

Литвин В.В., Клименко І.Ю., Кучер О.Л.

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна***РОЗРОБКА ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИХ НОРМ ТРИВАЛОСТІ РЕЙСУ АВТОБУСІВ ЗА ПЕРІОДАМИ ДОБИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РЕГУЛЯРНОСТІ РУХУ**

Робота присвячена підвищенню ефективності перевезень та якості обслуговування пасажирів в міських умовах. Метою дослідження є розробка методики визначення диференційованих норм тривалості рейсу автобусів за періодами доби, яка враховує стохастичний вплив численних факторів на рух транспортних засобів. Об'єктом дослідження є автобусний маршрут №125, який обслуговується ТОВ «Технополіс».

Було встановлено, що регулярність виконання рейсів на маршруті №125 для різних періодів доби змінюється від 10% до 39% (в середньому 24% протягом роботи маршруту), що суттєво нижче нормативного значення у 96%. Для підвищення регулярності руху автобусів було прийнято рішення розробити диференційовані норми тривалості рейсу за періодами доби. Реалізація такого заходу дозволяє забезпечити відповідність швидкостей руху автобусів умовам перевезень, що змінюються.

Були визначені основні параметри розподілу тривалості рейсу на маршруті №125 за допомогою надбудови Microsoft Excel *Аналіз даних* → *Описова статистика*. Також було встановлено, що вони можуть бути описані нормальним законом розподілу. За результатами виконаного статистичного моделювання були визначені найбільш ймовірні тривалості рейсу автобусів на маршруті №121: для періодів з 6⁰⁰...7⁰⁰ та 19⁰⁰...22⁰⁰ – 25 хвилин; з 7⁰⁰...9⁰⁰ та 15⁰⁰...19⁰⁰ – 35 хвилин; з 9⁰⁰...15⁰⁰ – 30 хвилин. Урахування отриманих рекомендацій під час розробки нового маршрутного розкладу дозволить підвищити регулярність руху автобусів до 41%.

Ключові слова: ефективність перевезень, закон розподілу, тривалість рейсу, регулярність руху, метод статистичного моделювання.

ВСТУП

Ефективна та надійна робота міського пасажирського транспорту є найважливішим чинником соціально-політичної та економічної стабільності мешканців будь якого сучасного міста [1]. Рівень задоволення потреби пасажирів у транспортному обслуговуванні характеризується системою показників якості перевезень, головними з яких є: наповнення рухомого складу, регулярність руху, витрати часу на поїздку та очікування, безпека руху, тощо. Вважається, що саме регулярність руху автобусів на маршруті є найважливішим показником якості обслуговування пасажирів, оскільки порушення розкладу руху автобусів призводить до переповнення транспортних засобів, збільшення витрат часу на очікування та зниження швидкості сполучення. Регулярність руху – це своєчасне відправлення автобусу у рейс, точне дотримання інтервалів руху відповідно до розкладу на всьому маршруті та своєчасне його прибуття на кінцевий пункт.

Але слід зауважити, що процес перевезення пасажирів на маршрутах міського пасажирського транспорту має імовірнісний характер, що спричинено впливом низки випадкових факторів [2]. Наприклад на рух автобусів значною мірою впливають параметри транспортних та пішохідних потоків, діючі методи організації та регулювання дорожнього руху, нерівномірність підходу пасажирів до зупиночних пунктів, неспритні погодні умови, тощо. Тому розробка керуючих впливів, щодо забезпечення регулярності руху має ґрунтуватись на знанні закономірностей впливу факторів, що зумовлюють процес перевезення пасажирів [3].

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Підвищенню регулярності руху транспортних засобів та зменшенню витрат пасажирів на очікування та слідування на автобусних маршрутах м. Гуанчжоу (Китай) присвячена робота [4]. У ній запропонована модель динамічного перерозподілу автобусів між маршрутами, яка враховує нерівномірність підходу пасажирів до зупиночних пунктів та провізну здатність транспортних засобів.

Негативний вплив понад нормованої тривалості проїздок пасажирів в містах Канади на їх емоційний стан та продуктивність праці досліджується у роботі [5]. Авторами було встановлено, що основними причинами низької регулярності руху автобусів є недостатня пропускна здатність транспортної мережі та щільний трафік індивідуального транспорту.

Генетичний алгоритм [6] розробки маршрутного розкладу, дозволив підвищити регулярність руху автобусів на 5%. Для мінімізації витрат пасажирів під час поїздок цей алгоритм використовує послідовне динамічне програмування, яке враховує продуктивність транспортних засобів.

Негативні наслідки від скупчення автобусів, які обслуговують один маршрут, у м. Единбург (Шотландія) наведені у роботі [7]. Авторами представлена нова програма для підвищення регулярності руху на основі серії спостережень за розташуванням транспортних засобів по маршрутній мережі міста.

Запропонована у роботі [8] модель дозволяє підвищити точність розрахунків часу прибуття автобусів на зупинки і підтримувати достатньо високий рівень обслуговування пасажирів. Вона побудована на основі частотного розподілу відомостей про зчитування інформації зі старт-карт пасажирів.

Однією з основних проблем, яку доводиться вирішувати транспортним операторам, є обґрунтування моделей транспортних засобів, що обслуговують транспортні лінії. Для міста Талас (Казахстан) на основі запропонованого підходу проведено імітаційний експеримент, спрямований на оцінку структури міського автопарку за місткістю транспортних засобів. У результаті вивчено вплив структури пасажиропотоку та кількості перевізників на раціональну структуру міського автобусного парку [9]. У [10] описано теоретико-ігровий підхід для обґрунтування вибору моделі автобуса на основі уподобань пасажирів і структури пасажиропотоків.

