

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
мехатроніки і робототехніки
Кафедра автомобілів та транспортних технологій**

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
освітнього ступеня
магістр

Галузь знань 27 – «Транспорт»
Спеціальність 275 «Транспортні технології»
Спеціалізація 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»

на тему: «Визначення раціональної структури парку автобусів міського
пасажирського транспорту»

Виконав: студент групи ТРТ - 5м



Андрій ЛУЦКО

Керівник



Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

Завідувач кафедри



Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

Рецензент



Дмитро Безерський

Житомир - 2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет: комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра: автомобілів та транспортних технологій
Освітній ступінь: «магістр»
Галузь знань: 27 «Транспорт»
Спеціальність: 275 «Транспортні технології»
Спеціалізація: 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри А і ТТ
Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

« 11 » 11 2024р.

ЗАВДАННЯ

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня магістр

Луцко Андрія Васильовича

- 1.Тема роботи:** «Визначення раціональної структури парку автобусів міського пасажирського транспорту» затверджена наказом вищого навчального закладу від «11» листопада 2024 р. №637-с
- Керівник роботи:** к.т.н., Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ
- 2. Строк подання студентом завершеної роботи:** 15.12.2023 р.
- 3. Вихідні дані до роботи:** нормативні документи, стандарти, дані роботи компанії, митні положення.
- 4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):** вступ, аналіз параметрів якості транспортного обслуговування населення автобусами міського пасажирського транспорту, розробка математичної моделі оптимізації структури парку рухомого складу (автобусів) міського пасажирського транспорту, методики досліджень функціонування модульної мережі міського пасажирського транспорту (автобусів), загальні висновки, список використаних джерел, додатки
- 5. Пояснювально - роздавальний матеріал (презентація) - 12 слайдів.**

Дата видачі завдання « 10 » вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Розділ 1. Аналіз параметрів якості транспортного обслуговування населення автобусами міського пасажирського транспорту	14.09.2024	виконано
2.	Розділ 2. Розробка математичної моделі оптимізації структури парку рухомого складу (автобусів) міського пасажирського транспорту	12.10.2024	виконано
3.	Розділ 3. Методики досліджень функціонування модульної мережі міського пасажирського транспорту (автобусів)	03.11.2024	виконано
4.	Оформлення роботи	09.12.2024	виконано
5.	Рецензування	15.12.2024	виконано
6.	Захист роботи	17.12.2024	виконано

Студент

 Андрій ЛУЦКО

Керівник роботи

 Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Магістерської кваліфікаційної роботи на тему: Визначення раціональної структури парку автобусів міського пасажирського транспорту, виконаної студентом групи ТРТ-5м, факультету комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки державного університету «Житомирська політехніка» Луцко Андрієм Васильовичем, керівник к.т.н., доц. Шумляківський В.П.

В першому розділі проаналізовано параметри якості транспортного обслуговування населення автобусами міського пасажирського транспорту.

В другому розділі розроблена математична модель оптимізації структури парку рухомого складу (автобусів) міського пасажирського транспорту.

В третьому розділі наведені методики досліджень функціонування модульної мережі міського пасажирського транспорту (автобусів).

Робота складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел.

Ключові слова: *показники якості, маршрутна мережа МПТ, програма перевезень пасажирів, пасажирські потоки, рухомий склад, пропускна здатність, зупиночні пункти, транспортна система.*

ABSTRACT

Master's qualification work on the topic: Determination of the rational structure of the urban passenger transport bus fleet, performed by a student of the TRT-5m group, Faculty of Computer-Integrated Technologies, Mechatronics and Robotics of the Zhytomyr Polytechnic State University, Lutsko Andriy Vasylyovych, supervisor: Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Shumlyakivskyi V.P.

The first section analyzes the parameters of the quality of transport service to the population by urban passenger transport buses.

The second section develops a mathematical model for optimizing the structure of the urban passenger transport rolling stock (buses) fleet.

The third section presents research methods for the functioning of the modular urban passenger transport network (buses).

The work consists of an introduction, three sections, general conclusions, and a list of sources used.

Key words: *quality indicators, MPT route network, passenger transportation program, passenger flows, rolling stock, capacity, stopping points, transport system.*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
Розділ 1. Аналіз параметрів якості транспортного обслуговування населення автобусами міського пасажирського транспорту.....	7
1.1 Показники якості транспортного обслуговування населення автобусами міського пасажирського транспорту.....	7
1.2 Оцінка параметрів якості транспортного обслуговування.....	10
1.3 Аналіз чинників, які впливають на оптимізацію програми перевезень.....	15
Висновки до розділу.....	19
Розділ 2. Розробка математичної моделі оптимізації структури парку рухомого складу (автобусів) міського пасажирського транспорту.....	21
2.1 Розробка математичної моделі раціональної структури парку рухомого складу.....	21
2.2 Розрахунок параметрів програми перевезень.....	24
2.3 Нормування параметрів використання місткості рухомого складу.....	27
2.4 Нормування пропускної спроможності маршрутної мережі міського пасажирського транспорту.....	31
Висновки до розділу	40
Розділ 3. Методики досліджень функціонування модульної мережі міського пасажирського транспорту (автобусів).....	41
3.1 Методика обстеження пасажирських потоків.....	41
3.2. Аналіз роботи пунктів зупинки	45
3.3 Методика розрахунку програми перевезень.....	50
3.4 Нормування використання місткості рухомого складу міського пасажирського транспорту.....	53
3.5 Оцінка працездатності алгоритму розрахунку оптимальної структури парку РС (автобусів) з прикладу абстрактної маршрутної мережі.....	55
Висновки до розділу	58
Загальні висновки	59
Список використаних джерел.....	60
ДОДАТКИ.....	62

ВСТУП

Актуальність теми дослідження визначається гостротою транспортної проблеми великих міст, що посилюється високою динамікою рівня автомобілізації. Як наслідок суттєво ускладнюється процес проектування систем міського пасажирського транспорту (МПТ) та управління цими системами. Підвищення якості та безпеки послуг МПТ є найважливішим напрямом вирішення транспортної проблеми великих міст, оскільки привабливість МПТ зумовлює зниження інтенсивності транспортних потоків власних автомобілів.

В даний час на практиці транспортні організації при формуванні програми перевезень насамперед орієнтуються на рухомий склад (РС), що є в парку або доступний за фінансовими критеріями. Такий підхід не дозволяє забезпечити необхідну якість транспортних послуг та багато в чому посилює проблему великих міст за рахунок невиправданого застосування транспортних засобів малої місткості. Для обслуговування наявних пасажирських потоків автобусами малої місткості рух маршрутами здійснюється з невеликим інтервалом. При цьому спостерігаються скупчення автобусів на зупиночних пунктах, відмови у посадці пасажирів через недостатню місткість, що зрештою негативно впливає на тривалість поїздки пасажирів.

Відсутність обґрунтованих нормативів часто призводить до застосування регулюючими органами нерентабельної для транспортних організацій програми перевезень, що негативно впливає на фінансовий стан перевізників і може призвести до деградації МПТ.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ НАСЕЛЕННЯ АВТОБУСАМИ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Актуальність теми дослідження визначається гостротою транспортної проблеми великих міст, що посилюється високою динамікою рівня автомобілізації. Як наслідок суттєво ускладнюється процес проектування систем міського пасажирського транспорту (МПТ) та управління цими системами. Підвищення якості та безпеки послуг МПТ є найважливішим напрямом вирішення транспортної проблеми великих міст, оскільки привабливість МПТ зумовлює зниження інтенсивності транспортних потоків власних автомобілів.

В даний час на практиці транспортні організації при формуванні програми перевезень насамперед орієнтуються на рухомий склад (РС), що є в парку або доступний за фінансовими критеріями. Такий підхід не дозволяє забезпечити необхідну якість транспортних послуг та багато в чому посилює проблему великих міст за рахунок невиправданого застосування транспортних засобів малої місткості. Для обслуговування наявних пасажирських потоків автобусами малої місткості рух маршрутами здійснюється з невеликим інтервалом. При цьому спостерігаються скупчення автобусів на зупиночних пунктах, відмови у посадці пасажирів через недостатню місткість, що зрештою негативно впливає на тривалість поїздки пасажирів.

Відсутність обґрунтованих нормативів часто призводить до застосування регулюючими органами нерентабельної для транспортних організацій програми перевезень, що негативно впливає на фінансовий стан перевізників і може призвести до деградації МПТ.

1.1 Показники якості транспортного обслуговування населення автобусами міського пасажирського транспорту

Одним із перших показників якості системи міського пасажирського транспорту розглядав у 30-ті роки Зільберталь А.Х[3]. Ним виділені три групи факторів:

1. Витрати часу;
2. Зручність;
3. Безпека [1].

Витрати часу на подорож включають час пішохідних підходів, тривалість очікування транспорту, час поїздки, витрати часу на пересадку.

Зазвичай елементи системи якості транспортного обслуговування представлені у такому вигляді:

1. Економічність, тобто рівень розвитку маршрутної мережі та величина пасажирського тарифу.
2. Інформаційне обслуговування пасажирів, перевезення.
3. Комфортність поїздки, що визначається рівнем наповнення салону автобуса.
4. Швидкість доставки пасажирів.
5. Доступність послуг, що визначається часом пішохідного підходу до зупиночного пункту та обумовлюється раціональним розвитком маршрутної мережі.

Система якості транспортного обслуговування населення міським пасажирським транспортом в Україні визначається за допомогою наступних показників:

1. Доступність, тобто забезпечення гарантованого одержання населенням транспортних послуг;
2. Надійність - забезпечення стабільності та передбачуваності отримання транспортних послуг;
3. Комфортність - зручність користування транспортними послугами, відсутність фізіологічного та психологічного дискомфорту для пасажирів.

Комфортність транспортного обслуговування - це складна категорія, яка складається з наступних елементів:

- інформування пасажирів;
- рівень шуму та температурний режим у салоні транспортних засобів;
- дотримання норм місткості транспортних засобів;
- кількість пересадок під час виконання поїздки;
- екологічність транспортної системи.

Показники якості обслуговування пасажирів визначені у американському керівництві Highway Capacity Manual (HCM) [3]. Відповідно до цього документа система показників якості обслуговування пасажирів та ефективності роботи міського транспорту формується виходячи з:

1. роботи зупиночних пунктів громадського транспорту;
2. характеристик роботи транспорту на перегонах;
3. сукупності маршрутів пасажирського транспорту.

Багато дослідників [4-7] до основних показників якості обслуговування населення міським масовим пасажирським транспортом відносять:

- інтервали (інтенсивність) руху рухомого складу за маршрутами;
- надійність виконання розкладу руху;
- дотримання місткості рухомого складу;
- використання місткості рухомого складу;
- відповідну потужність пасажирських потоків.

Основним завданням організації транспортного обслуговування, яка забезпечує зазначені показники якості транспортної системи, автори відносять:

- розробка оптимального розкладу руху рухомого складу пасажирського транспорту маршрутом;
- організація праці водіїв;
- вибір типу, класу та кількості рухомого складу для роботи на маршруті;
- аналіз, моделювання та вивчення пасажирських потоків.

Отже, якість транспортного обслуговування населення автобусами міського пасажирського транспорту, це складна система, що з значної частини елементів, тобто. якість транспортного обслуговування - це властивість транспортної системи, що оцінюється комплексом показників.

1.2 Оцінка параметрів якості транспортного обслуговування

Відповідно до HighwayCapacityManual (HCM) [8] якість транспортного обслуговування оцінюється за допомогою наступних показників:

1. Інтервал руху рухомого складу на маршруті;
2. Пішохідна доступність зупиночних пунктів;
3. Наповнення транспортного засобу;
4. Час роботи міського пасажирського транспорту загального користування;
5. Облаштування зупиночних пунктів;
6. Надійність роботи міського пасажирського транспорту;
7. Співвідношення швидкості сполучення при користуванні міським транспортом загального користування та легковим автомобілем;
8. Час поїздки;
9. Безпека.

До основних показників якості роботи міського пасажирського транспорту загального користування віднесено інтервал руху та наповнення рухомого складу.

