

УДК 656.021.2

канд. техн. наук, професор Рейцен Є.О.,  
Київський національний університет будівництва й архітектури,  
канд. техн. наук, доцент Толлок О.В., Куєвда Д.В.,  
Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «ДонНТУ»

## **ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ВИБІРКОВОГО ОБСТЕЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ ТРАНСПОРТУ. ЧАСТИНА ПЕРША.**

*Описуються результати визначення тривалості вибіркового обстеження інтенсивності руху транспорту на ділянці вулично-дорожньої мережі.*

*Ключові слова: метод вибіркового, інтенсивність руху, ділянка вулиці, одиниця спостереження.*

**Вступ.** Для вирішення питань транспортного планування й організації руху транспорту в містах проводиться збір вихідної інформації для проектування. Особливе місце серед цієї інформації належить даним про інтенсивність руху транспорту (ІРТ) на вулично-дорожній мережі (ВДМ).

Обстеження ІРТ в містах можуть проводитися із застосуванням суцільного або вибіркового методу. Достоїнством суцільних обстежень є те, що в їх результаті може бути отримана достовірна картина завантаження ВДМ за певний відрізок часу. Недоліками суцільних обстежень є значна вартість і трудомісткість їх проведення й обробки матеріалів. У зв'язку із цим у нас та в інших країнах світу широке поширення одержав вибіркового методу обстеження ІРТ.

Однак при всій значимості й широкому практичному застосуванні в теоретичному відношенні вибіркового методу обстеження ІРТ ще не достатньо добре розроблений. Відсутня достатньо добре пророблена й науково обґрунтована система правил і способів, що становить зміст вибіркового методу обстеження ІРТ. Тому результати обстежень ІРТ, отримані із застосуванням вибіркового методу, часто не відповідають дійсності. Це, в остаточному підсумку, відбивається на результатах проектування.

**Постановка проблеми.** У різних наукових і нормативних джерелах рекомендуються для проведення вибіркового обстеження проміжки часу від  $t = 5$  хв. до  $t = 30$  хв. Наприклад: Gilbert K. [1] – 6 хв.; Drew D [2] – 5 хв.; Вальц В.К. [3]: при інтенсивності руху до 800 авт./год – 30 хв, від 800 до 1200 – 12 хв, більше 1200 – 6 хв; Ваксман С.А. [1]: до 500 авт./год – 30 хв; від 500 до 1000 – 12 хв; більше 1000 – 6 хв; Рейцен Є.О. [4] – 20 хв; Шелков Ю.Д. [5] – 30 хв; у нормативі Республіки Білорусь [6] час вибіркового спостереження може визначатися за кількістю смуг руху й становить у середньому: на основних

магістральних вулицях і дорогах найзначніших, значних і великих міст – 3 - 4 хв, середніх і малих міст – 5 - 6 хв, на інших вулицях і дорогах міст – 10 – 12 хв.

Як бачимо, єдиної думки щодо величини  $t$  немає. Тому наукове обґрунтування правил визначення величини  $t$  є актуальною науковою задачею.

**Мета.** Визначити тривалість вибіркового обстеження інтенсивності руху транспорту на ділянці вулично-дорожньої мережі.

**Основна частина.** У цій роботі автори використовували основні положення методики теоретико-експериментальних досліджень застосування вибіркового методу до обстеження інтенсивності транспортних потоків, які викладені в роботі [1], а також положення теорії вибіркового методу обстеження ІРТ на мережі міських вулиць і доріг з роботи [7].

Час вибіркового обстеження  $t$  формується з  $d$  одиниць спостереження  $\tau$ :

$$t = d \cdot \tau. \quad (1)$$

У якості одиниці спостереження приймається  $\tau$  – хвилинний проміжок часу. Відповідно до теоретичних основ вибіркового методу обстеження ІРТ одиниці спостереження повинні вичерпувати всю сукупність, не повинні перекривати одна одну і їх кількість повинна бути цілим числом [7]. Стосовно до оцінки годинної ІРТ ( $T = 60$  хв),  $\tau$  може приймати наступні значення: 1 хв, 2 хв, 3 хв, 4 хв, 5 хв, 6 хв, 10 хв, 15 хв, 20 хв, 30 хв.

