

УДК 656.13

Ю.О. Давідіч, Д.П. Понкратов, Г.І. Фалецька, Я.Ю. Несміян

Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, м. Харків

ОЦІНКА РЕГУЛЯРНОСТІ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА МАРШРУТАХ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

У статті розглянуто питання оцінки регулярності руху на маршрутах міського пасажирського транспорту. Виявлено, що зміна інтервалу руху погоджується із нормальним законом розподілу. Встановлено, що робота транспортних засобів на маршрутах з низькою частотою руху характеризується більшою нерегулярністю, що може бути оцінена за середнім квадратичним відхиленням фактичного інтервалу від його планового значення.

Ключові слова: *регулярність руху, інтервал руху, середнє квадратичне відхилення від планового інтервалу руху, час очікування.*

Постановка проблеми

Перевізний процес на маршрутах міського пасажирського транспорту має імовірнісний характер, що спричинено впливом низки випадкових факторів. Рух маршрутних транспортних засобів значною мірою зумовлений параметрами транспортних та пішохідних потоків, застосуванням відповідних методів організації та регулювання дорожнього руху, нерівномірним підходом пасажирів до зупинних пунктів, несприятливими погодними умовами тощо. Організація та управління перевізним процесом спрямована на зменшення наслідків впливу випадкових факторів та надання перевізному процесу більш детермінованих властивостей.

Одним із негативних наслідків впливу випадкових факторів є порушення регулярності руху транспортних засобів на маршрутах, проявом якого є відхилення фактичних інтервалів руху від планових. Недотримання регулярності руху позначається на зростанні часу очікування пасажирів, нерівномірному заповненні салонів транспортних засобів тощо.

Вироблення керуючих впливів щодо забезпечення регулярності руху має ґрунтуватись на знанні закономірностей впливу факторів, що зумовлюють перевізний процес. В наслідок цього, дослідження імовірнісних характеристик перевізного процесу на маршрутах міського пасажирського транспорту є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Робота міського пасажирського транспорту має забезпечувати належні умови для пасажирів щодо своєчасного прибуття до місць призначення згідно мети поїздки. Регулярність і надійність є одними з основних вимог, що пред'являються до роботи маршрутів міського пасажирського транспорту. Забезпечення цих вимог спрямовано на дотримання

планових інтервалів руху між транспортними засобами [1 - 11].

Існує певна залежність між регулярністю руху, експлуатаційною швидкістю та обсягом перевезень пасажирів. Порушення регулярності призводить до того, що частина пасажирів, що здійснює поїздку на малу відстань (1 - 2 км), може відмовитись від користування транспортом та здійснювати пересування пішки [1, 6]. Разом з цим, намагання забезпечити більшу регулярність руху спричиняє зменшення експлуатаційної швидкості [3].

З точки зору пасажирів регулярним є рух з рівними інтервалами, у той час як для транспортного підприємства регулярність має бути оцінена з позиції дотримання розкладу руху [10]. В якості кількісної оцінки нерегулярності руху транспортних засобів використовують середнє квадратичне відхилення фактичного інтервалу від планового [2, 6, 7, 9].

З інших позицій, регулярність руху на маршруті може бути оцінена відсотком регулярних рейсів (n_p), по відношенню до загальної кількості виконаних рейсів (n). Регулярним вважають рейс, що виконаний, за розкладом з допустимим відхиленням рейсового часу [3].

Регулярність руху позначається на часі очікування пасажирів на зупинному пункті [1-11]. Основним показником, що визначає час очікування, є інтервал руху. За умов регулярного руху середній час очікування дорівнює половині планового інтервалу руху. Нерегулярність руху позначає на певному збільшенні часу очікування. Разом з цим, така залежність спостерігається в умовах міста, де пасажирів мають тенденцію прибувати на зупинку випадково, принаймні за високої частоти обслуговування, що відповідає інтервалу руху транспортних засобів 12 хв. та менше [5].

