

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ
ІНТЕРВАЛІВ РУХУ В ТРАНСПОРТНОМУ ПОТОЦІ

THE METHOD OF EXPERIMENTAL STUDY OF THE DISTRIBUTION OF TRAFFIC
INTERVALS IN THE TRANSPORT FLOW



Неівестний Сергій Валерійович, Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П.Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна, neizvestniyony@ukr.net, +380957970172

<https://orcid.org/0000-0002-8888-313X>



Пальчик Анатолій Миколайович кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, кафедра проектування доріг, геодезії та землеустрою, доцент, pamproekt@gmail.com, +30973090913

<https://orcid.org/0000-0003-2544-5359>

Анотація. Викладена методика експериментального визначення розподілу інтервалів руху між автомобілями в транспортному потоці на ділянках перегонів між простими розв'язками в одному рівні з інтенсивністю руху від 300 до 600 авт/год на одну смугу, а також встановлений вплив розв'язок в одному рівні на часовий інтервал та на зміну інтенсивності руху для встановлення залежності наявності та кількості вільних інтервалів руху в транспортному потоці. Для цього були вирішені наступні задачі: розроблена методика експериментальних досліджень зміни інтервалів руху в транспортному потоці; встановлена необхідна кількість даних для забезпечення необхідної достовірності результатів; проведена експериментальна частина (збір статистичних даних про інтенсивності та інтервали руху та інших характеристик на різних категоріях автомобільних доріг); виконана обробка експериментальних даних з використанням методів математичної статистики; уточнена функція розподілу часових інтервалів; проаналізований характер зміни часових інтервалів між транспортними засобами в «пакеті» та між «пакетами» при русі по розв'язках в одному рівні; встановлена залежність кількості транспортних засобів заданого інтервалу руху від часового інтервалу між транспортними засобами.

Ключові слова: емпірико-стохастичний підхід, розподіл ймовірностей, інтервал руху, інтенсивність руху, вільний інтервал руху.

Вступ. Для моделювання транспортних потоків створено багато математичних моделей, які дають змогу дослідити різні параметри руху транспортних потоків.

Всі моделі транспортного потоку можна поділити на три класи [1]:

- 1) моделі-аналоги;
- 2) моделі слідування за лідером;
- 3) імовірнісні моделі.

В моделях-аналогах транспортний потік розглядається як рух транспортного засобу в фізичному потоці із використанням законів гідро - й газодинаміки (моделі Гриншилдса, Лайтхила-Уизема, Грінберга, моделі ударних хвиль у транспортному потоці та гідродинамічні моделі першого і другого порядку). Цей клас моделей прийнято називати макроскопічними моделями. Транспортний потік

розглядається як потік із специфічними властивостями, що утворюють в русі (при цьому рух окремих автомобілів не розглядається). [2]. До основних характеристик транспортного потоку, якими оперують моделі цієї групи, є:

- густина (кількість автомобілів на одиницю довжини дороги);
- потік (кількість автомобілів, що проходять через деякий перетин дороги за одиницю часу);
- середня швидкість автомобілів у потоці (відрізняється на різних ділянках дороги).

У моделях слідування за лідером в основі підходів лежить концепція «дотримання при русі безпечної дистанції до лідера». Цей клас моделей називають мікроскопічними. Особливістю цієї моделі є те, що в ній відображені закономірності комплексу «водій – автомобіль – дорога – середовище», зокрема, психологічний аспект управління автомобілями. Він полягає в тому, що під час руху в щільному транспортному потоці дії водія обумовлені змінами швидкості лідируючого автомобіля і дистанції до нього.

У моделях слідування за лідером рух керованого транспортного засобу певним чином пов'язаний із переміщенням головного автомобіля. На даний час розроблені лінійну і нелінійна моделі слідування за лідером. Вони дуже детальні для аналізу руху у великих транспортних системах, їх використовують для аналізу характеристик потоку на перетинах, регульованих перехрестях тощо. [3].

