



# Современные методы обработки данных системы фото- и видеофиксации нарушений правил дорожного движения

*Бояришинов  
Михаил  
Геннадьевич*

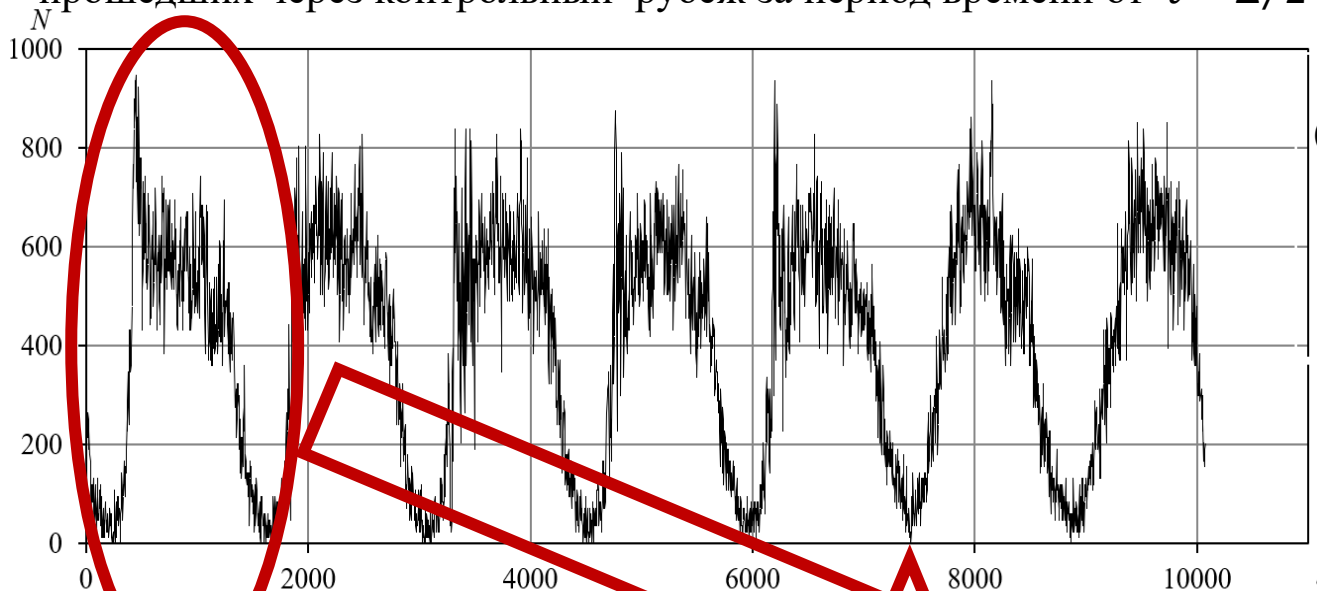
*профессор,  
д-р техн. наук,  
почетный работник высшего  
профессионального образования РФ,  
действительный член Российской  
академии транспорта*

Президиум Российской Академии Транспорта, Москва, 25 апреля 2023 г.



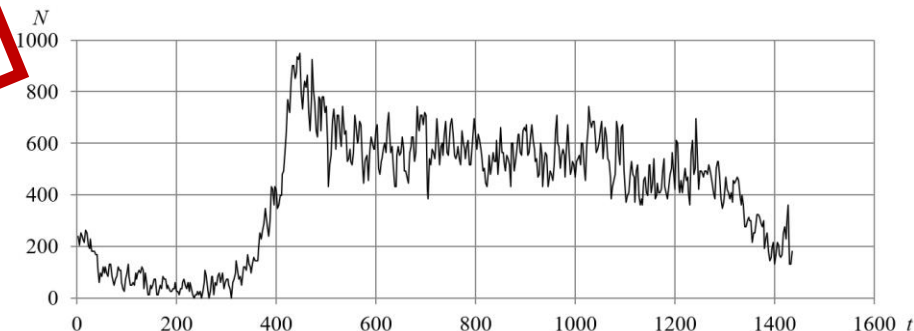


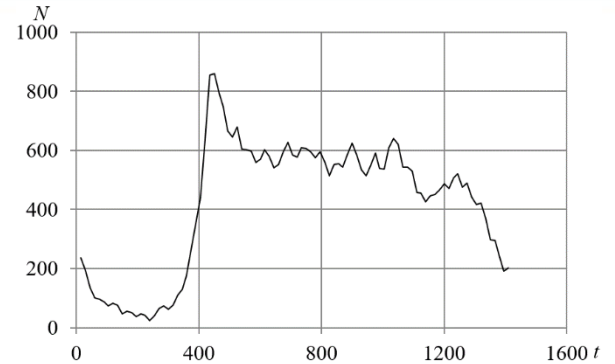
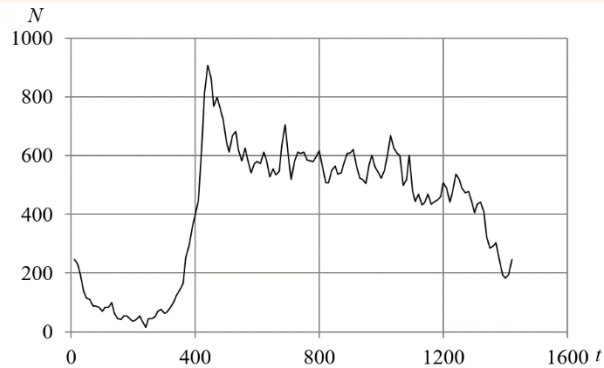
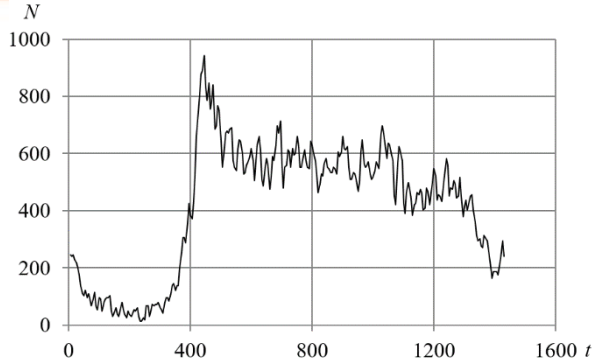
Интенсивность потока транспорта  $N(t) = n(t)/\Delta$ . Здесь  $n(t)$  – количество автомобилей, прошедших через контрольный рубеж за период времени от  $t - \Delta/2$  до  $t + \Delta/2$ .



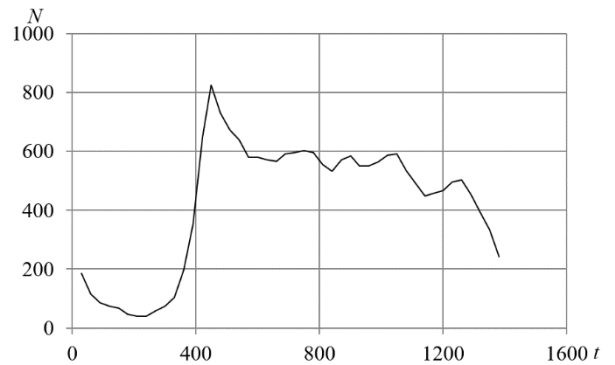
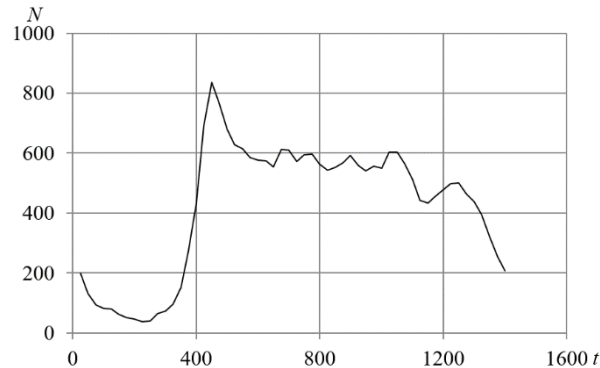
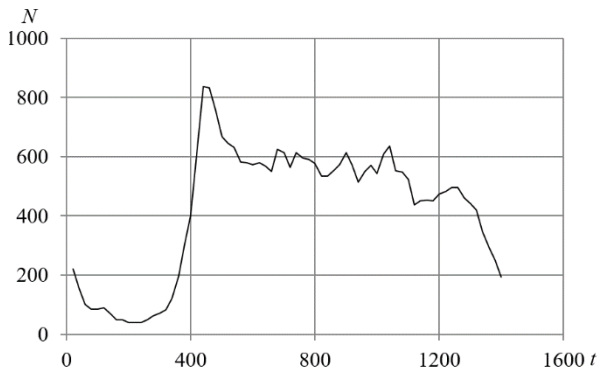
Зависимость от времени  $t$  (мин) интенсивности  $N$  (авт/ч) транспортного потока на протяжении одной недели; интервал осреднения  $\Delta = 5$  мин

