал між автобусами у ВР	не більше ніж 30 хв
Максимальні затрати на придбання автобуса Перевізником	не більше ніж 170 тис.грн

В нинішніх умовах переходу до ринкової економіки функціонування ПТС значною мірою визначається економічними, а не тільки технічними факторами. Економічні взаємовідносини між основними суб'єктами ПТС – пасажиром та перевізником є визначальними і для багатьох її технічних параметрів та характеристик. Зв'язок рівня послуг (що надають перевізники), та рівня оплати (пасажиром) графічно зображено на рис. 1. Можна відзначити ряд характерних точок, які істотно впливають на функціонування ПТС. Точка В відповідає інтересам пасажирів – отримання максимального рівня транспортних послуг за мінімальну оплату. Точка D відповідає інтересам перевізників – одержання максимальної оплати за мінімального рівня наданих послуг. Антагоністичність вказаних інтересів (забезпечення інтересів одних за рахунок інших) не дає можливості для формування стабільної збалансованої ПТС. Найперспективнішими для досягнення

консенсусу є точки на прямій АС, для якої підвищення рівня послуг пов'язане з відповідним підвищенням рівня оплати. Одним із показників, що характеризує функціонування ПТС, є доступність громадського транспорту. Коефіцієнт затрат  $K_z$  визначається процентним співвідношенням затрат на оплату транспортних послуг упродовж місяця до місячних доходів пасажирів. В більшості країн оплата транспортних послуг становить 5–15 % доходу пасажирів [2]. Збільшення коефіцієнта  $K_z$  приводить до зменшення кількості пасажирів, які будуть користуватись громадським транспортом. Тому необхідно утримуватись від огульного підвищення рівня транспортних послуг з відповідним підвищенням рівня оплати. Опитування ста пасажирів (різних категорій) міста Львова не виявили жодного, хто хотів їздити тільки сидячи при збільшенні вартості проїзду в 1.5 раза. Доцільним є встановлення кількох рівнів послуг і відповідних рівнів оплати для забезпечення можливості вибору для пасажирів. При доплатах з бюджету рівень послуг може перевищувати рівень оплати пасажиром (точка F). Наприклад, в м. Тернополі встановлено чотири рівні оплати: 50, 60, 80 і 90 коп., а також безплатний проїзд для пасажирів пільгових категорій. На наш погляд, встановлена вартість проїзду сидячих пасажирів в маршрутному таксі (90 коп.) занижена.