Дослідження [11] присвячено проблемі групування (скупчення) автобусів на зупинках через низьку регулярність руху, яка часто спостерігається на завантажених маршрутах м. Дублін (Ірландія). Авторами запропонована розширена аналітична модель, яка вирішує цю проблему шляхом моделювання тривалості простою автобусів на зупинках для зменшення відхилення від інтервалу руху.

У статті [12] досліджується задача підвищення продуктивності автобусів та їх швидкості сполучення, яка дозволяє знизити експлуатаційні витрати перевізника та витрати пасажирів під час пересування. Була розроблена модель нелінійного програмування, яка визначає доцільну тривалість рейсу автобусів в залежності від величини та динаміки пасажирообміну на зупинках маршруту. Отримані результати досліджень свідчать, що в багатьох випадках вдається нівелювати помилки диспетчерської служби АТП та збалансувати компроміс між експлуатаційними витратами на відправку різних типів автобусів та витратами на збільшення часу очікування пасажирів.

На думку авторів одним із дієвих шляхів підвищення регулярності руху є розробка диференційованих норм тривалості рейсу автобусів за періодами доби. Реалізація такого заходу дозволяє забезпечити відповідність швидкостей сполучення автобусів умовам перевезень, що змінюються. В розглянутих роботах даний захід не досліджувався.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даного дослідження є розробка методики визначення диференційованих норм тривалості рейсу автобусів за періодами доби, яка враховує стохастичний вплив численних факторів на рух транспортних засобів. Для досягнення мети дослідження необхідно вирішити наступні задачі:

1. Проаналізувати регулярність виконання рейсів на типовому автобусному маршруті м. Дніпро.
2. Визначити параметри та закони розподілу тривалості рейсу на обраному маршруті для різних періодів доби.
3. Розробити диференційовані норми тривалості рейсу за періодами доби за допомогою методу статистичного моделювання.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Враховуючи важливий вплив регулярності руху автобусів на ефективність перевезень та якість обслуговування пасажирів на автотранспортних підприємствах м. Дніпро постійно ведеться його облік. До нерегулярних відносяться рейси з перевищенням допустимого відхилення від розкладу руху. В міських умовах допустиме відхилення не повинно перевищувати 2 хвилини, а норматив виконання регулярних рейсів не менше 96% [1]. Час роботи автобусів на маршруті можна умовно поділити на три періоди, які схожі між собою за умовами експлуатації та навантаженням на вулично-дорожню мережу:

- початок та закінчення роботи маршруту (6:00 – 7:00 та 19:00 – 22:00), далі ПЕРІОД №1;
- ранкова та вечірня години «пік» (7:00 – 9:00 та 15:00 – 19:00), далі ПЕРІОД №2;
- міжпіковий період (9:00 – 15:00), далі ПЕРІОД №3.

На рисунках 1-3 наведено розподіл тривалості рейсів на маршруті №125), який обслуговується ТОВ «Технополіс», для всіх періодів доби. Нормативне значення тривалості рейсу, яке закладено до маршрутного розкладу становить $t_{route} = 30$ хв. Також на цих рисунках нанесені лінії мінімальної та

максимальної меж регулярності виконуваних рейсів $t_{route} = 30 \pm 2$ хв., які на якісному рівні дозволяють оцінити низький ступінь регулярності руху на маршруті №125.