Суточная (понедельник) интенсивность  $N$  (авт/ч) транспортного потока



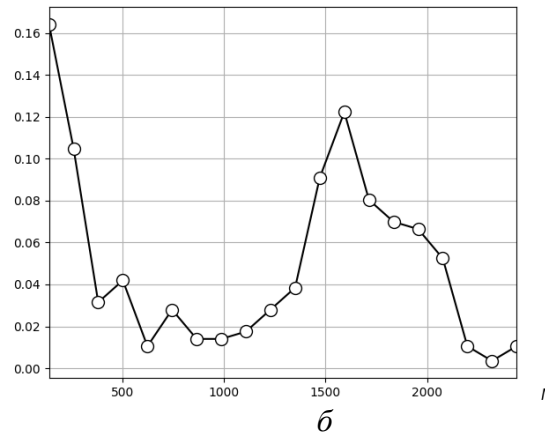
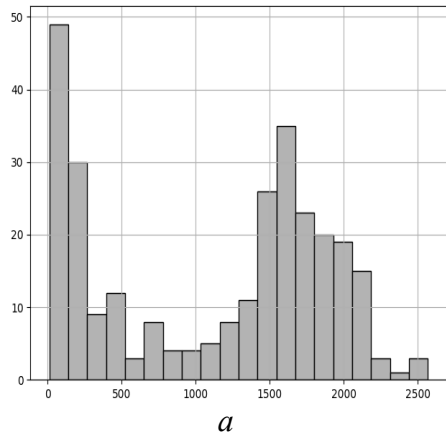


интервал осреднения  $\Delta = 10$  мин (слева),  $\Delta = 20$  мин (в центре),  $\Delta = 30$  мин (справа)



интервал осреднения  $\Delta = 40$  мин (слева),  $\Delta = 50$  мин (в центре),  $\Delta = 60$  мин (справа)

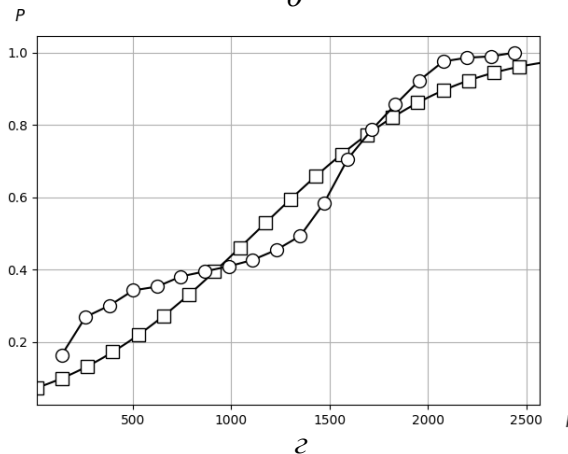
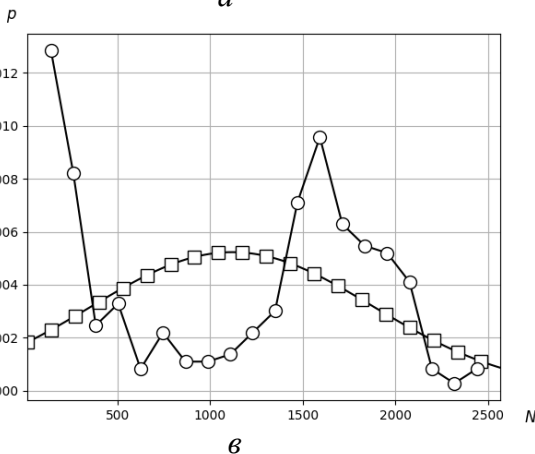




Предположение: в каждый момент времени интенсивность  $N$  транспортного потока можно представить в виде суммы

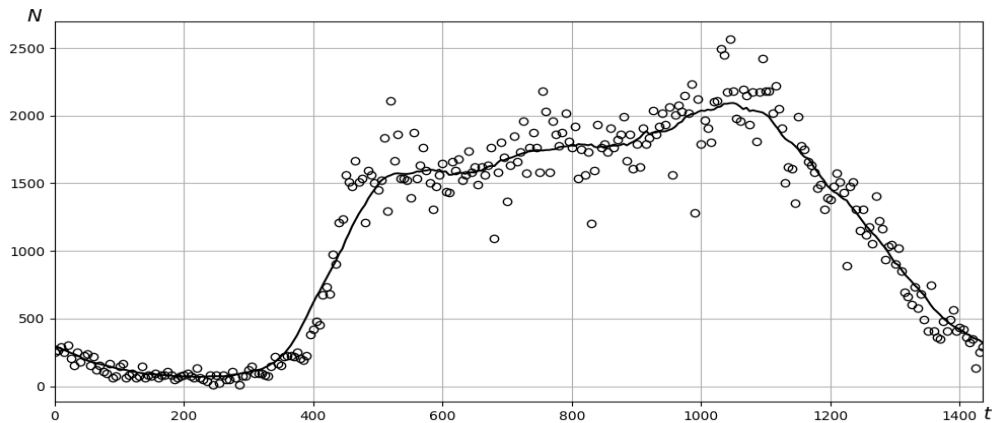
$$N = N_D + N_S$$

где  $N_D$  – детерминированная (сглаженная) составляющая интенсивности транспортного потока,  $N_S$  – стохастическая составляющая, то есть отклонение интенсивности транспортного потока от сглаженной кривой.

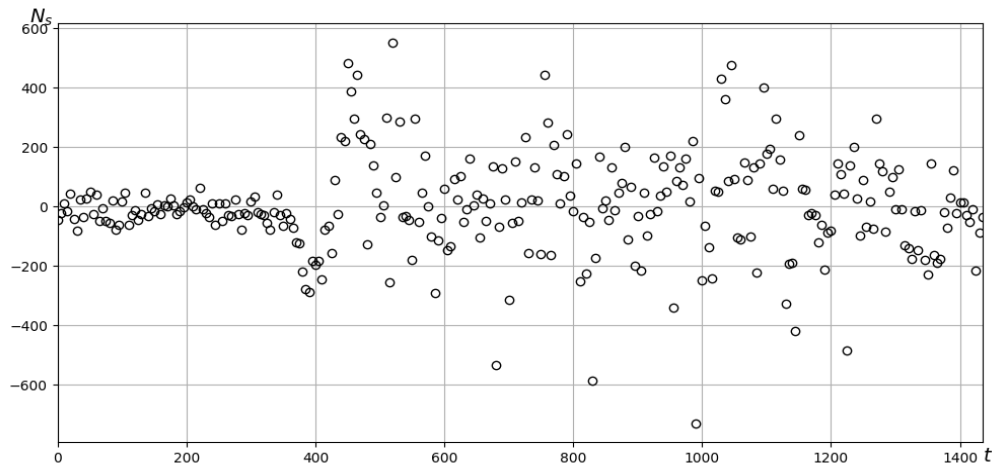


Статистические показатели интенсивности  $N$  транспортного потока:  $a$  – гистограмма,  $б$  – частоты,  $в$  – экспериментальная (–o–) и теоретическая (гауссова, –□–) кривые плотности  $p$  распределения вероятности,  $г$  – экспериментальная (–o–) и теоретическая (–□–) кривые распределения вероятности  $P$





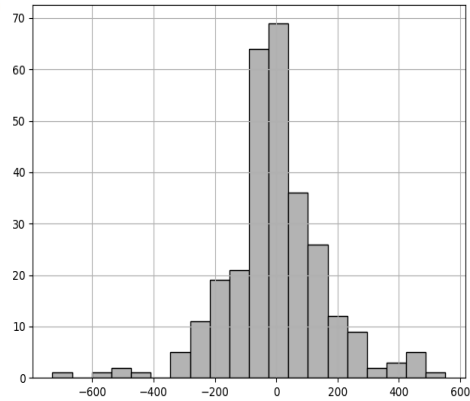
Зависимость от времени  $t$  интенсивности  $N$  (маркеры «о», авт/ч) транспортного потока (рабочий день, понедельник), сглаженной (детерминированной) составляющей интенсивности (сплошная кривая).