Розглянемо шість меж рівнів обслуговування за умовами розміщення пасажирів у салоні автобуса міського пасажирського транспорту, до яких належать:

1. рівень А - пасажирів можуть обирати місце в салоні автобуса та не сидіти поряд один з одним;
2. рівень В - пасажирів можуть обирати місце у салоні;
3. рівень С - всі пасажирів можуть сидіти;
4. рівень D - зайняті місця для сидіння, є пасажирів, що стоять;

5. рівень Е - максимальне завантаження салону;

6. рівень F - переповнення рухомого складу.

Проблему забезпечення якості транспортного обслуговування розглядали на роботах багато українських учених [8-10]. Запропоновані методи розділимо на дві групи:

- Способи організації перевізного процесу, тобто формування раціональних режимів руху автобусів на маршруті, визначення оптимальної кількості та типу рухомого складу тощо;

- Розвиток маршрутної мережі міського пасажирського транспорту. На якість обслуговування пасажирів автобусами міського пасажирського транспорту прямо впливає загальний час пересування пасажирів. Скорочення часу пересування є основним завданням підвищення якості обслуговування населення. Структуру витрат часу пересування пасажирів становлять:

1. Витрати часу пішохідних підходів;

2. Тривалість очікування поїздки;

3. Час подорожі.

Дослідження показали, що час пішохідних підходів залежить від розвитку інфраструктури маршрутної мережі міського пасажирського транспорту та виражається такими показниками, як щільність транспортної мережі, довжина перегонів на маршрутах, планувальні характеристики району [11].

Багато робіт присвячено дослідженню тривалості очікування транспорту. Вчені сходяться на думці, що на тривалість очікування поїздки впливають фактори, що залежать від організації перевізного процесу, до яких належать підвищення регулярності, суміщення маршрутів і т.п.) [11,12].

Поїздка є одним із найтриваліших елементів пересування пасажирів, яка становить майже половину часу пересування та залежить від таких параметрів, як швидкість сполучення на використовуваних видах транспорту та довжина кореспонденцій [13].

Вивчаючи тривалість поїздок пасажирів Chumcik A. та Braaksm J. відзначили, що час поїздки безпосередньо впливає на якість обслуговування населення у поєднанні з фактором наповнення [14].

Регулярність руху, наповнення автобусів та пересадочність це важливі фактори, які впливають на комфорт пересування пасажирів. Показник регулярності визначається своєчасним виконанням розкладу руху транспортними засобами, проходячи через пункти зупинки маршрутної мережі міста, і залежить від організації перевізного процесу, проте, рекомендується відносити його до комфорту пересування пасажирів.

Головний складовий фактор, що впливає на збільшення часу пересування пасажирів, є пересадочність. Витрати часу на пересадки зазвичай залежить від розвитку інфраструктури маршрутної мережі та визначаються плануванням пересадочних вузлів, розміщенням зупиночних пунктів і зручністю пересування між ними [7]. Усі перелічені чинники впливають на пасажирів: залежно від погодних умов, мети пересування, статі та віку пасажирів [16].

В багатьох випадках пересадність залежить від рівня організації перевізного процесу та обумовлена великими інтервалами руху, низькою регулярністю та переповненням [17].

Кількість пересадок залежить від рівня розвитку інфраструктури маршрутної мережі міста, та характеризуються такими показниками, як дальність пересування, розгалуженість маршрутної мережі та її відповідності основним параметрам пасажирських потоків, а також від надійності роботи міського пасажирського транспорту[20].

Наповнення оцінюється коефіцієнтом використання місткості (відношенням виконаної роботи до максимально допустимої при повному заповненні транспортних засобів), максимальне значення якого не може перевищувати нормативне обмежене кількістю місць для сидіння та числом пасажирів, що припадають на 1 м² площі підлоги автобуса. При роботі рухомого складу на лінії наповнення транспортних засобів залежить від відповідності програми перевезень

пасажирським потокам, що діють, і фактичному значенню регулярності руху автобусів.

На програму пасажирських перевезень впливають такі фактори:

1. Транспортна рухливість та чисельність населення.

Для розробки заходів, підвищення ефективності транспортного обслуговування пасажирів, є важливою інформацією про транспортну рухливість населення, особливості її формування, про розмір та напрямки пасажиропотоків, їх зміни за годиною доби, днями тижня, періодів року і т.д. Обсяг пересування багато в чому залежить від соціального складу населення. Розглянемо чотири соціальні групи:

- робітники містоутворюючих підприємств. Містоутворюючі підприємства мають велику кількість робітників, розташовуються відокремлено і є кінцевими пунктами руху багатьох маршрутів міського пасажирського транспорту загального користування;

- працівники обслуговуючих підприємств - житлово-комунальних, торгових підприємств, культурно-побутових центрів тощо. Маршрути руху пасажирського транспорту загального користування проходять поруч із обслуговуючими підприємствами;

- учні ВНЗ, технікумів, середніх професійно-технічних училищ. Місця навчання представників цієї соціальної групи, як правило, віддалені від місця їхнього проживання. Сучасні великі ВНЗ з великою кількістю студентів та малою кількістю гуртожитків можуть розглядатися, як містоутворюючі підприємства;

- несамотійне населення - діти дошкільного та шкільного віку, пенсіонери, домогосподарки, інваліди і т.д. .

Існують певні фактори, що впливають на формування рухливості населення, що призводять до її зростання або зниження.

До таких чинників можна зарахувати територіальну віддаленість міських об'єктів, тривалість пересування, відстань між зупиночними пунктами, величину

транспортного тарифу, характеристики рухомого складу, наявність інформації та ін [9].

2. Розподіл пасажирського потоку між пасажирськими видами транспорту залежать від вибору способу пересування населенням.

При різноманітті факторів, що визначають рівень обслуговування: комфортабельність, швидкість сполучення, рівень обліку індивідуальних вимог, вид пасажирського транспорту, вибір виду пересування здійснюється пасажиром за критерієм - точною чи, зазвичай, приблизною вартісною оцінкою часу залежно від призначення конкретної поїздки [26].

Вибір пасажиром виду транспорту для пересування багато в чому залежить від характеристик цього транспорту, а саме комфортності поїздки, регулярності руху, частоти руху рухомого складу на лінії, швидкості сполучення, вартості проїзду і т.д.;

3. Тип та кількість рухомого складу.

Від типу та кількості рухомого складу працюючого на маршруті безпосередньо залежать витрати та доходи перевізників. Тому для роботи на маршруті необхідно вибирати рухомий склад, місткість якого відповідає потужності та характеру пасажиропотоку, а експлуатаційні витрати, якого забезпечують рентабельну роботу транспортного підприємства. При вирішенні завдання вибору рухомого складу, насамперед, необхідно визначити його номінальну місткість. Від номінальної місткості та кількості рухомого складу на маршруті залежать такі показники роботи як: наповнення рухомого складу, інтервал руху, час обороту, витрати на перевезення тощо;

4. Технічна, експлуатаційна та швидкість повідомлення.

Швидкість руху транспортного засобу за маршрутом залежать від багатьох факторів: благоустрій вулиць, планування міста, технічних характеристик та ступеня завантаження рухомого складу, інтенсивності транспортного потоку та характеру його регулювання, числа зупиночних пунктів на маршруті та рівня їх оснащення, кваліфікації водія та ін. має різне значення залежно від часу доби та

днів тижня, безпосередньо впливає на собівартість перевезень та час поїздки пасажирів [15].

5. Рівень організації транспортного процесу характеризується раціональним розподілом рухомого складу за маршрутами складання оптимального розкладу руху рухомого складу.

Організацію руху міського пасажирського транспорту можна здійснити лише за максимально повної координації роботи всіх видів транспорту та транспортних компаній. Рівень організації транспортного процесу характеризується такими чинниками, як кількість рухомого складу на лінії, інтервали руху, наповнення, регулярність руху, рівень інформаційного оснащення, безпека руху і т.д.

6. Експлуатаційні витрати рухомого складу залежать від типу транспортних засобів, що застосовуються.

Як відомо експлуатаційні витрати рухомого складу зростають пропорційно до збільшення його місткості. Отже, для транспортних засобів великої місткості характерні високі експлуатаційні витрати. Таким чином, рухомий склад за місткістю повинен максимально відповідати потужності та характеру пасажиропотоку. Загальна кількість та тип рухомого складу на кожному маршруті руху впливає на такі параметри як: інтервал руху, наповнення, безпека руху тощо.

1.3 Аналіз чинників, які впливають на оптимізацію програми перевезень

Як згадувалося вище, до основних показників якості роботи міського пасажирського транспорту загального користування належать інтервал руху та наповнення рухомого складу. Це два взаємозалежних параметри, що повністю визначаються програмою перевезень пасажирів, тобто. визначення раціональної структури парку рухомого складу, розподіл транспортних одиниць між маршрутами; встановлення раціональних інтервалів руху по маршрутах.

В Західній Німеччині у 60-ті - 70-ті рр. збитковість міського пасажирського транспорту призвела до необхідності реформи транспорту. Економічний ефект було отримано, коли для зменшення витрат на експлуатацію рухомого складу було прийнято рішення про істотне збільшення частки великогабаритних автобусів великої місткості на міських маршрутах пасажирських перевозок[12].

Для визначення класу автобуса, що використовується для перевезень пасажирів у містах, були розроблені рекомендації у вигляді таблиць, що дозволяють визначити місткість транспортного засобу залежно від потужності пасажирського потоку або кількості жителів міста.

Аналіз досліджень показав, що автори робіт по-різному підходять до проблеми визначення оптимальної структури парку рухомого складу реалізації міських перевезень.

Найбільш поширеними є методи, що дозволяють визначати необхідну кількість рухомого складу, виходячи з добового обсягу перевезень пасажирів, наприклад, використовуючи таку формулу:

$$A = \frac{Q_{\text{пасдоб}} \cdot \eta_{\Gamma} \cdot \eta_{\text{д}} \cdot t_{\text{р}}}{q \cdot \gamma \cdot \eta_{\text{зм}} \cdot T_{\text{м}}}, \quad (1.1)$$

де A - потрібна кількість рухомого складу на лінії, од.;

$Q_{\text{пасдоб}}$ - добовий пасажиропотік, пас.;

η_{Γ} , $\eta_{\text{д}}$ - коефіцієнти нерівномірності пасажиропотоку по годинах доби та ділянках маршруту відповідно;

$\eta_{\text{зм}}$ - коефіцієнт змінності пасажирів на маршруті;

$t_{\text{р}}$ - час рейсу, год.;

q - місткість рухомого складу, пас.;

γ - коефіцієнт використання місткості;

$T_{\text{м}}$ - час роботи на маршруті, год.

При цьому в роботах немає рекомендацій щодо значення коефіцієнта використання місткості рухомого складу.

В інших роботах розрахункова кількість рухомого складу лінії є показником рівня наданих пасажирських послуг.

Пропонується використовувати наступну формулу для визначення необхідної кількості рухомого складу:

$$A = \frac{Q_{\text{роз}} \cdot \eta_{\text{д}} \cdot t_0 \cdot K_{\text{Т}}}{q \cdot T \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{н}}}, \quad (1.2)$$

де $Q_{\text{роз}}$ - розрахунковий пасажиропотік, пас/год.;

t_0 - час обороту автобуса на маршруті, хв.;

$K_{\text{Т}}$ - коефіцієнт внутрішньогодинної нерівномірності руху;

q - місткість автобуса, пас;

T - період часу надання інформації (1 год);

$\gamma_{\text{н}}$ - розрахункове значення коефіцієнта наповнення;

$\eta_{\text{н}}$ - коефіцієнт нерівномірності за напрямком руху.