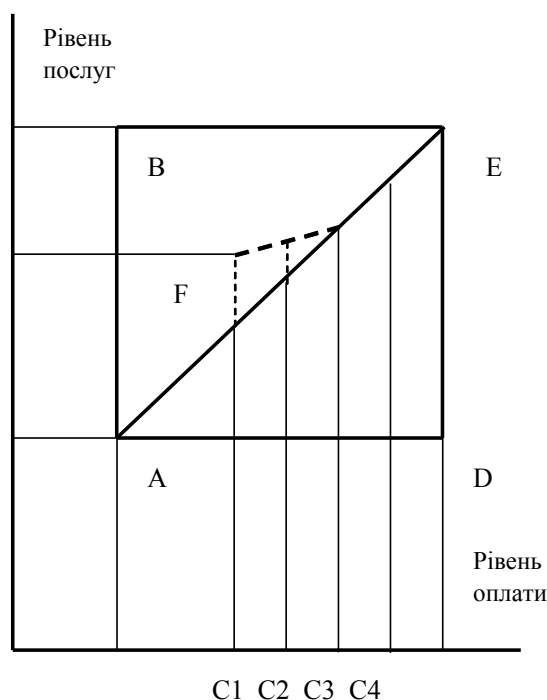


Рис. 1. Зв'язок рівня транспортних послуг та рівня оплати

Однією із актуальних оптимізаційних задач на громадському транспорті є визначення вартості проїзду та вибір типу і кількості транспортних засобів. Основні співвідношення, що забезпечують розв'язання цієї задачі, наведені на рис. 2. Залежність  $K(C)$ , що визначає кількість пасажирів  $K$ , що хочуть їхати при вартості проїзду  $C$ , є нелінійною і подано в нормованому просторі  $K/K_{\max}$  і  $C/C_{\max}$  (де  $K_{\max}$  – кількість всіх бажаючих проїхати безкоштовно, а  $C_{\max}$  – вартість проїзду при якій вже не буде жодного бажаючого). Отриманий нормований дохід  $D(C) = K/K_{\max} * C/C_{\max}$  має чітко виражений екстремум. Однак необхідно зауважити, що важлива не максимізація доходу, а максимізація прибутку. Для цього необхідно врахувати затрати на перевезення відповідної кількості пасажирів. Розв'язання цієї задачі вимагає конкретніших даних (наведені значення орієнтовні, але реалістичні). Нехай  $K_{\max} = 100$ , а  $C_{\max} = 2$  грн. (вартість проїзду до 10 км в один бік за 0.5 год.). Тоді максимальний дохід дорівнюватиме 56 грн., при вартості проїзду 70–80 коп. і кількості перевезених пасажирів 80-70. Затрати на перевезення пасажирів одним мікроавтобусом становлять орієнтовно 20 грн./год (10 грн./0.5 год). При повній пасажиромісткості автобуса 20 чол. для перевезення  $K$  пасажирів необхідно від 5 до 1 автобуса, що визначає відповідні сумарні затрати

Z. Графік залежності  $P(C)$  дає змогу визначити інтервал зміни вартості проїзду  $C$ , для якого забезпечується прибутковість перевезень. Як видно з графіка, максимальний прибуток, приведений до одного автобуса (16 грн./2 авт.=8 грн./авт.), забезпечується при вартості проїзду 1.2 грн. Необхідну ідентифікацію залежності  $K(C)$  можна здійснити на основі аналізу заповнення громадського транспорту з різними рівнями оплати.