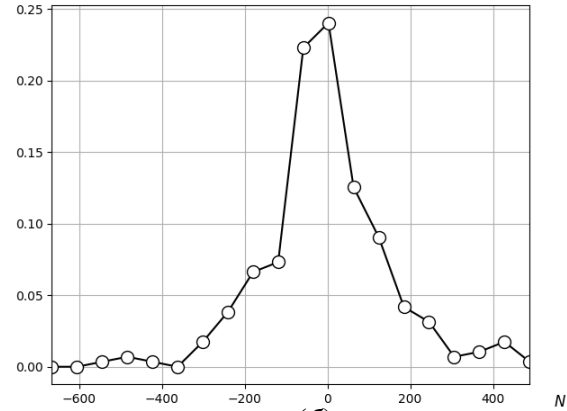
Отклонения

$$N_S = N - N_D$$
интенсивности  $N$  от сглаженной  $N_D$  (детерминированной) кривой (маркеры)

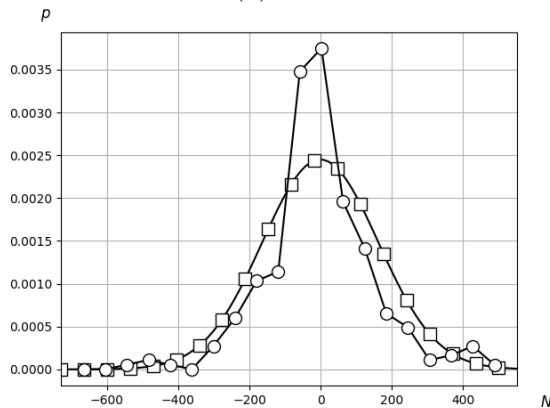




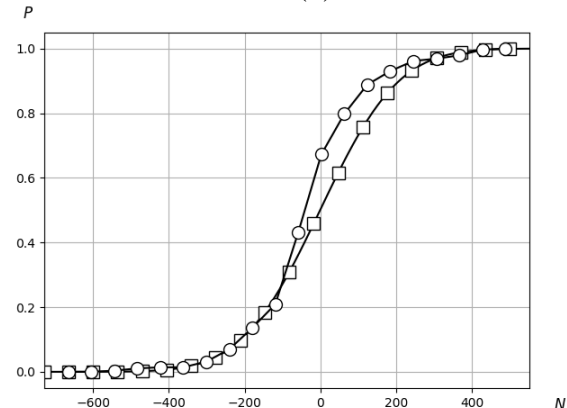
(а)



(б)



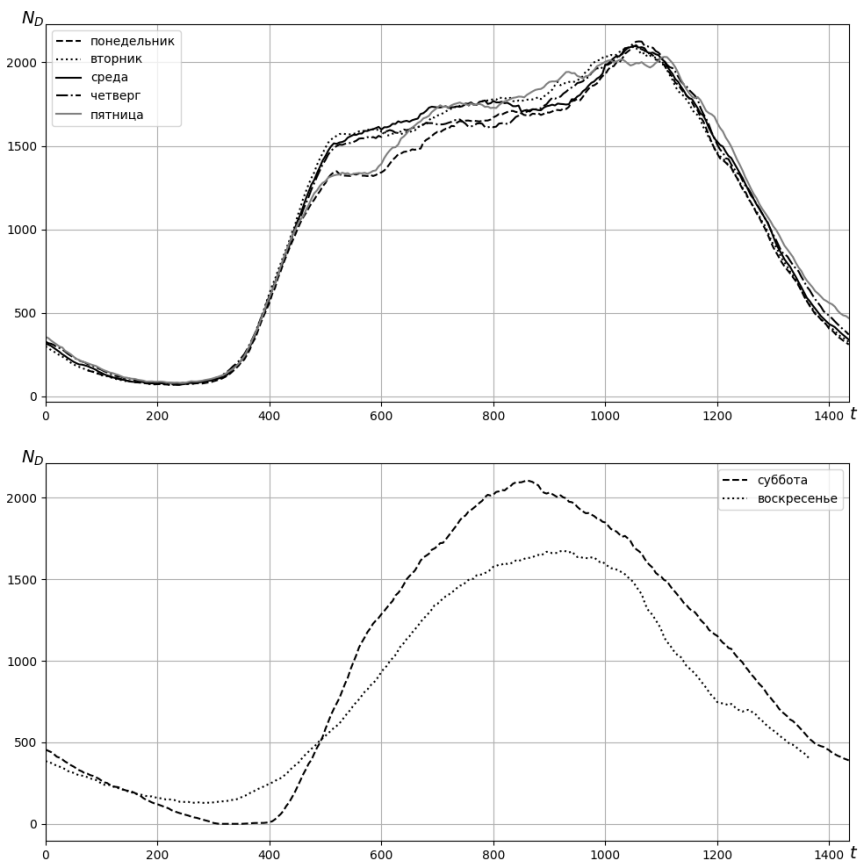
(в)



(г)

Статистические показатели отклонения  $N_S$  интенсивности от детерминированной кривой  $N_D$ : *а* – гистограмма, *б* – частоты, *в* – экспериментальная (—○—) и теоретическая (—□—) кривые плотности  $p$  распределения вероятности, *г* – экспериментальная (—○—) и теоретическая (—□—) кривые распределения вероятности  $P$





Детерминированные составляющие  $N_D$   
интенсивности  $N$  транспортных потоков в рабочие  
(вверху) и выходные (внизу) дни

**Опубликовано:** Бояришинов М.Г., Вавилин А.С., Шумков А.Г. Использование комплекса фотовидеофиксации нарушений правил дорожного движения для выделения детерминированной и стохастической составляющих интенсивности транспортного потока // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – №3. – С. 61-71. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-3-61.

Boyarshinov M.G., Vavilin A.S. The deterministic component of the traffic flow intensity // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, International Conference: Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2020) 27th-29th October 2020, Saint-Petersburg, Russian Federation. – P. 012013. DOI:10.1088/1757-899X/1111/1/012013.



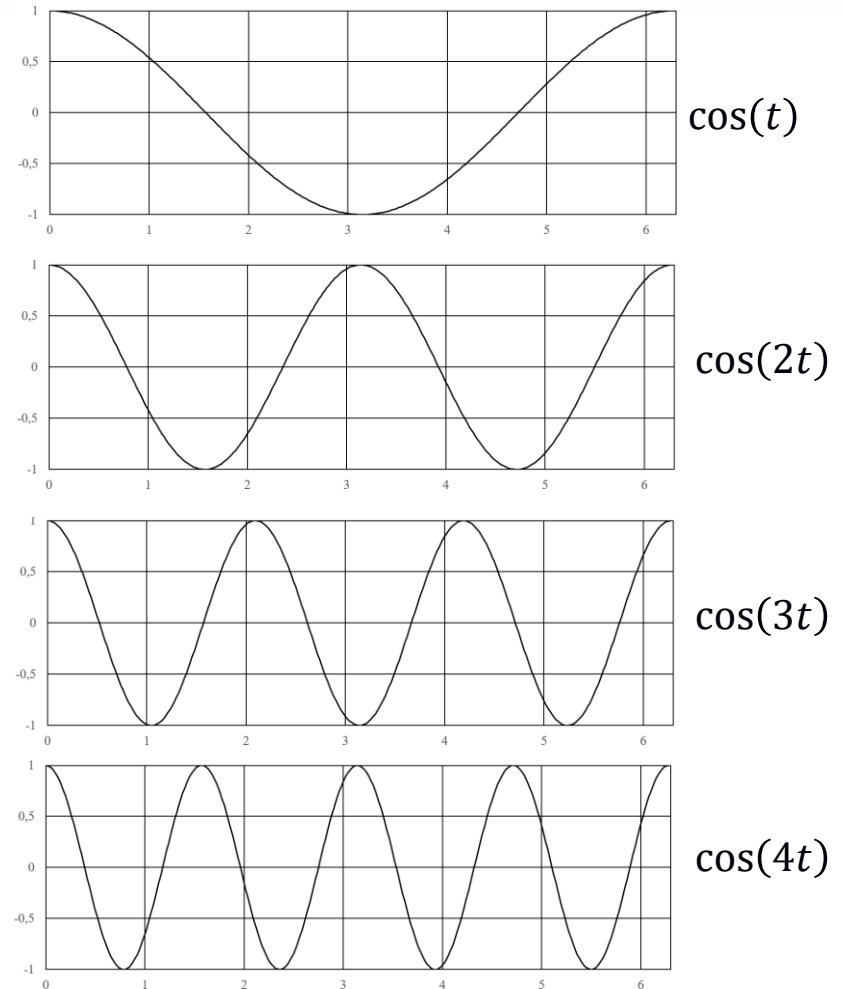
Фурье-анализ интенсивности транспортного потока основан на разложении функции интенсивности  $N(t)$  (временного ряда) по гармоническим функциям (ряд Фурье)

$$N(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos(2\pi n_k t + \varphi_k),$$