Також пропонується визначати необхідну кількість рухомого складу на маршруті із співвідношення:

$$A_{\text{а}} = \frac{Q_{\text{р}} \cdot l_{\text{ср}} \cdot K_{\text{д}} \cdot K_{\text{н}} \cdot K_{\text{я}}}{365 \cdot q_{\text{с}} \cdot \gamma_{\text{м}} \cdot \alpha_{\text{в}} \cdot V_{\text{т}} \cdot T_{\text{н}} \cdot \beta} \quad (1.3)$$

де $Q_{\text{р}}$ - річний обсяг перевезень, пас;

$l_{\text{ср}}$ - середня дальність поїздки пасажирів, км.;

$K_{\text{д}}$, $K_{\text{н}}$ - коефіцієнт нерівномірності перевезень відповідно по годині доби та за напрямками маршрутів;

$q_{\text{с}}$ - середня місткість транспортного засобу, пас;

$\gamma_{\text{м}}$ - коефіцієнт місткості транспортного засобу;

$\alpha_{\text{в}}$ - коефіцієнт випуску транспортних засобів на лінію;

$V_{\text{е}}$ - експлуатаційна швидкість, км/год;

$T_{\text{н}}$ - тривалість перебування транспортного засобу в наряді, год.;

β - коефіцієнт використання пробігу транспортного засобу;

$K_{\text{я}}$ - коефіцієнт підвищення якості транспортного обслуговування внаслідок поліпшення техніко-експлуатаційних показників використання транспортних засобів, що визначається за формулою:

$$K_k = \sqrt[4]{\frac{\alpha_{\text{вс}} \cdot \beta_{\text{с}} \cdot T_{\text{нс}} \cdot R_{\text{рс}}}{\alpha_{\text{вп}} \cdot \beta_{\text{п}} \cdot T_{\text{рс}} \cdot R_{\text{рп}}}} \quad (1.4)$$

$\alpha_{\text{вс}}$ - списочний коефіцієнт випуску транспортних засобів на лінію;

$\alpha_{\text{вп}}$ - планований коефіцієнт випуску транспортних засобів на лінію;

$\beta_{\text{с}}$ - списочний коефіцієнт використання пробігу транспортного засобу;

$\beta_{\text{п}}$ - планований коефіцієнт використання пробігу транспортного засобу;

$T_{\text{нс}}$ - списочна тривалість перебування транспортного засобу в наряді, год;

$T_{\text{рс}}$ - планована тривалість перебування транспортного засобу в наряді, год;

$R_{\text{рс}}$ - списочна регулярність руху на маршрутній мережі;

$R_{\text{рп}}$ - планована регулярність руху на маршрутній мережі.

Представлені рекомендації визначення необхідної кількості рухомого складу у формулах (1.1-1.4) припускають можливість безальтернативної поїздки.

Також виділяються методи, що пропонують оцінювати структуру парку з точки зору екології та безпеки перевезень.

Таким чином, методи, що дозволяють визначити оптимальну кількість рухомого складу на маршруті, можна поділити на три групи:

1. методи, що враховують лише потужність пасажирських потоків;
2. методи, що враховують показники якості пересування пасажирів;
3. методи, що враховують вплив транспорту на навколишнє середовище.

Актуальність завдання полягає у розробці ефективних методів визначення оптимальної програми перевезень пасажирів: тарифів та бюджетних субсидій,

пропускної спроможності інфраструктури маршрутної мережі, провізної спроможності рухомого складу.

Висновки до першого розділу

Немає єдиного визначення поняття якості обслуговування пасажирів, виділяються два різні підходи:

- якість обслуговування населення характеризує рівень технічного розвитку міського пасажирського транспорту, і навіть ефективність управління та планування процесом перевезень;

- якість обслуговування населення характеризується ступенем задоволення пасажирів перевізним процесом.

Як показав аналіз параметрів якості транспортного обслуговування найбільш важливими параметрами ефективності є:

- регулярність руху транспортних засобів;
- наповнення рухомого складу;
- інтервал руху;
- інформаційне обслуговування;
- безпеку руху.

У зв'язку з цим, **метою роботи** є підвищення якості транспортного обслуговування населення шляхом нормування техніко-експлуатаційних показників роботи міського громадського транспорту.

Для досягнення поставленої мети необхідно реалізувати такі задачі:

1. Розробити математичну модель для розрахунку програми перевезень пасажирів з урахуванням взаємного накладання маршрутів, сформулювати алгоритм розв'язання задачі визначення оптимальної програми перевезень пасажирів на маршрутній мережі за відомого транспортного попиту.

2. Встановити залежності середнього коефіцієнта динамічного використання місткості РС від пасажирських потоків, часу роботи транспортної одиниці на маршруті, нерівномірності швидкості сполучення.

3. Встановити залежність пропускної спроможності зупиночних пунктів від кількості місць зупинки та параметрів процесу обслуговування РС на зупиночному пункті.

Об'єктом дослідження є формування структури міського автобусного парку.

Предмет дослідження є методи формування раціональної структури міського автобусного парку.

Практична цінність роботи полягає у тому, що її результати можуть бути застосовані для вдосконалення управління міським транспортом. Отримані висновки та рекомендації можуть бути інтегровані в системи автоматизованого управління міським транспортом, що дозволить покращити пасажирські перевезення. Крім того, напрацювання роботи можуть бути використані для розробки нових програм розподілу транспортних засобів залежно від пасажиропотоків, що зробить систему більш гнучкою і адаптивною.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ СТРУКТУРИ ПАРКУ РУХОМОГО СКЛАДУ (АВТОБУСІВ) МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

2.1 Розробка математичної моделі раціональної структури парку рухомого складу

Ефективність міського пасажирського транспорту загального користування полягає у забезпеченні максимально можливого рівня якості транспортного обслуговування населення. Один із найважливіших напрямів вирішення проблеми дорожнього руху - це розвиток пасажирського транспорту таким чином, щоб забезпечити комфортне та безпечне транспортне обслуговування населення.

Розробимо математичну модель оптимізації структури парку рухомого складу МПТ з урахуванням взаємного накладання маршрутів, що дозволяє визначити програму перевезень пасажирів, яка забезпечує максимально можливий рівень якості транспортного обслуговування за встановлених обмежень.

На транспортній мережі організовані маршрути, причому на мережі є ділянки, якими прокладено кілька маршрутів (накладення, перетин маршрутів). Наявність конкуруючих маршрутів призводить до того, що деякі пасажирські кореспонденції можуть бути обслужені кількома маршрутами. В результаті за рахунок перерозподілу пасажирських кореспонденцій кількість пасажирів, перевезених за маршрутом, залежить від інтенсивності руху: збільшується із зменшенням інтервалу руху транспортних засобів та навпаки. З іншого боку, зниження інтервалу руху призводить до зменшення кількості пасажирів, що припадають на один транспортний засіб. Обмежений рівень доходів від перевезень (обумовлюється чинним пасажирським тарифом та нормативом бюджетних субсидій) визначає рівень фінансових ресурсів, які можуть бути витрачені на транспортний процес.

Розрахунок програми перевезень полягає у визначенні для кожного маршруту класу рухомого складу та інтенсивності (інтервалу) руху при

встановлених обмеженнях (нормативах) техніко-експлуатаційних показників. Маршрути обслуговуються рухомим складом, призначеним для міського пасажирського транспорту загального користування (автобуси Мз класу І).

Якість транспортного обслуговування оцінюватимемо ступенем використання місткості (наповненням) транспортних засобів при виконанні встановлених обмежень інтенсивності (інтервалу) руху по маршруту з урахуванням рівня фінансових ресурсів, що забезпечують рентабельну роботу перевізника.

Граничний рівень фінансових ресурсів для виконання транспортного процесу встановлюватимемо через норматив витрат на 1 км пробігу транспортного засобу маршрутом. Розмір бюджетних субсидій сьогодні так само, як правило, визначається на 1 км пробігу за маршрутом. Порівняння витрат із доходами будемо здійснювати через кількість пасажирів, що припадають на 1 км пробігу транспортного засобу за маршрутом. Це дозволить визначити питомий рівень доходів перевізника (на 1 км пробігу маршрутом).

Таким чином, потрібно розрахувати програму перевезень пасажирів маршрутною мережею міського пасажирського транспорту, що забезпечує задоволення цільової функції, мінімуму коефіцієнта динамічного використання місткості:

$$\bar{\gamma}_\Gamma = \frac{\sum k \cdot P_k^\Gamma}{\sum k \cdot P_k^\Gamma} \Rightarrow \min \quad (2.1)$$

При наступних обмеженнях, коефіцієнт використання місткості рухомого складу:

$$\gamma_\Gamma \leq \gamma_{\max} \quad (2.2)$$

Інтенсивність руху ділянками маршрутної мережі:

$$\sum k \cdot \alpha_k \leq \alpha_{ij}^{max}, i \in I_k \quad (2.3)$$

Інтенсивність руху по маршруту:

$$\alpha_{min} \leq \alpha_k \leq \alpha_{max} \quad (2.4)$$

Економічна ефективність перевезення:

$$q_k^{km} \geq Q_m^{km} \quad (2.5)$$

$\bar{\gamma}_T$ - середньогодинний коефіцієнт динамічного використання місткості у мережі;

P_k^T - середньогодинна номінальна транспортна робота по k-му маршруту, пас-км/год;

$P_k'^T$ - середньогодинна номінальна транспортна робота по k-му маршруту (транспортна робота при повному використанні місткості рухомого складу), пас-км/год;

$\alpha_{min}, \alpha_{max}$ - обмеження інтенсивності руху рухомого складу за маршрутами, од./год;

α_k - інтенсивність руху по k-му маршруту, од./год;

q_k^{km} - кількість пасажирів на один км пробігу рухомого складу по k-му маршруту;

Q_m^{km} - мінімальна кількість пасажирів на 1 км пробігу m-го класу автобуса (використовується на k-му маршруті), що забезпечує рентабельну роботу;

γ_k - середньогодинний коефіцієнт динамічного використання місткості для k-го маршруту;

γ_{max} - граничний коефіцієнт використання місткості транспортних засобів;

I_k - безліч пунктів зупинки k-го маршруту;

α_{ij}^{max} - обмеження пропускної спроможності для ij ділянки маршрутної мережі.

В якості норматива, що визначає рентабельну роботу транспортної організації, пропонується використовувати кількість пасажирів, що припадають на 1 км пробігу транспортного засобу за маршрутом (Q_m^{km}), який встановлюється для кожного m -го класу рухомого складу.

Для вирішення розглянутого завдання необхідно варіюючи класом транспортних засобів та інтервалом їх руху за маршрутами отримати оптимальні значення даних показників у сенсі цільової функції (2.1). Для цього потрібно встановити метод чисельного вирішення поставленого завдання.

2.2 Розрахунок параметрів програми перевезень

Для вирішення поставленої задачі розглянемо модель маршрутної мережі міського пасажирського транспорту загального користування, яка дозволить здійснювати розрахунок техніко-експлуатаційних показників його функціонування за відомого транспортного попиту, вираженого пасажирськими кореспонденціями. Зазвичай маршрутна мережа представляється у вигляді графіку $G(I, U)$ з набором зупинок I та ребер U , якими здійснюється переміщення транспортних засобів. Маршрут $G_i(I_i, U_i)$ є підмножиною G .

Ця модель маршрутної мережі дозволяє розрахувати параметри програми перевезень таким чином:

1. Кількість пасажирів, обслужених k -м маршрутом, визначатимемо так:

$$Q_k = \sum_i \sum_j x_{ij} \cdot p_{ij}^k \quad (2.6)$$

де Q_k - кількість пасажирів, обслужених k -м маршрутом;

x_{ij} - матриця кореспонденцій пасажирів між і-м та j-м пунктом маршрутної мережі (транспортний попит, описаний за допомогою матриці кореспонденцій), пас.;

p_{ij}^k - імовірність обслуговування k-м маршрутом, ij-й кореспонденції.

2. Імовірність обслуговування k-му маршруту, ij-й кореспонденції p_{ij}^k . На p_{ij}^k впливає співвідношення інтервалів руху транспортних засобів різних маршрутів, переваги пасажирів, зумовлених параметрами комфортабельності перевезення, ступінь використання місткості рухомого складу та інші фактори можна визначити за формулою:

$$p_{ij}^k = \frac{a_k c_{ki} c_{kj}}{\sum_n a_n c_{ni} c_{nj}} \quad (2.7)$$

$$\sum_n p_{ij}^k \quad (2.8)$$

c_{ki}, c_{kj} - елементи матриці відповідності зупиночних пунктів маршрутам, приймають значення нуля або одиниці, залежно від входження зупиночного пункту в k-й маршрут;

α_k, α_n - інтенсивність руху по k-му і n-му маршруту відповідно, од./год.;

n - кількість маршрутів.

