

УДК 681.5.08

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ИНТЕНСИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО
ПОТОКА ПО АКУСТИЧЕСКОМУ
ИЗЛУЧЕНИЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
АППАРАТА ИСЧИСЛЕНИЯ КОНЕЧНЫХ
РАЗНОСТЕЙ**

Посмитный Евгений Владимирович
к.т.н., доцент

Медовщиков Максим Игоревич
аспирант
*Кубанский государственный технологический
университет, Краснодар, Россия*

В статье рассматривается методика определения интенсивности транспортного потока по акустическому излучению с использованием аппарата исчисления конечных разностей. Проведен обзор подходов к определению интенсивности потока по акустическому излучению. Проведено исследование применения аппарата исчисления конечных разностей к задаче определения интенсивности потока. В результате рассчитаны показатели эффективности предложенной методики

Ключевые слова: ТРАНСПОРТНЫЙ ПОТОК, ИНТЕНСИВНОСТЬ, АППАРАТ ИСЧИСЛЕНИЯ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ

UDC 681.5.08

**ACOUSTIC SIGNAL BASED TRAFFIC FLOW
EVALUATION METHOD USING THE
CALCULUS OF FINITE DIFFERENCES**

Posmitniy Eugeniyy Vladimirovich
Cand.Tech.Sci., assistant professor

Medovschikov Maxim Igorevich
postgraduate student
*Kuban State University of Technology, Krasnodar,
Russia*

In this article, acoustic signal based traffic flow evaluation method using the calculus of finite differences is considered. The analytical survey for traffic flow evaluations using acoustic signals is performed. The calculus of finite differences application in traffic flow evaluation is investigated. As the result of this work, the considered method of efficiency is evaluated

Keywords: TRAFFIC FLOW, FLOW ESTIMATION, CALCULUS OF FINITE DIFFERENCES

Интенсивность транспортного потока – один из трёх основных параметров потока, позволяющих определять интегральные показатели качества управления движением транспорта, а также получать информацию о распределении нагрузок в транспортной сети [1, 10]. Эффективность современных адаптивных методов управления транспортными потоками (ТП) значительно зависит от плотности информационного покрытия транспортной сети и актуальности получаемой информации [13]. Таким образом, эффективное определение интенсивности ТП в различных точках транспортной сети представляет актуальную задачу. Среди множества методов получения информации о транспортных потоках, научный и практический интерес представляют пассивные акустические методы как экономные по производительности и по стоимости компонентной базы при реализации.

Объектом представленной научной работы является транспортный поток. Предметом работы является процесс определения интенсивности ТП по акустическому излучению. Целью работы является оптимизация процесса определения интенсивности ТП по акустическому излучению с использованием аппарата исчисления конечных разностей. Соответственно, для достижения цели поставлены следующие задачи: провести аналитический обзор существующих методов определения интенсивности ТП по акустическому излучению, исследовать процесс определения интенсивности ТП по акустическому излучению с использованием аппарата исчисления конечных разностей, определить эффективность рассмотренного метода в сравнении с существующими.

1 Состояние исследований и актуальность работы

Подтверждением актуальности задачи определения параметров транспортных потоков является стремительное развитие различных подходов, методов и технологий определения параметров потока при исследовании сигналов различной природы, а также результаты исследований влияния точности и актуальности получаемой информации на качество адаптивного управления. Так, по результатам исследований, проведённых по заказу Federal Highway Administration, US [13] актуализация получаемой информации о параметрах до точности в пределах 15 % и времени запаздывания в пределах 10 минут эффективность адаптивных систем управления, таких как ОПАС [14] повышается на 23 % в сравнении с информацией, устаревшей на 2 дня.

Наиболее известными из технологий получения параметров ТП являются: технологии видео регистрации [19], радиолокации [18], спутниковой [17] и беспроводной сетевой навигации [16], а также инфракрасного

[11], ультразвукового [12] и акустического измерения [6]. По каждой из перечисленных технологий ведётся активный научный поиск [13, 16]. При этом в исследовательских отчётах отмечается, что каждая технология эффективна при различных определённых условиях. Так, видеорегистрация эффективна при получении информации с основных магистральных городских каналов, с количеством полос движения от 6 до 12 [19]. Применение спутниковой навигации эффективно при высоком проценте оснащённости транспортных средств устройствами передачи информации о местоположении, слабом использовании вторичных городских улиц и отсутствии регулярных внешних транспортных потоков (туристических, грузовых, транзитных и т.п.) [17].