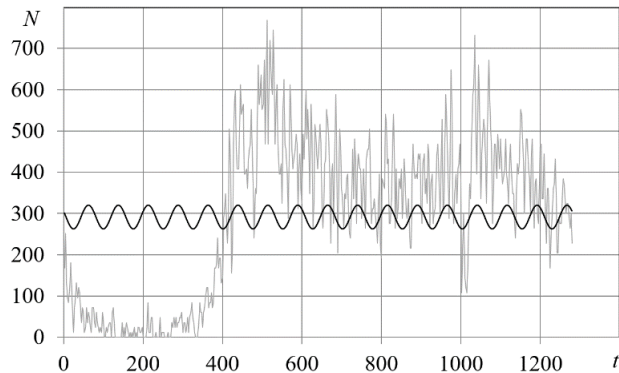
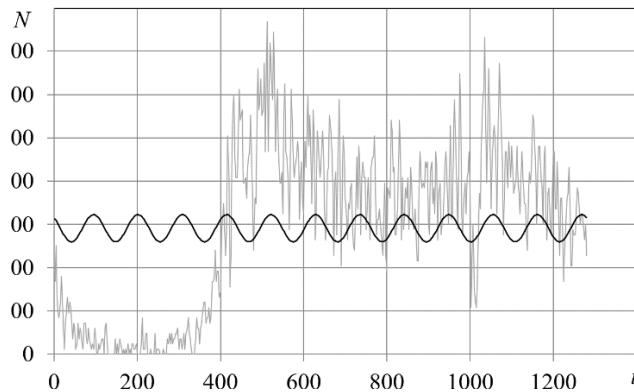
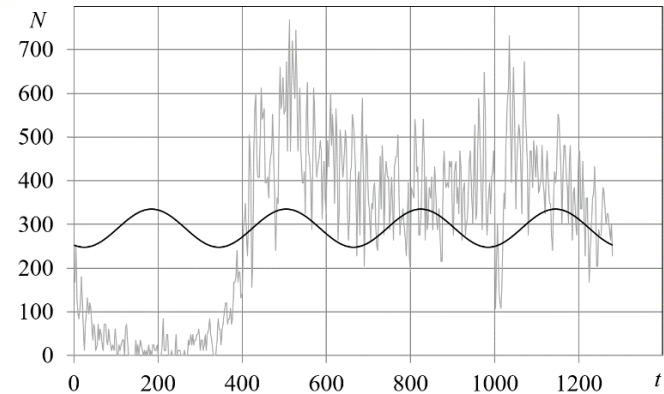
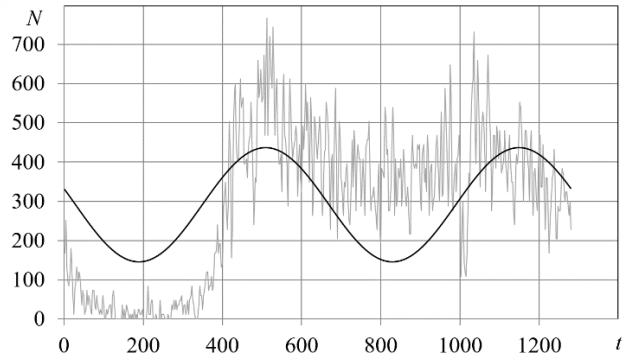
где  $a_0$  — среднее значение рассматриваемой функции;

$a_k$  — амплитуда и  $\varphi_k$  — сдвиг фазы гармоники, соответствующие частоте  $n_k$ .

Для получения значений амплитуд, частот и сдвигов фаз используется алгоритм на основе *быстрого преобразования Фурье*.

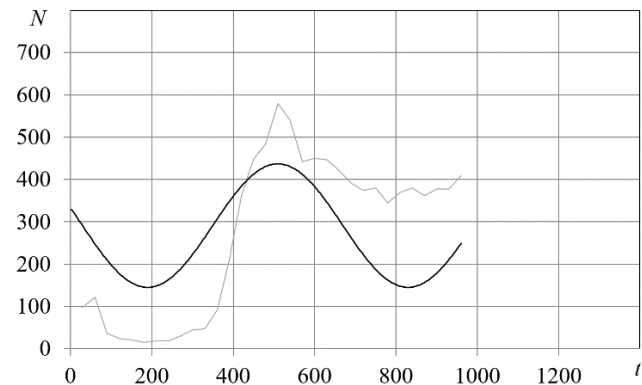
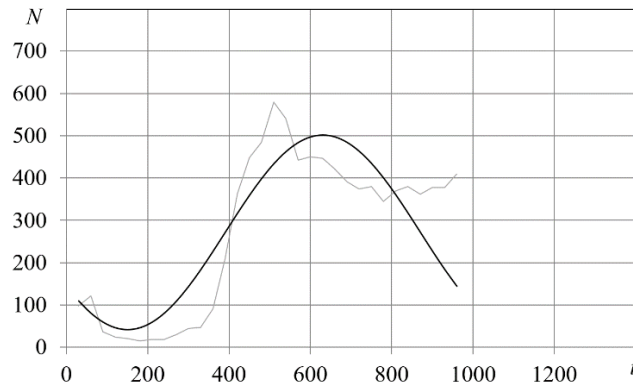






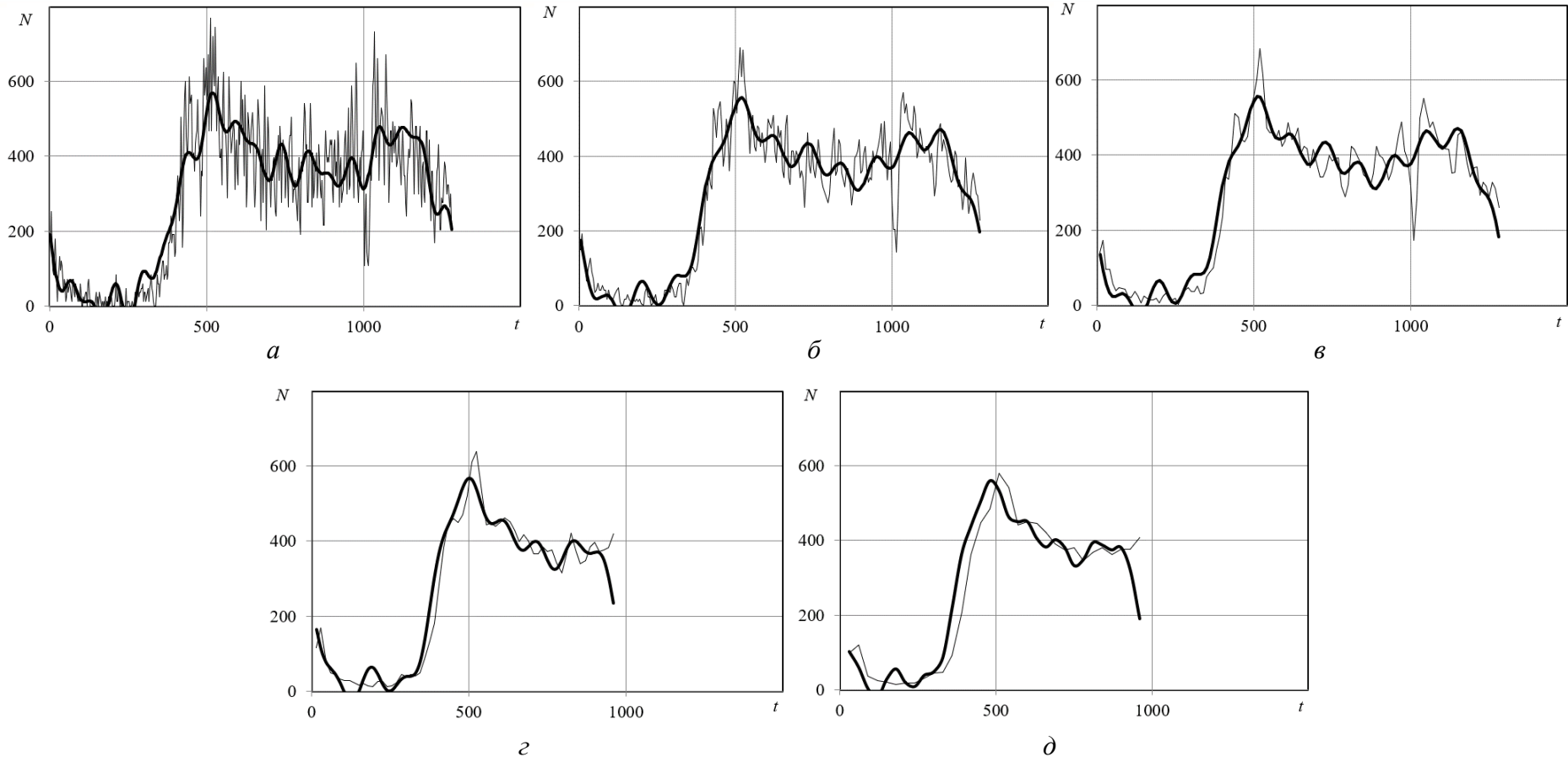
2-я (слева сверху), 4-я (справа сверху), 12-я (слева внизу) и 17-я (справа внизу) гармоники (—) разложения суточной интенсивности  $N$  (авт/ч) транспортного потока в ряд Фурье при интервале осреднения  $\Delta = 5$  мин