Якщо прийняти обсяг вибірки  $d = 1$ , то інтервал часу  $\tau$  буде визначати мінімально можливий час вибіркового обстеження ( $t = \tau$ ). Чим менше значення  $\tau$ , тим раціональніше можна сформувати вибірку. (Тут під «раціональністю» ми розуміємо можливість забезпечити задану точність оцінки ІРТ із мінімальними витратами часу й грошових ресурсів. Наприклад, при  $\tau = 5$  хв можна сформувати вибірки в 5, 10, 15, 20 і 30 хвилин. А при  $\tau = 10$  хв можна сформувати вибірки в 10, 20 і 30 хвилин. Тобто при  $\tau = 5$  хв у порівнянні з  $\tau = 10$  хв більше можливостей (варіантів) забезпечити задану точність оцінки ІРТ із мінімальними витратами часу). Однак величина  $\tau$  повинна бути обмежена знизу, тому що в містах спостерігається «імпульсність» руху [2].

На противагу «імпульсності руху» уведено термін «стаціонарність руху» [2]. Термін «стаціонарність руху» у цьому випадку має той зміст, що  $\tau$  – хвилинні інтенсивності руху конкретної години – це випадкові незалежні величини, що підкоряються тому ж самому закону розподілу. Інакше кажучи, розподіл ІРТ за  $\tau$  – хвилинними інтервалами усередині конкретної години повинен бути закономірним, а не випадковим. Тільки в цьому випадку ми можемо переходити від даних вибіркового обстеження до оцінки годинної ІРТ, тобто по суті – прогнозувати величину годинної ІРТ.

Відзначимо, що під «стаціонарністю руху» ми розуміємо тільки ідентичність розподілів за формою без конкретизації їх параметрів і навіть виду розподілу.

Таким чином, мінімальне значення  $\tau$  можна обґрунтувати шляхом виявлення стаціонарності руху. Для цього необхідно оцінити стаціонарність руху при різних значеннях  $\tau$  ( $\tau = 1$  хв,  $\tau = 2$  хв,  $\tau = 3$  хв і т.д.). Як тільки буде спостерігатися стаціонарність руху протягом конкретної години, то можна вважати відповідне значення  $\tau$  обґрунтованим.

В інженерному аналізі випадкових процесів для перевірки стаціонарності розподілів використовують різні критерії згоди. Не керуючись якими-небудь теоретичними положеннями, ґрунтуючись лише на простоті застосування й наявності практичних прикладів дослідження процесів, що подібні розподілу ІРТ усередині години, для аналізу стаціонарності руху обрані критерій  $\chi^2$  Пірсона і критерій Вілкоксона  $W$  [8].

Для обґрунтування значення  $\tau$  були проведені експериментальні обстеження ІРТ на двох ділянках ВДМ м. Горлівки і на трьох ділянках ВДМ м. Донецька. При виборі ділянок для проведення обстежень ІРТ ми керувалися такими положеннями.

По-перше, дослідження внутрішньогодинної нерівномірності руху показали, що зі збільшенням ІРТ рух усередині години стає більш рівномірним [9]. Виходячи із цього, ми можемо припустити, що при інтенсивностях руху транспорту, що наближаються до пропускної здатності, час проведення вибіркового обстеження ІРТ буде мінімальним, тобто  $t = \tau$ . Таким чином, для обґрунтування  $\tau$  шляхом доказу стаціонарності руху усередині години, розбитої на проміжки часу  $\tau$ , експериментальні обстеження необхідно проводити на ділянках з ІРТ, що наближаються до пропускної здатності.

Логічно припустити й те, що зі зменшенням ІРТ стаціонарність руху буде спостерігатися при проміжках часу, більших за  $\tau$ . Однак на таких ділянках найімовірніше й час на проведення вибірових обстежень буде більшим й формуватися з  $d$  вибірових одиниць  $\tau$  ( ф-ла (1)). Таким чином, на ділянках ВДМ із меншою інтенсивністю руху, стаціонарність повинна спостерігатися вже при розбивці години на проміжки часу  $t = d \cdot \tau$ .

По-друге, формування імпульсності руху в містах багато в чому визначається наявністю світлофорного регулювання на перехрестях і на пішохідних переходах. Тому, ділянки для проведення експериментальних обстежень ІРТ з метою обґрунтування величини  $\tau$  обрані в зоні впливу світлофорних об'єктів.

У результаті досліджень ІРТ, що були проведені в м. Горлівці, розраховані коефіцієнти парної кореляції між тенденціями ІРТ за днями тижня (табл. 1).

