

Василенко Т.Є., к.е.н., Фесенко Д.В., Дульнявка О.Й.

АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ЧАСУ ОЧІКУВАННЯ ПАСАЖИРАМИ НА АВТОБУСИ НА СУМІСНІЙ ДІЛЯНЦІ МАРШРУТІВ

Запропоновано структурну схему взаємозв'язків між основними елементами процесу переміщення пасажирів у міському сполученні автобусним транспортом та встановлено закономірності і характеристики розподілу елементів часу очікування пасажирями на автобуси на сумісній ділянці руху маршрутів у районі зупиночного пункту «пл. Леніна».

Постановка наукової проблеми

У теперішній час, у зв'язку з роздержавленням пасажирських автотранспортних підприємств на ринку транспортних послуг, з'явилася велика кількість перевізників різних форм власності (100,1 тис. суб'єктів господарювання), у яких в наявності перебувають 321,3 тисячі автобусів [1].

Держава фактично ліквідувала свою монополію на міські автобусні перевезення. При цьому вона залишила за собою лише законодавчу та контролюючу функції, що полягають у формуванні законодавчо-нормативної бази, цінової політики, проведення тендерів на одержання перевізником права обслуговувати пасажирів на маршрутах міста, сертифікації транспортних засобів і т.ін. Однак цього виявилось недостатньо для формування належного базису, який би забезпечив ефективне функціонування такої системи.

Як наслідок, склалася ситуація, коли структура та кількість рухомого складу перевізників не є раціональною. Так, на маршрутах, що проходять через центр міста і є рентабельними, кількість автобусів, особливо на сумісних ділянках руху, необґрунтовано велика. Ця обставина викликає перевантаження вулично-дорожньої мережі, зниження її пропускної здатності, швидкостей руху. В результаті цього автобуси не дотримуються заданих інтервалів руху, що збільшує час переміщення пасажирів автобусами.

У зв'язку з цим оптимізація часу переміщення та прогнозування тенденцій його зміни особливо за існуючих ринкових умов та наявності жорсткої конкуренції між державним та приватним транспортом є актуальною задачею.

Аналіз публікацій

Переміщення є частиною перевізного процесу пасажирів. Під перевізним процесом розуміють сукупність організаційно і технологічно взаємозалежних дій і операцій, що виконуються під час підготовки, здійснення і завершення перевезень пасажирів. Різні елементи перевізного процесу характеризує час пересування.

На даний час у науковій і навчальній літературі відсутня єдина думка щодо структури перевізного процесу. На підставі аналізу літературних джерел виявлено основні елементи перевізного процесу пасажирів: користування вертикальним транспортом (ліфтом), підхід до зупинки транспорту в пункті відправлення (призначення), очікування на транспортний засіб, подача рухомого складу, рух в автобусі, вихід із транспортного засобу, пересадка з одного транспортного засобу на іншій, додаткове очікування на автобус через відмову в посадці внаслідок переповнення транспорту [2-7].

Встановлено, що структура перевізного процесу не враховує повністю всі складові переміщення пасажирів, наприклад, відсутні такі елементи перевізного процесу як очікування на посадку до автобуса, посадка до транспортного засобу. Як наслідок, це не дозволяє обґрунтовано визначити час пересування пасажирів автобусами у міському сполученні.

Тому **метою роботи** є конкретизація всіх елементів переміщення пасажирів та дослідження закономірностей розподілу часу очікування пасажирів на автобуси на сумісній ділянці їх руху в районі зупиночного пункту «пл. Леніна».

Основні результати дослідження

На підставі аналізу наукової літератури та натурних досліджень на шістьох маршрутах міського пасажирського автобусного транспорту м. Горлівка пропонуємо структуру переміщення пасажирів, яка надана на рис. 1. Від попередньої вона відрізняється тим, що встановлює взаємозв'язок між основними елементами процесу переміщення пасажирів та уточнює час очікування (t_{oc}) пасажирів на автобус на зупиночному пункті, який складається з часу очікування пасажиром на автобус (t_{oc}^a), часу очікування посадки до автобуса через чергу пасажирів, що виходять з автобуса і чергу пасажирів, що утворилася перед дверима автобуса (t_{oc}^n), та часу посадки до автобуса (t_n), *хв.*:

$$t_{oc} = t_{oc}^a + t_{oc}^n + t_n. \quad (1)$$

Оскільки основною характеристикою перевізного процесу є час пересування (t_{nep}), то згідно запропонованої схеми основних елементів процесу переміщення пасажирів він буде становити

$$t_{nep} = t_{nid} + (t_{oc}^a + t_{oc}^n + t_n) + t_{pyx} + t_{вих} + t_{від} + t_n + t_е, \quad (2)$$

