

УДК 656.021.2

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ВОДИТЕЛЯ НА НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕКРЕСТКАХ В ЛЕВОПОВОРОТНЫХ ПОТОКАХ

Гецович Е.М., Мустафаев Г.К.

## EXPERIMENTAL STUDY OF DRIVER'S BEHAVIOR ON NON-REGULATED CROSSROADS IN LEFT-WAVE FLOWS

Getsovich E., Mustafayev G.

*В статье предложен и исследован метод моделирования поведения водителя на нерегулируемых перекрестках в левоповоротных потоках. Выполнен анализ и обработка видеосъемки движения потоков с выездом на главную дорогу и левым поворотом на Т-образном перекрестке выбранном на УДС города Харьков. Предложен по сути усовершенствованный способ «граничных интервалов» как «скользящий граничный интервал» для моделирования поведения водителя. Основной особенностью данного метода является то, что для каждого отдельного взятого водителя определяется свой граничный интервал исходя из присвоенного ему коэффициента решительности.*

**Ключевые слова:** моделирование, транспортный поток, коэффициент решительности водителя, распределение вероятностей значений коэффициента решительности.

**Введение.** При составлении моделей движения транспортных потоков через перекрестки улично-дорожной сети (УДС) наибольшую сложность представляет задача моделирования поведения водителя, поскольку оно не поддается сколь-нибудь точному математическому описанию, зависит от практически не ограниченного числа факторов и даже у одного и того же водителя может существенно изменяться в течение достаточно короткого промежутка времени, например, одной поездки

**Анализ последних исследований и публикаций.** Известен ряд подходов к решению этой задачи:

- все водители ведут себя одинаково и дисциплинированно, т.е. моделируется «среднестатистический» водитель [1,2,3];
- водители ведут себя по разному в пределах каких-либо ограничений (например, метод граничных интервалов) [2,3,4];
- метод граничных интервалов, в котором для какой-то заранее заданной части водителей значения граничных интервалов изменяются [3,4,5].

**Постановка проблемы.** Известные подходы позволяют лишь весьма приближенно моделировать поведение водителей, что приемлемо при решении ряда задач, например, при моделировании в процессе проектирования организации дорожного движения (ОДД) на отдельных перекрестках или сравнительно небольших участках УДС[4].

Ранее авторами был предложен способ моделирования поведения водителя с помощью коэффициента «решительности» вида[4,5,6]

$$K_p = \frac{\tau_T}{\tau_\phi},$$

где  $\tau_T$  – теоретически необходимый временной интервал для выполнения желаемого маневра,  $\tau_\phi$  – фактически выбранный и оцененный водителем как достаточный.

**Цель статьи.** Усовершенствовать существующие методы учета водителя в моделях транспортных потоков [4].

**Основное содержание.** При этом каждому водителю автомобиля стоящего первым в очереди перед перекрестком значение  $K_p$  присваивается как случайная величина с учетом экспериментально полученного распределения вероятностей значений  $K_p$  для данного типа перекрестка и вида маневра. По сути этот способ является «способом скользящих граничных интервалов», поскольку для каждого водителя определяется свой граничный интервал исходя из присвоенного ему коэффициента решительности как [5]

$$\tau_{ep} = \tau_\phi = \frac{\tau_T}{K_p}.$$

Очевидно, что при построении моделей движения транспортных потоков с учетом поведения водителей по предложенному способу наиболее трудно

доемким является получение экспериментальных распределений вероятностей значений  $K_p$  [7,8]. Значение  $\tau_T$  для (1) можно легко получить из геометрии перекрестка и траектории движения автомобилей при выполнении желаемого маневра из соотношения

$$l_{Tp} = \frac{j\tau_T^2}{2}.$$

где  $l_{Tp}$  - длина траектории движения при выполнении маневра.  $j$  - ускорение автомобиля в процессе выполнения маневра [8].

Величина  $\tau_\phi$  для (1) может быть определена путем обработки видеосъемки движения потоков на перекрестках [9].



Рис. 1. Стоп-кадр видеосъемки в момент начала движения автомобиля а с выездом на главную дорогу



Рис.2. Стоп-кадр видеосъемки в момент завершения маневра автомобилем а

Для пояснения методики обработки видеосъемки на рисунках 1, 2, 3 приведены стоп-кадры видеосъемки в момент начала движения автомобиля а (рис. 1) с выездом на главную дорогу и левым поворотом (Т-образный перекресток на УДС г. Харькова «ул. Свободы - ул. Пушкинская»), в момент завершения маневра автомобилем а (рис. 2) и в момент прибытия в точку завершения маневра автомобилем а автомобиля b, движущего по главной дороге (рис. 3).



Рис.3. Стоп-кадр видеосъемки в момент прибытия в точку завершения маневра автомобилем а автомобиля b

Смещение изображений осуществляется по кадрово [10,9]. Если от положения рис. 1 до положения рис. 3 изображение сместилось на  $n$  кадров, а частота съемки – 24 кадра/сек, то

$$\tau_\phi = \frac{n}{24} (\text{сек})$$

Полученные из (1) с учетом (4) значения  $K_p$  сгруппированы по интервалам и построены гистограммы распределения вероятностей значений  $K_p$  для левоповоротного потока (рис.4).