Таблиця 1

Матриця коефіцієнтів парної кореляції між тенденціями ІРТ за днями тижня

	Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя
Понеділок	1,000						
Вівторок	0,989	1,000					
Середа	0,997	0,990	1,000				
Четвер	0,996	0,976	0,991	1,000			
П'ятниця	0,990	0,967	0,983	0,997	1,000		
Субота	0,686	0,736	0,695	0,628	0,591	1,000	
Неділя	0,491	0,581	0,511	0,417	0,379	0,945	1,000

Отримані коефіцієнти кореляції вказують на наявність сильного кореляційного зв'язку між тенденціями зміни величини ІРТ у будні дні тижня, тобто тенденції зміни ІРТ за годинами доби в будні дні тижня є однаковими. Виходячи із цього, ми можемо припустити, що й внутрішньогодинні зміни ІРТ однойменних годин доби при певних значеннях  $\tau$  будуть мати однаковий закон розподілу.

Експериментальні дослідження ІРТ проводилися у квітні в будні дні тижня (понеділок, вівторок, середа, четвер) з 25.04.11 по 28.04.11. В обрані дні проводилися обстеження ІРТ із 9<sup>00</sup> до 15<sup>00</sup>. Кожна година розбивалася на однохвилинні періоди, за які фіксувалася кількість транспортних засобів у фізичних одиницях. Під час проведення обстежень ІРТ на всіх п'яти ділянках світлофори працювали у жорсткому однопрограмному режимі, ДТП не було, погодні умови були однаковими, стан проїзної частини не мінявся, автомобілів, що стоять у бордюрного каменю, не було, рух здійснювався по одній смузі. Таким чином, ми можемо констатувати однакові умови руху за всі години проведення обстежень ІРТ.

Далі оцінювалася стаціонарність руху при розбивці години на 60 відрізків по одній хвилині, на 30 відрізків по 2 хв, на 20 відрізків по 3 хв, на 15 відрізків по 4 хв, на 12 відрізків по 5 хв, на 10 відрізків по 6 хв і на 6 відрізків по 10 хв (відповідно  $\tau = 1$  хв,  $\tau = 2$  хв,  $\tau = 3$  хв,  $\tau = 4$  хв,  $\tau = 5$  хв,  $\tau = 6$  хв,  $\tau = 10$  хв).

Нульова гіпотеза полягала в наступному: розподіл інтенсивності руху транспорту за  $\tau$  – хвилинними інтервалами часу в однакові години доби у будні дні тижня підкорюється тому ж самому закону розподілу (за формою).

Нульову гіпотезу перевіряли за критерієм  $\chi^2$  з використанням методики з [8]. Попередньо всі  $\tau$  – хвилинні інтенсивності руху кожної години на кожній з п'яти ділянок ВДМ були нормовані відносно середнього значення  $\tau$  – хвилинної

інтенсивності руху відповідної години. Така процедура дозволила усунути вплив зміни величини ІРТ за днями тижня на кінцеві результати.

Як приклад, в табл. 2 наведені результати розрахунків  $\chi^2$  при розбивці години (з  $10^{00}$  до  $11^{00}$ ) на  $\tau$  – хвилинні відрізки й відповідні критичні значення  $Z_{\chi^2}(v, P)$  на одній з ділянок, де досліджувалася стаціонарність руху. В транспортних дослідженнях і для інженерних розрахунків приймають  $P = 0,954$  [1].

Таблиця 2

Приклад результатів перевірки нульової гіпотези про ідентичність розподілу інтенсивності руху транспорту за  $\tau$  – хвилинними відрізками усередині години з  $10^{00}$  до  $11^{00}$

$\tau, хв$	$\chi^2$	$v$	$Z_{\chi^2}(v, P)$	Висновок
1	19,647	6	12,6	гіпотеза не приймається
2	14,431	5	11,1	гіпотеза не приймається
3	13,123	5	11,1	гіпотеза не приймається
4	12,969	4	9,5	гіпотеза не приймається
<b>5</b>	<b>7,867</b>	<b>4</b>	<b>9,5</b>	<b>гіпотеза не відкидається</b>
6	7,133	4	9,5	гіпотеза не відкидається
10	6,629	3	7,8	гіпотеза не відкидається

Аналіз результатів (табл. 2) дозволяє зробити висновок, що отримані за експериментальними даними значення  $\chi^2$  починаючи з  $\tau = 5$  хв лежать в області припустимих значень, а тому у нас немає підстав для  $\tau$  рівних 5, 6 і 10 хв уважати гіпотезу про ідентичність закону розподілу ІРТ у середині години з  $10^{00}$  до  $11^{00}$  у будні дні тижня такою, що суперечить спостереженням.