При этом не менее важен процесс получения информации со вторичных городских улиц (не магистральных). В таких условиях применение видеорегистрации становится неэффективным ввиду необходимости покрытия большого количества точек получения параметров при малом охвате полос движения в одной точке. Эффективность применения спутниковой навигации также падает ввиду нестабильности использования водителями вторичных дорог. Для вторичных дорог наиболее эффективными являются экономные технологии получения параметров, такие как инфракрасные, ультразвуковые и акустические.

В настоящее время исследуется множество подходов акустического получения параметров ТП, таких как: использование эффекта Доплера [8], использование акустических сигнатур транспортных средств [7], распределения мощности акустического сигнала по полосам движения [5], моделирования с динамической коррекцией параметров модели [9] и использование метода максимального правдоподобия [15].

Ввиду актуальности задачи определения параметров ТП, в частности интенсивности потока, по акустическому излучению, в представленной научной работе исследуется метод определения интенсивности ТП по аку-

стическому излучению с использованием аппарата исчисления конечных разностей.

2 Методика определения интенсивности ТП по акустическому излучению с применением аппарата исчисления конечных разностей

Исследуемая методика является продолжением работы в рамках изучения принципа определения параметров ТП по акустическому излучению с использованием двух акустических приёмников [2, 3]. Проведённые ранее исследования акустических профилей процесса транспортного движения позволило выявить некоторые закономерности.

На рисунке 1 приведены примеры динамики акустических профилей получаемых сигналов в непрерывном процессе движения транспортного потока с различной интенсивностью.

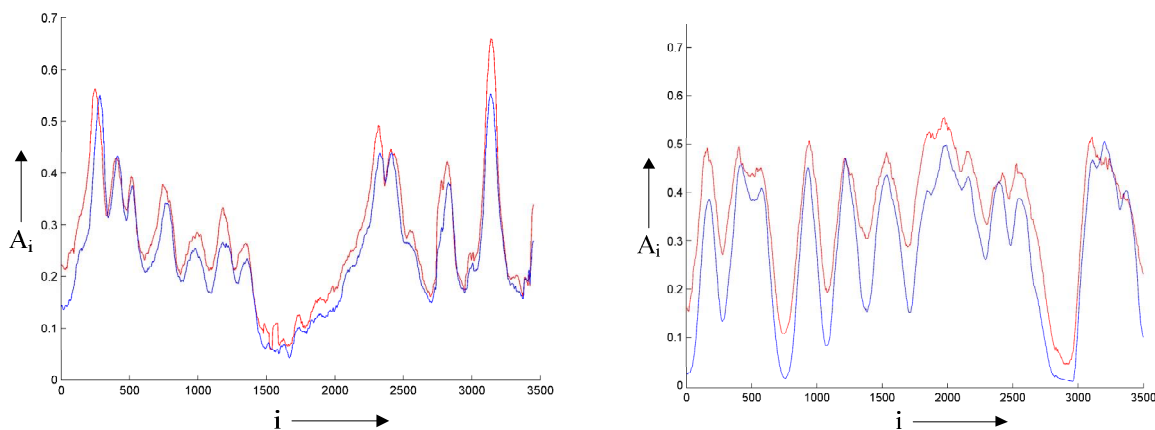


Рисунок 1 – динамика акустического профиля ТП при различной интенсивности (слева 1131 авт/ч, справа 1784 авт/ч).

На рисунке 1 красной линией указан акустический профиль в первом акустическом приёмнике (вдоль движения транспортных средств), синей линией указан акустический профиль во втором акустическом приёмнике. По оси ординат отложен приведённый к интервалу $[0,1]$ уровень сигнала

акустического профиля. По оси абсцисс отложено дискретное время при частоте дискретизации, равной 100 Гц.

Акустический профиль ТП – кривая, огибающая максимумы гармонического акустического сигнала в процессе пересечения транспортным средством зоны детектирования. Зона детектирования – чувствительная зона измерительного устройства, в которой величина полезного акустического сигнала превышает уровень помех (обычно соотношение не менее 5 дБ).

Момент начала подъёма уровня сигнала возможно определить по смене знака производной второго порядка от уровня сигнала, а также по локальным экстремумам производной первого порядка.

Рассмотрим акустический профиль проезжающего ТС на рисунке 2.