де t_{nid} — час на підхід до зупиночного пункту, *хв* (табл. 1);
 t_{oc} — час на очікування транспортного засобу на зупиночному пункті, *хв* (табл. 1);
 t_{pyx} — час на рух у транспортному засобі, *хв* (табл. 1);
 $t_{вих}$ — час виходу з рухомого складу, *хв*;
 $t_{від}$ — час на підхід від зупинки транспорту в пункті прибуття до місця призначення, *хв*;
 t_n — час на пересадку з одного транспортного засобу до іншого, *хв* (табл. 1);
 $t_е$ — час очікування на автобус через відмову у посадці внаслідок переповнення транспорту, *хв* (табл. 1).

За умов рівномірної щільності мережі на території міста час руху пасажирів після посадки (відстань до об'єкта тяжіння) приймається у розрахунках чисельно рівним часу підходу до засобів транспорту $t_{nid} = t_{від}$, тому повний час на пересування знаходимо за формулою, *хв.*:

$$t_{nep} = 2t_{nid} + (t_{oc}^a + t_{oc}^n + t_n) + t_{pyx} + t_{вих} + t_n + t_е. \quad (3)$$

У таблиці 1 $v_{ниш}$ — швидкість пішого пересування, *км/год*; σ — середня щільність маршрутної мережі, *км/км²*; l_{nep} — середня довжина перегону на маршруті, *км*; $L_{заг}$ — загальна довжина маршрутів у прямому та зворотному напрямку, *км*; $N_{зуп}$ — кількість зупиночних пунктів на маршруті, *од.* (на маятникових маршрутах враховується один із двох кінцевих зупиночних пунктів); L_m — середня відстань між транспортними лініями, *км*; $V_{ниш}$ — швидкість пішохода, *м/хв*; λ — щільність маршрутної мережі міста, *км/км²*; z — загальна протяжність маршрутної мережі, *км*; h — кількість зупиночних пунктів на маршрутах, *од*; l_n — відстань переміщення пасажирів, *м*; v_c — швидкість сполучення на маршруті, *км/год*; $l_{сер}$ — середня дальність переміщення пасажирів, *км*; K_{nep} — коефіцієнт пересадочності; $\gamma_{дин}$ — динамічний коефіцієнт використання місткості автобусів; $t_{зн}$ — середня тривалість простою автобусу на зупиночному пункті, *хв*; I — плановий (розрахунковий) інтервал руху на маршруті, *хв*; σ_I — середньоквадратичне відхилення від планового інтервалу руху; K_c — коефіцієнт графічності руху (коефіцієнт виконання рейсів); K_y — коефіцієнт якості руху (коефіцієнт регулярності за рейсами); i — середній інтервал руху транспорту на маршруті, *хв*; Δi — відхилення за часом прибуття та відправлення транспорту на контрольні пункти маршруту, *хв*; I_m — середній ма-

ршрутний інтервал руху, xv ; $P_{від}$ — ймовірність відмови пасажирів на посадку до рухомого складу через обмежену пасажиромісткість; I_{ef} — ефективний інтервал руху на маршруті, xv .