В імовірнісних моделях транспортний потік розглядається як результат взаємодії (має стохастичний характер) окремих транспортних засобів на елементах транспортної мережі [4]. В стохастичних моделях транспортний потік розглядається як імовірнісний процес із застосуванням відповідного математичного апарату [5].

При емпірико-стохастичному підході транспортний потік представляється у вигляді рухомих «пакетів» автомобілів. [6].

Характеристики потоку в цьому випадку:

- кількість автомобілів в пакеті;
- відстань між пакетами;
- габарит пакета.

Перелічені характеристики потоку носять випадковий характер і при моделюванні руху потоку можуть призначатися будь-яким розподілом імовірності. Розподіл імовірності по кожному параметру належить експериментальному встановленню шляхом обстеження реальних умов транспортних потоків на мережі автомобільних доріг. При цьому слід врахувати, що закон розподілу і розташування дисперсії по осі абсцис перелічених параметрів залежать від інтенсивності руху потоку. Інтенсивність руху транспортних потоків підлягає визначенню при моніторингу транспортних потоків на мережі автомобільних доріг.

Точність вирішення задачі встановлення розподілу транспортних потоків на мережі автомобільних доріг залежить від правильності вибору закону розподілу часових інтервалів руху між автомобілями в транспортному потоці. Спостереженнями за загальним розподілом інтервалів виконували Біруля А.К., Чижевський Ю.С., Крилов Ю.С., Кероглу Л.А., Філіпов В.В., Лобанов Е.М., Брайловський І.О., Грановський Б.І., Петров В.В., Капітанов В.Т., також зарубіжні вчені – Д. Робертсон, Д. Уїзем, І. Віндольф, І. Бертольд та інші.

В теперішній час ще не створена модель, яка повністю дозволяє описати потік будь-якої інтенсивності руху в різних дорожніх умовах. Область практичного використання окремих моделей транспортного потоку залишається досить вузькою із-за їх недоліків та із-за недостатніх експериментальних робіт на основі яких можливо було б обґрунтувати раціональну сферу їх використання.

Оскільки, вирішення практичних задач на основі цих моделей з використанням чисто теоретичного підходу неможливий, тому, тільки при наявності експериментальних даних про закономірність транспортних потоків можливо їх ефективно використання.

Мета і методи. В роботах Бабкова В.Ф. [7] та Дрю Д. [8] рекомендовано описувати розподіл швидкості і інтервалів руху між автомобілями в потоці з інтенсивністю руху близької до 600 авт/год на смугу нормальним розподілом випадкової величини. Це обумовлено впливом на вихідну характеристику великої кількості випадкових мало важливих факторів. Виходячи з вище сказаного,

була розроблена методика експериментального визначення розподілу інтервалів руху між автомобілями в транспортному потоці на ділянках перегонів між простими розв'язками в одному рівні з інтенсивністю руху від 300 до 600 авт/год на одну смугу, а також встановлений вплив розв'язок в одному рівні на часовий інтервал та на зміну інтенсивності руху для встановлення залежності наявності та кількості вільних інтервалів руху в транспортному потоці.

Для цього були вирішені ряд задач: розроблена методика експериментальних досліджень зміни інтервалів руху в транспортному потоці; встановлена необхідна кількість даних для забезпечення необхідної достовірності результатів; проведена експериментальна частина; виконана обробка експериментальних даних з використанням методів математичної статистики; уточнена функція розподілу часових інтервалів; проаналізований характер зміни часових інтервалів між транспортними засобами в «пакеті» та між «пакетами» при русі по розв'язках в одному рівні; встановлена залежність кількості транспортних засобів заданого інтервалу руху від часового інтервалу між транспортними засобами.