3. Пасажирообіг k-го маршруту визначимо за формулою:

$$P_k = \sum_i \sum_j x_{ij} \cdot p_{ij}^k \cdot l_{ij}^k \quad (2.9)$$

l_{ij}^k - довжина ij-пасажирської кореспонденції при реалізації по k-му маршруту.

4. Кількість перевезених пасажирів, що припадають на один км пробігу транспортного засобу m-го класу за маршрутом (Q_m^{km}):

$$Q_m^{km} = \frac{S_m^{km}}{T_p} \left(1 + \frac{K_p}{100} \right) \quad (2.10)$$

де S_m^{km} - собівартість пробігу транспортного засобу m-го класу з маршруту, грн./км;

T_p - пасажирський тариф, грн.;

K_p - коефіцієнт рентабельності діяльності транспортної організації, %.

5. Середньогодинний коефіцієнт динамічного використання місткості для k-го маршруту:

$$\gamma_d^k = \frac{P_k^\Gamma}{P_k^\Gamma} = \frac{P_k^\Gamma}{a_k t_{об} V_e q_k} \quad (2.11)$$

де γ_d^k - середньогодинний коефіцієнт динамічного використання місткості для k-го маршруту;

$t_{об}$ - час обороту по k-му маршруту, год.;

a_k - інтенсивність руху по k-му маршруту, од./год;

V_e - експлуатаційна швидкість руху по i-му маршруту, км./год;

q_k - місткість автобусу по k-му маршруту, пас.

t - період часу, за який розраховується транспортна робота, год.

Середньогодинна транспортна робота (P_k^Γ) розраховується за формулою:

$$P_k^\Gamma = \frac{P_k}{t} \quad (2.12)$$

Пробіг за маршрутом визначається як:

$$L_k = L_k^o a_k T_k^m \quad (2.13)$$

де L_k^o - довжина обороту k-го маршруту, км;

a_k - інтенсивність руху по k-му маршруту, од./год;

T_k^m - середній час на k-му маршруті, год.

6. Коефіцієнт динамічного використання місткості для k-го маршруту за день роботи транспорту:

$$\gamma_{\text{д}}^k = \frac{P_k^r}{L_k q_k} \quad (2.14)$$

2.3 Нормування параметрів використання місткості рухомого складу

Під час руху рухомого складу за маршрутом кількість пасажирів, які перебувають у салоні автобуса, змінюється після посадки-висадки на зупиночних пунктах. Таким чином, можна виділити перегін, за яким завантаження автобуса буде максимальним. За чинними правилами перевезень на цьому перегоні не повинна бути перевищена місткість рухомого складу, встановлена виробником. При розрахунку програми перевезень будемо враховувати цю умову як обмеження.

При визначенні місткості автобуса діють нормативи корисної площі для одного пасажирів, складові для сидячого пасажирів 0,315 м, а для пасажирів, що пересуваються стоячи 0,125 м, тобто 8 чоловік на квадратний метр площі підлоги автобуса. Міжнародним союзом громадського транспорту рекомендовано норматив 6,6 особи на один квадратний метр. На перспективу рекомендується використовувати норматив 5 осіб на 1 м.

Визначимо нормативний показник наповнення рухомого складу, за робочий день, що забезпечує обмеження використання місткості рухомого складу на найбільш завантаженому перегоні. Припустимо, що програму перевезень побудовано так, щоб виконати умову: на найбільш напруженій ділянці маршруту в пікові періоди кількість пасажирів у транспортному засобі не перевищує його номінальної місткості. Визначимо середній коефіцієнт використання місткості за робочий день, а також розглянемо його залежність від інших техніко-експлуатаційних показників.

Використання місткості на найбільш напруженій ділянці маршруту визначається за допомогою коефіцієнта статичного використання місткості ($\gamma_c = q/q_n$), який розраховується як відношення фактичного пасажирів (q) у транспортному засобі до його номінальної місткості (q_n).

Таким чином, коефіцієнт використання місткості на найбільш впряженій ділянці маршруту (γ_{max}):

$$\gamma_{max} = \frac{q_{max}}{q_n} \leq 1 \quad (2.15)$$

де q_{max} - максимальна кількість пасажирів у салоні автобуса на найбільш напруженій ділянці маршруту, пас.;

q_n - номінальна місткість транспортного засобу, пас.

Пасажирські потоки не стаціонарні у часі. Визначення параметрів пасажирських потоків (наприклад, за результатами їх обстеження) зазвичай здійснюють щогодини доби, представлене на рис. 2.1.

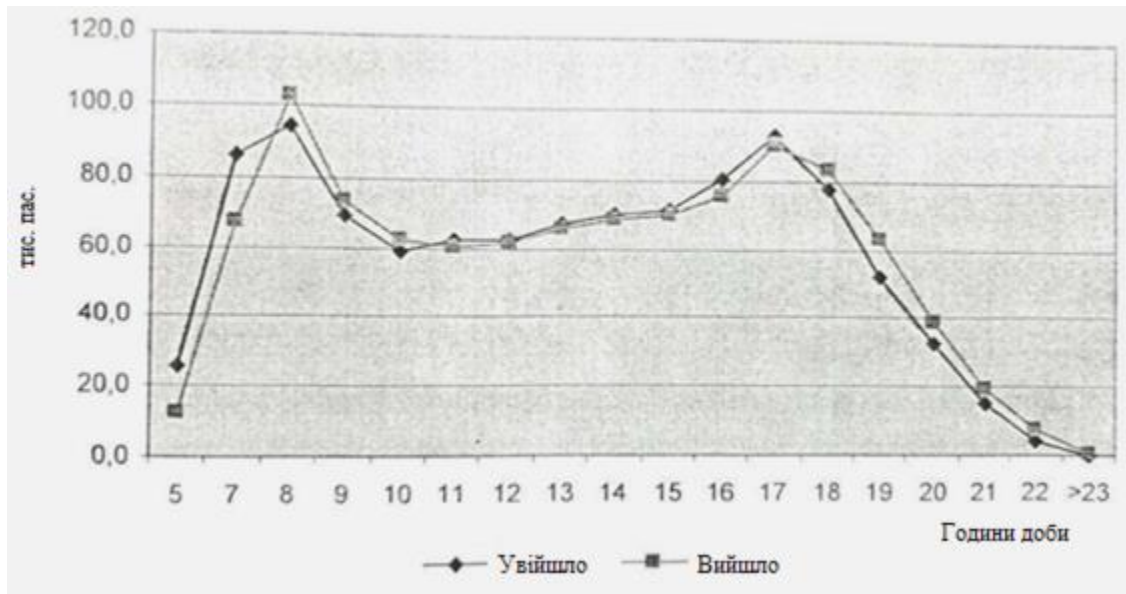


Рис. 2.1 - Динаміка кількості перевезених пасажирів за годиною доби (автобус)

Кількість пасажиро-місць транспортних засобів, що проходять через найбільш напружену ділянку маршруту, визначається як сума номінальних місткостей транспортних одиниць, що проходять через найбільш розглянуту ділянку маршруту за час Δt :

$$Q_{\Delta t}^m = \sum q_n \quad (2.16)$$

Коефіцієнт динамічного використання місткості можна розраховувати, як відношення середньої кількості пасажирів у транспортному засобі до його номінальної місткості:

$$\gamma_d = \frac{\bar{q}}{q_n} \quad (2.17)$$

γ_d - коефіцієнт динамічного використання місткості рухомого складу;

$\bar{q}$ - середня кількість пасажирів у транспортному засобі, пас;

q_n - номінальна місткість транспортного засобу, пас.

При визначенні середньої кількості пасажирів у транспортному засобі за рейс $\overline{q_p}$, слід врахувати внутрішньогодинну нерівномірність коливання пасажиропотоку по довжині маршруту:

$$\overline{q_p} = \frac{q_H}{k_\Gamma k_M} \quad (2.18)$$

де $\overline{q_p}$ - коефіцієнт внутрішньогодинної нерівномірності пасажиропотоку;

k_M - коефіцієнт нерівномірності за довжиною маршруту.

Таким чином, із розрахунку номінального використання місткості рухомого складу на найбільш напруженій ділянці маршруту в піковий період середній коефіцієнт використання місткості за рейс становитиме:

$$\overline{\gamma_p} = \frac{q_H}{k_\Gamma k_M q_H} = \frac{1}{k_\Gamma k_M} \quad (2.19)$$

Щоб визначити коефіцієнт використання місткості в марному за обіг, необхідно врахувати коефіцієнт нерівномірності за напрямками маршруту ():

$$\overline{\gamma_{об}} = \frac{1}{k_\Gamma k_M k_{HM}} \quad (2.20)$$

Співвідношення між кількістю перевезених пасажирів у пікову годину доби та середньогодинним визначається за допомогою коефіцієнта нерівномірності за годинами здійснення перевезень. Оскільки коефіцієнт використання місткості пропорційний кількості перевезених пасажирів, залежність середнього коефіцієнта використання місткості від програми перевезень визначимо через коефіцієнт нерівномірності години програми перевезень. Програму перевезень оцінюватимемо через середній час роботи рухомого складу на маршруті. Коефіцієнт нерівномірності пікової години програми перевезень розрахуємо так:

$$k_{nc} = \frac{Q_{\text{пiк}}^{\Gamma} \cdot \overline{t_{nc}}}{Q} \quad (2.21)$$

де $\overline{t_{nc}}$ - середній час роботи транспортної одиниці на маршруті, год.;

Q - обсяг перевезень пасажирів за день роботи транспорту;

$Q_{\text{пiк}}^{\Gamma}$ - обсяг перевезень пасажирів за годину пікових періодів.

Крім цього, слід враховувати нерівномірність швидкості повідомлення: у пікові періоди швидкість повідомлення рухомого складу істотно нижча порівняно із середньою за робочий день. Для врахування даного фактора на норматив коефіцієнта використання місткості пропонується використовувати коефіцієнт нерівномірності швидкості повідомлення^

$$k_v = \frac{\bar{V}}{V_{\text{пiк}}} \quad (2.22)$$

де $V_{\text{пiк}}$ - швидкість повідомлення за годину пік;

$\bar{V}$ - середня швидкість повідомлення за робочий день.

Таким чином, граничний коефіцієнт динамічного використання місткості РС при визначенні програми перевезень розраховується за формулою:

$$\overline{\gamma_{\text{cp}}} = \frac{\gamma_{\text{cp}}^{\text{об}}}{k_{nc} k_v} \quad (2.23)$$

Даний параметр будемо використовувати, як обмеження під час вирішення завдання розрахунку оптимальної програми перевезень.

2.4 Нормування пропускної спроможності маршрутної мережі міського пасажирського транспорту

Мінімальне значення інтервалу руху рухомого складу обмежується пропускною здатністю пунктів зупинки. Максимальне значення інтервалу руху за

конкретним маршрутом для великих міст визначено стандартом - 15 хвилин. Очевидно, що інтервал руху транспортних засобів обумовлений потужністю пасажиропотоку та місткістю рухомого складу, що використовується: інтервал повинен бути встановлений таким чином, щоб виключити перевищення місткості транспортних засобів на найбільш напруженій ділянці мережі. По багатьох ділянках мережі пролягає кілька маршрутів, що зумовлює постановку завдання нормування інтервалу руху ділянками мережі, а чи не маршрутами.

Розглянемо метод визначення мінімального значення інтервалу транспортних засобів виходячи з пропускної спроможності найбільш завантажених пунктів зупинки. На практиці пропускна здатність зупиночних пунктів є одним з основних факторів, що обмежує продуктивність міського масового пасажирського транспорту загального користування.

Зупиночні пункти міського пасажирського транспорту поділяються на одиночні, здвоєні та збудовані. Здвоєні та збудовані зупинкові пункти мають більш високу пропускну спроможність порівняно з одиночними, при цьому фронт посадки та висадки пасажирів збільшується, що призводить до зростання пішохідних пересувань, схеми зупинкового пункту представлено на рис. 2.2, де 1 - кишеня, 2 - посадковий майданчик, 3 - рухомий склад; 4 - зупиночний показчик.