У праці [4] час очікування пасажирів на зупинному пункті маршруту запропоновано

визначати залежно від величини маршрутного інтервалу за наступною залежністю:

$$W(H) = \begin{cases} \frac{H}{2}, & H \leq T; \\ T - \frac{T}{2} e^{\left(\frac{1-H}{T}\right)}, & H > T. \end{cases} \quad (1)$$

де H - величина маршрутного інтервалу, хв.

T - величина порогового значення інтервалу руху, хв.

Згідно до залежності (1), при $H \leq T$ вважається, що пасажирі надходять до зупинного пункту випадково та середній час очкування дорівнює половині інтервалу руху. При високих інтервалах руху, тобто $H > T$ виходять із припущення, що пасажирі знайомі з розкладом руху та прибувають на зупинний пункт дещо завчасно до прибуття транспортного засобу. За таких умов, час очкування при зростанні інтервалу руху транспортного засобу асимптотично наближається до значення T . В якості граничного прийнято значення T , що дорівнює 10 хв.

Аналогічний висновок роблять автори праці [6]. При достатньо великих інтервалах руху та відомому пасажирам розкладі руху моменти прибуття пасажирів на зупинки групуються біля моментів прибуття транспортного засобу та витрати часу на очікування можуть бути визначені виходячи із залежності:

$$t_{оч} = S(I) + \frac{\sigma^2}{2I} + P_{від}I, \quad (2)$$

де $S(I) < \frac{I}{2}$ - функція інтервалу руху за умов

низької частоти руху та вивішеному розкладі руху.;

I - інтервал руху, хв.

σ - середнє квадратичне відхилення інтервалу руху, хв.;

$P_{від}$ - імовірність відмови пасажиру в посадці.

Для визначення аналітичного вираження $S(I)$

на різних маршрутах з вивішеним розкладом руху на зупинках був проведений хронометраж моментів прибуття пасажирів. В результаті обробки отриманих даних методами математичної статистики виявлено, що закон розподілу моментів часу прибуття пасажирів може бути наближено описаний нормальним законом розподілу імовірності.

В результаті обробки статистичних даних авторами праці [6] було встановлено, що величина середнього квадратичного відхилення, не залежить від величини інтервалу, а її середнє значення на обстежених маршрутах дорівнює 2,5 хв. Також було встановлено, що за інтервалу руху транспортних засобів, що дорівнює 10 хв., витрати часу пасажирів при відомому пасажирам розкладі руху зменшуються на 10 % у порівнянні з випадковим

підходом пасажирів до зупинки. При більших інтервалах таке відхилення є більш відчутним.

Дотримання регулярності перевізного процесу може бути досягнуте завдяки використанню методів організації та управління пасажирськими перевезеннями, а саме: нормування швидкостей руху транспортних засобів при складанні розкладу руху, резервування рухомого складу, диспетчеризація управління перевізним процесом тощо [1-11].

Формулювання мети статті

Забезпечення регулярності перевезень є можливим на підставі знання закономірностей цього процесу та характеру впливу різних факторів, що його зумовлюють. Виходячи з цього, метою статті є проведення оцінки регулярності руху транспортних засобів міського пасажирського транспорту та встановлення закономірностей цього процесу.

Виклад основного матеріалу

Для проведення оцінки регулярності руху було проведено натурні обстеження на маршрутах міського пасажирського транспорту у м. Харкові. Під час проведення обстеження обліковець знаходився на зупинному пункті маршруту та заносив до бланку обстеження таку інформацію: вид транспорту та номер маршруту, момент часу прибуття транспортного засобу на зупинку; державний реєстраційний номер транспортного засобу; кількість пасажирів, що виходять з транспортного засобу та роблять посадку в нього; момент часу відправлення транспортного засобу з зупинки. Обстеження проводили у будні дні, у ранкову годину «пік». Час обстеження складав від 1,5 до 2 год. На обстежених маршрутах відсутнє диспетчерське керування рухом транспортних засобів.