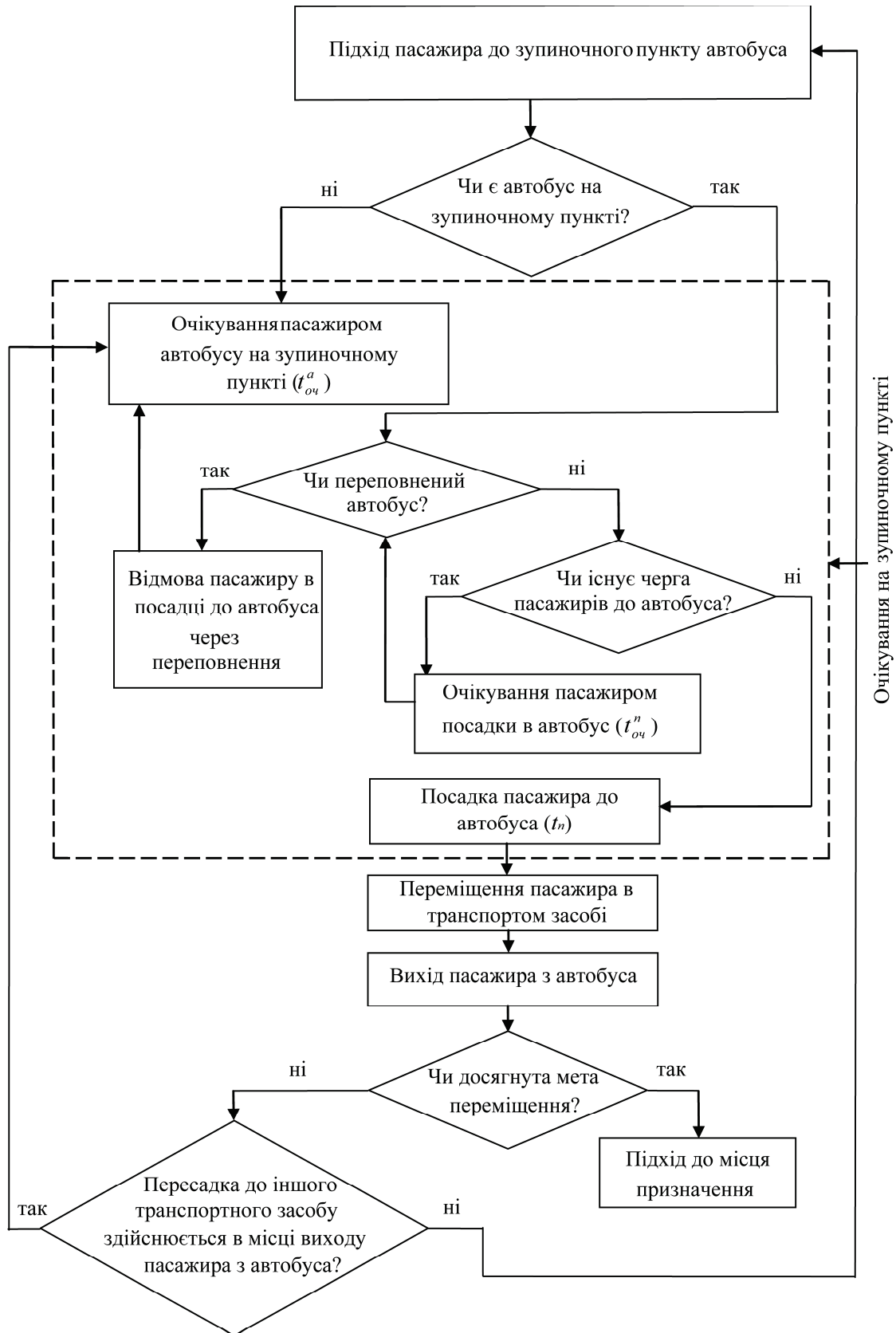


Рис. 1. Схема основних елементів переміщення пасажирів

Таблиця 1

Витрати часу на переміщення пасажирів

Автор	Формула	№ формули
$t_{ni\delta}$		
Гудков В.О., Блатнов М.Д., Спирін Й.В., Самойлов Д.С.	$t_{ni\delta} = \frac{60}{v_{niu}} \left(\frac{1}{3\sigma} + \frac{l_{nep}}{4} \right)$	4
Штанов В.Ф., Рева В.М., Большаков О.М., Островський Н.Б., Скірковський С.В., Гаврилов О.О.	$t_{ni\delta} = 0,0075 \left(\frac{2000}{\delta} + \frac{1000L_{заз}}{N_{zyn}} \right)$	5
Касаткін Ф.П., Коновалов С.І.	$t_{ni\delta} = \frac{2 \cdot 60}{v_{niu}} \left(\frac{L_m}{4} + \frac{l_{nep}}{4} \right)$	6
Зільберталь А.Х.	$t_{ni\delta} = \frac{1}{V_{niu}} \left(\frac{100}{\lambda} + \frac{z}{4h} \right)$	7
t_{pyx}		
Гудков В.О.	$t_{pyx} = 60l_n / v_c$	8
Спирін Й.В., Самойлов Д.С.	$t_{pyx} = 60l_{cep} / v_c$	9
Гаврилов О.О., Ефіменко В.О.	$t_{pyx} = 60l_n K_{nep} / v_c$	10
Штанов В.Ф., Рева В.М., Большаков О.М., Островський Н.Б., Скірковський С.В.	$t_{pyx} = 60l_{cp} K_{nep} / v_c$	11
t_n		
Штанов В.Ф., Спирін Й.В., Рева В.М., Скірковський С.В., Горбанев Р.В., Островський Н.Б., Афанасьєв Л.Л., Варелопуло Г.О.	$t_n = (K_{nep} - 1) \cdot (0,015l_{nep} + t_{oc})$	12
t_{σ}		
Рева В.М., Штанов В.Ф.	$t_{\sigma} = 30K_{nep} \left(2 - K_2 - \frac{1}{\gamma_{оин}} \right)$	13
Касаткін Ф.П., Коновалов С.І., Островський Н.Б.	$t_{\sigma} = (l_{cep} / l_{nep} - 1) \cdot t_{zn}$	14
t_{oc}		
Гудков В.О., Касаткін Ф.П., Коновалов С.І., Самолов Д.С., Большаков О.М., Островський Н.Б.	$t_{oc} = \frac{I}{2}$	15
Гудков В.О.	$t_{oc} = (I + 3\sigma_I) / 2$	16
Рева В.М.	$t_{oc} = \frac{1}{2} \left[3 - 2K_2 + 2K_2(1 - K_{\pi}) \left(\frac{\Delta i}{i} \right)^2 \right]$	17