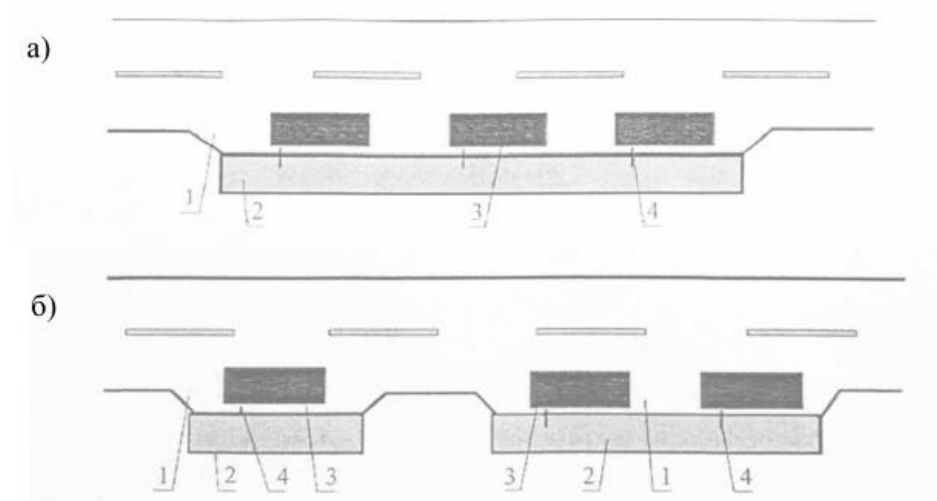


Рис. 2.2 - Схема зупиночних пунктів (а - схема розосередженого зупиночного пункту, б - схема розділеного пункту зупинки)

Роботу зупиночного пункту будемо описувати, як багатоканальну однофазову систему масового обслуговування (СМО) з чергою. Каналом обслуговування є місце зупинки для рухомого складу на зупиночному пункті. На цю СМО не накладатимемо обмежень ні за довжиною черги, ні за часом очікування. Кількість каналів обслуговування n відповідає кількості зупиночних місць транспортних засобів на зупиночному пункті, схема зупиночного пункту, як СМО представлена на рис. 2.3.



Рис. 2.3 - Схема зупиночного пункту, як системи масового обслуговування (СМО)

В систему надходить потік заявок (рухомого складу) з інтенсивністю λ . Потік обслужених заявок має інтенсивність $k_{\text{д}}$, яка залежить від кількості зайнятих каналів обслуговування. Інтенсивність обслуговування є зворотним величиною середнього часу обслуговування заявки $t_{\text{об}}$.

Для встановлення пропускної спроможності зупиночного пункту визначимо залежність ймовірності виникнення черги та середньої кількості заявок у черзі від інтенсивності потоку заявок до системи.

Розглянута СМО є розімкнутою. Для розімкнутих систем масового обслуговування з безперервним потоком вимог та необмеженим часом очікування обслуговування характерні такі особливості [54-56]:

- нескінченна кількість можливих станів;
- обмежена кількість обслуговуючих каналів p ;
- кожен канал здатний одночасно обслуговувати лише одну вимогу;- за наявності вільного каналу вимога, що надходить, негайно починає обслуговуватися;
- вимога, що надійшла в систему в момент, коли всі канали обслуговування зайняті, стає в чергу очікування обслуговування;
- теоретично черга вимог, які чекають на обслуговування, нескінченна.

Завдання визначення показників функціонування такої системи вирішується для найпростішого потоку: за наявності розподілу пуассонівського потоку вимог і показового закону розподілу часу обслуговування.

Потік подій називається найпростішим (пуассонівським), якщо він має відразу три властивості:

- стаціонарність;
- ординарність;
- відсутність наслідків.

Для найпростішого потоку з інтенсивністю λ інтервал T між сусідніми подіями має показовий розподіл [54-56]. Припустимо, що у нашій задачі розподіл потоку вимог пуассонівський, розподіл часу обслуговування показовий.

Враховуватимемо, що наявність на зупиночному пункті кількох зупиночних місць забезпечує збільшення пропускної спроможності цього зупиночного пункту, проте це збільшення відбувається не пропорційно додаткових місць. З цієї причини введено поняття «ефективна кількість місць зупинки», яке відповідає умовній кількості місць з пропускною здатністю першого зупиночного місця.

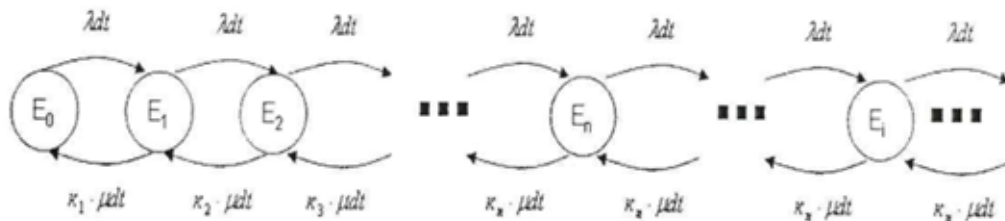
Дані про ефективність зупинок у різних публікаціях неоднакові. Якщо ефективність роботи зупиночного пункту з одним зупинковим місцем прийняти рівною 1, ефективність роботи другого і третього зупиночного місця 0,8 і 0,7 відповідно, тобто на зупиночному пункті з двома зупиночними місцями їхня ефективна кількість становить 1,8, трьома - 2,5.

Таким чином, інтенсивність обслуговування, якщо зайнято i каналів визначається як:

$$\mu_i = k_i \cdot \mu \quad (2.24)$$

де k_i - ефективна кількість каналів обслуговування.

Можливі стани системи визначаються за кількістю заявок у ній. На рис. 2.4 представлені можливі стани системи.



$k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$ - ефективна кількість місць для зупинки ТЗ на зупиночному пункті з обліком ефективності їх роботи

Рис. 2.4 - Можливі стани системи

Визначимо параметри СМО при режимі, що встановився. Імовірність знаходження системи в i -му стані P_i визначається наступною системою рівнянь, що має нескінченну кількість членів:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_1 = \frac{p}{k_1} \cdot P_0 \\ P_2 = \frac{p}{k_2} \cdot P_1 = \frac{p^2}{k_1 \cdot k_2} \cdot P_0 \\ \dots \\ P_n = \frac{p}{k_n} \cdot P_{n-1} = \frac{p^n}{\prod_{i=1}^n k_i} \cdot P_0 \\ \dots \\ P_i = \frac{p}{k_i} \cdot P_{i-1} = \frac{p^i}{\prod_{j=1}^i k_j} \cdot P_0, i > n \end{array} \right. \quad (2.25)$$

Починаючи з $i=n$, послідовність значень P_i утворюють нескінченну геометричну прогресію зі знаменником $\frac{p}{k_n}$. Прогресія буде сходиться тільки, якщо знаменник прогресії виявиться менше одиниці. При значенні знаменника прогресії більше одиниці черги в системі зростатимуть необмежено.

Визначимо ймовірність вимог у системі. Сума всіх ймовірностей стану системи дорівнює одиниці і може бути записана наступним чином:

$$\sum_{i=0}^{\infty} P_i = \sum_{i=0}^n P_i + \sum_{i=n+1}^{\infty} P_i = 1 \quad (2.26)$$

Визначимо першу складову наведеного вище рівняння:

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^{\infty} P_i &= P_0 + \frac{p}{k_1} \cdot P_0 + \frac{p^2}{k_1 \cdot k_2} \cdot P_0 + \frac{p^3}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3} \cdot P_0 + \dots + \frac{p^n}{\prod_{i=1}^n k_i} \cdot P_0 = \\ &= P_0 \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{p^i}{\prod_{i=1}^n k_i} \right) \end{aligned} \quad (2.27)$$

Друга складова рівняння 2.26 являє собою суму нескінченно спадаючої геометричної прогресії з початковим членом P_{n+1} та значень знаменника $\frac{p}{k_n}$:

$$\sum_{i=n+1}^{\infty} P_i = P_0 \cdot \frac{p^{n+1}}{\prod_{i=1}^n k_i (k_n - p)} \quad (2.28)$$

Звідки ймовірність відсутності вимог у системі визначимо за формулою:

$$\sum_{i=0}^{\infty} P_i = P_0 \cdot \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{p^i}{\prod_{i=1}^n k_i} \right) + P_0 \cdot \frac{p^{n+1}}{\prod_{i=1}^n k_i (k_n - p)} = 1 \quad (2.29)$$

Зайнятість всіх каналів системи чи наявність у системі n і більше вимог означає наявність черги. Імовірність появи черги ($P_{оч}$) можна розрахувати за формулою:

$$P_{оч} = \sum_{i=n}^{\infty} P_i \quad (2.30)$$

Тоді

$$P_{оч} = P_0 \cdot \frac{p^n}{\prod_{i=1}^n k_i} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{p}{k_n}\right)} \quad (2.31)$$

Середню довжину черги можна розрахувати за такою формулою:

$$L_{оч} = P_0 \cdot \frac{p^{n+1}}{\prod_{i=1}^{n-1} k_i (k_n - p)^2} \quad (2.32)$$

Середній час очікування у черзі:

$$T_{оч} = \frac{L_{оч}}{\lambda} \quad (2.33)$$

Наведена математична модель дозволяє розраховувати пропускну спроможність зупиночного пункту і на цій основі нормувати інтенсивність руху рухомого складу маршрутною мережею.

Очевидно, що час простою рухомого складу на пункті зупинки залежить від його пасажирообігу. Розглянемо завдання визначення середньої інтенсивності обслуговування транспортних засобів при мінливому пасажирообігу пункту зупинки. Час простою на проміжних зупинках прямо пропорційний числу пасажирів, що входять і виходять. Процес роботи зупиночного пункту складатися з наступних операцій[18]:

- заїзд на пункт зупинки;
- відкриття та закриття дверей;

- посадка та висадка пасажирів;
- звільнення зупиночного пункту.

Таким чином, загальний час заняття пункту зупинки транспортної одиниці (T_0) можна визначити за формулою:

$$T_0 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \quad (2.34)$$

де t_1 - час витраченого на маневр заїзду, на пункт зупинки, с;

t_2 - час витраченого на відкриття та зачинення дверей, с;

t_3 - час, витрачений на посадку та висадку пасажирів, с;

t_4 - час, витрачений на звільнення зупиночного пункту, с.

Час, витрачений на підхід та зупинку, пропонується визначати за такою формулою:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2l}{b}} \quad (2.35)$$

де l - проміжок безпеки між транспортними одиницями при підході до зупинки, м;

b - уповільнення при гальмуванні, м/с^2 .

Експериментально встановлено, що час посадки та висадки пасажирів t_3 , на відміну від існуючих рекомендацій, повинен включати додатковий компонент, що відображає час необхідний водієві на прийняття рішення про закриття дверей [61, 62]. Таким чином, для розрахунку t_3 слід використовувати:

$$t_3 = \frac{(q_{\text{вх}} + q_{\text{вих}}) \cdot t_{\text{пас}} \cdot t_{\text{ур}} \cdot k_{\text{нд}}}{n_{\text{д}}} \quad (2.36)$$

де $q_{\text{вх}}, q_{\text{вих}}$ - середня кількість пасажирів, що входять і виходять, відповідно, пас.;

$t_{\text{пас}}$ - час, витрачений одним пасажиром, на вхід чи вихід, с.;

n_d - кількість дверей;

$t_{\text{ур}}$ - час необхідний водієві на ухвалення рішення про закриття дверей

$k_{\text{нд}}$ - коефіцієнт нерівномірності посадки та висадки пасажирів по дверях транспортного засобу.

Час, витрачений звільнення зупиночного пункту, можна розрахувати за такою формулою [63]:

$$t_4 = \sqrt{\frac{2l_0}{a}} \quad (2.37)$$

де l_0 - проміжок безпеки між транспортним засобом, що відходять зупиночного пункту та транспортним засобом, що наближається до зупиночного пункту, м;

a - прискорення під час рушання з місця, м/с^2 .

Висновки до розділу.

1. Розроблена математична модель оптимізації структури парку РС МПТ за критерієм мінімуму коефіцієнта динамічного використання місткості рухомого складу за відомого транспортного попиту, що враховує взаємне накладення маршрутів, дозволяє сформулювати умови завдання визначення оптимального поєднання рухомого складу на маршрутній мережі міського пасажирського транспорту.

2. Встановлені залежності середнього коефіцієнта динамічного використання місткості рухомого складу від пасажирських потоків, часу роботи транспортної одиниці на маршруті, нерівномірності швидкості сполучення дозволяють визначати нормативні значення коефіцієнта використання місткості рухомого складу з урахуванням конкретних параметрів транспортного процесу.