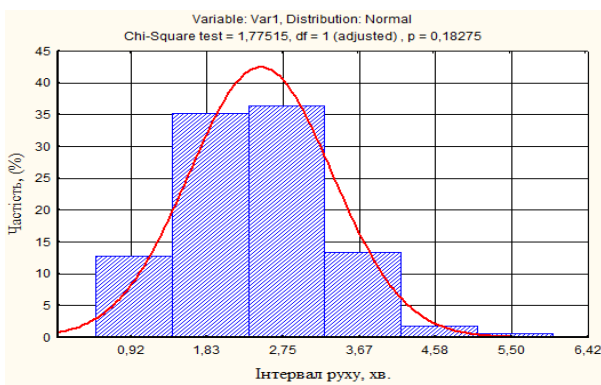
В результаті первинної обробки дослідних даних було встановлено: кількість транспортних засобів, що працюють на маршруті; фактичні інтервали руху; час оберту.

Статистична обробка дослідних даних дала можливість встановити закон розподілу випадкової величини. На підставі гістограми розподілу було висунуто гіпотезу, що дослідні дані підкорюються нормальному закону розподілу (рис. 1). Кількість класових інтервалів визначали за формулою Старджеса. Результати статистичної обробки дослідних даних представлені у табл. 1.

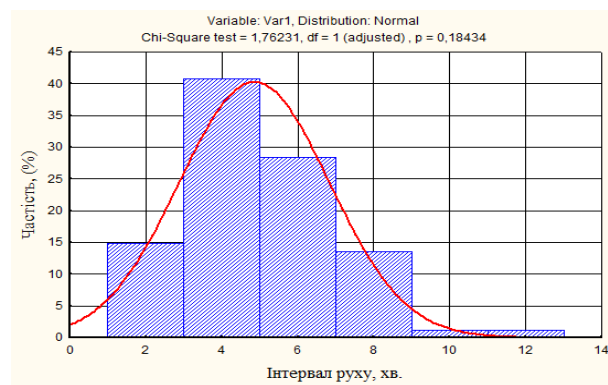
Оцінку погодженості емпіричного та теоретичного розподілу виконували за критерієм Пірсона (χ^2). Для розглянутого маршруту імовірність згоди складає 0,183, що перевищує прийняту 0,05. Виходячи із зазначеного можна дійти висновку, що зміна інтервалів руху на розглянутому маршруті погоджуються з гіпотезою про нормальний закон їх розподілу.

Таблиця 1 – Результати статистичної обробки дослідних даних зміни інтервалу руху на тролейбусному маршруті №24

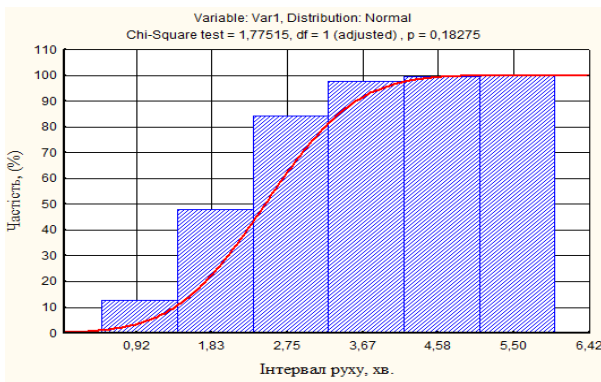
Межі інтервалів	Частота	Накопичена частота	Частість, %	Накопичена частість	Розрахована частота	Накопичена розрахована частота	Розрахована частість	Накопичена частість	Різниця між фактичною і розрахованою частотою
0,5-1,42	21	21	12,727	12,727	17,873	17,873	10,833	10,832	3,127
1,42-2,33	58	79	35,152	47,879	53,459	71,333	32,400	43,232	4,541
2,33-3,25	60	139	36,364	84,242	63,057	134,390	38,217	81,449	-3,057
3,25-4,17	22	161	13,333	97,576	28,481	160,871	16,049	97,498	-4,481
4,17-5,08	3	164	1,818	99,394	3,923	164,795	2,378	99,876	-0,923
5,08-6	1	165	0,606	100,0	0,2054	165,0	0,124	100,0	0,794



