

УДК 656.021.2

**Г. К. Мустафаев**  
(аспірант кафедри організації і безпеки дорожнього  
движення, Харківський національний автомобільно-дорожній  
університет)

### УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА УЧЕТА ПОВЕДЕНИЯ ВОДИТЕЛЕЙ В МОДЕЛЯХ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА

*Предложена методика моделирования индивидуального поведения водителя с помощью «коэффициента решительности». Выполнен анализ и обработка видеосъемки движения пересекающихся потоков на четырехстороннем перекрестке, выбранном на улично-дорожной сети (УДС) города Харькова. Предложен усовершенствованный метод «граничных интервалов» как «скользящий граничный интервал» для моделирования поведения водителя. Построены гистограммы распределения вероятностей значений коэффициента решительности для основных видов маневра.*

**Ключевые слова:** моделирование, транспортный поток, коэффициент решительности водителя.

**Введение.** Рост напряженности в работе транспортных систем больших городов вызывает необходимость непрерывного совершенствования технических средств организации дорожного движения (ОДД) в направлении создания автоматической системы управления дорожным движением (АСУДД) для значительной части уличной дорожной сети города, например, всей центральной деловой части города (ЦДЧГ), которые позволяют максимально использовать пропускную способность не только отдельных участков, но и всей УДС.

Наиболее сложной задачей на пути создания таких АСУ ДД является разработка программного обеспечения контроллера, что обусловлено противоречиями требований:

- достаточная точность используемых моделей транспортных потоков;
- необходимость прогнозирования развития ситуаций на всех элементах УДС и выявления проблемных участков;
- большое количество элементов УДС (тысячи);
- большое количество одновременно движущихся объектов (десятки тысяч);
- необходимость выбора в реальном масштабе времени лучшего варианта из десятков (а возможно, и сотен) вариантов ОДД.

© Мустафаев Г.К., 2018

**Анализ последних исследований и постановка проблемы.** В настоящее время используются несколько подходов к моделированию движения транспортных потоков:

- макроскопические модели, построенные на гидрогазо- или электродинамических аналогиях [1, 4–7];
- микроскопические модели, использующие подробное описание каждого объекта и их взаимодействия в потоках [2, 4–7];
- мезоскопические модели [3, 4–7], как попытка объединить преимущества макро- и микроскопических моделей.

Макроскопические модели достаточно просты, но с точки зрения использования в АСУ ДД

обладают рядом существенных недостатков. Во-первых, они не позволяют моделировать дискретно-непрерывные потоки, которые характерны для УДС городов, где объекты движутся «пакетами», т. е условно-непрерывный поток можно рассматривать только в пределах одного пакета, а между пакетами непрерывность нарушается. Это не позволяет моделировать взаимодействие конфликтующих потоков [8,9].

Микроскопические модели позволяют достаточно точно моделировать взаимодействие потоков, а, следовательно, и прогнозировать развитие ситуации на УДС. Но они не обеспечивают требуемого быстродействия, т. к. математическая модель, построенная на микроскопическом подходе для тысяч элементов УДС и десятков тысяч движущихся объектов содержит миллионы уравнений и условий[10].

**Цель и задачи исследования** – Целью работы является получение значений коэффициента решительности ( $K_p$ ) и построение гистограммы распределения вероятностей этих значений для выбранного вида маневра.

Для достижения поставленной цели необходимо: провести анализ движения пересекающихся потоков на четырехстороннем перекрестке выбранном на УДС города Харькова; обработать отснятые материалы; рассчитать  $K_p$  для выбранного типа маневра; построить гистограммы распределения вероятностей значений  $K_p$  для выбранного вида маневра.

**Материалы и методы исследования.** Попытка «подменить» реальное поведение водителей введением в модели понятия «граничный интервал» и задавать его в виде фиксированных значений фактически является «протаскиванием» в модели «среднестатистического водителя».

Предложенный в работах [11, 12] эмпирико-стохастический подход к моделированию транспортных потоков, который предусматривает не вычисление параметров потоков, а их задание как случайных величин на основе экспериментально полученных распределений вероятностей их значений, принципиально позволяет создать модель движения транспортных потоков, удовлетворяющую требованиям точности прогнозирования и быстродействия. При этом поведение водителя авторы предлагают задавать коэффициентом решительности вида [12]:

$$K_p = \frac{\tau_T}{\tau_\phi}, \quad (1)$$

где  $\tau_T$  – теоретически необходимое для выполнения маневра время;

$\tau_\phi$  – фактически выбранный и оцененный водителем временной интервал как приемлемый.