Продовження табл. 1

Автор	Формула	№ формули
Штанов В.Ф.	$t_{оч} = \frac{I}{2} \left[3 - 2K_c + (1 - K_y) \left(\frac{\Delta i}{i} \right)^2 \right]$	18
Скірковський С.В.	$t_{оч} = \frac{I}{2} \left[1 + \left(\frac{1}{K_y} - K_c \right) \left(\frac{\Delta i}{I_m} \right)^2 \right]$	19
Спірін Й.В., Антошвілі М.Є., Зільберталь А.Х.	$t_{оч} = \frac{I}{2} + \frac{\sigma_I^2}{2I} + P_{вид} I_{ef} = (0,5 + P_{вид}) I_{ef}$	20
Гаврилов О.О., Ефіменко В.О.	$t_{оч} = \frac{I}{2} \left[1 + \left(\frac{\sigma_i}{I} \right)^2 + 2P_{вид} \right]$	21

Аналіз елементів пересування пасажирів у частині скорочення витрат часу на переміщення показує, що час пішого пересування залежить від швидкості пішоходу, конфігурації і щільності маршрутної мережі, довжини перегону, загальної довжини маршрутів у прямому і зворотному напрямку, кількості зупиночних пунктів на маршрутах. Зниження часу на підхід до зупиночного пункту і підхід від місця висадження до місця призначення вимагає збільшення щільності маршрутної мережі, кількості зупинок на маршрутах і загальної довжини маршрутів, що в ряді випадків не було здійснено із боку перевізника або потребує значних капітальних вкладень.

На тривалість руху у транспортному засобі впливають відстань поїздки, швидкість сполучення, відсутність пересадки на шляху проходження, якісні властивості транспортної послуги (швидкість переміщення, доступність у часі, надійність, регулярність, точність, ритмічність), організаційний фактор. У свою чергу, скорочення часу на рух у автобусі вимагає збільшення швидкості сполучення, тобто збільшення технічної швидкості і зменшення часу простою на проміжних зупиночних пунктах. Збільшення технічної швидкості практично неможливо за умовою безпеки дорожнього руху, а зменшення часу простою на проміжних зупиночних пунктах викликає погіршення якості обслуговування пасажирів.

Час виходу із транспортного засобу залежить від наповнення салону рухомого складу пасажирями, конструктивних особливостей посадкових пристроїв різних типів автобусів і від пори року.

Витрати часу пасажирів на пересадку із одного транспортного засобу до іншого залежать від відстані переходу від одного зупиночного пункту до іншого та часу очікування автобуса.

На час очікування на автобус через відмови на посадку внаслідок переповнення рухомого складу впливають регулярність руху, ступінь наповнення салону автобусів, середня дальність переміщення пасажирів, середня довжина перегону, середня тривалість простою автобуса на зупинному пункті, а також тривалість періоду пік.

Витрати часу на очікування транспорту у загальному виді визначаються трьома факторами: інтервалом руху на маршруті, точністю дотримання розкладу руху водіями, пасажиромісткістю використовуваних транспортних засобів [2].