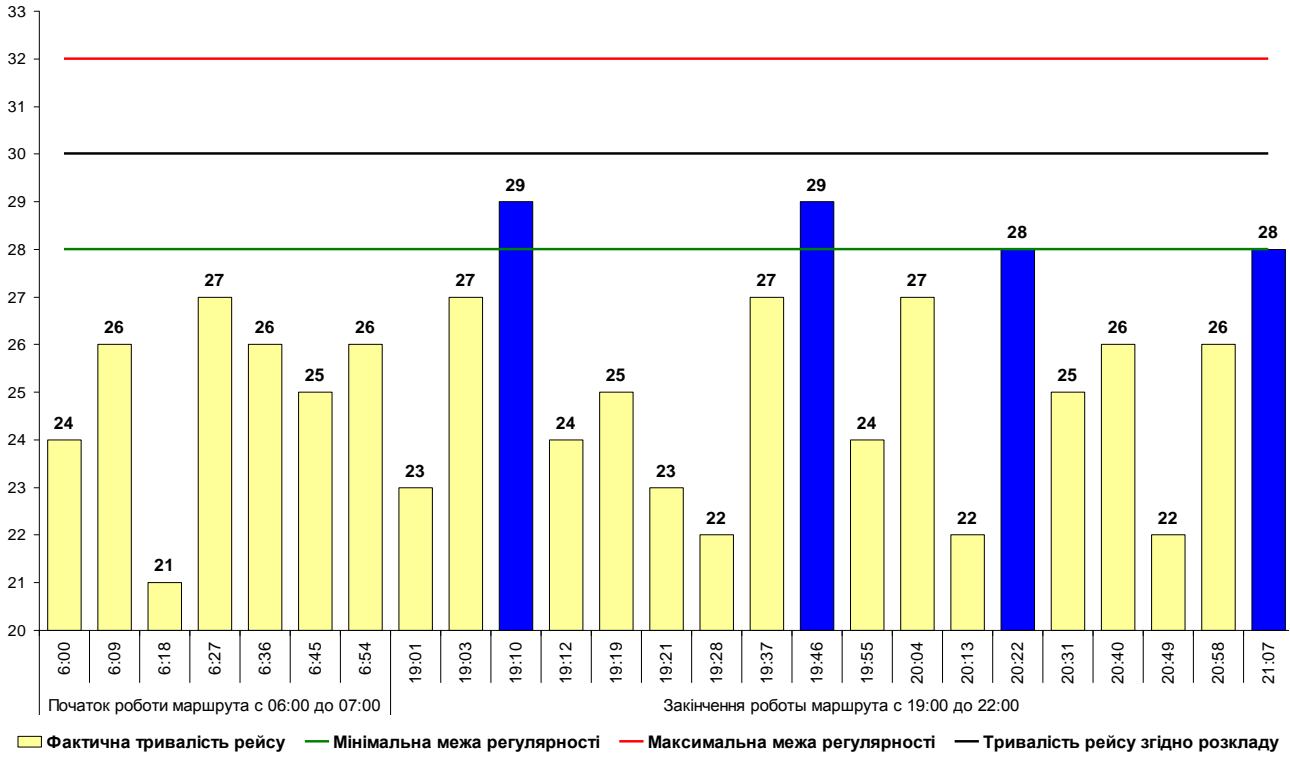


Рисунок 1 – Розподіл тривалості рейсів на маршруті №125 для ПЕРІОДУ №1

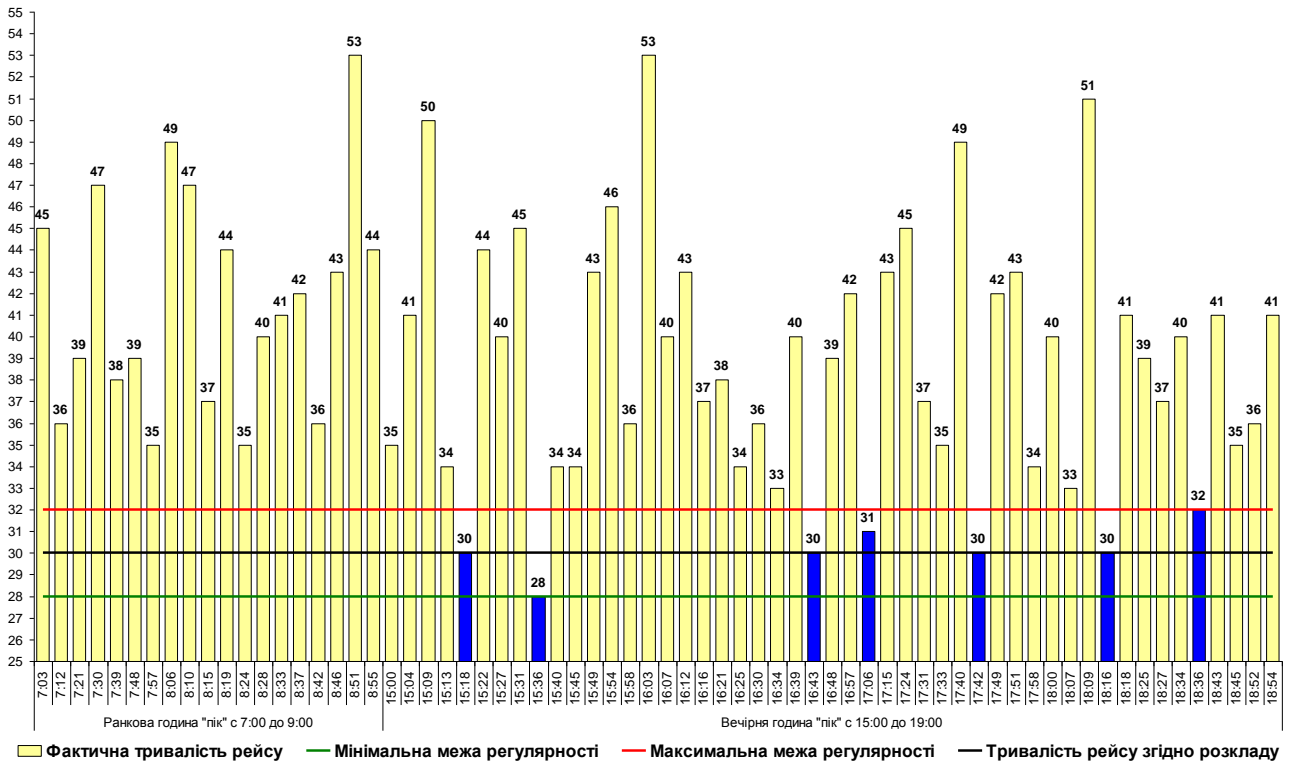


Рисунок 2 – Розподіл тривалості рейсів на маршруті №125 для ПЕРІОДУ №2

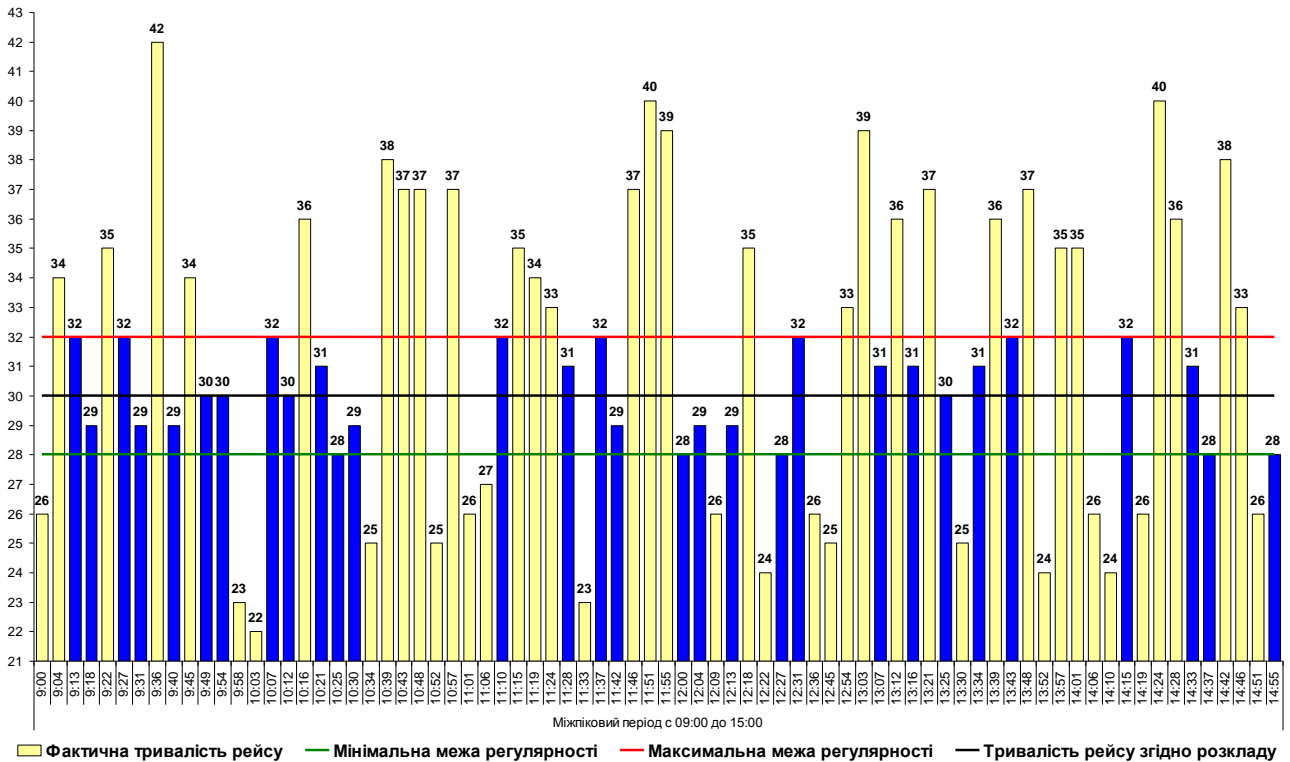


Рисунок 3 – Розподіл тривалості рейсів на маршруті №125 для ПЕРІОДУ №3

Кількісна оцінка регулярності руху була виконана за залежністю (1) [2], результати виконаних розрахунків наведені у табл. 1.

$$K_{\text{регулярності}} = \frac{Z_{\text{регулярних}}}{Z_{\text{загальна}}}, \tag{1}$$

де $Z_{\text{регулярних}}$ – кількість регулярних рейсів; $Z_{\text{загальна}}$ – загальна кількість запланованих рейсів.

Відомості про кількість регулярних та запланованих рейсів представлені в на рисунках 1-3, таким чином:

$$K_{\text{початок та закінчення роботи маршрута}} = \frac{Z_{\text{регулярних}}^{06-07 \text{ AND } 19-22}}{Z_{\text{загальна}}^{06-07 \text{ AND } 19-22}} \cdot 100\% = \frac{4}{25} \cdot 100\% = 16\% ;$$

$$K_{\text{ранкова та вечірня години "нік"}} = \frac{Z_{\text{регулярних}}^{07-09 \text{ AND } 15-19}}{Z_{\text{загальна}}^{07-09 \text{ AND } 15-19}} \cdot 100\% = \frac{7}{68} \cdot 100\% = 10\% ;$$

$$K_{\text{міжпунктовий період}} = \frac{Z_{\text{регулярних}}^{09-15}}{Z_{\text{загальна}}^{09-15}} \cdot 100\% = \frac{30}{76} \cdot 100\% = 39\%$$

Коефіцієнт регулярності рейсів, що виконуються на маршруті №125 протягом усього періоду доби становить:

$$K_{\text{маршрут №125}} = \frac{Z_{\text{регулярних}}^{06-22}}{Z_{\text{загальна}}^{06-22}} \cdot 100\% = \frac{4 + 7 + 30}{25 + 68 + 76} \cdot 100\% = 24\% .$$

Підсумкова оцінка регулярності рейсів, що виконуються на маршруті №125, представлена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Підсумкова оцінка регулярності рейсів на маршруті №125

Період роботи маршруту	Час доби	Загальна кількість рейсів	Кількість регулярних рейсів	$K_{\text{регулярності}}$	$K_{\text{маршрут №125 регулярності}}$
ПЕРІОД №1	06-07	25	4	16%	24%
	19-22				
ПЕРІОД №2	07-09	68	7	10%	
	15-19				
ПЕРІОД №3	09-15	76	30	39%	

Аналіз інформації представленої в таблиці 1 свідчить, що значення коефіцієнту регулярності руху на маршруті №125 за періодами доби змінюється від 10% до 39%, що істотно нижче його нормативного значення, яке має становити не менше 96%. Така ситуація пояснюється тим, що на тривалість рейсу впливають наступні фактори: структура та величина пасажиропотоку на маршруті; пасажирообмін зупиночних пунктів; ступінь завантаженості дорожньої мережі. Ці фактори стохастично змінюються протягом доби, тому застосування єдиної норми тривалості рейсу призводить до низької регулярності руху автобусів і відповідно до зниження якості обслуговування пасажирів та ефективності перевезень. Одним із можливих шляхів вирішення цієї проблеми є розробка диференційованих норм тривалості рейсу автобусів за періодами доби. Даний захід дозволить забезпечити відповідність швидкостей сполучення автобусів умовам перевезень, що змінюються.