3. Розроблена математична модель функціонування зупиночного пункту міського пасажирського транспорту, як багатоканальної однофазової системи масового обслуговування з чергою дозволила встановити залежність пропускної спроможності зупиночних пунктів від кількості зупиночних місць та параметрів потоків рухомого складу міського пасажирського транспорту, що дозволяє визначати значення максимально допустимої інтенсивності руху ділянками маршрутної мережі, і на цій основі здійснювати нормування інтенсивності руху рухомого складу ділянками мережі.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ МОДУЛЬНОЇ МЕРЕЖІ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ (АВТОБУСІВ)

3.1 Методика обстеження пасажирських потоків

Для того, щоб вирішити поставлені задачі в магістерській роботі, необхідно визначити техніко-експлуатаційні показники транспортної системи. За результатами обстеження пасажирських потоків визначено техніко-експлуатаційні показники.

Обстеження пасажиропотоків здійснено табличним шляхом.

Процес обстеження ділимо на 3 етапи:

- підготовча робота;
- власне обстеження;
- обробка результатів.

Перший підготовчий етап:

1. Здійснюється збір інформації про маршрути громадського транспорту та введення даних до комп'ютерної бази даних (БД) маршрутної мережі. У БД заноситься така інформація:

- номер маршруту, початковий та кінцевий пункти;
- довжина маршруту та час обороту;
- кількість транспортних засобів, що обслуговуються маршрут;
- перелік (номер і найменування) проміжних пунктів зупинки, що входять в маршрут.

Ця інформація використовується для:

- планування числа обліковців, необхідні проведення обстеження;
- автоматизованого друку листів обстеження.

2. Розробка вхідних форм та програмного забезпечення для обробки результатів обстеження. Вхідні форми є комплект первинних документів, у яких фіксуються дані обстеження. Основні документи цього комплекту:

- лист обстеження;
- журнал обліку транспортних засобів, що прибувають на кінцевий пункт зупинки;
- журнал обліку транспортних засобів, що спадають із кінцевого зупиночного пункту;
- журнал обліку руху листів обстеження.

Аркуш обстеження служить для фіксування первинної інформації з перевезення пасажирів за кожний рейс транспортного засобу.

Визначення кількості пільгових пасажирів здійснюється шляхом фіксування номерів квитків у кондукторів на початку та в кінці рейсу: різниця між кількістю перевезених пасажирів та кількістю пасажирів, які сплатили за проїзд, вважається кількістю пільгових пасажирів. Для зазначених параметрів у аркуші обстеження передбачені відповідні графи.

Контроль якості заповнення анкет обстеження здійснювався із застосуванням таких процедур:

- аналітичних методів визначення коректності результатів обстеження;
- вибіркового контролю роботи обліковців із залученням персоналу Замовника.

3. Розробка та узгодження організаційно-процедурних заходів, щодо забезпечення доставки обліковців до рухомого складу та інших питань. На даному етапі розробляються та узгоджуються:

- маршрути доставки обліковців до відповідних пунктів до початку обстеження;
- регламенти управління обстеженням;
- правила забезпечення безпеки роботи обліковців

Другий етап (власне обстеження): проводиться суцільне обстеження (на всіх транспортних засобах) у робочі дні за спеціальним графіком.

Управління процесом обстеження здійснюється з транспортних парків (муніципальний транспорт) або кінцевих пунктів маршрутів спеціально підготовленими співробітниками. Завданнями цих співробітників є:

- організація доставки обліковців;
- посадка обліковців у транспортні засоби;
- фіксування прибуття-відправлення транспортних засобів у спеціальних журналах;
- контроль за правильністю заповнення листів обстеження;
- збір листів обстеження після завершення роботи.

В процесі обстеження в рухомому складі біля кожної двері знаходяться обліковці, які на зупиночних пунктах підраховують кількість пасажирів, що входять і виходять, заносючи ці дані в листи обстеження.

В аркушах обстеження фіксується:

- дата обстеження;
- напрямок руху (прямий, зворотний);
- номер маршруту, початковий та кінцевий пункти;
- марка та державний номер транспортного засобу;
- час відправлення із початкового пункту;
- час прибуття у кінцевий пункт;
- номер першого квитка катушки кондуктора на початку та в кінці рейсу;
- зауваження обліковця про виконане перевезення (стан салону транспортного засобу, виконання правил пасажирських перевезень тощо).

Останній реквізит (зауваження обліковця) є необов'язковим та заповнювався обліковцями за бажанням.

Третій етап (обробка результатів) одержані анкети за допомогою спеціально розробленої програми вводять у базу даних для контролю та обробки.

Для зберігання та обробки результатів обстеження використовуються реляційні відносини в системі управління базами даних (СУБД) MicrosoftAccess:

TripR{Id,Rt,IdMod,NbSt,IdDir,TmB,TmE,L), в якому фіксуються Id рейсу, номер маршруту, Id моделі транспортного засобу, державний номер, напрямок руху (прямий або зворотний), початок рейсу, закінчення рейсу, довжина рейсу;

TripRIt(Id,NbRec,PsO,PsI,SmO,SmI,PsSm), в якому фіксуються Id рейсу, номер зупинки в рейсі, кількість пасажирів, що вийшли на зупинці, кількість пасажирів, що вийшли на зупинці, сумарна кількість пасажирів, що ввійшли з початку рейсу, сумарна кількість пасажирів, що вийшли з початку рейсу, кількість пасажирів у транспортному засобі.

Введені дані перевіряються на коректність за ознаками:

- балансу між пасажирами, що входять і виходять;
- кількості пасажирів у транспортних засобах на перегоні;
- процедури виявлення копій заповнених анкет.

Вибраковані та «втрачені» рейси коригуються через поправочні коефіцієнти.

Розрахунок техніко-експлуатаційних показників функціонування системи міського пасажирського транспорту здійснюється за допомогою мови SQL з використанням спеціально розроблених запитів. Наприклад, рис. 3.1 дано запит, з якого здійснюється зведення даних за маршрутами, тобто. визначення кількості рейсів, часу роботи на маршруті, кількості пасажирів, що вийшли і ввійшли, та ін.

```
SELECT DISTINCT RT, COUNTf) as Nb, SUM(Tm) as TmSm, SUM(NbO)
as NbOSm,
SUM(NbI) as NbISm, SUM(L) as LSm, SUM(MxPs * L) as MKmSm,
SUM(Pkm) as PKmSm
FROM TripR
WHERE
(IDMOD>0.0)
GROUP BY RT
ORDERBYRT
```

Рис. 3.1 - Запит SQL для розрахунку звіту маршрутами

Для аналізу якості транспортного обслуговування за допомогою SQL запитів розраховуються такі техніко-експлуатаційні показники:

- кількість транспортних засобів, які обслуговують маршрут;
- середня місткість транспортного засобу, пас;
- мінімальний інтервал руху за маршрутом, хв.;
- кількість виконаних рейсів;
- час роботи на маршруті, година;
- кількість перевезених пасажирів;
- пробіг маршрутом, км;
- виконана транспортна робота, пас-км;
- швидкість повідомлення, км/година;
- кількість перевезених пасажирів за рейс;
- кількість перевезених пасажирів за 1 км пробігу маршрутом;
- кількість перевезених пасажирів за 1 годину роботи на маршруті;
- коефіцієнт динамічного використання місткості рухомого складу;
- середня дальність подорожі пасажирів, км;
- коефіцієнт змінності пасажирів.

3.2. Аналіз роботи пунктів зупинки

За результатами обстеження пасажирських потоків визначається пасажирообіг зупиночних пунктів. Зупиночні пункти залежно від інтенсивності пасажирообігу групуються так:

- перша група - вузлові зупиночні пункти (зупиночні пункти з інтенсивним пасажирооборотом понад 1500 пасажирів на добу);
- друга група - звичайні пункти зупинки (зупиночні пункти з середнім пасажирообігом від 5000 до 15000 пасажирів на добу);
- третя група - малодіяльні пункти зупинки (до 5000 пасажирів на добу).

Для визначення закономірностей випадкових процесів функціонування пунктів зупинки необхідно провести обстеження зупиночних пунктів на найбільш напружених ділянках маршрутної мережі.

У роботі зупиночний пункт сприймається, як система масового обслуговування. Під час обстеження фіксується час надходження автобуса (заявки обслуговування), момент постановки заявки у чергу (якщо всі канали зайняті), момент початку обслуговування, кількість автобусів у черзі, кількість зайнятих місць (каналів) обслуговування, момент вибуття автобуса (завершення обслуговування). Результати обстеження записуються у спеціальній таблиці.

Обсяг репрезентативної вибірки необхідний та достатній для отримання достовірних результатів можна розрахувати, використовуючи такий вираз [64]:

$$n = \frac{t^2}{K^2} \quad (3.1)$$

де: n - обсяг вибірки у запланованому дослідженні;

t - число сигм, що відповідає показнику ймовірності, достатньої в планованому дослідженні;

K - допустима неточність у цьому експерименті, що у сигмах.

Для досліджень середньої точності, величина K може бути прийнята у розмірі від 0,1 до 0,3. Показник ймовірності t для довірчої ймовірності s $P=0,95$, може бути прийнятий у розмірі $t=1,96$.

Результати вимірів представляються, як гістограма. На підставі гістограм висувають гіпотезу про закон розподілу потоку заявок та процесу їх обслуговування.

Розглянуті процеси є найпростішими, тобто підпорядковується закону Пуассона. Потік подій є найпростішим, якщо виконуються такі вимоги: потік є стаціонарним, ординарним, без післядії.

Властивість стаціонарності полягає в наступному: ймовірність появи до подій на будь-якому проміжку часу залежить тільки від кількості цих подій та від тривалості проміжку часу та не залежить від початку його відліку.

Властивість відсутності післядії характеризується тим, що можливість появи до подій на будь-якому проміжку часу не залежить від того, з'являлися або не з'являлися події в моменти часу, що передують початку проміжку, що розглядається. Таким чином, передісторія потоку не позначається на його поведінці у найближчому майбутньому [64].

Властивість ординарності означає, що поява двох чи більше подій за малий проміжок часу практично неможлива. Інакше кажучи, ймовірність появи більше події зневажливо мала проти ймовірністю появи лише однієї події [64].

Для задоволення даних умов будемо розглядати функціонування зупиночного пункту в режимі, що встановився. Обробка даних містить такі етапи:

- побудова інтервального ряду та емпіричних кривих розподілу;
- визначення числових характеристик (статистик) емпіричного розподілу;
- наближене визначення довірчих кордонів та інтервалів;
- вибір теоретичного розподілу;
- визначення оцінок параметрів теоретичного розподілу;
- перевірка згоди.

Побудова низки розподілів це первинна обробка статистичних даних. Вона будується за частотами (статистичними ймовірностями) з урахуванням спостереження. При побудові інтервального ряду важливо правильно вибрати кількість інтервалів. Відповідно до рекомендацій [64] кількість інтервалів беруть рівним 7 або 9 в залежності від числа спостережень та точності вимірювань.

Після вибору кількості інтервалів необхідно визначити ширину інтервалу h , яка визначається шляхом поділу розмаху варіювання R , що дорівнює різниці між найбільшим і найменшим значеннями ознаки, на кількість інтервалів [64].

$$h = \frac{R}{l} = \frac{X_{\text{найб}} - X_{\text{найм}}}{l} \quad (3.2)$$

де h - ширина інтервалу;

R - розмах варіювання;

1 - кількість інтервалів;

$X_{\text{найб}}$ - найбільше значення ознаки;

$X_{\text{найм}}$ - найменше значення ознаки.

Довірчі межі визначають область, в якій з досить великим ступенем ймовірності знаходиться невідома теоретична функція розподілу $F_T(X)$. Визначимо для неї верхню і нижню довірчі межі [64].

Довірчі межі визначають за виразами:

- верхня межа $F_e(x) < 1$ визначається за формулою [64]:

$$F_e(x) = F_3(x) + D_n \quad (3.3)$$

- нижня межа $F_n(x) > 0$ визначається за формулою [64]:

$$F_n(x) = F_3(x) - D_n \quad (3.4)$$

де D_n - деяка величина, що задовольняє рівняння, що функція розподілу лежатиме в області обмеженої довірчими межами.

$$F_3(x) = PH \quad (3.5)$$

Для визначення довірчих кордонів задаються значенням довірчої ймовірності і таблицям [64] визначають значення X_n .