Результати і пояснення. Для виконання поставлених задач, була розроблена методика проведення експериментальних досліджень інтервалів руху, яка включає чотири основні етапи:

В першу чергу була проведена обробка наявних статистичних даних про інтенсивність руху для складання приблизної картини про досліджуваних показниках нерівномірності транспортного потоку. На першому етапі основного експерименту проводилося визначення місця проведення вимірювання інтервалів руху в транспортному потоці. Для експерименту нас цікавили автомобільні дороги II-IV категорій. Потім проводилося відсіювання невідповідних для вимірювання ділянок відповідно до вимог експерименту. З решти ділянок для вимірювання вибиралися найбільш підходящі по умовам руху і зручності проведення натурних обстежень.

Другий етап - збір необхідних статистичних даних про зміну інтервалів руху в транспортному потоці відповідно до заданих умов проведення експериментальних досліджень.

Третій етап полягає в обробці результатів дослідження.

Четвертий етап передбачає аналіз статистичних даних і встановлення залежності між інтервалами та інтенсивністю руху для різних умов руху за допомогою методів статистичного аналізу.

В плануванні експерименту одним з найбільш важливих етапів є етап підготовки вихідних даних, в який входить виміри характеристик транспортного потоку. До цих характеристик можна віднести інтенсивність і швидкість руху, інтервали руху між транспортними засобами тощо.

Для проведення вимірів параметрів транспортних потоків можуть бути використані такі технічні засоби, як відеокамери або різного роду детектори руху транспорту. Залежно від розв'язуваної задачі обирають той технічний засіб, який може забезпечувати найбільшу ефективність.

Основні умови вимірювань характеристик транспортного потоку на автомобільних дорогах можна сформулювати наступним чином:

- 1) одночасна фіксація характеристик транспортного потоку на смузі одного напрямку в умовах великої кількості транспортних засобів;
- 2) спостереження за рухом автомобілів при різній інтенсивності руху та складу транспортного потоку;
- 3) спостереження за всіма автомобілями, що утворює транспортний потік в групах, тобто суцільне спостереження;
- 4) спостереження на різних ділянках автомобільних доріг в різних дорожніх умовах (кількість смуг, ширина проїзної частини).

Таким чином, при дослідженні закономірностей транспортного потоку необхідно описати рух великої кількості автомобілів для отримання достовірних статистичних даних. Тому для всебічного і повного дослідження характеристик транспортного потоку необхідне використання якомога більшу кількість даних з різних точок мережі автомобільних доріг.

В ході експериментального дослідження розподілу інтервалів руху в транспортному потоці, яке виконувалося за допомогою відеозйомки на перегонах між необладнаними транспортними розв'язками в одному рівні протягом заздалегідь заданого проміжку часу (60 хвилин) встановлювалися наступні параметри:

- загальної кількості транспортних засобів, що проїхали за час аналізу;
- кількості транспортних засобів кожного типу;
- середньої швидкості руху всіх транспортних засобів по смузі;
- кількості автомобілів у пакеті;
- кількість пакетів;
- часовий інтервал між пакетами;
- часовий динамічний габарит автомобіля в пакеті;
- часовий інтервал габариту пакета.

Обробка відеозапису на комп'ютері виконувалась наступним чином:

1) спочатку встановлюється загальна кількість автомобілів, які пройшли контрольну межу на автомобільній дорозі, і підраховується інтенсивність руху за годину. Розподіл імовірності параметрів руху потоку встановлюються для автомобільних доріг з інтенсивністю руху від 300 до 600 авт/год, щоб потім встановити зміну розподілу в залежності від інтенсивності руху;

2) потім відеозображення руху транспортного потоку зміщують на моніторі з кроком $\Delta t = 0,25$ с. Для відтворення відеофайлів використовувався відеоплеєр «KMPlayer». Далі визначається кількість кроків між перетинанням контрольної межі переднім бампером попереднього автомобіля і переднім бампером наступного автомобіля і підраховується часовий динамічний габарит:

$$t_{дi} = m_{дi} \Delta t, \quad (1)$$

де $m_{дi}$ – кількість підрахованих кроків.

Аналогічно підраховується інтервал руху між пакетами автомобілів:

$$t_{т.п.} = m_{т.п.} \Delta t, \quad (2)$$

де $m_{т.п.}$ – кількість кроків між перетинанням контрольної межі заднім бампером останнього автомобіля в i -му пакеті і попереднім бампером першого автомобіля в $i+1$ пакеті.