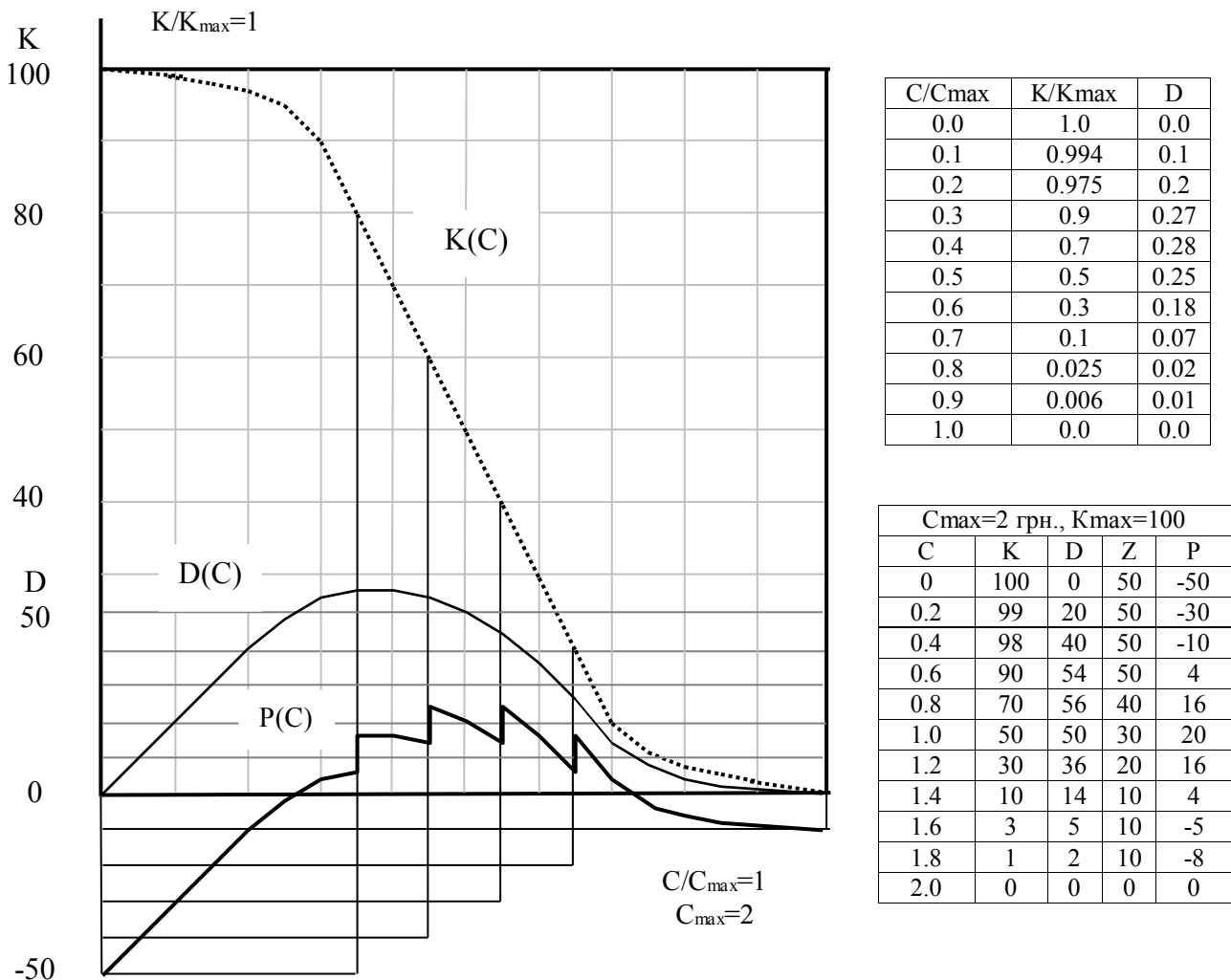


Рис. 2. Залежність прибутку від вартості проїзду

Затрати часу на поїздки сьогодні одним із найважливіших показників, який визначає якість ПТС. У зменшенні цього часу зацікавлені як пасажирів, так і перевізників, бо це дає змогу збільшити кількість рейсів автобуса, особливо в пікові періоди. Мінімізація цих затрат вимагає зменшення однієї із істотних складових – часу підходу до зупинки громадського транспорту. Саме тому в м. Тернополі перевагу надають кільцевим маршрутам, які охоплюють пасажиронасичені райони і забезпечують час підходу до зупинки в межах трьох хвилин при віддалі підходу не більше за 300 м. Цьому також сприяє організація багатьох допоміжних маршрутів в малонасичені пасажиронасичені райони міста. Для зменшення максимального часу очікування на зупинці в пасажиронасичених районах для основних маршрутів встановлено інтервал між автобусами та троллейбусами не більше ніж 8–10 хв. Враховуючи істотне дублювання багатьох маршрутів, на основних напрямках руху пасажирських потоків максимальний час очікування не перевищує 2–4 хв. Зокрема, в години пік середній інтервал часу між троллейбусами одного маршруту становить 8 хв, а між троллейбусами маршрутів, що дублюються – 2–3 хв. Вказані часові інтервали визначають час накопичення пасажирів на зупинці [3]. Як показали обстеження, на більшості зупинок

пасажиронасичених районів при швидкості припливу пасажирів в піковий період 2–4 пас/хв кількість накопичених пасажирів не перевищує 6–8. Лише для окремих зупинок швидкість припливу більша і кількість накопичених пасажирів становить 10–12. В позапіковий період для більшості зупинок м. Тернополя швидкість припливу пасажирів, а відповідно і кількість накопичених пасажирів зменшується в 1.5–2 рази.

Рівномірне заповнення транспортних засобів вимагає однакового часу накопичення пасажирів, особливо на маршрутах, що дублюються. Для цього необхідно забезпечити синхронізацію маршрутів і графіків на підставі комп'ютерного моделювання руху громадського транспорту. Зокрема, при виконанні теми було здійснено моделювання і синхронізацію маршрутів електро-транспорту м. Тернополя (рис. 3).