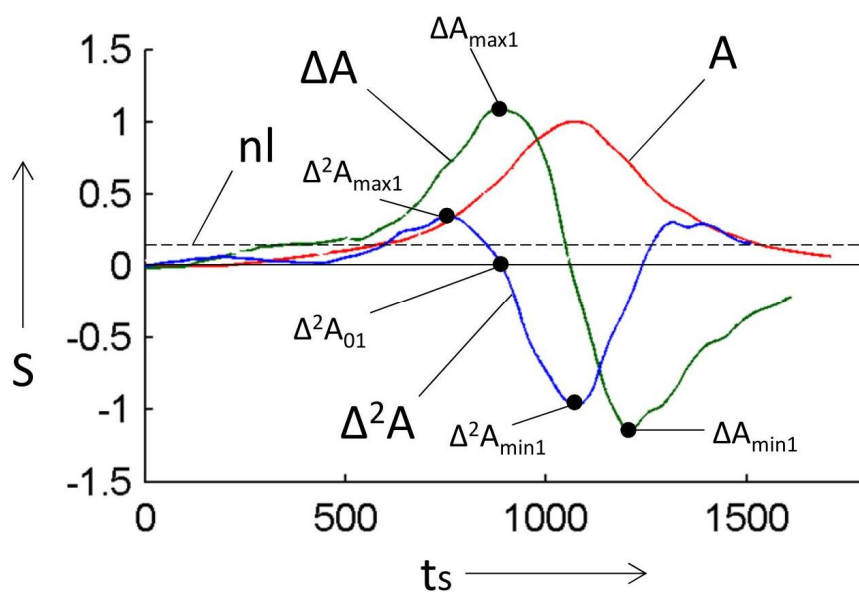


Рисунок 2 – Акустический профиль проезжающего ТС

На рисунке 2 показаны следующие обозначения:

- nl – уровень сигнала, ниже которого сигнал считается шумом;
- S – уровень сигнала акустического профиля проезжающего ТС;
- t_s – дискретное время при частоте дискретизации, равной 0,5 кГц;

A – акустический профиль проезжающего ТС;

ΔA – функция конечных разностей от A первого порядка;

$\Delta^2 A$ – функция конечных разностей от A второго порядка;

$\Delta A_{\max 1}$ – первый локальный максимум функции ΔA с момента превышения основным сигналом A уровня шума n_l ;

$\Delta A_{\min 1}$ – последний локальный минимум функции ΔA с момента превышения основным сигналом A уровня шума n_l ;

$\Delta^2 A_{\max 1}$ – первый локальный максимум функции $\Delta^2 A$ с момента превышения основным сигналом A уровня шума n_l ;

$\Delta^2 A_{\min 1}$ – последний локальный минимум функции $\Delta^2 A$ с момента превышения основным сигналом A уровня шума n_l ;

$\Delta^2 A_{01}$ – первый ноль функции $\Delta^2 A$ с момента превышения основным сигналом A уровня шума n_l .

Указанные на рисунке точки характеризуют динамику процесса пересечения транспортным средством зоны детектирования.

При этом положение $\Delta^2 A_{\max 1}$ определяет дискретный момент времени вхождения ТС в зону детектирования полностью. При этом по положению последних минимумов функций конечных разностей можно также сразу определить период полного присутствия ТС в зоне детектирования.

Иллюстрация представленного подхода к сигналу, полученному в реальных условиях, показана на рисунке 3.

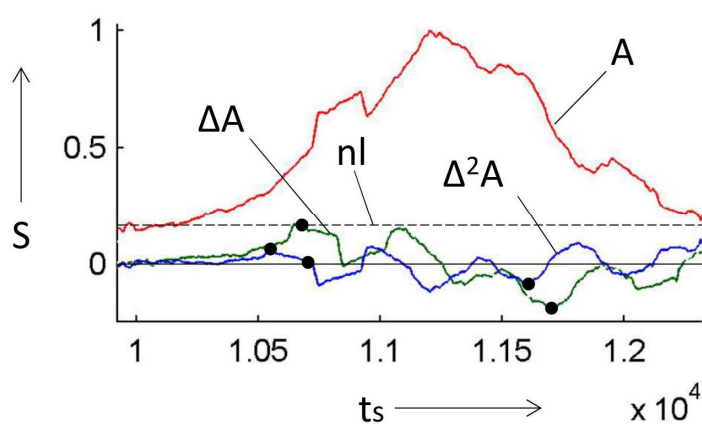


Рисунок 3 – акустический профиль реального сигнала проезжающего ТС

Как видно из рисунка 3, точки, установленные по описанным выше правилам, также характеризуют момент вхождения транспортного средства в зону детектирования, а также период полного присутствия в зоне.