Одночасно при покроковому зміщенні відеозображення руху транспортного потоку підраховується кількість автомобілів в кожному потоці.

Далі визначаються значення $t_{дi}$ та $t_{т.п.}$ і розносяться по графам таблиць з кроком 0,5 с. А кількість пакетів n_i – з кроком 1. По даним таблиць для кожного інтервалу інтенсивності руху будуються гістограми розподілу імовірностей значень кожного з параметрів, які в подальшому апроксимуються розподілом імовірностей.

Графічна ілюстрація гістограми розподілу часових інтервалі між транспортними засобами представлена на рисунку 1.

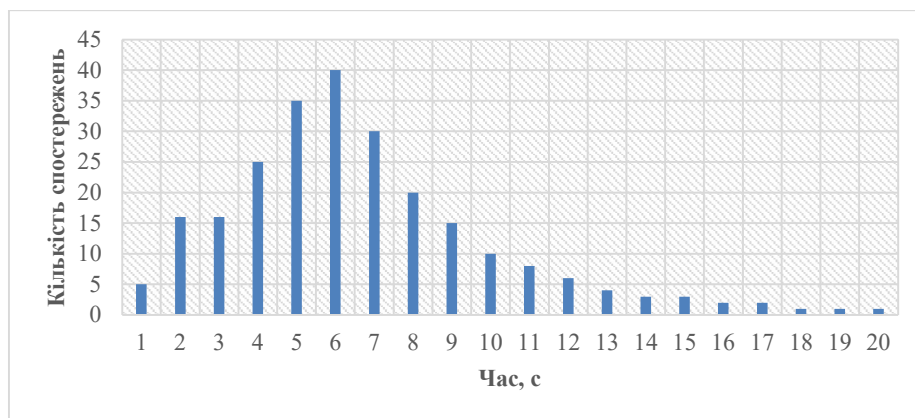


Рисунок 1 – Гістограма розподілу часових інтервалів
Figure 1 – Histogram of the distribution of time intervals

Таке детальне відеоспостереження характеристик транспортного потоку дозволяє врахувати різні фактори, що впливають на рух транспорту (склад транспортного потоку, кількість смуг руху, ширина проїзної частини, погодні умови тощо).

В роботі була припущено, що досліджувана випадкова величина має стандартний логарифмічний нормальний розподіл. Спостереження здійснювалося для встановлення виду функції щільності розподілу часового інтервалу руху між «пакетами» транспортних засобів. Послідовність обробки даних вимірів така:

- 1) за даними спостережень будують емпіричну криву;
- 2) визначають параметри емпіричного розподілу;
- 3) висувають одну або кілька гіпотез про функцію, щільність розподілу часового інтервалу руху між «пакетами» виходячи із зовнішнього вигляду експериментальної кривої, значень її параметрів, що впливають на її вид;
- 4) вирівнюють емпіричну криву за однією або кількома прийнятими теоретичними кривими;
- 5) порівнюють за одними з критеріїв згоди емпіричну та теоретичну криві;
- 6) добирають функцію, яка дає найбільшу узгодженість.

Експериментальні дані по визначенню мінімального часового інтервалу руху між «пакетами» транспортних засобів для різної інтенсивності руху вирівнюються за логарифмічним нормальним законом (3) з заданою щільністю (4) [7, 8]:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2} dx, \quad (3)$$

де x – випадкова величина, має функцію щільності ймовірності;

σ – середньоквадратичне відхилення випадкової величини $\ln x$;

μ – математичне імовірність випадкової змінної $\ln x$.