Очевидно, что величина  $K_r$  конкретного водителя зависит не только от его опыта, характера, психофизиологического состояния и т.д., но и от вида маневра, интенсивности движения, дорожной обстановки и т.д.

Информация об исследовании зависимости коэффициента решительности водителя от указанных факторов в литературе отсутствует, что не позволяет на данном этапе практически использовать предложенный способ учета водителя в моделях транспортных потоков.

Поскольку решительность водителя может быть различной при выборе параметров режима движения или принятии решения о выполнении маневра, то общую задачу следует разделить на ряд частных задач:

1. При движении в пакете:

- выбор скорости водителя первого в «пакете» автомобиля;
- выбор дистанции водителями следующих автомобилей;
- выбор полосы движения (при наличии альтернативы);
- принятие решения об обгоне.

2. При выезде на главную дорогу на перегруженном перекрестке:

- при правом повороте;
- при пересечении перекрестка;
- при левом повороте.

Для достижения поставленной цели необходимо: провести анализ движения пересекающихся потоков на четырехстороннем перекрестке выбранном на УДС города Харькова; обработать отснятые материалы; рассчитать  $K_r$  для выбранного типа маневра; построить гистограммы распределения вероятностей значений  $K_r$  для выбранного вида маневра.

В данном случае для получения исходных статистических данных для построения гистограммы распределения вероятностей значений  $K_r$  для выбранного вида маневра использованы два программных продукта:

- ✓ VirtualDub;
- ✓ GetIntervalDistribution.

VirtualDub – это программный продукт, который используется в целях получения из видео фрагментов (в нашем случае нерегулируемых перекрестков) в серию картинок.

GetIntervalDistribution – в рамках работы был использован программный комплекс GetIntervalDistribution для определения характеристик дискретных потоков, основанный на обработке видеоизображений и регистрации моментов времени наступления событий (например, событие пересечения автомобилем стоп линии перед перекрестком) в транспортной системе. Программное обеспечение позволяет получать наряду с интегральными характеристиками транспортных потоков (такими как величина и средняя скорость потока) и дифференциальные характеристики - распределение временных интервалов между элементами, распределение по количеству и типу элементов в группах.

В предлагаемом методе каждому водителю автомобиля, стоящего первым в очереди перед перекрестком, значение  $K_r$  присваивается как случайная величина с учетом экспериментально полученного распределения вероятностей значений  $K_r$  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 [13]

$$\tau_{zp} = \tau_{\phi} = \frac{\tau_T}{Kp}, \quad (2)$$

Очевидно, что при построении моделей движения транспортных потоков с учетом поведения водителей по предложенному способу наиболее трудоемким является получение экспериментальных распределений вероятностей значений  $Kp$  [14,15]. Значение  $\tau_T$  можно легко получить из геометрии перекрестка и траектории движения автомобилей при выполнении желаемого маневра из соотношения:

$$l_{Tp} = \frac{j\tau_T^2}{2}, \quad (3)$$

где  $l_{Tp}$  – длина траектории движения при выполнении маневра.  $j$  – ускорение автомобиля в процессе выполнения маневра [15].

Длину траектории движения  $l_{Tp}$  при выполнении маневра можно рассчитать по формуле:

– при правом повороте

$$L_n = \frac{\pi B_{II}}{4}, \quad (4)$$

– при левом повороте

$$L_{ln} = \frac{\pi(B_{II} + \frac{B_n}{2})}{2}, \quad (5)$$

– при прямом движении

$$L_{np} = 2B_n, \quad (6)$$

где  $B_n$  – ширина полосы на выбранном перекрестке для выбранного маневра;  
 $\pi$  – примерно равна 3,14.

Ускорение автомобиля  $j$  в процессе выполнения маневра было рассчитано по тяговому расчету для автотранспортных средств (АТС) второго класса на второй передаче в диапазоне от 800-6400 об / мин. Результаты представлены в таблице

*Таблица 1*

**Ускорение автомобиля второго класса на второй передаче  
в диапазоне 800-6400 об / мин.**

n, об/мин	800	1600	2400	3200	4000	4800	5600	6400
j,m/c2	1,538	1,663	1,713	1,698	1,621	1,478	1,271	0,997

Величина  $\tau_\phi$  может быть определена путем обработки видеосъемки движения потоков на перекрестках [16].