Таким образом, можно выделить 5 базовых условий, выполнение которых свидетельствует о наличии ТС в зоне детектирования:

$$0 < t_s(\Delta A_{\max 1}) - t_s(\Delta^2 A_{\max 1}) < \frac{tt_{\max}}{2}, \quad (1)$$

$$0 < t_s(\Delta A_{\min 1}) - t_s(\Delta^2 A_{\min 1}) < \frac{tt_{\max}}{2}, \quad (2)$$

$$0 < t_s(\Delta A_{\min 1}) - t_s(\Delta^2 A_{\max 1}) < tt_{\max}, \quad (3)$$

$$|\Delta^2 A_{01}(1) - \Delta^2 A_{01}(2)| < td_{\min}, \quad (4)$$

$$A(t_s(\Delta^2 A_{01})) > nl, \quad (5)$$

где: $t_s(\Delta A)$ – аргумент функции конечной разности в указанном состоянии (экстремальном, либо равенстве нулю);

tt_{\max} – максимальное допустимое время нахождения ТС в зоне детектирования;

td_{\min} – минимальное допустимое время рассогласования сигнала от ТС в акустических приёмниках;

Длительность tt_{\max} напрямую зависит от минимальной v_{\min} допустимой скорости ТС при известном расстоянии L между АП, а длительность td_{\min} , наоборот, определяется через максимальную допустимую скорость ТС:

$$tt_{\max} = \frac{L}{v_{\min}}, \quad td_{\min} = \frac{L}{v_{\max}}. \quad (6)$$

3 Оценка эффективности исследуемого метода

Для оценки эффективности исследуемого метода была разработана имитационная модель пассивного акустического детектора транспорта [4]. При этом исходные акустические данные снимались посредством устрой-

ства, позволяющего производить синхронную фиксацию акустического стереосигнала. Функциональная схема устройства приведена на рисунке 4.

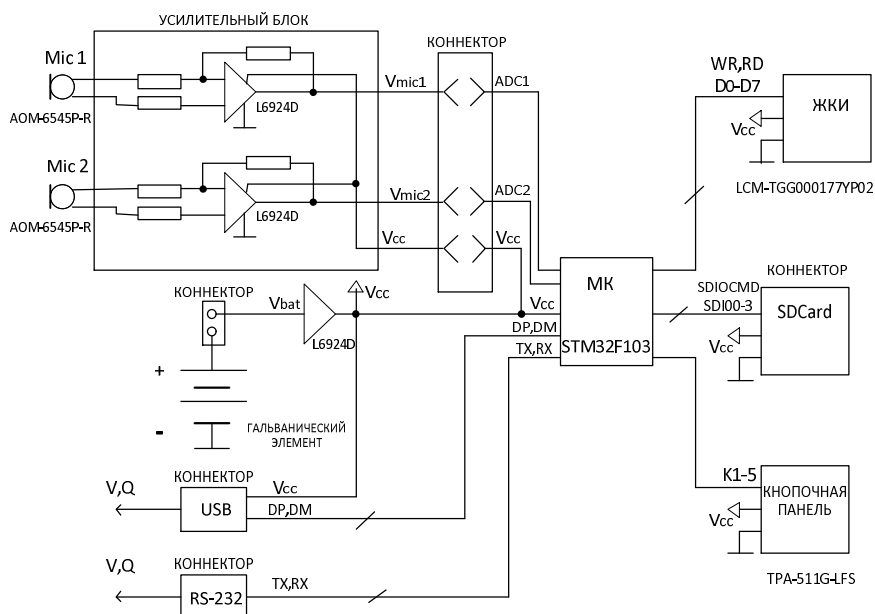


Рисунок 4 – функциональная схема синхронного устройства фиксации стереоакустического сигнала

Для проверки предложенного подхода были проведены эксперименты в реальных условиях при различной интенсивности транспортного потока. Пример определения транспортных средств по динамике акустического профиля с использованием функции корреляции [2] приведён на рисунке 5.