Для інших годин будніх днів тижня для всіх п'яти ділянок ВДМ, де проводилися обстеження, отримані аналогічні результати. Таким чином, відповідно до вихідних положень про стаціонарність руху можна прийняти в якості одиниці спостереження 5 хвилинний проміжок часу ( $\tau = 5$  хв).

У якості додаткового критерію обраний критерій Вілкоксона ( $W$ ). Він зручний для застосування при аналізі вибірок з кількістю спостережень не менш п'яти, не вимагає знання розподілу процесу й розрахунки полегшуються тим, що в них використовуються цілі числа.

Нульова гіпотеза при застосуванні критерія Вілкоксона полягає в тому, що дві вибірки, які порівнюються, характеризуються однаковим розподілом, причому байдуже яким [8].

З використанням критерію  $W$  провели перевірку стаціонарності руху в годині при розбивці години на п'ятихвилинні інтервали часу ( $\tau = 5$  хв). При цьому попарно для кожної ділянки порівнювались години, для яких

перевірялася стаціонарність руху. Наприклад, на кожній з ділянок ВДМ порівнювалися дані обстеження ІРТ у понеділок з  $10^{00}$  до  $11^{00}$  з даними обстеження ІРТ у вівторок з  $10^{00}$  до  $11^{00}$ .

Результати перевірки стаціонарності руху за критерієм  $W$  не суперечать висновкам, які ми зробили за критерієм  $\chi^2$ .

У практиці прогнозування велику користь приносить знання закону розподілу процесу. Тому наступне завдання, яке було поставлено в цій статті, пов'язане з експериментальною перевіркою гіпотетичного припущення про вид розподілу випадкового процесу зміни ІРТ усередині години. Якщо припущення після статистичного аналізу підтверджується, то властивості передбачуваного розподілу можуть бути використані надалі.

На практиці найбільше поширення одержав нормальний закон розподілу. Нульова гіпотеза полягала в наступному: розподіл інтенсивності руху за  $\tau$  – хвилинними інтервалами в однакові години доби у будні дні тижня підкорюється тому ж самому закону розподілу (за формою) і цей закон є нормальним.

Для перевірки цієї гіпотези використаний формальний апарат методики перевірки гіпотези нормальності по сукупності малих вибірок з використанням критерію Крамера – Мізеса – Смирнова [10].

Аналіз отриманих результатів перевірки гіпотези про нормальність розподілу ІРТ усередині години при розбивці години на  $\tau$  – хвилинні інтервали часу (рис. 1) дозволив зробити наступні висновки:

- зі збільшенням інтервалу часу  $\tau$  імовірність відхилити правильну гіпотезу про нормальний розподіл ІРТ усередині години збільшується;

- при  $\tau = 5$  хв відбувається якісний стрибок у зміні значення ймовірності відхилити правильну гіпотезу про нормальність розподілу ІРТ усередині години. Подальше збільшення  $\tau$  практично не приводить до збільшення ймовірності відхилити гіпотезу про нормальність розподілу ІРТ усередині години;

- при  $\tau = 5$  хв імовірність відхилити правильну гіпотезу про нормальність розподілу ІРТ усередині години становить близько 35 %. Такі дані не дають нам підстав відхилити гіпотезу про нормальний розподіл ІРТ усередині години при розбивці години на п'ятихвилинні інтервали.

### **Висновки.**

У якості одиниці спостереження приймаємо п'ятихвилинний інтервал часу. Доведено, що при інтенсивностях руху транспорту, що наближаються до пропускнув здатності, при розбивці години на п'ятихвилинні інтервали часу буде спостерігатися стаціонарність руху в плинні години. Експериментальні дані не суперечать гіпотезі про нормальний розподіл ІРТ у годині при розбивці