Для пояснения методики обработки видеосъемки приведены стоп-кадры видеосъемки для трех видов маневра:

а) для пересекающихся потоков (рис. 1 – 3). Четырехсторонний перекресток г. Харькова «Мироносицкая-Ярослава Мудрого».



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



Рис. 2. Стоп-кадр видеосъемки в момент завершения маневра автомобилем  $\alpha$

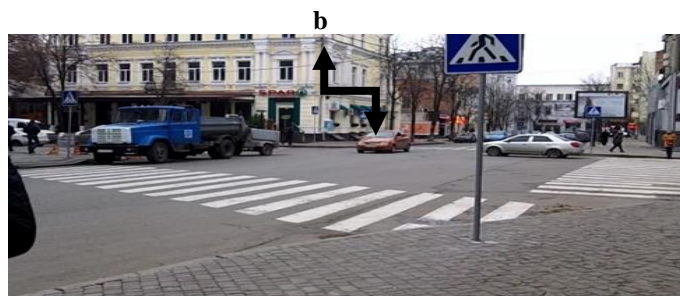


Рис. 3. Стоп-кадр видеосъемки в момент прибытия в точку завершения маневра автомобилем  $\alpha$  автомобиля  $\beta$

б) для левоповоротных потоков (рис. 4-6). Т-образный перекресток на УДС г. Харькова «ул. Свободы – ул. Пушкинская».



Рис. 4. Стоп-кадр видеосъемки в момент начала движения автомобилем *a* с выездом на главную дорогу



Рис. 5. Стоп-кадр видеосъемки в момент завершения маневра автомобилем *a*

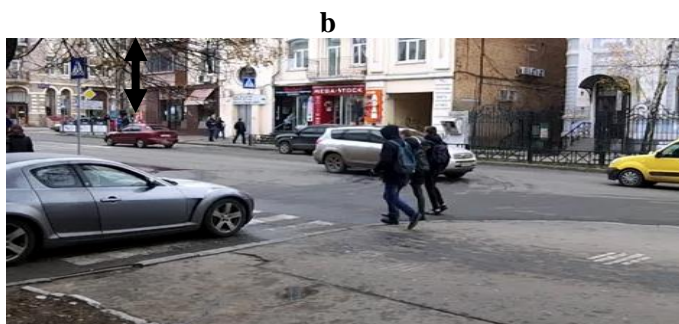


Рис. 6. Стоп-кадр видеосъемки в момент прибытия в точку завершения маневра автомобилем *a* автомобилем *b*



в) для правооборотных потоков (рис.7-9). Т-образный перекресток на УДС г. Харькова «ул. Свободы – ул.Пушкинская».

**а**



*Рис. 7. Стоп-кадр видеосъемки в момент начала движения автомобилем **а** с выездом на главную дорогу*

**а**



*Рис. 8. Стоп-кадр видеосъемки в момент завершения маневра автомобилем **а***

**б**



*Рис. 9. Стоп-кадр видеосъемки в момент прибытия в точку завершения маневра автомобилем **а** автомобиля **б***

Смещение изображений осуществляется покадрово [17, 16]. Если от положения рис.1 до положения рис.3 изображение сместилось на  $n$  кадров, а частота съемки – 24 кадра/сек, то

$$\tau_{\phi} = \frac{n}{24} (\text{сек}), \quad (7)$$

Полученные значения  $K_p$  сгруппированы по интервалам и построены гистограммы распределения вероятностей значений  $K_p$  для пересекающих потоков (рис. 10), при левом повороте (рис. 11), при правом повороте (рис. 12).

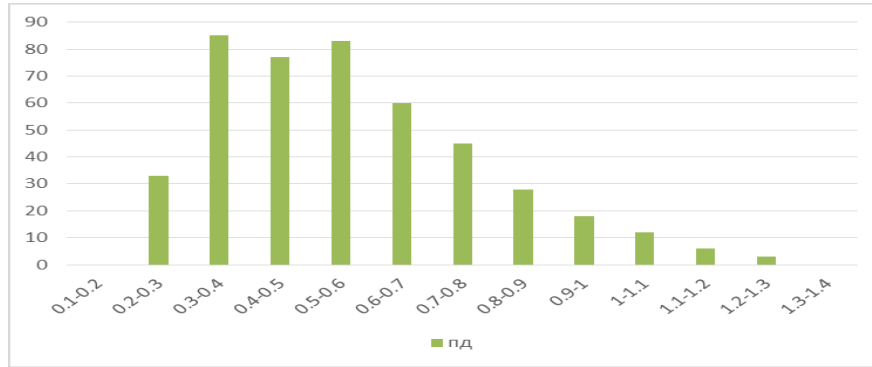


Рис. 10. Гистограмма распределения вероятностей значений коэффициента решительности при пересекающихся потоках