В якості показника часового інтервалу руху було вибрано середнє лінійне відхилення часових інтервалів руху, які спостерігалися протягом шістдесяти хвилин від середнього часового інтервалу руху. Узагальнені результатами, які виконувалися згідно прийнятої методики експериментальних досліджень приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення мінімального часового інтервалу руху між транспортними засобами в пакеті для різної годинної інтенсивності руху

Table 1 – The value of the minimum time interval of traffic between vehicles in a package for different hourly traffic intensities

Годинна інтенсивність по смугі руху, авт/год	Мінімальний часовий інтервал руху між тр.засобами в пакеті, с
300	3,51
400	3,27
500	3,16
600	2,79

Аналіз графіку (рис. 2) з розміщеними на ньому точками з таблиці 1 показав, що залежність, яка встановлюється може бути апроксимована лінійним рівнянням.

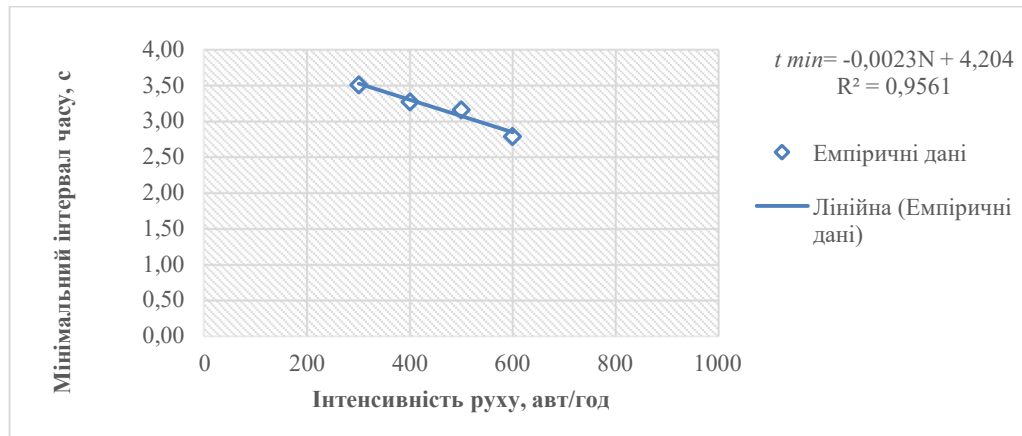


Рисунок 2 – Графік прямого лінійного прогнозу: вид залежності мінімальної величини часового інтервалу руху між транспортними засобами в пакеті від годинної інтенсивності руху

Figure 2 – Graph of a direct linear forecast: type of dependence of the minimum value of the time interval of traffic between vehicles in the package on the hourly traffic intensity

Отже, при збільшенні годинної інтенсивності руху на 100 авт/год мінімальний часовий інтервал руху між транспортними засобами в пакеті зменшується на 0,23 с (розраховуючи на одну смугу руху).

Для встановлення залежності часового інтервалу між пакетами та одиничним транспортними засобами від годинної інтенсивності з отриманих даних визначались часові інтервали між автомобілями та пакетами з відповідним складом транспортного потоку.

Виходячи з припущень про вид залежності та візуального оцінювання (рис. 3) кореляційного поля між змінними, встановлено, що найбільш підходящою функцією для апроксимації аналізованої залежності будуть степенева функція, яка має вигляд:

$$n_t = k \cdot t_d^{-a}, \tag{4}$$

- де n_t - кількості транспортних одиниць заданої величини інтервалу руху, авт/год;
 k – коефіцієнт, який відповідає інтервалу руху t_d ;
 t_d – часовий інтервал між транспортними засобами, с;
 a – вільний член рівняння.

Для встановлення функціональної залежності кількості транспортних засобів заданої величини інтервалу руху та часового інтервалу між транспортними засобами від для будь-якої інтенсивності руху необхідно встановити залежність між годинною інтенсивністю руху та коефіцієнтами рівняння k та a відповідно. Відповідно до цього були визначені коефіцієнти для рівнянь виду і отримана двохфакторна залежність кількості транспортних засобів заданого інтервалу руху від часового інтервалу між транспортними засобами:

$$n_i = (-0,8843N^2 + 901,26N - 180013)t_{di}^{(2 \cdot 10^{-5}N^2 - 0,0142N + 1,836)}. \tag{5}$$

Незважаючи на те, що розглянута модель має недостатню інформативність її можна рекомендувати до використання за відсутності статистичних даних про інші фактори, що впливають на транспортних потік.