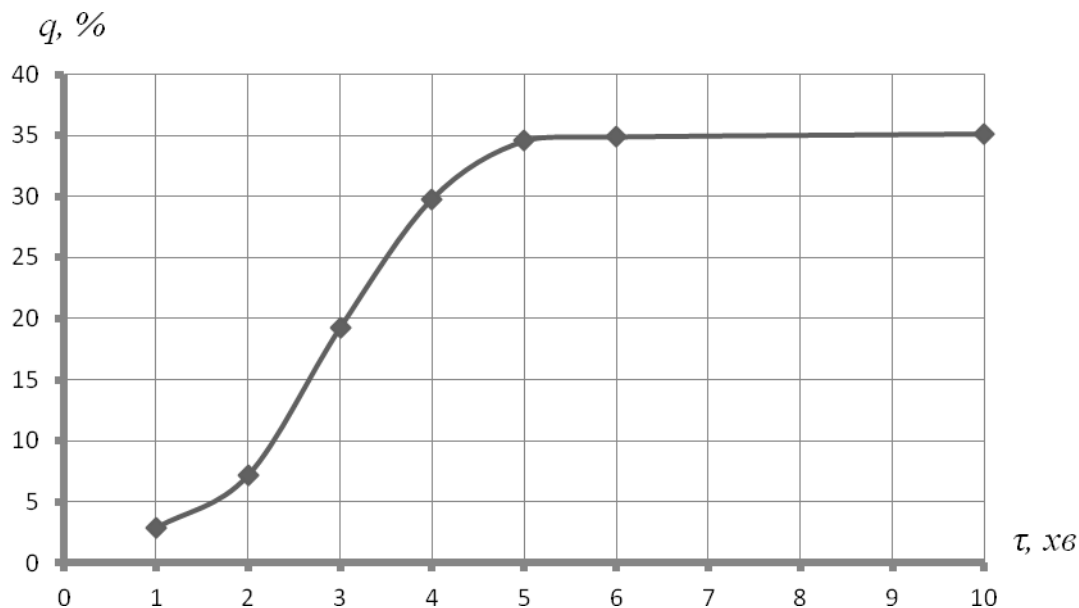


Рис. 1. Імовірність відхилити вірну гіпотезу про нормальність розподілу ІРТ усередині години при розбивці години на  $\tau$  – хвилинні інтервали часу

години на інтервали часу  $\tau = 5$  хв і більше. Тому властивості нормального розподілу можуть бути використані в подальших дослідженнях.

При  $\tau = 5$  хв можна сформувати вибірки обсягом  $d = 1, d = 2, d = 3, d = 4$  і  $d = 6$ , що відповідає тривалості вибіркового обстеження відповідно 5, 10, 15, 20 і 30 хв (див. ф-лу (1)). Яка ж саме повинна бути тривалість вибіркового обстеження інтенсивності руху транспорту – відповідь на це питання є метою другої частини цієї статті.

Продовження в наступному випуску.

### Література

1. Ваксман С.А. Выборочный метод обследования интенсивности уличного движения / С.А. Ваксман, С.С. Кислицын // Проблемы градостроительства на Урале и Сибири – Свердловск: Издание УПИ, 1969. – Вып. 169. – С. 83 – 89.
2. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
3. Вальц В.К. Возможности применения выборочного метода для определения интенсивности движения и структуры транспортных потоков на городских улицах / В.К. Вальц // Проблемы городского транспорта – К.: Будівельник, 1966. – С. 12 – 16.
4. Рейцен Е.А. Надежность обследований интенсивности движения в городах / Е.А. Рейцен // Градостроительство. – К.: Будівельник, 1983. – Вып. 35. – С. 87– 90.

5. Организация дорожного движения в городах : методическое пособие / [Шелков Ю.Д., Степанов В.В., Клинковштейн В.Г. и др] ; под ред. Ю.Д. Шелкова. – М.: НИЦ ГАИ МВД России, 1995. – 143 с.

6. Обследование транспортных потоков и прогнозирование нагрузки сети городских улиц и дорог : пособие П2-99 к СНБ 3.03.02 – 97. – Издание официальное. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 1999. – 44 с.

7. Толлок А.В. Предмет теории выборочного метода обследования интенсивности движения транспорта на сети городских улиц и дорог / [А.В. Толлок, Д.В. Куевда, Ю.В. Белов и др]// Вісник Донецької академії автомобільного транспорту – 2011. - №2 – С. 4 – 12.

8. Жовинский А.Н. Инженерный экспресс-анализ случайных процессов / А.Н. Жовинский, В.Н. Жовинский – М.: Энергия, 1979. – 113 с.

9. Куєвда Д.В. Внутрішньогодинна нерівномірність завантаження рухом транспорту ділянки вулиці / Д.В. Куєвда, О.В. Толлок // Проблеми і перспективи розвитку автомобільної галузі : Матеріали Всеукраїнської конференції молодих учених та студентів. – Донецьк: ЛАНДОН-XXI, 2011. – С. 200 – 202.

10. Смирнов Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский. – М.: Наука, 1969. – 512 с.

#### **Аннотация**

В статье описываются результаты определения продолжительности выборочного обследования интенсивности движения транспорта на участке улично-дорожной сети.

#### **Abstract**

The article describes the results of the definition of sampling intensity of traffic on the section of a street-road network.