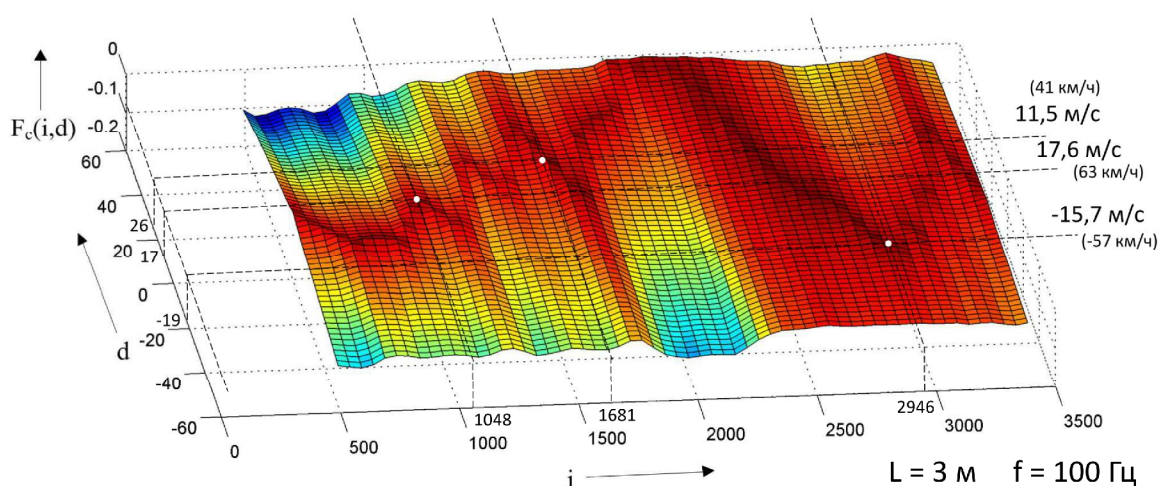


Рисунок 5 – определение наличия транспортных средств (белые точки) по динамике акустического профиля ТП

В результате исследований была определена зависимость δ относительной погрешности измерения от P_N количества полос движения и Q_L интенсивности ТП на одну полосу, представленная на рисунке 6.

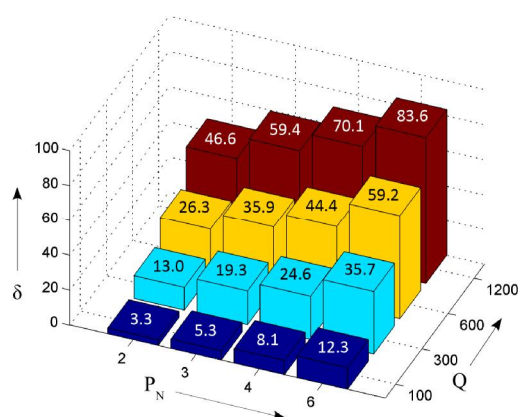


Рисунок 6 – относительная погрешность определения интенсивности ТП от количества полос движения и интенсивности ТП на полосе

Заключение и выводы

В пределах погрешности измерений, равной 10 %, пассивный акустический детектор транспорта, использующий рассмотренный метод определения интенсивности ТП по акустическому излучению с использованием аппарата исчисления конечных разностей, может применяться более эффективно (по сравнению с видеодетекторами и спутниковой навигации) в условиях суммарной интенсивности на участке, не превышающей 500 авт/ч (например на 2 полосной дороге при интенсивности 250 авт/ч на полосу). При пределе погрешности 20 % детектор может применяться при суммарной интенсивности, не превышающей 900 авт/ч (количество полос ограничено в таком случае только соотношением полезного сигнала от ТС к шуму окружающей среды). В пределах погрешности 40 % детектор может применяться при суммарной интенсивности, равной 2000 авт/ч. Применение детектора в последнем случае оправдано только для грубых оце-

нок в задачах определения перераспределения транспортных потоков в предзаторных условиях.