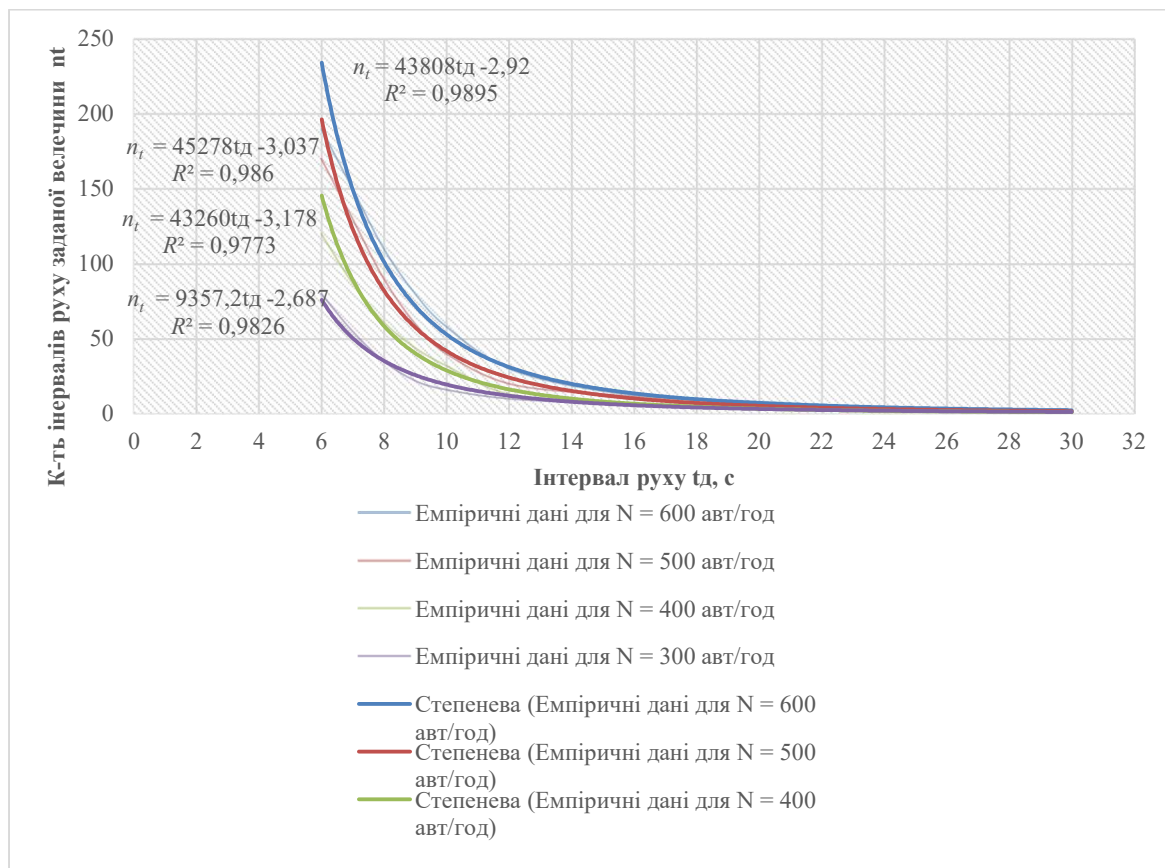


Рисунок 3 – Графіки залежності кількості транспортних одиниць заданої величини інтервалу руху від часового інтервалу між транспортними засобами для різної годинної інтенсивності руху

Figure 3 – Graphs of the dependence of the number of transport units of the given value of the traffic interval on the time interval between vehicles for different hourly traffic intensities

Висновки

1. Розроблена методика проведення експериментального дослідження часового інтервалу між транспортними засобами для інтенсивності руху від 300 до 600 авт/год по одній смузі.
2. На основі отриманих статистичних даних методом регресивного аналізу були виведені рівняння залежності зміни часового інтервалу між транспортними засобами в пакеті та між пакетами і одиночними автомобілями від годинної інтенсивності руху на перегонах між необлаштованими транспортними розв'язками в одному рівні.