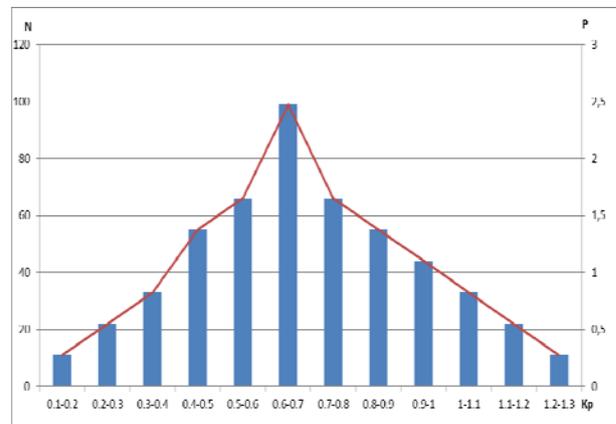


Рис.4. Гистограмма распределения вероятностей значений коэффициента решительности при левом повороте

По желанию разработчиков моделей движения транспортных потоков интервал  $K_p$  может быть уменьшен, например, до 0.05, 0.025 и т.д.

Аналогично по выше приведенной методике гистограммы вида рис.4 могут быть получены для других видов маневра: правый поворот, пересечение главной дороги, обгон и т.д.[11,12]. С помощью таких гистограмм значения  $K_p$  для каждого автомобиля в потоке могут быть заданы с помощью любого известного генератора случайных чисел[13,12,14].

**Вывод.** Предложенный способ имитации поведения водителя в моделях транспортных потоков позволяет приблизить точность имитации к реальному разнообразию поведения водителей, а следовательно, повысить адекватность моделей.

#### Литература

1. Гасников А. В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков. М.: МФТИ, 2010. – С. 74 – 78.
2. Швецов В. И. Математическое моделирование транспортных потоков // Автоматика и телемеханика, 2003. Вып. № 11. – С. 102 – 122.
3. Гецович Е.М. Эмпирико-стохастический подход к моделированию транспортных потоков / Е.М. Гецович, В.Т. Лазурик, Н.А. Семченко, В.Ю. Король // Компьютерное моделирование в наукоемких технологиях: тр. научн. - техн. конф. с междунар. участием Харьк. нац. ун-та имени В.Н. Каразина, 18 – 21 мая 2010 г. – Харьков, 2010. Ч.1. – С. 101 – 104.
4. Клинковштейн Г. И., Афанасьев М. Б. Организация дорожного движения: // Учеб. для вузов. / – 5 – е изд., перераб. и доп. – М: Транспорт, 2001 – 247 с.
5. Lighthill M. J., Whitham G. B. On kinematic waves: Ii. theory of traffic flow on long crowded roads / Proc. R. Soc. London, Ser. A.— Vol. 229.— 1955.—P.281–345.
6. Richards P.I. Shockwaves on the highway // Oper. Res.— 1956.— Vol.4.— P. 42–5
7. Analysis of lwr model with fundamental diagram subject to uncertainties : Rep. ; Executor: J. Li, Q.-Y. Chen, H. Wang, D. Ni : 2011.
8. Payne H. J. Freflo: A macroscopic simulation model for freeway traffic // Transportation Research Record.— 1979.— Vol. 722.— P. 68–77.
9. Payne H. J. Models of freeway traffic and control / Simulation Council Proc.— Vol. 1.— 1971.— P. 51–61.
10. Garavello M., Piccoli B. Traffic flow on a road network using the aw-rasclé model // Comm. Partial Differential Equations.— 2006.— Vol. 31, no. 2.— P. 243–275.
11. Traffic simulation with artist / W. Krautter, T. Bleile, D. Manstetten, T. Schwab / ITSC'97.— IEEE Conference, 1997.— P. 472–477
12. Gipps P. G. A behavioural car-following model for computer simulation // Transportation Research II.— 1981.— Vol. 15B.— P. 105–111.
13. Barcelo, J. Microscopic traffic simulation: a tool for the design, analysis and evaluation of intelligent transport systems / J. Barcelo [et al.] // Journal of Intelligent and Robotic Systems. – 2005. – Т. 41, № 2–3. – P. 173–203.
14. Owen, L.E. Street and traffic simulation: traffic flow simulation using CORSIM / L.E. Owen [et al.] // Proceedings of the 32nd conference on Winter simulation. – Society for Computer Simulation International, 2000. – P. 1143–1147.

#### References

1. Gasnikov A. V. i dr. Vvedeniye v matematicheskoye modelirovaniye transportnykh potokov [Introduction to

the mathematical modeling of traffic flows]. M. : MFTI, Publ. 2010. pp. 74 – 78.