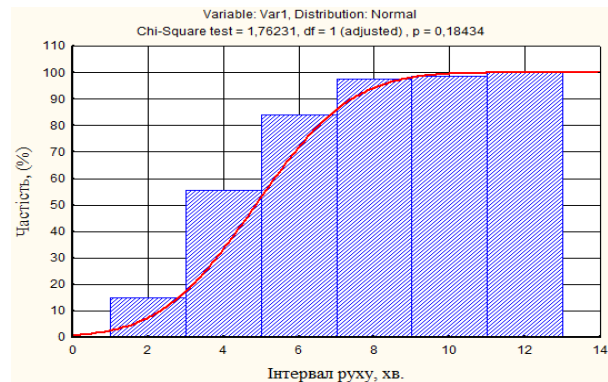
а)



а)



б)



б)

Рисунок 1 – Гістограма та графік щільності розподілу інтервалу руху на тролейбусному маршруті № 24 ($I_{пл} = 2,5$ хв.):

а) диференціальна крива розподілу; б) інтегральна (кумулятивна) крива розподілу.

Величина математичного очікування інтервалу руху складає 2,48 хв., середнє квадратичне відхилення становить 0,86 хв, при цьому 99,94 % обстежень містяться у інтервалі $\pm 2 \cdot I_{пл}$.

Рисунок 2 – Гістограма та графік щільності розподілу інтервалу руху на автобусному маршруті № 10е ($I_{пл} = 5$ хв.):

а) диференціальна крива розподілу; б) інтегральна (кумулятивна) крива розподілу.

Аналогічним чином було проведено обробку дослідних даних для інших маршрутів. Гістограма та графік щільності розподілу інтервалу руху на автобусних маршрутах № 10е та № 217е наведено на рис. 2 та 3 відповідно.

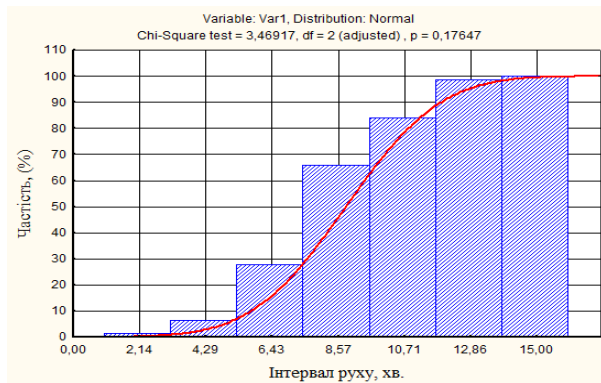
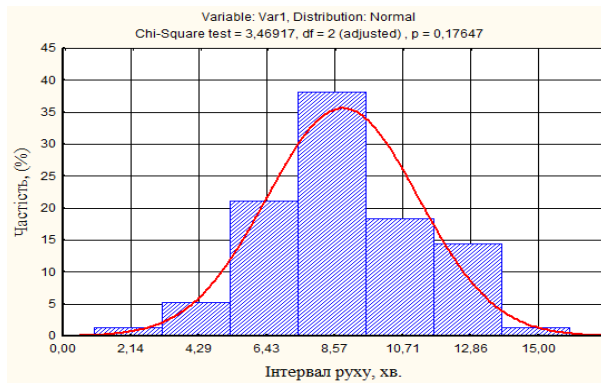


Рисунок 3 – Гістограма та графік щільності розподілу інтервалу руху на автобусному маршруті № 217е ($I_{пл} = 9$ хв.):

а) диференціальна крива розподілу; б) інтегральна (кумулятивна) крива розподілу.

На автобусному маршруті № 10е величина планового інтервалу ($I_{пл}$) у ранкову годину «пік» складає 5 хв., а на маршруті 217е - 9 хв. Як і у попередньому випадку було зроблено припущення, що дослідні дані погоджуються з нормальним законом розподілу. Імовірність згоди для цих маршрутів складає 0,184 та 0,176, отже було зроблено висновок про погодженість дослідних даних з нормальним законом розподілу випадкової величини.