Перелік посилань

1. Брайловский Н.О. Моделирование транспортных систем/ Н.О.Брайловский, Б.И. Грановский - М.: Транспорт, 1978 - 125 с.
2. Гасников А.В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие / А.В.Гасников, С.Л.Кленов, Е.А.Нурминский, Я.А.Холодов, Н.Б Шамрай; Под ред. А.В. Гасникова – М.: МФТИ, 2010. – 361 с. 2. Швецов, В. И. Математическое моделирование транспортных потоков / В. И. Швецов // Автоматика и телемеханика. — 2003. — № 11. — С. 3—46.
3. Сильянов В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. — М.: Транспорт, 1977. 303 с. 2. Лобанов Е.М., Сильянов В.В. Продолжительность реакции

водителей в реальных дорожных условиях // Проектирование дорог и безопасность движения. – Москва: Изд. МАДИ, 1974. – с.155 – 160. 3. Лобанов Е.М. Время реакции водителя. – Москва: Труды МАДИ, 1975. – Вып. 95. – с. 84 – 109.

4. Wiedemann R. Modeling of RTI-Elements on multi-lane roads. Advanced Telematics in Road Transport edited by the Commission of the European Community. DG XIII. Brussels. 1991.

5. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса / В. В. Семенов // Математические методы в синергетике. – Режим доступа: <http://www.urau.ru/~master/2005/kita/shapovalova/library/semenov.pdf>.

6. Гецович Е.М. Эмпирико-стохастический подход к моделированию транспортных потоков: Труды / Е.М. Гецович, В.Т. Лазурик, Н.А. Семченко, В.Ю. Король // Компьютерное моделирование в наукоемких технологиях (КМНТ-2010): науч.-техн. конф. с междунар. Участием, 18-21 мая 2010г.: - Х., 2010. – Ч.1. – С. 101-104.

7. Дрогомирецька Х. Т. Теорія ймовірностей та математична статистика : навч. посіб. Львів, 2019. 415 с.

8. Медведєв. М. Г. Теорія ймовірностей та математична статистика : підручник / М. Г. Медведєв, І. О. Пащенко. – К.: Ліра-К, 2008. – 536 с.

9. Гецович Е. М., Семченко Н. А. Методика экспериментального определения распределения параметров транспортных потоков. Восточноевропейский журнал передовых технологий. Харьков, 2011. №6/2(54). С. 67 – 68.

10. Гецович, Е. М., Семченко Н. А., Голота В. А. Экспериментальные исследования распределения временных интервалов в транспортном потоке. Восточно-европейский журнал передовых технологий. Харьков, 2012. №2/3(56). С. 57 – 61.

THE METHOD OF EXPERIMENTAL STUDY OF THE DISTRIBUTION OF TRAFFIC INTERVALS IN THE TRANSPORT FLOW

Neizvestnyi Sergey V., M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine, neizvestniyjony@ukr.net, +380957970172, <https://orcid.org/0000-0002-8888-313X>

Palchyk Anatoly M., National Transport University, Department of Road Designing, Geodesy and Land Management, PhD in technical science, Associate Professor, pamproekt@gmail.com, +30973090913, <https://orcid.org/0000-0003-2544-5359>

Neizvestnyi Sergey V., Palchyk Anatoly M.