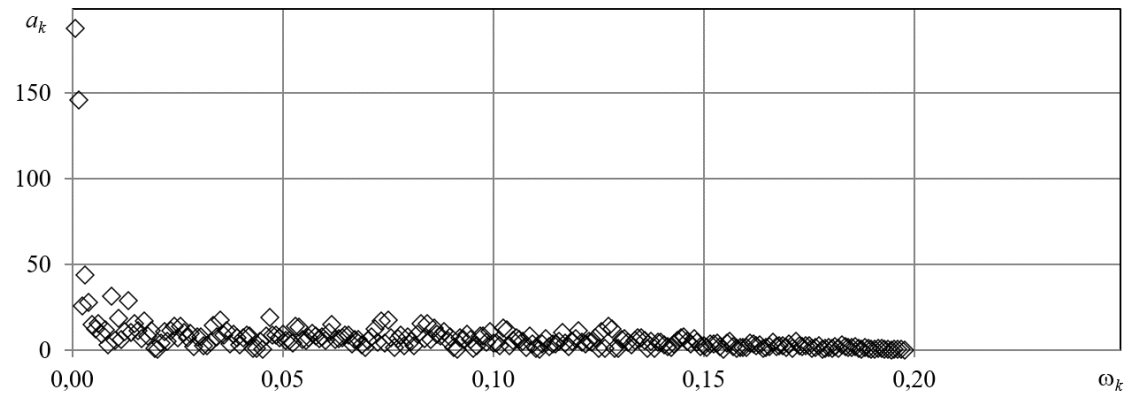
1-я (слева), 2-я (справа) гармоники (—) разложения суточной интенсивности  $N$  (авт/ч) транспортного потока в ряд Фурье при интервале осреднения  $\Delta = 60$  мин



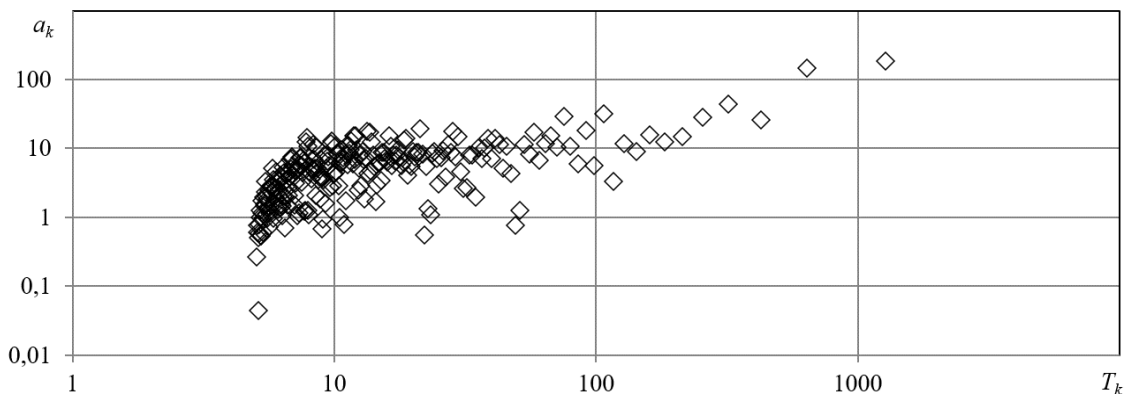


Частичные суммы слагаемых рядов Фурье ( — ) при интервалах осреднения 5 мин (*a*), 10 мин (*б*), 20 мин (*в*), 30 мин (*г*) и 60 мин (*д*)





$$N(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos(2\pi\omega_k t + \varphi_k)$$



$$T_k = \frac{1}{\omega_k}$$

Амплитудные характеристики  $a_k$  (авт/ч) суточной интенсивности транспортного потока с использованием переменных «частота – амплитуда» (вверху) и «период – амплитуда» (внизу, логарифмические координаты); интервал осреднения  $\Delta = 5$  мин.



Вейвлет-анализ функции  $N(t)$  интенсивности транспортного потока основан на использовании интегрального преобразования

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} N(t) \psi^* \left( \frac{t - b}{a} \right) dt,$$

где  $a$  и  $b$  – параметры, определяющие размер (масштаб) вейвлета и его временную локализацию (сдвиг) соответственно;

$\psi(t)$  – анализирующий вейвлет (ядро интегрального преобразования);

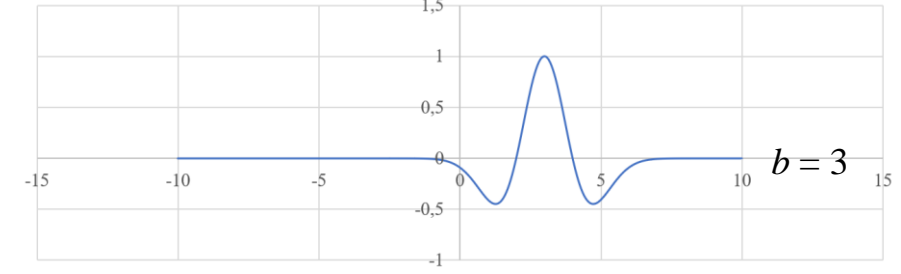
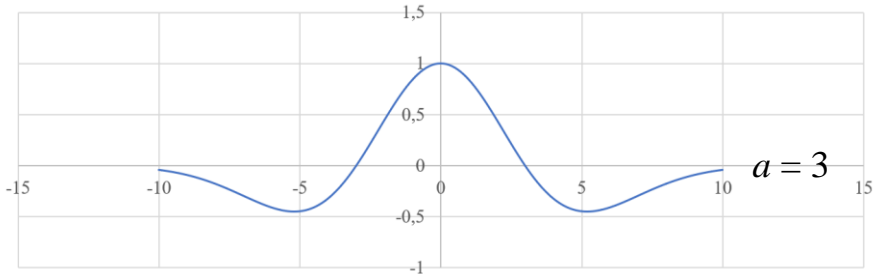
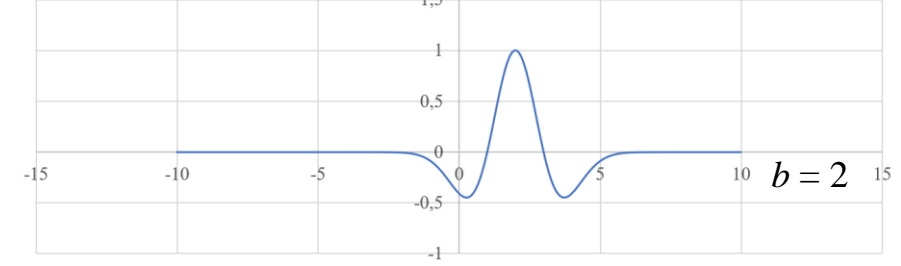
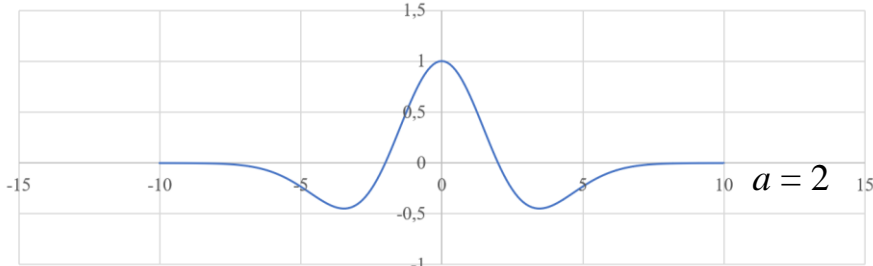
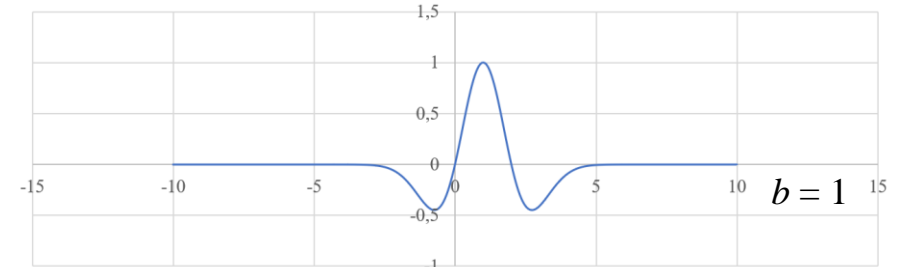
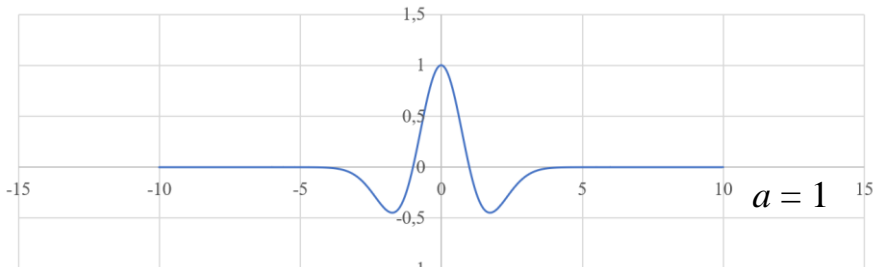
$t$  – время;

символом «\*» обозначена процедура комплексного сопряжения.