Для реалізації поставленої мети необхідно визначити параметри та закони розподілу тривалості рейсу на маршруті №125 для різних періодів доби. А потім за допомогою методу статистичного моделювання виявити найбільш ймовірні значення часу рейсу, які надалі будуть використовуватися при розрахунку необхідної кількості транспортних засобів на маршруті протягом доби, розробці раціонального режиму роботи автобусів та складанні нового маршрутного розкладу.

Визначення закону розподілу (Таблиця 2) тривалості рейсу було виконано на підставі розрахованого значення коефіцієнта варіації [1]:

$$v = \frac{\bar{\sigma}}{\bar{x}}, \quad (2)$$

де $\bar{\sigma}$ – середнє квадратичне відхилення випадкової величини; \bar{x} – середнє значення випадкової величини.

Таблиця 2 – Взаємозв'язок між законом розподілу випадкової величини та коефіцієнта варіації

Межі зміни коефіцієнта варіації	Закон розподілу випадкової величини
$V \leq 0,3$	Нормальний
$0,3 < V < 0,4$	Гамма-розподіл
$0,4 \leq V < 1$	Вейбула
$V = 1$	Експонентний

За допомогою надбудови *Microsoft Excel Аналіз даних* → *Описова статистика* були визначені основні параметри розподілу тривалості рейсу на маршруті №125 для різних періодів доби, які представлені в таблиці 3. У якості вихідних даних були використані фактичні значення тривалості рейсу на маршруті №125 (Рисунок 1-3).

Таблиця 3 – Основні параметри закону розподілу тривалості рейсу на маршруті №125

Період роботи маршруту	Час доби	\bar{x}	$\bar{\sigma}$	v
ПЕРІОД №1	06-07	25,28	2,26	0,09
	19-22			
ПЕРІОД №2	07-09	39,41	5,77	0,14
	15-19			
ПЕРІОД №3	09-15	31,21	4,78	0,15

Отримані результати свідчать, що значення коефіцієнтів варіації для всіх періодів задовольняють умові $V \leq 0,3$, таким чином, тривалість рейсу на маршруті №125 може бути описана нормальним законом розподілу.

Для визначення найбільш імовірних значень тривалості рейсу на маршруті №125 для різних періодів доби було прийнято рішення проаналізувати густину їх розподілів для генеральної сукупності, що складається зі 100 випадкових подій. Моделювання нормально розподіленої випадкової величини було виконано за допомогою надбудови *Microsoft Excel Аналіз даних* → *Генерація випадкових чисел*. Основні параметри розподілу тривалості рейсу для отриманого масиву зі 100 випадкових елементів, для різних періодів доби наведені у таблиці 4.

Таблиця 4 – Основні параметри законів розподілу тривалості рейсу для генерованій сукупності

Параметри закону розподілу	Значення		
	ПЕРІОД №1	ПЕРІОД №2	ПЕРІОД №3
Кількість значень у вибірці	100		
Середнє значення	25,74	39,03	30,61
Стандартна помилка	0,20	0,57	0,39
Медіана	25	40	30
Мода	24	36	28
Середнє квадратичне відхилення	1,99	5,73	3,97
Вибіркова дисперсія	3,99	32,84	15,76
Ексцес	0,68	0,55	0,08
Асиметричність	0,89	-0,22	0,41
Інтервал	9	31	20
Мінімум	23	29	21
Максимум	32	51	41
Сума	2574	3903	3061
Рівень надійності (95,0%)	0,40	1,14	0,79

Для побудови гістограм розподілу тривалості рейсу були розраховані інтервали «карманів» для групування генерованих масивів за залежністю:

$$I = \frac{t_{route}^{\max} - t_{route}^{\min}}{1 + 3,2 \ln(N)}, \quad (3)$$

де N – розмір генеральної сукупності генерованих величин, $N=100$; t_{route}^{\max} , t_{route}^{\min} – максимальне та мінімальне значення тривалості рейсу у генерованому масиві.

Для ПЕРІОДУ №1 інтервал «карманів» дорівнює 1, а для ПЕРІОДІВ №2 та №3 – 2. Використовуючи розраховані значення «карманів» та значення тривалості рейсу у генерованих масивах були побудовані гістограми розподілу тривалості рейсу для всіх періодів, які наведені на рисунку 4.

Щільності ймовірності для кожного «карману» були розраховані за залежністю:

$$p = \frac{n}{N}, \quad (4)$$

де n – частота даних у кожному інтервалі (Рисунок 4); N – розмір генеральної сукупності генерованих величин тривалості рейсу, $N=100$.