Summary: The method of experimental determination of the distribution of traffic intervals between cars in the traffic flow on the sections of races between simple interchanges on the same level with a traffic intensity of 300 to 600 vehicles per hour per lane is described, as well as the influence of interchanges on the same level on the time interval is established and on the change in traffic intensity to determine the dependence of the availability and number of free traffic intervals in the traffic flow. For this purpose, the following tasks were solved: a method of experimental research on changing traffic intervals in the traffic flow was developed; the necessary amount of data is established to ensure the necessary reliability of the results; the experimental part was carried out (collection of statistical data on traffic intensities and intervals and other characteristics on different categories of highways); processing of experimental data using methods of mathematical statistics; specified time interval distribution function; analyzed the nature of the change in time intervals between vehicles in a "package" and between "packages" when moving through intersections at the same level; the dependence of the number of vehicles of a given traffic interval on the time interval between vehicles is established.

Keywords: empirical stochastic approach, probability distribution, movement interval, movement intensity, free movement interval.

References

1. Brailovskiy N.O. Modelirovaniye transportnykh system/ N.O.Brailovskiy, B.Y. Hranovskiy - M.: Transport, 1978 - 125 s.
2. Hasnykov A.V. Vvedeniye v matematicheskoye modelirovaniye transportnykh potokov: ucheb. posobie / A.V.Hasnykov, S.L.Klenov, E.A.Nurmynskiy, Ya.A.Kholodov, N.B Shamrai; Pod red. A.V. Hasnykova – M.: MFTY, 2010. – 361 s. 2. Shvetsov, V. Y. Matematicheskoye modelirovaniye transportnykh potokov / V. Y. Shvetsov // Avtomatyka y telemekhanyka. — 2003. — № 11. — S. 3—46.
3. Sylianov V. V. Teoriya transportnykh potokov v proektyrovanny doroh y orhanyzatsyy dvizheniya. — M.: Transport, 1977. 303 s. 2. Lobanov E.M., Sylianov V.V. Prodolzhytelnost reaktsyy vodytelei v realnykh dorozhnykh usloviyakh // Proektyrovaniye doroh y bezopasnost dvizheniya. – Moskva: Yzd. MADY, 1974. – s.155 – 160. 3. Lobanov E.M. Vremya reaktsyy vodytelia. – Moskva: Trudy MADY, 1975. – Выр. 95. – s. 84 – 109.
4. Wiedemann R. Modeling of RTI-Elements on multi-lane roads. Advanced Telematics in Road Transport edited by the Commission of the European Community. DG XIII. Brussels. 1991.
5. Matematicheskoye modelirovaniye dynamiky transportnykh potokov mehapolysa / V. V. Semenov // Matematicheskiye metody v synerhetyke. – Rezhym dostupu: <http://www.uran.donetsk.ua/~master/2005/kita/shapovalova/library/semenov.pdf>.
6. Hetsovych E.M. Эмпырыко-стохастыческыи podkhod k modelirovaniyu transportnykh potokov: Trudy / E.M. Hetsovych, V.T. Lazuryk, N.A. Semchenko, V.Yu. Korol // Kompiuternoye modelirovaniye v naukoemkykh tekhnolohiyakh (KMNT-2010)%: nauch.-tekhn. konf. s mezhdunar. Uchastyem, 18-21 maia 2010h.: - Kh., 2010. – Ch.1. – S. 101-104.
7. Drohomiretska Kh. T. Teoriia ymovirnostei ta matematychna statystyka : navch. posib. Lviv, 2019. 415 s.
8. Medvediev. M. H. Teoriia ymovirnostei ta matematychna statystyka : pidruchnyk / M. H. Medvediev, I. O. Pashchenko. – K.: Lira-K, 2008. – 536 s.
9. Hetsovych E. M., Semchenko N. A. Metodyka eksperymentalnoho opredeleniya raspredeleniya parametrov transportnykh potokov. Vostochnoevropayskiy zhurnal peredovykh tekhnolohiy. Kharkiv, 2011. №6/2(54). S. 67 – 68.
10. Hetsovych, E. M., Semchenko N. A., Holota V. A. Экспериментальные yssledovaniya raspredeleniya vremennykh yntervalov v transportnom potoke. Vostochno-evropayskiy zhurnal peredovykh tekhnolohiy. Kharkiv, 2012. №2/3(56). S. 57 – 61.

Надійшла до редакції 06.03.2023.