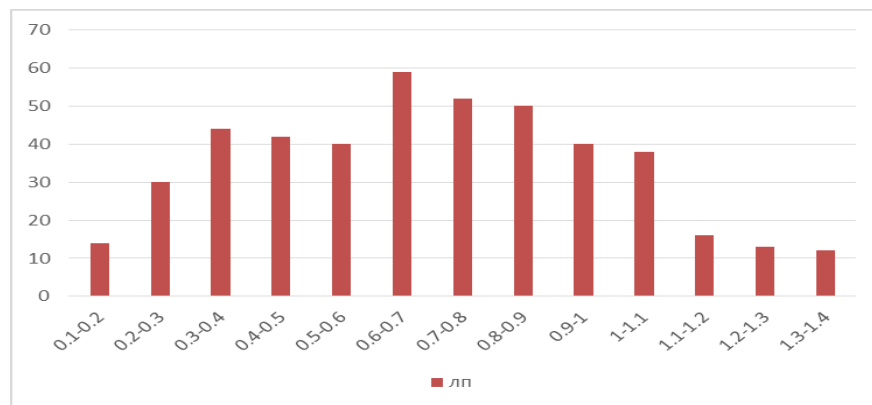


Рис. 11. Гистограмма распределения вероятностей значений коэффициента решительности при левом повороте

**Выводы.** Проведен анализ движения пересекающихся потоков на четырехстороннем перекрестке выбранном на УДС города Харькова. Обработаны отснятые материалы и рассчитан  $K_p$  для выбранных типа маневра.

В результате после полученных значений были построены гистограммы распределения вероятностей значений  $K_p$  для выбранных видов маневра.



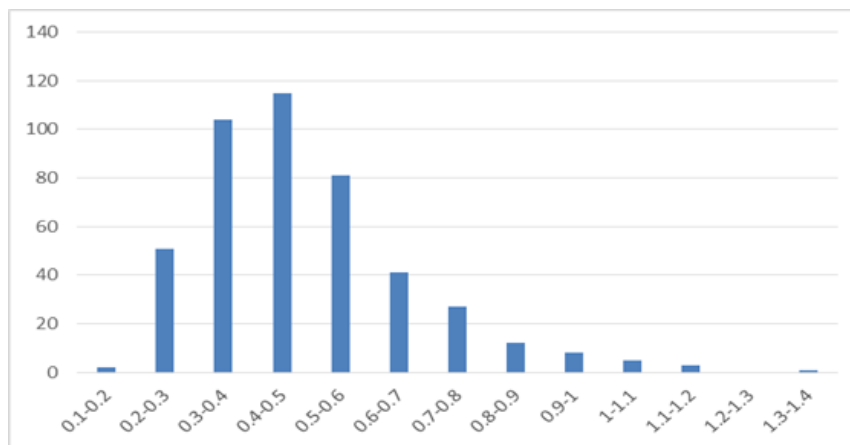


Рис. 12. Гистограма розподілу ймовірностей значень коефіцієнта рішучості при правому повороті