Таким чином, регульованим із точки зору перевізника є тільки час очікування на автобус на зупиночному пункті.

Розглянемо більш докладно елементи витрат часу на очікування автобуса.

Час очікування пасажиром на автобус ($t_{оч}^a$) на зупиночному пункті залежить від інтервалу руху автобусів. У реальних умовах інтервал руху автобусів на маршруті є імовірнісною величиною, розподіленою відповідно до закону нормального розподілу. На основних маршрутах (найважливіші маршрути, що підвозять робітників до великих організацій міста) інтервали руху не повинні перевищувати 4-5 хвилин, на інших маршрутах — 20-30 хвилин, тому $t_{оч}^a = 2,5$ хв [2].

Очікування посадки ($t_{оч}^n$) пасажирів на автобус залежить від:

1. Часу на технічні операції, тобто часу на точний під'їзд до зупиночного пункту, відкриття дверей рухомого складу. Затримка відкриття дверей залежить від типу автобуса і складає від однієї до 6 с і більше. В середньому на операцію відкриття дверей витрачається 2-3 с. Нормативна величина її може бути прийнята 2 с, тобто 0,033 хв [2].

2. Часу на вихід пасажирів з автобуса. Він знаходиться у прямої залежності від пасажирообміну зупиночного пункту. Із ростом класу транспортного засобу час на вихід із автобуса знижується. Нормативне значення часу на вихід пасажирів з автобуса становить 1,2-1,3 с [2].

3. Черги пасажирів, що утворилася перед дверима автобуса. Черга пасажирів утворюється, коли величина питомого пасажирообміну зупиночного пункту перевищує максимальне значення питомого пасажирообміну для обраного класу транспортного засобу. Кількість пасажирів (черга), що утворюється на зупиночному пункті, є імовірнісною величиною, яка залежить від інтенсивності приходу пасажирів до зупиночного пункту транспорту. Інтенсивність підходу пасажирів до зупинок описується законом Пуассона. Дане припущення справедливе тільки у непікові періоди доби [3]. Автори Бауман та Турнквіст [8] пропонують описувати прибуття пасажирів до зупиночного пункту законом нормального (гауссовського) розподілу. Запропонована модель є ефективною у випадку великих інтервалів руху (більше 10 хвилин).

Час посадки (t_n) залежить від наповнення салону транспортного засобу пасажирями, конструктивних особливостей посадкових пристроїв різних типів автобусів і від пори року. Для сучасного рухомого складу час на посадку одного пасажирів можна вважати близьким біля значення 1,2 с, тобто 0,02 хв (з числом пасажирів, що одночасно заходять, понад 12 чоловік). За умов зменшення пасажирообороту відбувається різке наростання часу посадки, досягаючи 2,5 с на одного пасажирів, що входить [2].

Таким чином, час очікування пасажирями на міський автобусний транспорт згідно (1) повинен орієнтовно дорівнювати:

$$t_{оч}^{норм} = t_{оч}^a + t_{оч}^n + t_n = 2,5 + 0,033 + 0,02 = 2,553 \text{ хв} .$$

Елементи часу очікування на автобус (час очікування на автобус, час очікування посадки до автобуса та час посадки) є випадковими величинами. Для виявлення закономірностей їх розподілу було проведено дослідження на сумісній ділянці руху шістьох маршрутів у вигляді вибіркового спостереження у районі зупиночного пункту «пл. Леніна». Виділеними ознаками реєстрації під час спостереження є номер маршруту, тип транспортного засобу, інтервал руху автобусів (час очікування на автобуси), наповнення транспортного засобу, кількість пасажирів перед дверима автобуса на зупиночному пункті, час виходу пасажирів з транспортного засобу, час посадки до автобуса.

Облік проводився 2 тижні (п'ять робочих днів) в обідній час протягом 30 хвилин у період з 23 жовтня по 2 листопада 2008 року. Збір первинних даних включає фіксування встановлених характеристик на бланку реєстрації. Відзначимо, що під час проведення спостереження користуємося вимірюванням. У нашому випадку засобом контролю є секундомір. Різниця між часом прибуття автобусів на зупиночний пункт являє собою час очікування пасажирями на автобус $t_{оч}^a$. Для встановлення часу очікування на посадку ($t_{оч}^n$) враховуємо час виходу пасажирів з транспортного засобу, час на відкриття дверей (2 с) та час на посадку черги пасажирів, що утворилася перед дверима автобуса. Час посадки (t_n) вимірюємо для всієї кількості пасажирів, що входять до автобуса, а потім встановлюємо для одного пасажирів