Математичне очікування інтервалу руху на автобусному маршруті № 10е складає 4,86 хв. при плановому інтервалі 5 хв., а середнє квадратичне відхилення становить 1,98 хв. Для маршруту № 217е ці величини складають 8,82 хв. та 2,40 хв. відповідно. На автобусному маршруті № 10е відсоток обстежень, що містяться у інтервалі $\pm 2 \cdot I_{пл}$ становить 99,679, а для № 217е – 100 %.

Загалом обстеженням було охоплено 32 маршрути міського пасажирського транспорту з різними інтервалами руху. Одержані результати показують, що зі зростанням величини планового інтервалу руху збільшується й величина середнього квадратичного відхилення (рис. 4).

Виходячи з аналізу рис. 4, можна дійти висновку, що за відсутності на маршруті системи

диспетчерського керування рухом транспортних засобів, зі зростанням планового інтервалу збільшується й величина середнього квадратичного відхилення, що є характеристикою нерегулярності руху. Тобто, маршрути з більшим інтервалом руху характеризуються більшою нерегулярністю.

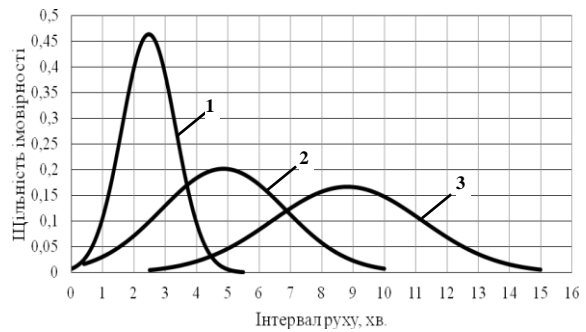


Рисунок 4 – Криві щільності розподілу фактичних інтервалів руху за різної величини планового інтервалу:

1 - $I_{пл} = 2,5$ хв.; 2 - $I_{пл} = 5$ хв.; 3 - $I_{пл} = 9$ хв.

Формалізацію цієї залежності було виконано із застосуванням методу регресійного аналізу. В результаті було отримано модель лінійного виду:

$$\sigma = 0,236 \cdot I_{пл}. \quad (3)$$

Графік отриманої залежності представлено на рис. 5. Як бачимо, спостерігається незначний розкид дослідних даних відносно лінії тренду. Мінімальне відхилення складає 0,27 %, а максимальне – 51,56 %. Проте більшість дослідів знаходиться у 10 % діапазоні відхилень.

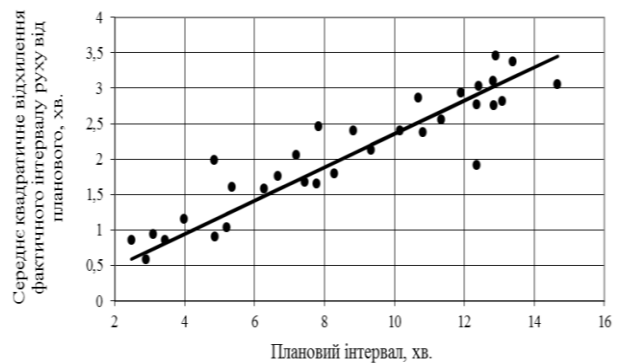


Рисунок 5 - Графік залежності показника регулярності руху від планового інтервалу

Статистичну оцінку моделі (3) проводили за такими показниками:

1. Оцінку значущості коефіцієнту регресії проводили за критерієм Ст'юдента. Розрахункове значення складає 37,09, проти табличного 2,02. Перевищення розрахункового значення критерію Ст'юдента над табличним вказує на значущість коефіцієнту моделі.

2. Тісноту зв'язку між залежною та незалежною змінними оцінювали за коефіцієнтом кореляції. Його значення складає 0,989, що вказує на високу тісноту зв'язку між змінними.