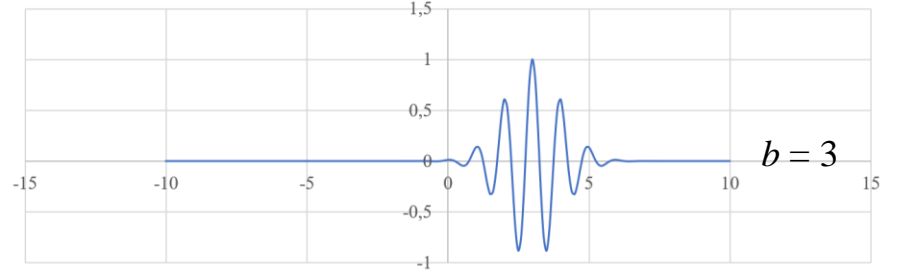
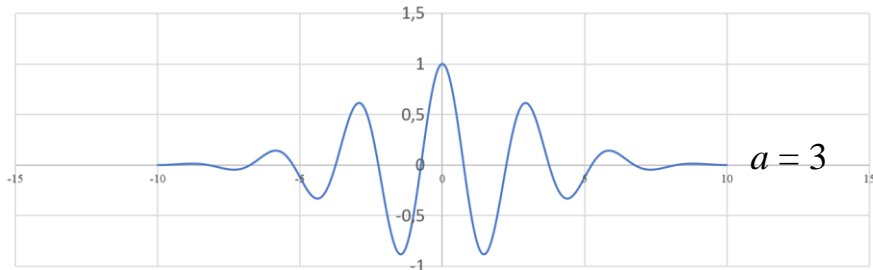
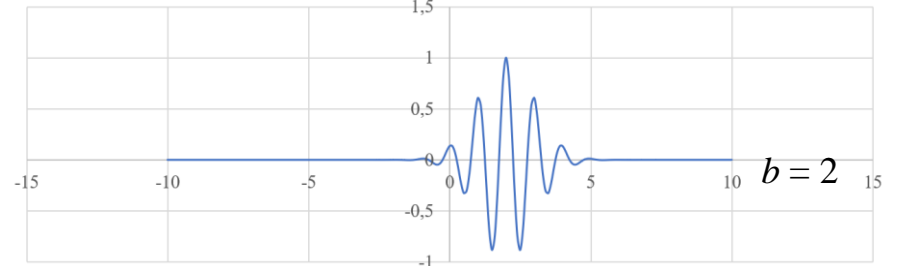
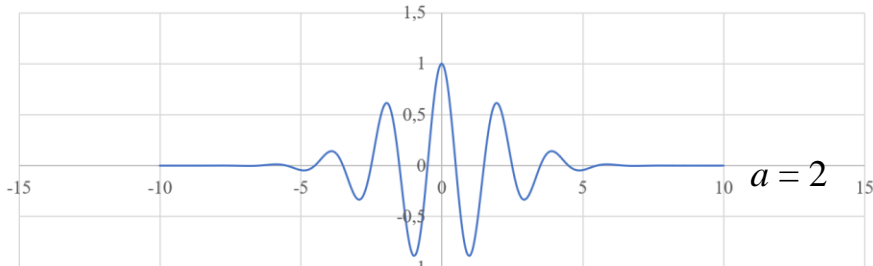
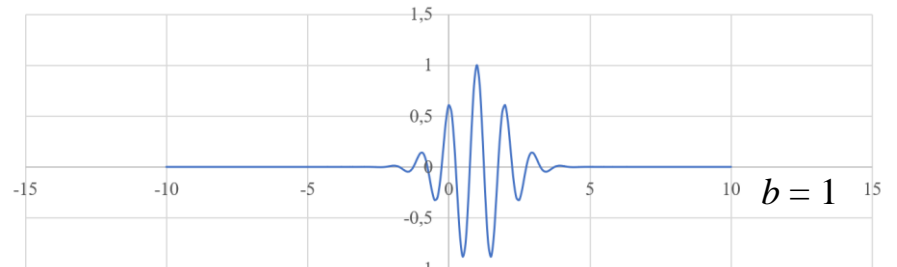
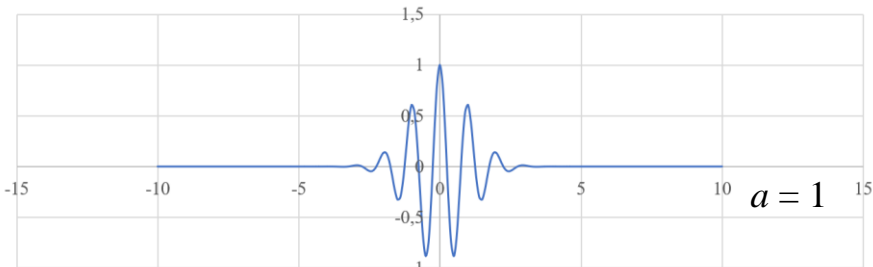


$$\psi(t) = \left[1 - \left(\frac{t-b}{a}\right)^2\right] e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-b}{a}\right)^2} - \text{вейвлет МНат (Mexican Hat, мексиканская шляпа)}$$





$$\psi(t) = e^{i2\pi\left(\frac{t-b}{a}\right)} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-b}{a}\right)^2} - \text{вейвлет Морле}$$





Анализ вейвлет-образа  $W(a,b)$  интенсивности  $N(t)$  транспортного потока выполняется, как правило, с использованием *плотности спектра энергии (скалограммы)* временного ряда

$$E(a, b) = |W(a, b)|^2,$$

*глобального спектра энергии (скейлограммы),*

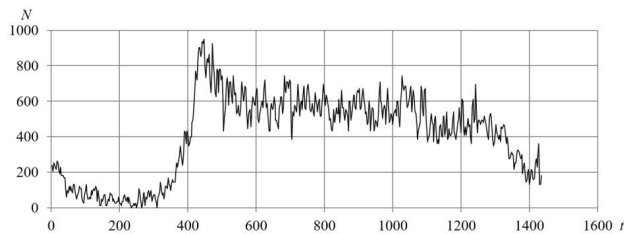
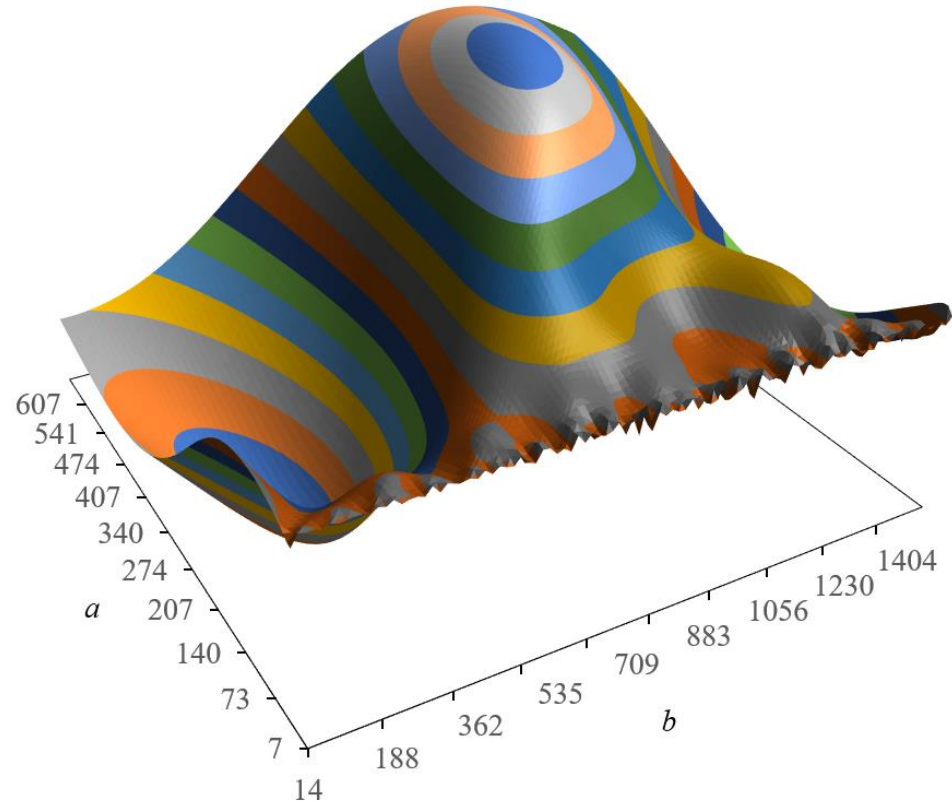
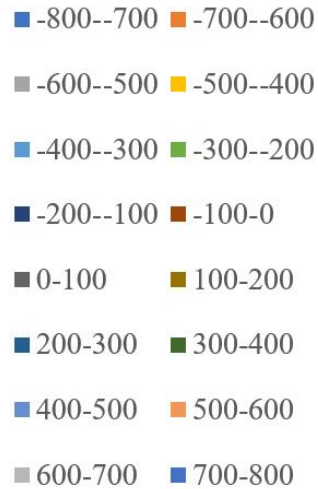
$$E_b(a) = \int_{-\infty}^{\infty} E(a, b) db = \int_{-\infty}^{\infty} |W(a, b)|^2 db,$$