шляхом ділення загального часу посадки на кількість пасажирів, що увійшли до салону на зупиночному пункті. Наповнення кожного транспортного засобу під час його прибуття на зупиночний пункт визначаємо за допомогою силуетного методу. Візуально оцінюємо наповнення «на провіт» на основі типових силуетів шести видів та записуємо наповнення автобуса найбільш схожому силуетові. Обробка даних, отриманих у ході проведення силуетного обстеження, полягає у визначенні фактичного числа пасажирів, що відповідають тому або іншому силуетові для даного типу рухомого складу. Під час дослідження спостерігалися автобуси ЛАЗ 695Н, ПАЗ 672, Богдан А-092.

Після проведення вибіркового спостереження на підставі отриманих даних обчислюємо необхідний обсяг вибірки, яка із встановленою ймовірністю забезпечить потрібну точність результатів спостереження:

$$n = \frac{t^2 \sigma^2}{\Delta^2} = \frac{2^2 \cdot 81264,79}{60^2} = 90 \text{ од}, \quad (24)$$

де t — коефіцієнт довіри, величина якого залежить від рівня ймовірності P . Приймаємо $t = 2$ при рівні ймовірності $P = 0,9545$;

σ^2 — проста вибіркова дисперсія, яка становить середню арифметичну з квадратів відхилень індивідуальних значень інтервалів руху від їх середнього значення:

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n} = 81264,79, \quad (25)$$

Δ — гранична помилка репрезентативності; приймаємо 60 с.

Отримані дані вибіркового спостереження в районі зупиночного пункту «пл. Леніна» були оброблені за допомогою пакету Excel. Підтверджено, що закономірність розподілу часу очікування на автобус має нормальний закон розподілу, та встановлено, що час очікування на посадку і час посадки до автобуса мають експоненціальний закон розподілу, а також визначено відхилення елементів часу очікування від середнього значення. Для побудови графічних залежностей виконується оцінка параметрів розподілу [9].

Результати отриманих закономірностей розподілу наведено на рис. 2, 3, 4.



Рис. 2. Розподіл часу очікування пасажирами на автобус



Рис. 3. Розподіл часу очікування посадки пасажирами до автобуса

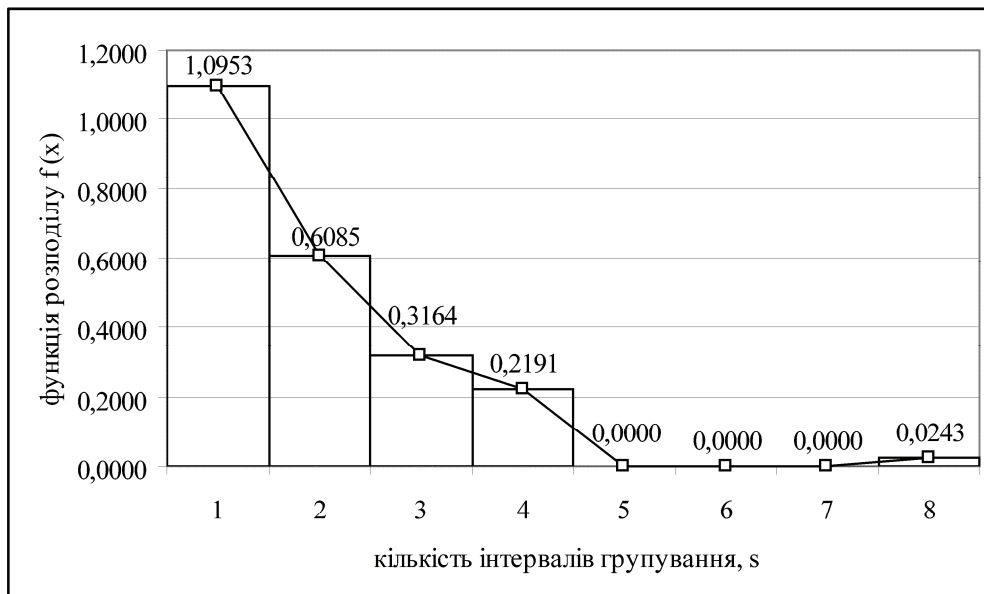


Рис. 4. Розподіл часу посадки пасажирів до автобуса

Основні характеристики елементів часу очікування пасажирами на автобуси розраховані також за допомогою пакету Excel та наведені у табл. 2.