3. Ступінь адекватності моделі було оцінено за середньою помилкою апроксимації. Розрахунки показали, що фактичні дані середнього квадратичного відхилення, отримані за результатами натурних спостережень, відрізняються від змодельованих в середньому на 12,95 %. Таке значення середньої помилки апроксимації вказує на те, що модель (3) характеризується задовільним рівнем адекватності та її можна використовувати для проведення практичних розрахунків. Проте, окрім величини планового інтервалу, існують й інші фактори, що чинять вплив на досліджуваний процес. Для отримання більш адекватних результатів моделювання перелік факторів, що зумовлюють регулярність руху транспортних засобів має бути розширений.

Таким чином, впровадження систем диспетчерського керування на маршрутах міського пасажирського транспорту з високими інтервалами руху (низька частота обслуговування) має забезпечити більшу результативність, з точки зору скорочення часу очікування пасажирів, ніж на маршрутах з високою частотою обслуговування.

Висновки

В результаті обробки результатів натурального обстеження інтервалів руху на маршрутах міського пасажирського транспорту виявлено, що його зміна погоджується із нормальним законом розподілу випадкової величини. Встановлено, що робота транспортних засобів на маршрутах з низькою частотою руху характеризується більшою нерегулярністю, що може бути оцінена за середнім квадратичним відхиленням фактичного інтервалу руху від його планового значення. За відсутності на маршруті системи диспетчерського керування рухом транспортних засобів, зі зростанням планового інтервалу зростає й величина середнього квадратичного відхилення. Тобто, маршрути з більшим інтервалом руху характеризуються меншою регулярністю.

Виходячи з цього, впровадження систем диспетчерського керування на маршрутах міського пасажирського транспорту з низькою частотою обслуговування призведе до більшого скорочення часу очікування пасажирів, ніж на маршрутах з малими інтервалами руху.

Проте, окрім величини планового інтервалу, існують й інші фактори, що чинять вплив на досліджуваний процес. Для отримання більш адекватних результатів моделювання перелік факторів, що зумовлюють регулярність руху транспортних засобів має бути розширений, що є напрямом подальших досліджень.

Література

1. Варелопуло, Г. А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте [Текст] / Г. А. Варелопуло - М.: Транспорт, 1990. – 208 с.
2. Антошвили, М. Е. Оптимизация городских автобусных перевозок [Текст] / М. Е. Антошвили, С. Ю. Либерман, И. В. Спириин. – М.: Транспорт, 1985. – 102 с.
3. Ефремов, И. С. Теория городских пассажирских перевозок : учеб. пособие для вузов [Текст] / И. С. Ефремов, В. М. Кобозев, В. А. Юдин. – М.: Высш. школа, 1980. – 535 с.
4. Casello, J. M. Impacts of express bus service on passenger demand [Text] / J. M. Casello, B. Hellinga // Journal of Public Transportation. – 2008. – № 11 (4). – P. 1 - 15.
5. van Oort, N. Service regularity analysis for urban transit network design [Text] / N. van Oort, R. van Nes // Proceedings of 83rd Annual Meeting of Transportation Research Board. – 2004. – P. 1 - 26.
6. Антошвили, М. Е. Организация городских автобусных перевозок с применением математических методов и ЭВМ [Текст] / М. Е. Антошвили, Г. А. Варелопуло, М. В. Хрущев. – М.: Транспорт, 1974. – 104 с.
7. Доля, В. К. Пасажирські перевезення: підручник [Текст] / В. К. Доля. – Х.: Форт, 2010. – 504 с.
8. Спириин, И. В. Перевозка пассажиров городским транспортом [Текст] / И. В. Спириин. – М.: Академкнига, 2004. – 413 с.
9. Давидич, Ю. А. Разработка мероприятий по сокращению времени ожидания пассажирами городских маршрутных автобусов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Юрий Александрович Давидич. – Х., 1993. – 180 с.
10. Зильберталь, А. Х. Трамвайное хозяйство [Текст] / А. Х. Зильберталь. – М. – Л.: Гострансиздат, 1932. – 270 с.
11. Цибулка, Я. Качество пассажирских перевозок в городах [Текст] / Я. Цибулка;. – М.: Транспорт, 1987. – 239 с.