2. Shvetsov V. I. Matematicheskoye mod-elirovaniye transportnykh potokov [Mathematical modeling of traffic flows] // Avtomatika i telemekhanika, № 11. 2003. pp. 102 – 122.
3. Getsovich Ye.M. Empiriko-stokhasticheskiy podkhod k modelirovaniyu transportnykh potokov / Ye.M. Getsovich, V.T. Lazurik, N.A. Sem-chenko, V.YU. Korol' // Komp'yuter-noye modelirovaniye v naukoeyemkikh tekhnologiyakh [Empirical-stochastic approach to the modeling of traffic flows // Computer modeling in science intensive technologies]: mp. Scien. - Tehn. Conf. with int. participation of Kharkov. nat. University Karazin, 18 - 21 May 2010. Kharkov, 2010. Part 1. pp. 101 – 104.
4. Klinkovshteyn G. I., Afanas'yev M. B. Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya: Ucheb. dlya vuzov [Traffic: Proc. for high schools]. - 5 th ed., Revised. and dop.- M: Transport, Publ. 2001. p. 248.
5. Lighthill M. J., Whitham G. B. On kinematic waves: Ii. theory of traffic flow on long crowded roads / Proc. R. Soc. London, Ser. A.— Vol. 229.— 1955.—P.281–345.
6. Richards P.I. Shockwaves on the highway // Oper. Res.— 1956.— Vol.4.— P. 42–5
7. Analysis of lwr model with fundamental diagram subject to uncertainties : Rep. ; Executor: J. Li, Q.-Y. Chen, H. Wang, D. Ni : 2011.
8. Payne H. J. Freflo: A macroscopic simulation model for freeway traffic // Transportation Research Record.— 1979.— Vol. 722.— P. 68–77.
9. Payne H. J. Models of freeway traffic and control / Simulation Council Proc.— Vol. 1.— 1971.— P. 51–61.
10. Garavello M., Piccoli B. Traffic flow on a road network using the aw-rasclé model // Comm. Partial Differential Equations.— 2006.— Vol. 31, no. 2.— P. 243–275.
11. Traffic simulation with artist / W. Krautter, T. Bleile, D. Manstetten, T. Schwab / ITSC'97.— IEEE Conference, 1997.— P. 472–477
12. Gipps P. G. A behavioural car-following model for computer simulation // Transportation Research II.— 1981.— Vol. 15B.— P. 105–111
13. Barcelo, J. Microscopic traffic simulation: a tool for the design, analysis and evaluation of intelligent transport systems / J. Barcelo [et al.] // Journal of Intelligent and Robotic Systems. – 2005. – Т. 41, № 2–3. – P. 173–203.
14. Owen, L.E. Street and traffic simulation: traffic flow simulation using CORSIM / L.E. Owen [et al.] // Proceedings of the 32nd conference on Winter simulation. – Society for Computer Simulation International, 2000. – P. 1143–1147.

**Гецович Є.М., Мустафєєв Г.К. Експериментальне дослідження поведінки водія на нерегульованих перехрестях у лівоповоротних потоках.**

*У статті запропоновано і досліджено метод моделювання поведінки водія на нерегульованих перехрестях у лівоповоротних потоках. Виконано аналіз і обробку відеозйомки руху потоків з виїздом на головну дорогу і лівим поворотом на Т-образному перехресті обраному на ВДМ міста Харьков. Запропонований по суті удосконалений спосіб «граничних інтервалів» як «ковзаючих граничних інтервалів» для моделювання поведінки водія. Основною особливістю даного методу є те, що для кожного окремого взятого водія визначається свій граничний інтервал виходячи з присвоєного йому коефіцієнта рiшучості.*

**Ключові слова:** моделювання, транспортний потік, коефіцієнт рішучості водія, розподіл ймовірностей значень коефіцієнта рішучості.

**Getsovich E., Mustafayev G. Experimental study of driver's behavior on non-regulated crossroads in left-wave flows.**

*The article proposes and researches a method for simulating driver behavior at unregulated intersections in left-handed flows. Analysis and processing of video recording of traffic flows with departure to the main road and a left turn at the T-junction selected at the UDS of the city of Kharkov are performed. An essentially improved method of "boundary intervals" is proposed as a "sliding boundary interval" for modeling the driver's behavior. The main feature of this method is that for each individual driver taken, its boundary interval is determined based on the decisiveness factor assigned to it.*

*The values obtained were aggregated over intervals and histograms of the probability distribution of values for the selected maneuver type were constructed. The proposed method will bring the modeling accuracy closer to the realities of life*

**Keywords:** modeling, traffic flow, driver determination coefficient, probability distribution of values of the coefficient of determination.

**Гецович Є.М.** – д.т.н., професор, кафедри тракторів, сільськогосподарських машин та транспортних технологій Сумського національного аграрного університету.

**Мустафасв Г.К.** – аспірант кафедри організації та безпеки дорожнього руху, Харківського національного автомобільно-дорожнього університету,  
email: guseinmustafaev@gmail.com

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Чернецька-Білецька Н.Б.**

Стаття подана 10.03.2018