Для довірчої ймовірності дорівнює 0,90, $A^* = 1,22$ [64].

$$D_n = \frac{\lambda_n^*}{\sqrt{n}} \quad (3.6)$$

Визначаються довірчі межі невідомої теоретичної функції розподілу.

Розглянемо порядок визначення параметрів найпростіших процесів. Розглянемо гіпотезу H_0 , що проведені спостереження є незалежними випадковими величинами кожна з яких має розподіл Пуассона, тобто [64]:

$$p(k) = \frac{k^{-k} l^{-\bar{k}}}{k!} \quad (3.7)$$

де $p(k)$ - ймовірність попадання випадкової величини в k -й інтервал; k - параметр розподілу.

Параметр k можна оцінювати, як вибіркове середнє, що визначається за формулою [64]:

$$\bar{k} = \frac{\sum k n_k}{\sum n_k} \quad (3.8)$$

Як критерій згоди перевірки гіпотези про передбачуваний розподіл використовуємо критерій згоди χ^2 . Розглянемо розподіл, отриманий для першого місця, в якому отримано n незалежних вимірювань випадкової величини X розбитих на інтервали. Розрахуємо теоретичне число значень X в i -му інтервалі np_i , де p_i - ймовірність потрапляння випадкової величини в i -й інтервал [64].

Якщо експериментальні частоти n сильно відрізняються від теоретичних np , то гіпотезу про згоду теорії та експерименту слід відкинути. Як міру розбіжності між теорією (np) та експериментом (n) використовують критерій [64]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} \quad (3.9)$$

де k - кількість інтервалів.

Якщо з таблиць [64] значення χ^2 при різних P_{χ^2} відповідає довірчій ймовірності $P=0,95$ (або 5% рівню статистичної значущості), можна стверджувати з ймовірністю помилки 5%, що вибірка сумісна з сукупністю.

Середню інтенсивність обслуговування розрахуємо за такою формулою[64]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k f_i x_i}{n} \quad (3.10)$$

де $\bar{x}$ - середнє значення інтенсивності обслуговування,

f_i - частота потрапляння в даний інтервал;

x - серединне значення i -го інтервалу;

k - кількість інтервалів;

n - обсяг вибірки.

3.3 Методика розрахунку програми перевезень

Алгоритм визначення оптимальної структури парку рухомого складу міського пасажирського транспорту реалізується у комп'ютерній програмі мовою програмування Delphi за допомогою реляційної СУБД MicrosoftAccess.

В базі даних маршрути описуються такими реляційними відносинами:

$RtLst(Nb, L, To)$ - список маршрутів,

де Nb - номер маршруту;

L - довжина маршруту, км;

To - час обороту, годину.

$TripLst(Nb, Dir, L, Vc)$ - список рейсів,

де Dir - напрямок (А або В);

L - довжина рейсу, км;

Vc - швидкість повідомлення, км / год.

$RtIt(Nb, Dir, NbRec, Id, L, Lsm, Nm)$ - перегони маршрутів,

де $NbRec$ - номер перегону;

Id - ідентифікатор пункту зупинки;

Nm - найменування зупиночного пункту;

L - довжина перегону, км;

Lsm - відстань від першого пункту рейсу, км;

Транспортний попит (матриця пасажирських кореспонденцій)
представлений таким відношенням: TrCorrM (IdBBS, IdEBS, NbPs, PsKm),

де IdBBS - пункт зупинки початку поїздки; IdEBS - пункт призначення;
NbPs - кількість поїздок;

PsKm - пасажирообіг, пас-км.

На мережі є конкуруючі маршрути, тобто. деякі пасажирські кореспонденції
можуть бути реалізовані за кілька маршрутів.

В розрахунках використовується матриця пасажирських кореспонденцій,
отримана з транзакцій безготівкового розрахунку за проїзд у міському
пасажирському транспорті.

Внаслідок обробки транзакцій безготівкового розрахунку формується
середньозважена матриця пасажирських кореспонденцій за робочий день. Кожен
елемент даної матриці визначений так:

$$\overline{x_{ij}} = \frac{\sum_d x_{ij}^d}{N_p}, d \in D_p \quad (3.11)$$

де x_{ij} - кількість кореспонденції між зупиночними пунктами i та j за d -й
день;

N_p - кількість робочих днів у розрахунковому періоді;

D_p - безліч робочих днів у розрахунковому періоді.

У процесі розрахунку фіксуються варіанти допустимої програми
перевезень, які описуються за допомогою наступних реляційних відносин:

Var(Id,Lsm,Ps,PsKm,MKm,Anb,Kv,Ps _Кт,ОК) - інтегровані дані,

де Id-ідентифікатор;

Lsm - сумарний пробіг по маршрутах, км;

Ps-кількість пасажирів, пас;

PsKm-транспортна робота, пас-км;

МКт - сумарна кількість місць-кілометрів;

Anb - загальна кількість автобусів;

Kv - середній коефіцієнт використання місткості через мережу;

Ps_Km - середня кількість пасажирів, що припадають на один кілометр пробігу маршрутами, км;

OK - службовий атрибут.

Varlt(ld, Nb, a, AT, NbPs, PsKm, L, PlcKm, Kv, Ps _Km,ACI\, ANb,Wk) - програма перевезень у розрізі маршрутів

деNb - номер маршруту;

a - штенсивність руху по маршруту, од / год;

AC1 - клас транспортного засобу;

NbPs - кількість пасажирів;

PsKm - пасажирообіг, пас-км;

L - пробіг за маршрутом, км;

PlcKm - кількість місце-кілометрів;

Kv - коефіцієнт динамічного використання місткості;

Ps_Km - кількість пасажирів, що припадають на один кілометр пробігу за маршрутом, пас/км;

AC11 - клас рухомого складу, визначений першому етапі розрахунку;

ANb - кількість рухомого складу на маршруті, од.;

Wk - службовий атрибут.

Автобуси за місткістю поділяються на такі класи: особливо великий, великий, середній, малий, особливо малий. При виконанні проектних розрахунків деяка незручність р використанням автобусів середнього класу, які мають широкий діапазон місткостей. У зв'язку з цим у цій роботі середній клас автобусів

поділяється на два підкласи: середній (місткістю 75 пасажирів) та середній 1 (місткістю 50 пасажирів).

Для кожного класу автобуса встановлюється мінімальне значення кількості пасажирів на один кілометр пробігу маршрутом, що забезпечує рентабельну роботу транспортної організації.

3.4 Нормування використання місткості рухомого складу міського пасажирського транспорту

Для проведення експериментальних досліджень техніко-експлуатаційних показників використовувалися дані обстеження пасажиропотоків у місті Житомирі, методика якого описана у п. 3.1.

Необхідні для нормування коефіцієнта використання місткості рухомого складу параметри пасажирських потоків, отримані в результаті обстеження, дано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Параметри пасажирських потоків міста Житомира

Параметр	Значення
Коефіцієнт внутрішньогодинної нерівномірності пасажирських потоків (k_r)	1,1
Коефіцієнт нерівномірності розподілу транспортного навантаження по довжині маршруту (k_m)	1,9
Коефіцієнт нерівномірності за напрямками маршруту (k_t)	1,16

Використовуючи запропоновану методику розрахунку отримано, що коефіцієнт динамічного використання місткості за один оборот по маршруту в піковий період не може бути вище 0,41, інакше на найбільш завантаженому перегоні маршруту буде спостерігатися перевищення місткості рухомого складу(рис. 3.1).

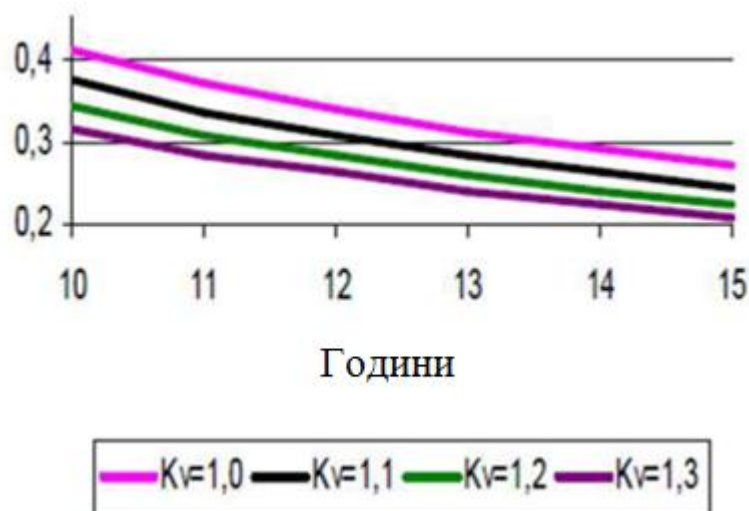


Рис. 3.1 - Залежність середнього коефіцієнта використання місткості за день роботи транспорту від середнього часу роботи рухомого складу та нерівномірності швидкості повідомлення K_v

Залежності, наведені у табл. 3.2 дійсні за умови використання рухомого складу в обох пікових періодах, тобто середній час роботи рухомого складу лінії не може бути менше 10 годин.

Таблиця 3.2

Залежність середнього коефіцієнта використання місткості за день роботи транспорту від середнього часу роботи рухомого складу та нерівномірності швидкості сполучення

Середній час роботи транспортної одиниці, год.	Коефіцієнт нерівномірності пікового періоду	Середній коефіцієнт використання місткості за робочий день			
		$K_v=1,0$	$K_v=1,1$	$K_v=1,2$	$K_v=1,3$
10	1,01	0,41	0,37	0,34	0,31
11	1,11	0,37	0,34	0,31	0,28
12	1,21	0,34	0,31	0,28	0,26
13	1,31	0,31	0,28	0,26	0,24
14	1,41	0,29	0,26	0,24	0,22
15	1,51	0,27	0,24	0,22	0,21

3.5 Оцінка працездатності алгоритму розрахунку оптимальної структури парку рухомого складу (автобусів) з прикладу абстрактної маршрутної мережі

Щоб оцінити працездатності алгоритму розрахунку оптимальної структури парку рухомого складу (РС) розглянемо абстрактну маршрутну мережу, що з чотирьох вершин. На мережі організовано такі два маршрути: маршрут №1 включає пункти 1,2,3; маршрут №2 - пункти 1, 2 та 4. Матриця пасажирських кореспонденцій по даній мережі наведена у табл. 3.3., а класи рухомого мкладу в табл. 3.4.

Задано такі обмеження завдання:

- інтервал руху у межах від 2 до 10 хвилин, тобто інтенсивність руху за маршрутом: $2 < a_1 < 10$;

Таблиця 3.3

Матриця пасажирських кореспонденції, пас./год.

Пункт відправлення	Пункт прибуття				Всього
	1	2	3	4	
1	0	200	100	200	500
2	200	0	50	100	350
3	100	50	0	0	150
4	200	100	0	0	300
Всього	500	350	150	300	1300

Таблиця 3.4

Класи рухомого складу

Клас	Місткість	Мінімальне значення пас./км
Великий	100	3,0
Середній	75	2,0

В поставленій задачі обидва маршрути рівнозначні для пасажирів за технічними параметрами транспортних засобів, тарифами та якістю обслуговування. Таким чином, вважатимемо, що пасажир, який перебуває на зупинці, обирає перший транспортний засіб, що прибуває, маршрут якого проходить через пункт призначення пасажирів. Отже, кількість перевезених пасажирів певного маршруту прямо пропорційна до кількості виконаних рейсів або частоті руху автобусів за маршрутом.

Результати розв'язання задачі наведено у таблиці А.1 додатку А. У цій таблиці варіант 1 (підготовчий етап алгоритму) - це програма перевезень при максимальному інтервалі, що дорівнює 10 хвилин і рухомому складі великої місткості.