Групові індекси для кожного інтервалу були розраховані за залежністю:

$$K = p \cdot n .$$

(5)

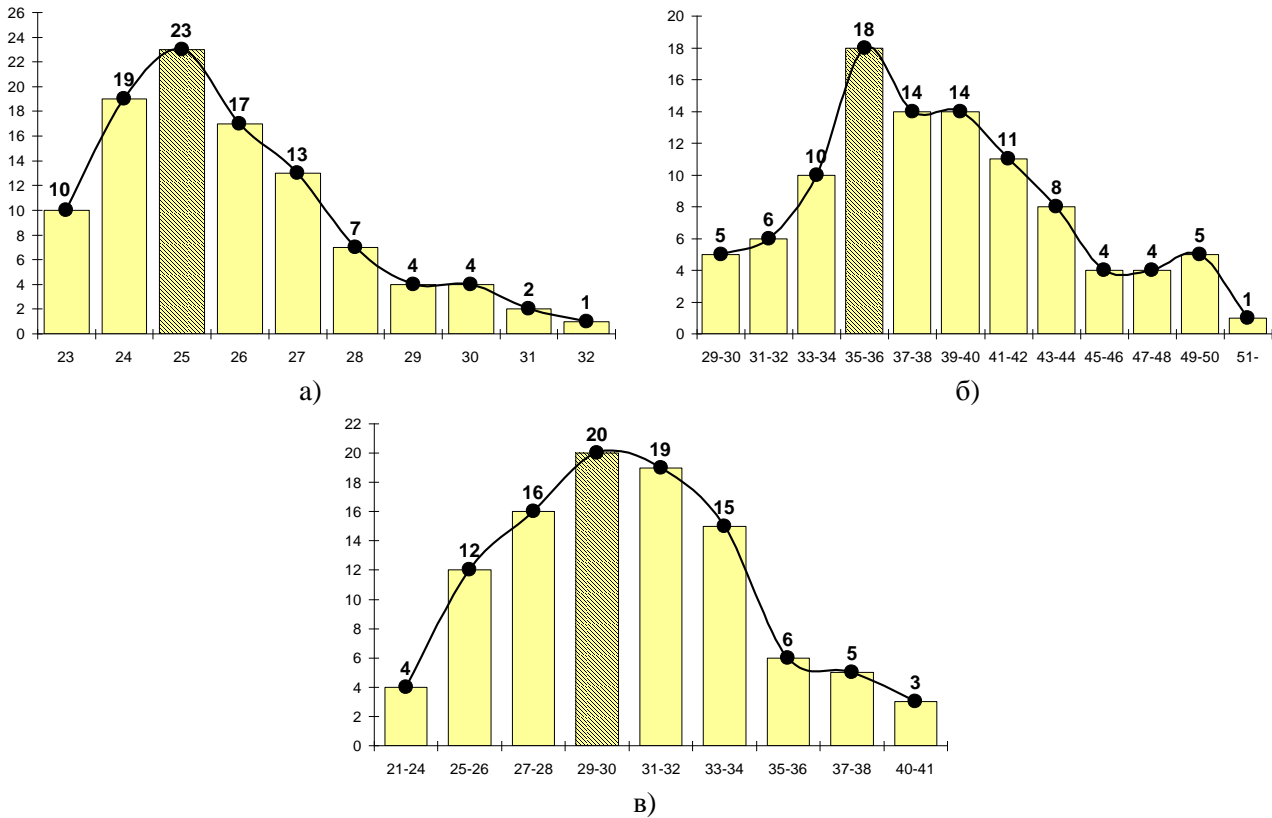


Рисунок 4 – Розподіл тривалості рейсу генеральної сукупності генерованих величин:
а) для ПЕРІОДУ №1, б) для ПЕРІОДУ №2, в) для ПЕРІОДУ №3

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Значенню «карману» з максимальним груповим індексом буде відповідати найбільша ймовірність тривалості рейсу. Результати виконаних розрахунків за (4-5) дозволили встановити наступні норми тривалості рейсу за періодами доби на маршруті №125:

- початок та кінець роботи маршруту – 25 хвилин (ПЕРІОД №1);
- ранкова та вечірня години «пік» – 35 хвилин (ПЕРІОД №2);
- міжпіковий період – 30 хвилин (ПЕРІОД №3).

Підсумкова оцінка регулярності руху автобусів на маршруті №125 після реалізації запропонованих заходів представлена у табл. 5. Порівняльний аналіз інформації, яка наведена у таблиці 1 та таблиці 5 свідчить, що запровадження диференційованих норм тривалості рейсу за періодами доби дозволить:

- підвищити значення коефіцієнта регулярності з 16% до 68% за рахунок збільшення кількості регулярних рейсів з 4 до 17 у періоди початку та закінчення роботи маршруту (6:00 – 7:00 та 19:00 – 22:00);
- підвищити значення коефіцієнта регулярності з 10% до 31% за рахунок збільшення кількості регулярних рейсів з 7 до 21 у періоди ранкової та вечірньої годин «пік» (7:00 – 9:00 та 15:00 – 19:00);
- підвищити середньодобове збільшити значення коефіцієнта регулярності з 24% до 41%.