### ЛИТЕРАТУРА

1. Куржанский А. Б., Куржанский А. А., Варайя П. Роль макро моделирования в активном управлении транспортной сетью. // Труды МФТИ. – 2010. – Т. 2. – №4. – С. 100–137.
2. Абрамова Л.С. Особенности систем управления дорожным движением / Л. С. Абрамова, С.В. Капинус // Матеріали наук.-техн. конф. з міжнародною участю «Транспорт, екологія – стійкий розвиток». – Варна, 2016. – С. 107-110.
3. Давідіч Ю.О. Проектування автотранспортних технологічних процесів з урахуванням психофізіології водія / О.Ю. Давідіч. – Харків : ХНАДУ, 2006. – 292 с.
4. Семенов В.В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2004. – 231 с.
5. Швецов В.И Математическое моделирование транспортных потоков // Автоматика и телемеханика. – 2003. – №11. – С. 3-46.
6. Hoogendoorn S., Bovy P. State-of-the-art of Vehicular Traffic Flow Modelling // Journal of System and Control Engineering/ Special Issue on Road Traffic Modelling and Control, 2001. – Vol. 215. - №. 4. – P. 283-304.
7. Wilco. B. Hybrid microscopic-mesoscopic traffic simulation // Doctoral Dissertation Royal Institute of Technology. – Stockholm. Sweden. 2004.
8. Валуев, А.М. Моделирование транспортных процессов в формализме гибридных систем / А.М. Валуев // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014 : сборник трудов. – М. : Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – 2014. – С. 5033–5043.
9. Соловьев В.А. Математическое моделирование и управление транспортными потоками на основе схемы с двумя масштабами времени / В.А. Соловьев, Р.Т. Файзуллин // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2012. – № 2-1. – С. 214–218.
10. Бабичева Т.С. Методы математического и имитационного моделирования процессов взаимодействия в транспортных системах: диссертация кандидата физико-математических наук:05.13.18: – М., 2015. – С. 38-67.
11. 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.
12. Гецович Е. М., Король В.Ю. Об учете водителя в эмпирико-стохастических моделях транспортных потоков // 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. 19-21.
13. Мустафаев Г.К, Гецович Е.М. Экспериментальное исследования поведения водителя на нерегулируемых перекрестках в правоповоротных потоках / Г. К. Мустафаев, Е. М. Гецович // матеріали ві міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту». – Вінниця, 2018. – С. 129-131

14. Li, Q., Chen, H., Wang, D. Ni, (2011) Analysis of lwr model with fundamental diagram subject to uncertainties. [In Japan].
15. Getsovich E.M, Mustafayev G.K, (2018) Experimental study of driver's behavior on nonregulated crossroads in left-wave flows [In Italy].
16. Мустафаєв Г.К, Гецович Е.М. Методика моделювання поведінки водія в моделях транспортних потоків / Г. К. Мустафаєв, Е. М. Гецович // Восьма міжнародна науково-практична конференція Інтер-ТРАНСЛОГ'2018. – Одеса, 2018. – С. 99-102.
17. Garavello, M., Piccoli, B. (2006). Traffic flow on a road network using the aw-rasclle model // Comm. Partial Differential.

## REFERENCES

1. Kurzhan'sky A.B., Kurzhan'sky A.A., Varaya P. (2010). *Rol' makromodelirovaniya v aktivnom upravlenii transportnoy set'yu* [The role of macromodelling in the active management of the transport network]. [In Russian].
2. Abramova L.S. (2016). *Osobennosti sistem upravleniya dorozhnym dvizheniyem* [Features of traffic management systems]. Materials of Sciences.-Tech. conf. with international participation "Transport, Environment - Sustainable Development". [In Bulgaria].
3. Davydich Yu.O. (2006). *Proektivannya avtotransportnykh tekhnolohichnykh protsesiv z urakhuvannyam psykholohiyi vodiya* [Design of automobile technological processes taking into account driver's psychophysiology]. [In Ukrainian].
4. Semenov V.V. (2004). *Matematicheskoye modelirovaniye dinamiki transportnykh potokov megapolisa* [Mathematical modeling of the dynamics of traffic megalopolis]. [In Russian]
5. Shvetsov, V. I. (2003). *Matematicheskoye modelirovaniye transportnykh potokov* [Mathematical modeling of traffic flows]. [In Russian].
6. Hoogendoorn S., Bovy P. (2001). *State-of-the-art of Vehicular Traffic Flow Modelling*. Journal of System and Control Engineering/ Special Issue on Road Traffic Modelling and Control, Vol. 215, №. 4, pp. 283-304.
7. Wilco. B. (2004). *Hybrid microscopic-mesoscopic traffic simulation*. Doctoral Dissertation Royal Institute of Technology. Stockholm.
8. Valuev, A.M. (2014). *Modelirovaniye transportnykh protsessov v formalizme gibridnykh system* [Modeling of transport processes in the formalism of hybrid systems]. [In Russian].
9. Solovyov. V.A. (2012). *Matematicheskoye modelirovaniye i upravleniye transportnymi potokami na osnove skhemy s dvumya masshtabami vremeni* [Mathematical modeling and traffic management based on a two-time scale scheme]. [In Russian].
10. Babicheva T.S. (2015). *Metody matematicheskogo i imitatsionnogo modelirovaniya protsessov vzaimodeystviya v transportnykh sistemakh* [Methods of mathematical and simulation modeling of interaction processes in transport systems]. [In Russian].
11. Getsovich, Ye.M. (2010). *Empiriko-stokhasticheskiy podkhod k modelirovaniyu transportnykh potokov* [Empirical-stochastic approach to the modeling of traffic flows]. Komp'yuternoye mod-elirovaniye v naukoymkikh tekhnologiyakh, 1, 101-104 [in Ukrainian].
12. Getsovich, Ye.M. (2010). *Ob uchete voditelya v empiriko-stokhasticheskikh modelyakh transportnykh potokov* [On driver registration in empirical-stochastic traffic flow models]. Komp'yuternoye mod-elirovaniye v naukoymkikh tekhnologiyakh, 1, 19-21 [in Ukrainian].
13. Mustafayev G.K., Getsovich E.M. (2018). *Eksperimental'noye issledovaniya povedeniya voditelya na nereguliruyemykh perekrestkakh v pravopovorotnykh* [Experimental studies of driver behavior at unregulated intersections in right turn]. materials of vi international scientific-practical Internet conference "Problems and prospects of development of motor transport". [In Ukrainian].
14. Li, Q., Chen, H., Wang, D. Ni, (2011) *Analysis of lwr model with fundamental diagram subject to uncertainties*. [In Japanese].
15. Getsovich E.M, Mustafayev G.K, (2018). Experimental study of driver's behavior on nonregulated crossroads in left-wave flows [In Italy].
16. Getsovich E.M, Mustafayev G.K, (2018). *Metodika modelirovaniya povedeniya voditelya v modelyakh transportnykh potokov* [Methods of modeling driver behavior in traffic flow models]. [In Ukrainian].
17. Garavello, M., Piccoli, B. (2006). *Traffic flow on a road network using the aw-rasclle model*. Comm. Partial Dierential.