и *скелетона*

$$Sc(a_i, b_j) = \begin{cases} E(a_i, b_j), & \text{если } E(a_{i-1}, b_j) < E(a_i, b_j) < E(a_{i+1}, b_j) \\ & \text{или } E(a_i, b_{j-1}) < E(a_i, b_j) < E(a_i, b_{j+1}); \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

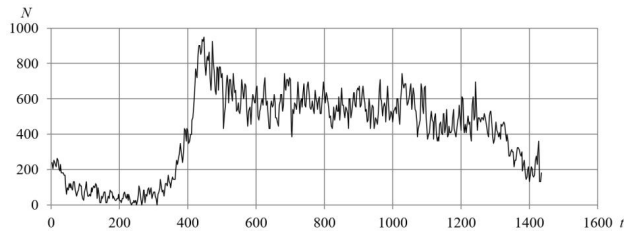
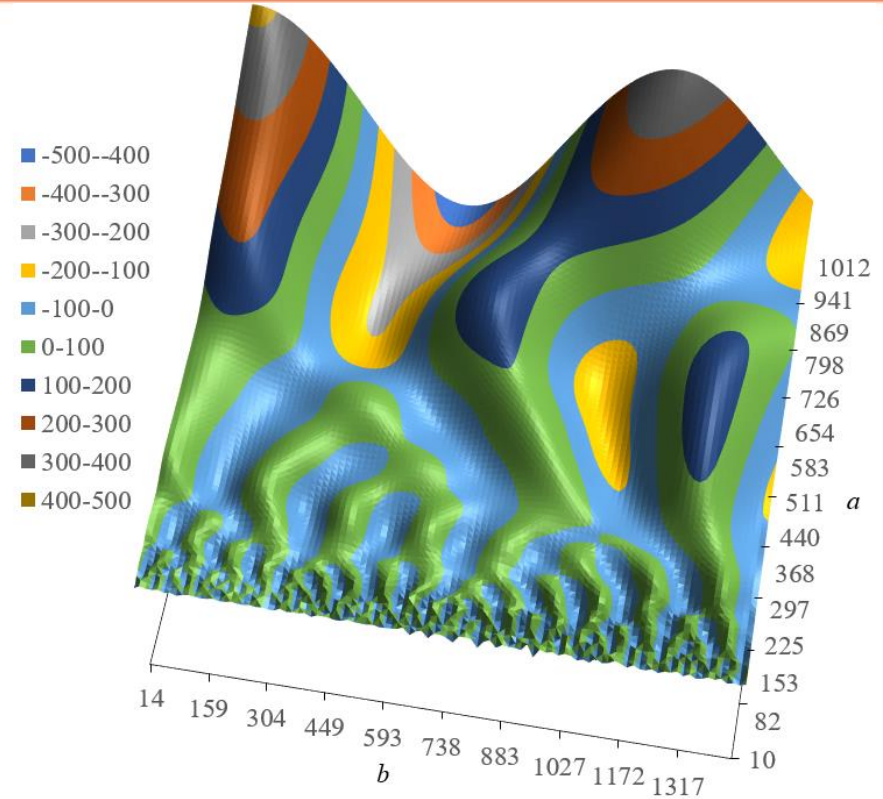
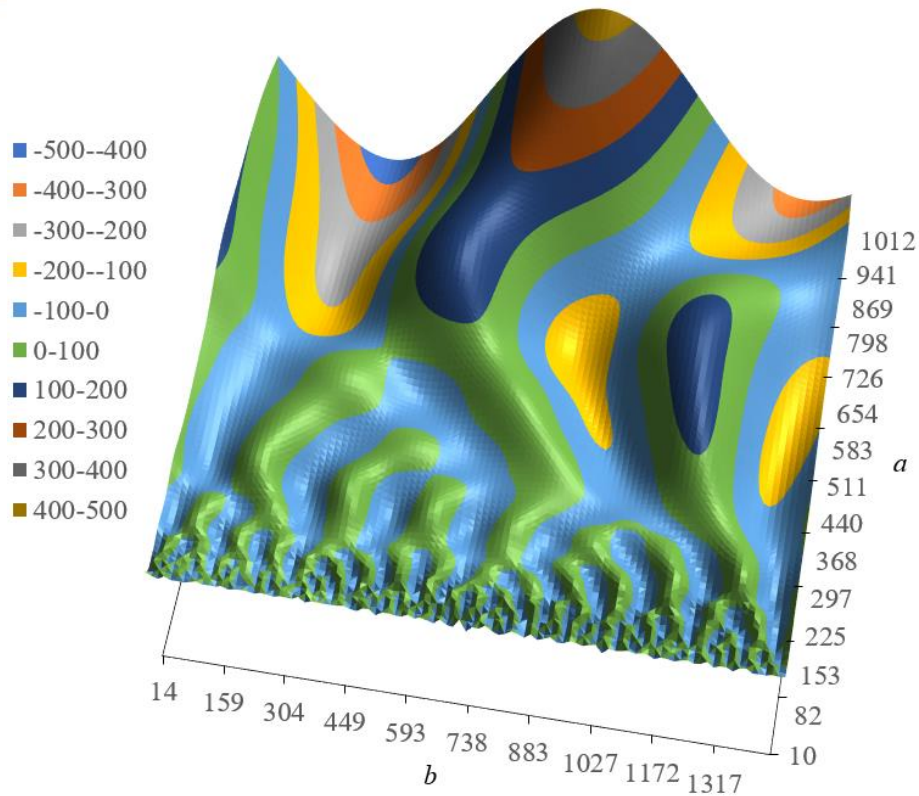






Вейвлет-образ временного ряда интенсивности  $N(t)$  транспортного потока, полученный с использованием вейвлета МНат



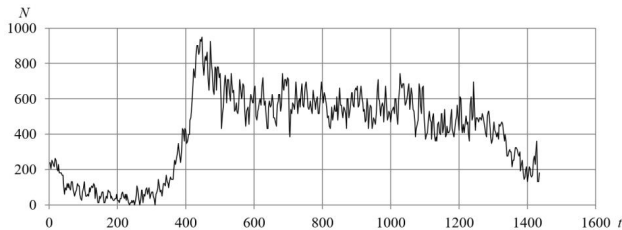
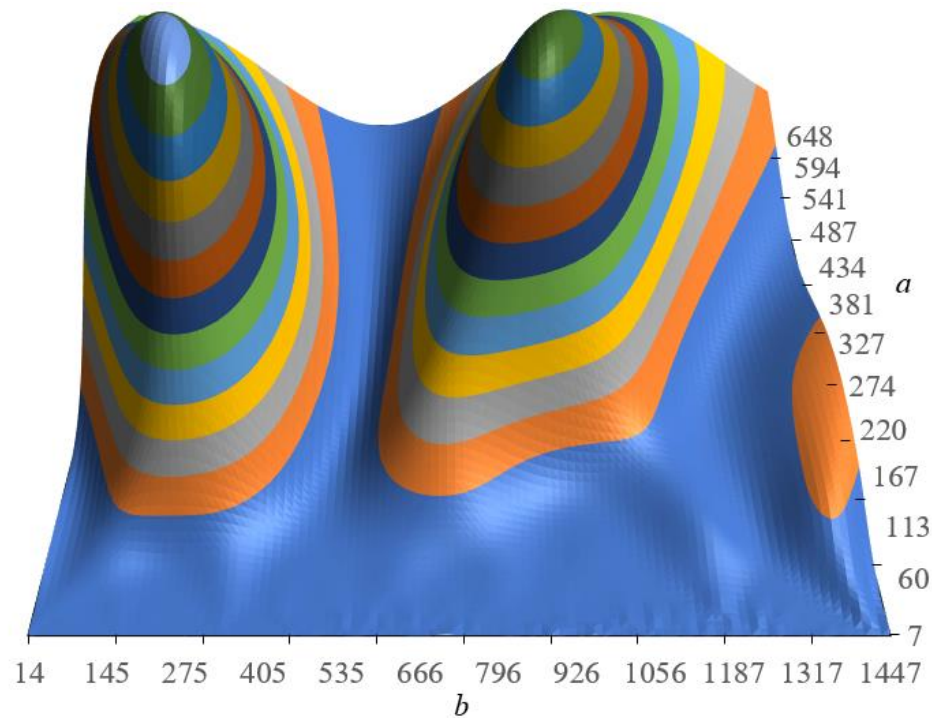


Вейвлет-образ временного ряда интенсивности  $N(t)$  транспортного потока, полученный с использованием вейвлета Морле (слева – вещественная, справа – комплексная составляющие)