References

1. Varelopulo G. A. (1990) Organization of movement and transportation in urban passenger transport. - Moscow: Transport. - 208 p.
2. Antoshvily M. E., Lyberman S. U., Spyrin I. V. (1985) Optimization of urban passenger transportation. - Moscow: Transport. - 102 p.
3. Efremov I. S., Kobozev V. M., Yudin V. A. (1980) Theory of urban passenger transportation: Textbook for Universities. - Moscow: High School. - 535 p.
4. Casello J. M., Hellinga B. (2008) Impacts of express bus service on passenger demand / // Journal of Public Transportation. - № 11 (4). - P. 1 - 15.
5. van Oort N., van Nes R. (2004) Service regularity analysis for urban transit network design / Proceedings of 83rd Annual Meeting of Transportation Research Board. - P. 1 - 26.
6. Antoshvily M. E., Varelopulo G. A., Khrushchev M. V. (1974) Organization urban automobile transportation with usage of mathematical methods and computers /. - Moscow: Transport. - 104 p.
7. Dolia V. K. (2011) Passenger transportation - Kharkiv.: Fort Publ. - 504 p.

8. Spyryn I. V. (2004) *Passenger's transportation in cities* - Moscow: Akademknyha. - 413 p.

9. Davidich U. A. (1993) *Development measures on reduction of passenger waiting time delay on city bus routs / Dis. Candidate of Engineering Sciences: 05.22.01. Kharkiv.* - 180 p.

10. Zylbertal A. H. (1932) *Tram economy* – Moscow - Leningrad: Hostransyzdat,. - 270 p.

11. Tsybulka J. (1987) *Quality of passenger transportations in cities.* - Moscow: Transport. - 239 p.

Автор: ДАВІДІЧ Юрій Олександрович
доктор технічних наук, професор
Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків.
E-mail – davidich@mail.ru

Автор: ПОНКРАТОВ Денис Павлович
кандидат технічних наук, доцент
Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків.
E-mail – dponkratov@mail.ua

Автор: ФАЛЕЦЬКА Галина Іванівна
кандидат технічних наук, доцент
Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків.
E-mail – gala77712@rambler.ru

Автор: НЕСМІЯН Яна Юріївна
студент
Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків.

ОЦЕНКА РЕГУЛЯРНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА МАРШРУТАХ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

Ю. А. Давидич, Д. П. Понкратов, Г. И. Фалецкая, Я. Ю. Несмиян

Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, г. Харьков

В статье рассмотрены вопросы оценки регулярности движения на маршрутах городского пассажирского транспорта. Выявлено, что изменение интервала движения согласовывается с нормальным законом распределения. Установлено, что работа транспортных средств на маршрутах с низкой частотой движения характеризуется большей нерегулярностью, что может быть оценено средним квадратичным отклонением фактического интервала от его планового значения.

Ключевые слова: регулярность движения, интервал движения, среднее квадратическое отклонение от планового интервала движения, время ожидания.

SERVICE REGULARITY EVALUATION ON TRANSIT ROUTES

U. Davidich, D. Ponkratov, G. Faletska, Y. Nesmiyan

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv

Paper considered issues of public transit service regularity evaluation. Survey results of the headway variation data processing defined, its change approximated by the normal (Gaussian) distribution. It was found that transit routes with low frequency characterized by higher irregularity, which can be access by standard deviation of actual value from its scheduled one. This relationship is formalized using linear regression equation. Statistical evaluation of the developed model has allowed to make a conclusion about its adequacy. It was noted that the introduction of supervisory systems on transit routes with low frequency will lead to a higher reduction of passenger's waiting time than on routes with short headways.

Keywords: service regularity, headway, headway's standard deviation from its scheduled value, waiting time.