Таблиця 5 – Оцінка регулярності рейсів на маршруті №125
після запровадження диференційованих норм тривалості рейсу за періодами доби

Період роботи маршруту	Час доби	Загальна кількість рейсів	Кількість регулярних рейсів	$K_{\text{регулярності}}$	$K_{\text{маршрут №125 регулярності}}$
ПЕРІОД №1	06-07	25	17	68%	41%
	19-22				

ПЕРІОД №2	07-09	68	21	31%	
	15-19				
ПЕРІОД №3	09-15	76	30	39%	

ВИСНОВКИ

Перевезення пасажирів є однією з ключових складових інфраструктури сучасних міст, які забезпечують потребу мешканців у зручному та безпечному пересуванні. Одним з найважливішим показником якості обслуговування пасажирів є регулярність руху автобусів на маршруті тому, що порушення розкладу руху транспортних засобів призводить до їх переповнення, збільшення витрат часу на очікування та зниження швидкості сполучення. Були проаналізовані останні дослідження, які присвячені вирішенню проблеми підвищення регулярності руху, які свідчать, що дане питання є актуальним для багатьох міст світу.

У якості об'єкта дослідження було обрано міський автобусний маршрут №125, який обслуговується ТОВ «Технополіс». Оцінка регулярності рейсів на цьому маршруті свідчить про низьку регулярність руху автобусів, яка протягом доби становить 24%, що істотно нижче нормативного значення у 96%. Така ситуація пояснюється тим, що на тривалість рейсу впливають такі фактори, як завантаженість вулично-дорожньої мережі; величина та структура пасажиропотоку на маршруті; пасажирообмін зупиночних пунктів, тощо. Ці фактори випадково змінюються протягом доби, тому застосування єдиної норми тривалості рейсу призводить до низької регулярності руху автобусів і відповідно до зниження якості обслуговування пасажирів. Для вирішення цієї проблеми було запропоновано розробити диференційовані норми тривалості рейсу автобусів за періодами доби. Даний захід дозволить забезпечити відповідність швидкостей сполучення автобусів умовам перевезень, що змінюються.

За допомогою надбудови *Microsoft Excel Аналіз даних* → *Описова статистика* були визначені основні параметри розподілу тривалості рейсу на маршруті №125, та було встановлено, що вони можуть бути описані нормальним законом розподілу. За результатами статистичного моделювання було встановлені наступні норми тривалості рейсу на маршруті №125: для періодів початку та закінчення роботи маршруту – 25 хвилин (6:00 – 7:00 та 19:00 – 22:00); для періодів ранкової та вечірньої години «пік» – 35 хвилин; для міжпікового періоду – 30 хвилин. Урахування отриманих рекомендацій під час розробки нового маршрутного розкладу дозволить підвищити регулярність руху автобусів до 41%.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1.Вдовиченко В.О. Методологічні основи формування системної ефективності громадського пасажирського транспорту в умовах сталого розвитку: монографія. Харків: ХНАДУ, 2017. 212 с.
- 2.Кузькін О. Ф. Теоретичні основи організації транспортних процесів в системах міських масових пасажирських перевезень: дис... д-ра техн. наук: 05.22.01 ; Харків. нац. ун.-т міськ. Госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків, 2020. – 471 с.
- 3.Таран І. О., Литвин В. В. Дослідження конкурентоспроможності міських автобусних маршрутів м. Дніпро. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. – 2018. – № 1. – С. 123–130.
- 4.Wu, W.; Liu, R.; Jin, W. (2017). Modelling bus bunching and holding control with vehicle overtaking and distributed passenger boarding behaviour. *Transportation Research Part B: Methodological*, 104, 175-197. [https://doi: 10.1016/j.trb.2017.06.019](https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.06.019).
- 5.Higgins, C.; Sweet M.; Kanaroglou P. (2018). All minutes are not equal: travel time and the effects of congestion on commute satisfaction in Canadian cities. *Transportation*, 45 (5), 1249-1268. [https://doi: 10.1007/s11116-017-9766-2](https://doi.org/10.1007/s11116-017-9766-2).
- 6.Gkiotsalitis, K.; Alesiani, F. (2019). Robust timetable optimization for bus lines subject to resource and regulatory constraints. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 128, 30-51.
- 7.Ciancia, V.; Gilmore, S.; Grilletti, G. (2018). Spatio-temporal model checking of vehicular movement in public transport systems. *Int J Softw Tools Technol Transfer*, 20, 289-311. <https://doi.org/10.1007/s10009-018-0483-8>.
- 8.Yuyang, Z.; Lin, Y.; Yanyan, C.; Yi G.; Jianhui L. (2017). Bus arrival time calculation model based on smart card data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 74, 81-96. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.11.014>.

9.Naumov, V.; Bekmagambetova, L.; Bitileuova, Z.; Zhanbirov, Z.; Taran, I. (2022). Mixed Fuzzy-Logic and Game-Theoretical Approach to Justify Vehicle Models for Servicing the Public Bus Line. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 24(1), A26-A34. <https://doi.org/10.26552/com.c.2022.1.a26-a34>.

10.Sabraliev, N.; Tursymbekova, Z. Zh.; Musaliev, R.; Baiburaeva, J. A.; Taran, I.; Karsibaev, E.; Zhanbirov, Zh. (2019). Methods to improve the reliability and efficiency of the management system of car exploitation. *NEWS of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 6(438), 139-146. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170x.164>.

11.Matthias, A.; Rahul N. (2017). A predictive-control framework to address bus bunching. *Transportation Research Part B: Methodological*, 104, 123-148. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.06.013>.

12.Zhuang, D. ; Xiaoyue, C.; Xi, C.; Xiaolei, M. (2020). Joint optimization of scheduling and capacity for mixed traffic with autonomous and human-driven buses: A dynamic programming approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 114, 598-619. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.03.001>

REFERENCES

1.Vdovychenko V.O. (2017). Metodolohichni osnovy formuvannia systemnoi efektyvnosti hromadskoho pasazhyrskoho transportu v umovakh staloho rozvytku: monohrafiia. Kharkiv: KhNADU, 212. [in Ukrainian].