**Г. К. Мустафаєв**  
(аспірант кафедри Організації та безпеки дорожнього руху,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

### УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОБЛІКУ ПОВЕДІНКИ ВОДІЇВ У МОДЕЛЯХ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ

*Запропоновано методику моделювання індивідуальної поведінки водія за допомогою «коефіцієнта рішучості». Виконано аналіз і обробка відеозйомки руху пересічних потоків на чотиристоронньому перехресті, обраному на вулично-дорожній мережі (ВДМ) міста Харкова. Запропоновано вдосконалений метод «граничних інтервалів» як «ковзаючий граничний інтервал» для моделювання поведінки водія. Побудовано гістограми розподілу ймовірностей значень коефіцієнта рішучості для основних видів маневру.*

**Ключові слова:** моделювання, транспортний потік, коефіцієнт рішучості водія.

**G.K. Mustafayev**  
(postgraduate student, department of organization and road safety, Kharkiv  
National Automobile and Highway University)

### IMPROVEMENT OF THE METHOD OF ACCOUNTING THE BEHAVIOR OF DRIVERS IN MODELS OF TRANSPORT FLOW

*The goal of the robots is to obtain the values of coefficient of decision ( $K_p$ ) and plot a histogram of the probability distribution of these values for the selected type of maneuver. In the article the method of modeling the driver's behavior at non-adjustable intersections in intersecting flows is investigated. Analysis and processing of video recording of the motion of intersecting streams at the quadrilateral crossroads of the city of Kharkov, chosen by street road network (SRN), is performed. An improved method of "boundary intervals" is proposed as a "sliding boundary interval" for modeling the driver's behavior. As a result of processing the video recording of the flow of streams at unregulated intersections, a histogram of the probability distribution of the values of the decisiveness coefficient for crossing flows was constructed [11, 12]. With the help of such histograms, the  $K_p$  values for each car in the stream can be specified using any known random number generator. This method will take into account both the individual characteristics of drivers and the impact on their behavior of objective factors, the proposed method of recording drivers in modeling the movement of traffic flows will increase the accuracy of modeling, which in turn will allow us to refine a number of results that we obtain by modeling, for example, the calculation of the throughput of lanes. The proposed method of simulating the driver's behavior in the models of traffic flows makes it possible to approximate the accuracy of simulation to the real variety of behavior of drivers, and, consequently, to increase the adequacy of models.*

**Keywords:** modeling, traffic flow, the driver's determination factor.