*Рис. 3. Синхронізація маршрутів громадського транспорту на основі комп'ютерного моделювання*

Значні затрати на придбання нових транспортних засобів та висока вартість пального вимагають не менше ніж 75 % середньоденного заповнення автобуса (всі сидячі+половина стоячих місць) для забезпечення рентабельності пасажирських перевезень. Вказані вище швидкості припливу пасажирів на зупинках міста та інтервали накопичення не можуть забезпечити 75 % заповнення середніх та великих автобусів протягом дня. Тому при оновленні транспортних засобів вибрана орієнтація на автобуси малого класу. Ці автобуси найдоступніші для придбання приватними перевізниками, забезпечують необхідне заповнення на маршрутах в малонасичених пасажирами районах, покриття території міста густішою маршрутною мережею для зменшення часу підходу і здійснення безпересадкових поїздок. Скорочення інтервалів між автобусами не тільки забезпечує зменшення часу очікування пасажирів, але й зменшення кількості пасажирів, які здійснюють висадку/посадку на зупинці. Це знижує вимоги до площі зупинки (що особливо важливо для центральної частини міста), а також скорочує час перебування автобуса в районі зупинки для її повторного використання автобусами інших маршрутів. Висока маневреність і

хороші динамічні характеристики дають змогу малим автобусам добре вписуватись в інтенсивні транспортні потоки міста. Стійка тенденція до підвищення інтенсивності транспортних потоків міст може зробити цей фактор визначальним для подальшого розвитку громадського транспорту.

Вказані вище фактори визначили підходи до формування базової системи громадського транспорту. В її основі лежать засоби електротранспорту, які забезпечують перевезення пільговиків і значної маси пасажирів між пасажиронасиченими районами (особливо в піковий період). Маршрути малих автобусів забезпечують формування розвинутої мережі для покриття території міста і необхідну перевізну здатність (за рахунок дублювання маршрутів) для зв'язку пасажиронасичених районів. Середні та великі автобуси використовують для посилення пасажиронасичених маршрутів в пікові періоди. Допоміжні маршрути на базі малих і мікроавтобусів забезпечують перевезення до віддалених малонасичених пасажирами районів міста.

Покрокове вдосконалення та оптимізація ПТС м. Тернополя передбачає неперервний моніторинг системи для аналізу та оцінки прийнятих рішень і отриманих результатів. Для зменшення затрат на збирання і обробку інформації визначено шість перерізів, які розсікають мережу громадського транспорту міста на незв'язні пасажиронасичені області (рис. 3). Обстеження у цих перерізах протягом дня забезпечує визначення середньогодинної кількості транспортних засобів по маршрутах, їхньої перевізної здатності, а також процентного заповнення автобусів та тролейбусів пасажирами для оцінки впливу змін інтенсивностей пасажирських потоків. Здійснювався також помісячний моніторинг для визначення і урахування сезонних змін.

**Висновки.** Запропоновано підходи, моделі, критерії та обмеження для визначення допустимих варіантів ПТС і подальшої її оптимізації. Отримані співвідношення, які лежать в основі визначення вартості проїзду та вибору типу і кількості транспортних засобів. Теоретичні результати роботи та досвід їхнього впровадження на практиці в м. Тернополі може бути використаний при вдосконаленні ПТС міст України.

*1. Порядок і умови організації перевезень пасажирів та багажу автомобільним транспортом. Наказ Міністерства транспорту України № 21 від 21.01.98 р. 2. Malasek J. Demopolizacja transportu zbiorowego. – Warszawa, 1991. 3. Мазур В.В., Романишин Ю.М., Городиський В.А., Ясенецька Г.М. САІР пасажирських перевезень: розробка і впровадження // Вісн. Національного університету “Львівська політехніка”. – № 398. – С. 21–31.*