2.Kuzkin O. F. (2020). Teoretychni osnovy orhanizatsii transportnykh protsesiv v systemakh miskykh masovykh pasazhyrskykh perevezhen: dys. d-ra tekhn. nauk: 05.22.01; Kharkiv. nats. un.-t misk. hosp.-va im. O. M. Beketova. Kharkiv, 471. [in Ukrainian].

3.Taran, I. & Litvin, V. (2018). Competitiveness research of city bus routes in the city of Dnipro *Modern technologies in mechanical engineering and transport*, 1, 123–130. [in Ukrainian].

4.Wu, W.; Liu, R.; Jin, W. (2017). Modelling bus bunching and holding control with vehicle overtaking and distributed passenger boarding behaviour. *Transportation Research Part B: Methodological*, 104, 175-197. <https://doi: 12.1016/j.trb.2017.06.019>.

5.Higgins, C.; Sweet M.; Kanaroglou P. (2018). All minutes are not equal: travel time and the effects of congestion on commute satisfaction in Canadian cities. *Transportation*, 45 (5), 1249-1268. <https://doi: 10.1007/s11116-017-9766-2>.

6.Gkiotsalitis, K.; Alesiani, F. (2019). Robust timetable optimization for bus lines subject to resource and regulatory constraints. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 128, 30-51.

7.Ciancia, V.; Gilmore, S.; Grilletti, G. (2018). Spatio-temporal model checking of vehicular movement in public transport systems. *Int J Softw Tools Technol Transfer*, 20, 289-311. <https://doi.org/10.1007/s10009-018-0483-8>.

8.Yuyang, Z.; Lin, Y.; Yanyan, C.; Yi G.; Jianhui L. (2017). Bus arrival time calculation model based on smart card data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 74, 81-96. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.11.014>.

9.Naumov, V.; Bekmagambetova, L.; Bitileuova, Z.; Zhanbirov, Z.; Taran, I. (2022). Mixed Fuzzy-Logic and Game-Theoretical Approach to Justify Vehicle Models for Servicing the Public Bus Line. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 24(1), A26-A34. <https://doi.org/10.26552/com.c.2022.1.a26-a34>.

10.Sabraliev, N.; Tursymbekova, Z. Zh.; Musaliev, R.; Baiburaeva, J. A.; Taran, I.; Karsibaev, E.; Zhanbirov, Zh. (2019). Methods to improve the reliability and efficiency of the management system of car exploitation. *NEWS of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 6(438), 139-146. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170x.164>.

11.Matthias, A.; Rahul N. (2017). A predictive-control framework to address bus bunching. *Transportation Research Part B: Methodological*, 104, 123-148. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.06.013>.

12.Zhuang, D. ; Xiaoyue, C.; Xi, C.; Xiaolei, M. (2020). Joint optimization of scheduling and capacity for mixed traffic with autonomous and human-driven buses: A dynamic programming approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 114, 598-619. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.03.001>

V. Lytvyn, I Klymenko, O. Kucher. Development of differentiated norms of bus trip duration by periods of the day for increasing the movement regularity.

The paper is devoted to improving the efficiency of transportation and the quality of passenger service in urban areas. The purpose of the study is development of methodology for determination differentiated norms of bus trip duration by periods of the day, which consider the stochastic impact of multitudinous factors on the traffic of vehicles. The object of research is bus route No. 125, which is operated by Technopolis LLC.

It was found that the regularity of bus trips on the route No. 125 varies from 10% to 39% for different periods of the day (an average of 24% during the route's operation), which is significantly lower than the normative value of 96%. To raise the regularity of bus traffic, it was decided to develop differentiated standards for the duration of the trip by time of the day. The implementation of such a measure allows to ensure compliance with bus speeds changing conditions of transportation.

Main parameters of duration distribution of bus line No. 125 were determined by Microsoft Excel add-in Data Analysis → Descriptive Statistics. It was also found that they can be described by a normal distribution law. Based on the results of the performed statistical modeling, the most probable duration of the bus trip on the route was determined for periods from 6:00...7:00 and 19:00...22:00 – 25minutes; from 7:00...9:00 and 15:00...19:00 - 35 minutes; from 9:00...15:00 - 30 minutes. Taking into account the received recommendations during the development of the new route schedule, will increase the regularity of buses' movement to 41%.

Keywords: transport efficiency, law of distribution, route duration, regularity of movement, statistical modelling method.

ЛИТВИН Вадим Вікторович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Управління на транспорті», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», e-mail: litvin.v.v.79@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-1572-9000>.

КЛИМЕНКО Ірина Юріївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Управління на транспорті», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», e-mail: klymenkoiy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6263-0951>.

КУЧЕР Олександр Леонідович, студент кафедри «Управління на транспорті», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», e-mail: oleksandr.kucher@gmail.com.

Vadym LITVYN, Candidate of Technical Science, associate professor of Transport Management Department, Dnipro University of Technology, e-mail: litvin.v.v.79@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-1572-9000>.

Iryna KLYMENKO, Candidate of Technical Science, associate professor of Transport Management Department, Dnipro University of Technology, e-mail: klymenkoiy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6263-0951>.

Oleksandr KUCHER, student of Transport Management Department, Dnipro University of Technology, e-mail: oleksandr.kucher@gmail.com.

DOI 10.36910/automash.v2i23.1536