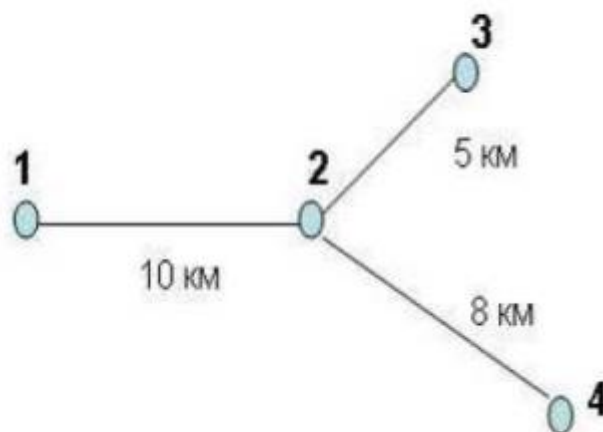


Рис. 3.5 - Схема абстрактної маршрутної мережі

У варіанті 2 знижуємо місткість транспортних засобів на маршруті 1, оскільки для нього не виконується обмеження за кількістю пасажирів, що припадають на один кілометр пробігу: за розрахунком 2,8 мінімальне значення 3,0.

У варіанті 3 збільшується інтенсивність руху маршрутом 2. У результаті виникла необхідність зменшити місткість рухомого складу для даного маршруту,

т.к. не виконується обмеження кількості пасажирів на кілометр пробігу (варіант 3).

Таким чином сформовано 12 варіантів розрахунку. На останньому 12 варіанті розрахунок завершено, оскільки досягнуто обмеження за місткістю та кількістю пасажирів на кілометр пробігу маршрутом 1.

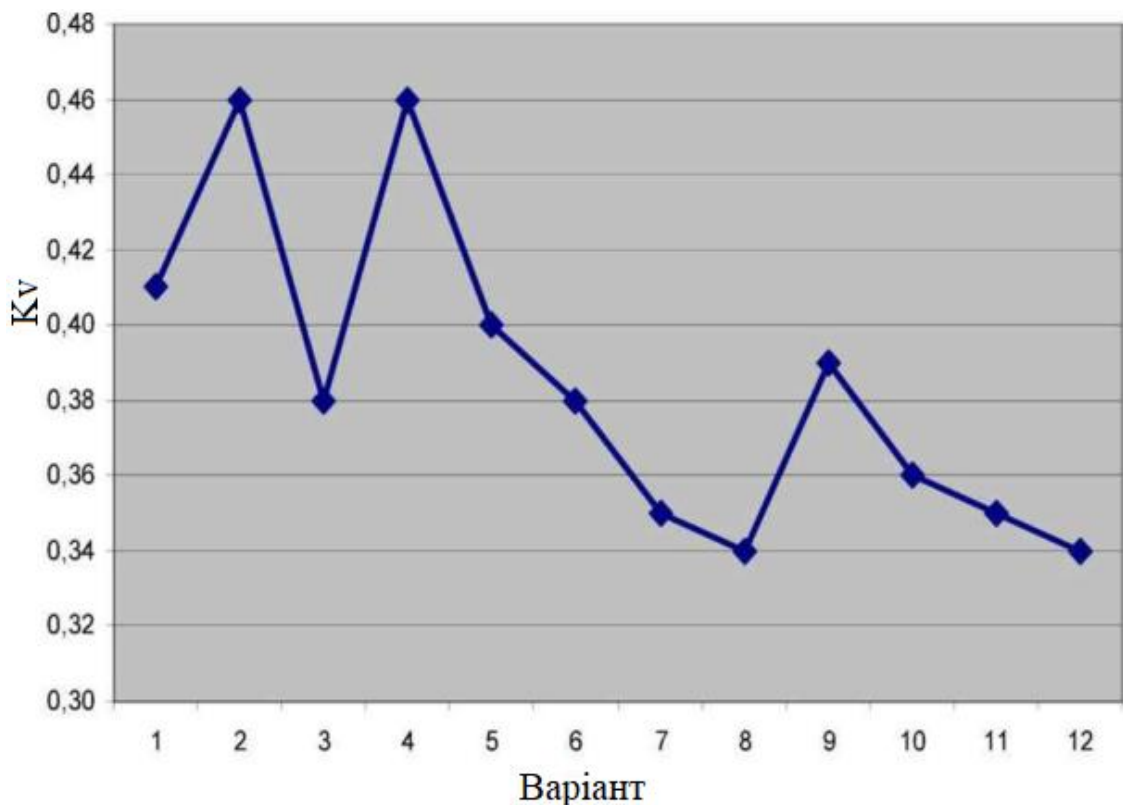


Рис. 3.6 - Залежність коефіцієнта динамічного використання місткості від варіанта програми перевезень

З графіка рис. 3.6 видно, що у цьому випадку існує два рівнозначних варіанти за значенням коефіцієнта динамічного використання місткості - це варіант 7 і варіант 11 (варіанти 8 і 12 не розглядаються, тому що не виконується обмеження за кількістю пасажирів на кілометр пробігу по маршруту) .

Висновки до розділу

1. Проведено аналіз методики проведення обстеження пасажирських потоків для умов автоматизованої обробки даних. За результатами обстеження отримують такі дані, що використовуються у подальших розрахунках:

- аналіз роботи маршрутів та зупиночних пунктів;
- основні техніко-експлуатаційні показники роботи транспортних засобів;
- пасажирські кореспонденції.

2. Розроблено методику обстеження роботи зупиночних пунктів для визначення параметрів пропускної спроможності залежно від кількості зупиночних місць та параметрів процесу обслуговування РС.

3. Проведено оцінку працездатності алгоритму розрахунку оптимальної структури парку автобусів на прикладі абстрактної маршрутної мережі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В ході магістерської роботи на тему «Визначення раціональної структури парку автобусів міського пасажирського транспорту» було розглянуто основні завдання, а також заходи щодо їх вирішення для оптимізації раціональної структури парку автобусів.

В роботі було проведено аналіз параметрів якості транспортного обслуговування населення автобусами міського пасажирського транспорту, який показав, що найважливішими параметрами ефективності є:

- регулярність руху транспортних засобів;
- наповнення рухомого складу (автобусів);
- інтервал руху;
- інформаційне забезпечення;
- безпека руху.

В основній частині дослідження проведено такі заходи:

- розроблено математичну модель для розрахунку програми перевезень пасажирів;
- сформульовано алгоритм розв'язання задачі визначення оптимальної програми перевезень пасажирів на маршрутній мережі;
- проведено дослідження функціонування модульної мережі міського пасажирського транспорту (автобусів);
- встановлена залежність пропускнуєї спроможності зупиночних пунктів та параметрів процесу обстеження рухомого складу(РС) на зупиночному пункті;
- дана оцінка працездатності алгоритму розрахунку оптимальної структури парку РС (автобусів) на прикладі абстрактної маршрутної мережі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні рекомендації для виконання магістерської дипломної роботи для магістрантів другого рівня вищої освіти за спеціальністю 274 Автомобільний транспорт галузі знань 27 Транспорт / О.П. Кравченко, Д.Б. Бегерський, А.В. Ільченко, Є.Г. Опанасюк, В.П. Шумляківський – Житомир: ЖДТУ, 2019. – 38 с.
2. Закон України «Про автомобільний транспорт» від 05.04.2001 р. №2344 – III.
3. Chumak A. ,Braaksma J. Implication of -the travel time budget for urban transportation modeling in Canada//Transp.Res, Res. - 1981, .. и 794. - p.19-27.
4. The fifth edition of the Highway Capacity Manual (HCM2010)
5. Eigen J. The changing role of transportation. // Transportation and the cities. USA, 1976.
6. Meyer J., Peckmann M., Wittmann E. Bedarfgesteuertes Bussystem RETAX. Die Komponenten des Systems. // Nahverkehr-Prax, 1977, №4.
7. Schroder H. Verbesserung der öffentlichen Verkehrsbedienung durch Busspuren. // Verkehr und Technik, 1975
8. Soliman A.N. Potential demands of a dial-a-bus system. // Traffic engineering and control, Dec. 1973.
9. Steyer J.H. City-bus; Fahrzeug und Karosserie/ // Nahverkehr-Prax., 1975, №9.
10. Milota K. Autobus na za volanou. Za voiantem., 12,1974.
11. Schlieske W., Stockermann H., Zeitvogel M. Bedarfgesteuertes Bussystem RETAX. // Nahverkehr-Prax., 1981, 29, №9.
12. Босняк М.Г. Пасажирські автомобільні перевезення / М.Г. Босняк. – К. Видавничий дім «Слово», 2009 – 272 с.
13. Біліченко В.В. «Оптимізація розвитку маршрутної мережі шляхом вибору раціональної кількості і пасажиромісткості автобусів при одночасному використанні різних режимів руху» / В. В. Біліченко, С.О. Романюк // Свідectво на реєстрацію авторського права на твір №37394 – Київ:МОНУ. Державних департамент інтелектуальної власності. – Дата реєстрації 16.03.2011.

14. Ігнатенко О.С. «Організація автобусних перевезень у містах» / О.С. Ігнатенко, В.С. Маруніч – К. : УТУ, 1998. – 196 с.

15. Ігнатенко О.С., Маруніч В.С. та ін. І 264 Пасажирські перевезення: підручник перша частина/ за ред. проф. О.С. Ігнатенко, доц. В.С. Маруніча – К.: НТУ, 2017. – 283 с.

16. Ігнатенко О.С., Маруніч В.С. та ін. І 264 Пасажирські перевезення: підручник друга частина/ за ред. проф. О.С. Ігнатенко, доц. В.С. Маруніча – К.: НТУ, 2017. – 265 с.

17. Вовк Ю.Я., Вовк І.П. Основи теорії транспортних процесів і систем. Навчальний посібник (курс лекцій). – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2021. – 104 с.

18. Міський транспорт: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю «Міське будівництво та господарство»/Н.І. Ільчук. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2010. – 96 с.

19. Організація та логістика перевезень [Електронний ресурс] : підручник / М. С. Ізтелеуова, І. В. Грицук, П. М. Арімбекова, Л. А. Тарандушка . — Херсон : Олді-плюс, 2021 . — 264 с.

20. Гордієнко С. М. Міський транспорт : конспект лекцій (для студентів денної та заочної форм навчання та слухачів другої вищої освіти, спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія) / С. М. Гордієнко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 98 с.

ДОДАТКИ

Додаток А
Результати розрахунку по модельній мережі

Таблиця А.1 - Результати розрахунку по модельній мережі

Варіант	Змінний параметр	Інтенсивність, од./год.	Місткість, пас.	Пасажирів за год.	Пас.-км	Місце-км	K _v	Пробіг, км/год.	Пас./км	K _v загал
Маршрут 1										
1		6	100	500	5500	18000	0,31	180	2,8	
2	Клас автобуса	6	75	500	5500	13500	0,41	180	2,8	
3		6	75	471	5214	13500	0,38	180	2,6	
4		6	75	471	5214	13500	0,38	180	2,6	
5		6	75	450	5000	13500	0,37	180	2,5	
6	Частота	7	75	465	5147	15750	0,32	210	2,2	
7		7	75	456	5056	15750	0,32	210	2,2	
8	Частота	8	75	468	5184	18000	0,29	240	2,0	
9	Клас автобуса	8	50	468	5184	12000	0,43	240	2,0	
10	Частота	10	50	490	5405	15000	0,36	300	1,6	
11	Частота	11	50	500	5500	16500	0,33	330	1,5	
12	Частота	12	50	109	5587	18000	0,31	360	1,4	
Маршрут 2										
1		6	100	800	10800	21600	0,50	216	3,7	0,41
2		6	75	800	10800	21600	0,50	216	3,7	0,46
3	Частота	8	75	829	11086	28800	0,38	288	2,8	0,38
4	Клас автобуса	8	75	829	11086	21600	0,51	288	2,8	0,46
5	Частота	10	75	850	11300	27000	0,42	360	2,4	0,40
6		10	75	835	11153	27000	0,41	360	2,3	0,38
7	Частота	11	75	844	11244	29700	0,37	396	2,1	0,35
8		11	75	832	11160	29700	0,37	396	2,1	0,34
9		11	75	832	11160	29700	0,37	396	2,1	0,39
10		11	75	810	10895	29700	0,37	396	2,0	0,36
11		11	75	800	10800	29700	0,36	396	2,0	0,35
12		11	75	791	10713	29700	0,36	396	2,0	0,34