Литература

1. Гасников, А.В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков [Текст] : учеб. пособие / А.В. Гасников, С.Л. Кленов, Е.А. Нурминский, Я.А. Холодов, [и др.]; под ред. А.В. Гасникова. — М.: МФТИ, 2010. — 360 с. — ISBN 978-5-7417-0334-2.
2. Медовщиков, М.И. Способ измерения скорости автодорожного транспортного потока на основе анализа звуковой информации [Текст] / М.И. Медовщиков, Е.В. Посмитный, А.Н. Загребельный // Сборник трудов VII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». — Томск: Изд-во СПБ Графика, — 2009. — Т. 2. — С. 85–87.
3. Медовщиков, М.И. Методика обнаружения транспортного средства в чувствительной зоне пассивного акустического детектора транспортного потока / Е.В. Посмитный, М.И. Медовщиков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2011. — №09(73). С. 390 – 405. — Шифр Информрегистра: 0421100012\0363. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/09/pdf/37.pdf> (Дата обращения: 01.12.2011).
4. Медовщиков, М.И. Модель блока измерения скорости для пассивного акустического детектора транспорта с использованием корреляционных подходов. ПАТД – Модель. [Текст] : Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / М.И. Медовщиков, Е.В. Посмитный, Л.А. Посмитная. — РОСПАТЕНТ. — №2012618987; заявл. 14.08.2012; опубл. 04.10.2012. — 22 с.
5. Acoustic sensor system for vehicle detection and multi-lane highway monitoring [Text] : patent 5798983: IPC U.S. Classification: 367/135 International Classification : H04B 1100 / Kuhn J.P., Bui B.C., Pieper G.J. publ. 25.08.1998.
6. Cai, M. Passive acoustic detection of a small remotely operated vehicle [Text] / M. Cai, B. Bingham // OCEANS, 2011 IEEE - Spain2011. — P. 1 –7.
7. Cevher, V. Vehicle Speed Estimation Using Acoustic Wave Patterns [Text] / V. Cevher, R. Chellappa, J.H. McClellan // IEEE Transactions on Signal Processing. — 2009. — Vol. 57, № 1. — P. 30 –47.
8. Couvreur, C. Doppler-based motion estimation for wide-band sources from single passive sensor measurements [Text] / C. Couvreur, Y. Bresler // , 1997 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1997. ICASSP-97: Vol. 51997. — P. 3537–3540 vol.5.
9. Cremer, M. A fast simulation model for traffic flow on the basis of boolean operations [Text] / M. Cremer, J. Ludwig // Mathematics and Computers in Simulation. — 1986. — Vol. 28, № 4. — P. 297–303.
10. Haight, F.A. Mathematical theories of traffic flow [Text] / F.A. Haight. — ARRB Group Limited, 1965. — 242 p.
11. Hussain, T.M. Infrared pyroelectric sensor for detection of vehicular traffic using digital signal processing techniques [Text] / T.M. Hussain, A.M. Baig, T.N. Saadawi, S.A. Ahmed // IEEE Transactions on Vehicular Technology. — 1995. — Vol. 44, № 3. — P. 683 –689.

12. Imou, K. Ultrasonic Doppler Sensor for Measuring Vehicle Speed in Forward and Reverse Motions Including Low Speed Motions [Text] / K. Imou, M. Ishida, T. Okamoto, Y. Kaizu, A. Sawamura, N. Sumida // International Commission of Agricultural Engineering (E-Journal). — 2001. — Vol. 3, PM 01 007.
13. Klein, L.A. Traffic Detector Handbook: Third Edition - Volume I [Text] / L.A. Klein, M.K. Mills, D.R.P. Gibson // Federal Highway Administration. — Washington, DC, US: FHWA, 2006. — P. 288.
14. Liao, L.C. A review of the optimized policies for adaptive control strategy (OPAC) [Text] / L.C. Liao // PATH working paper ; UCB-ITS-PWP-98-9. — 1998.
15. López-Valcarce, R. Estimation of road vehicle speed using two omnidirectional microphones: a maximum likelihood approach [Text] / R. López-Valcarce, C. Mosquera, F. Pérez-González // EURASIP J. Appl. Signal Process. — 2004. — Vol. 2004. — P. 1059–1077.
16. Mimbela, L.E.Y. Summary of vehicle detection and surveillance technologies used in intelligent transportation systems [Text] / L.E.Y. Mimbela, L.A. Klein; Vehicle Detector Clearinghouse; Southwest Technology Development Institute; New Mexico State University; Department of Transportation. — Washington DC, USA: Office for Intelligent Transportation Systems, 2000. — 211 p.
17. Mobile Millennium Project [Electronic resource] // University of California, Berkeley. — Mode of access: <http://traffic.berkeley.edu/> (accessed date: 16.04.2011).
18. Salah, M. Speed Estimation in Forward Scattering Radar by Using Standard Deviation Method [Text] / M. Salah, M.F.A. Rasid, R.R. Abdullah, M. Cherniakov // Modern Applied Science. — 2009. — Vol. 3, № 3. — P. P16.
19. Vehicle detection through image processing for traffic surveillance and control [Text] : patent 4847772: IPC U.S. Classification: 701/117; 340/937; 382/104 International Classification: G08G 101 / Michalopoulos P.G., Fundakowski R.A., Geokezas M., Fitch R.C. publ. 11.07.1989.