Отже, найбільш імовірна величина часу очікування пасажирами на автобус становить $4,27 \pm 0,8$ хв, часу очікування посадки пасажирами до автобуса — $0,159 \pm 0,027$ хв, часу посадки до автобуса — $0,021 \pm 0,0035$ хв. Таким чином

$$t_{оч}^{факт} = t_{оч}^a + t_{оч}^n + t_n = (3,47 \div 5,07) + (0,132 \div 0,186) + (0,0175 \div 0,0245) = 3,62 \div 5,28 \text{ хв.}$$

Порівнявши $t_{оч}^{факт}$ із нормативним значенням ($t_{оч}^{норм} = 2,553$ хв) можна зробити висновок, що час очікування пасажирами на автобуси на сумісній ділянці руху маршрутів у районі зупиночного пункту «пл. Леніна» перевищує нормативне значення у 1,4-2,1 рази.

Застосування у подальших дослідженнях отриманих закономірностей та характеристик розподілу елементів часу очікування пасажирами на автобуси міського транспорту до-

зволить скоротити його витрати шляхом визначення оптимальної кількості автобусів на маршрутах за допомогою імітаційної моделі.

Таблиця 2

Характеристики розподілу елементів часу очікування

Параметр	Кількість вибірових даних	Середнє значення	Мінімальне значення	Максимальне значення	Стандартне відхилення
Характеристики розподілу часу очікування пасажирями автобуса					
Значення	139	4,27 хв	0,75 хв	22,8 хв	0,8 хв
Характеристики розподілу часу очікування посадки пасажирями до автобуса					
Значення	132	9,54 с	2 с	29 с	1,64 с
Характеристики розподілу часу посадки пасажирів до автобуса					
Значення	113	1,24 с	0,67 с	3,50 с	0,21 с

Висновки

У статті запропоновано структурну схему взаємозв'язків між основними елементами процесу переміщення пасажирів у міському сполученні автобусним транспортом, виявлено та досліджено нові елементи часу очікування у вигляді часу очікування на автобус, часу очікування на посадку та часу посадки до автобуса. Встановлено закономірності й характеристики розподілу елементів часу очікування на окремому зупиночному пункті «пл. Леніна» сумісної ділянки шістьох маршрутів. Так, підтверджено, що закономірність розподілу часу очікування на автобус має нормальний закон розподілу, та виявлено, що час очікування посадки і час посадки до автобуса мають експоненціальний закон розподілу.

Список літератури

1. Статистичний щорічник України за 2007 / [За редакцією О.Г. Осауленка]. — К.: Держкомстат України, 2008. — 571 с. — Режим доступу до видання: www.ukrstat.gov.ua
2. Спирин И.В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: учебник для студентов учреждений сред. проф. образования / И.В. Спирин. — 3-е изд., испр. — М.: Издательский центр «Академия», 2007. — 400 с.
3. Антошвили М.Е. Организация городских автобусных перевозок / М.Е. Антошвили. — М.: Транспорт, 1985. — 102 с.
4. Большаков А.М. Повышение качества обслуживания пассажиров и эффективности работы автобусов / А.М. Большаков, Е.А. Кравченко, С.Л. Черникова. — М.: Транспорт, 1981. — 206 с.
5. Варелопуло Г.А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте / Г.А. Варелопуло. — М.: Транспорт, 1990. — 208 с.
6. Володин Е.П. Организация и планирование перевозок автомобильным транспортом: учебник / Е.П. Володин, Н.И. Громов. — М.: Транспорт, 1982. — 224 с.
7. Управление пассажирским автотранспортом: справоч. пособие / В.М. Рева, Ю.С. Лигум, М.А. Вайншток, В.Е. Сотников / под ред. Ю.С. Лигума. — К.: Техника, 1985. — 167 с.
8. Автомобильный транспорт: Экспресс-информ. Серия 3. Пассажирские перевозки автомобильным транспортом / ЦБНТИ М-ва автомоб. трансп. РСФСР. — 1983. — Вып. 1. — С. 1-16.
9. Айвазян С.А. Прикладная статистика в задачах и упражнениях: учебник для ВУЗов / С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. — 270 с.

Стаття надійшла до редакції 06.04.09

© Василенко Т.Є., Фесенко Д.В., Дульнявка О.Й., 2009