- 0-50000
- 50000-100000
- 100000-150000
- 150000-200000
- 200000-250000
- 250000-300000
- 300000-350000
- 350000-400000
- 400000-450000
- 450000-500000
- 500000-550000
- 550000-600000
- 600000-650000

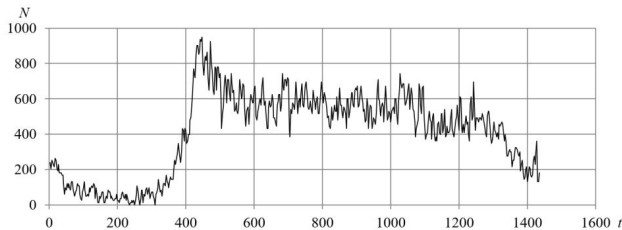
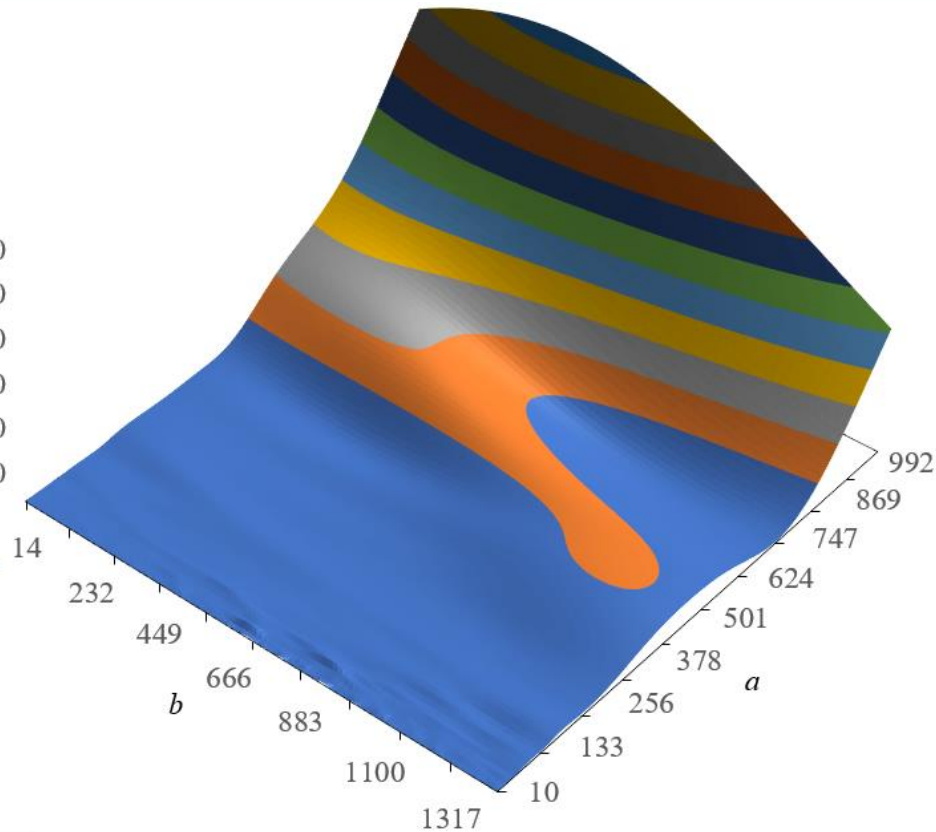


Плотность спектра энергии  $E(a_i, b_j)$  (скалограмма) функции  $N(t)$ , полученная на основе вейвлета МНат



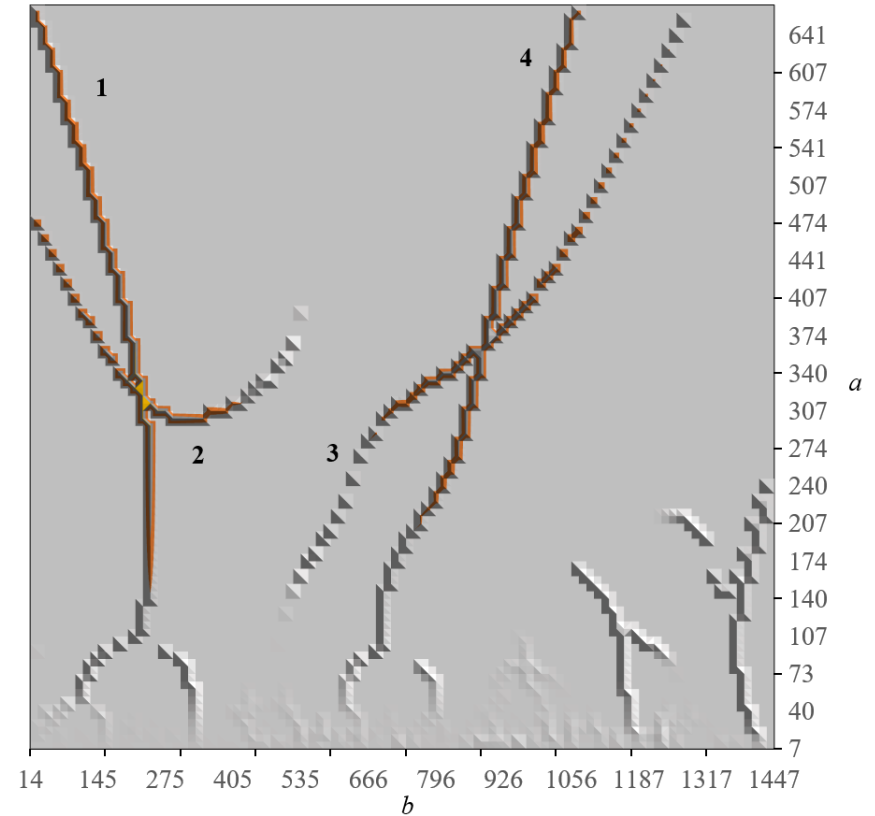
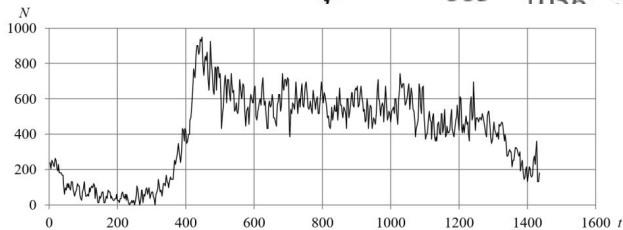
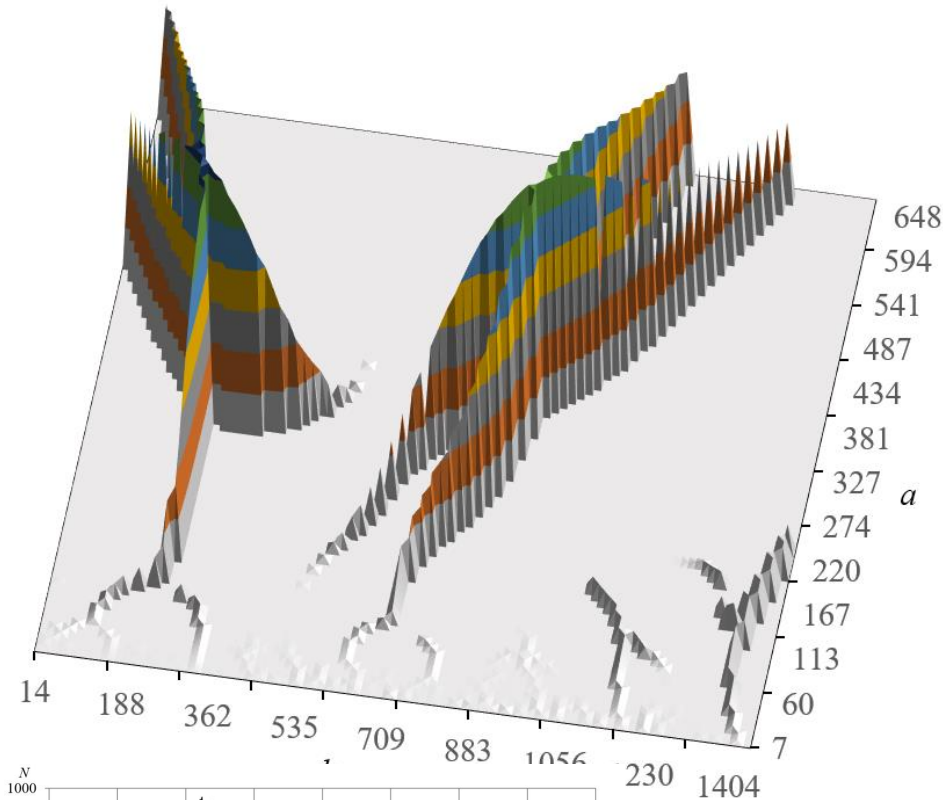


- 0-20000
- 20000-40000
- 40000-60000
- 60000-80000
- 80000-100000
- 100000-120000
- 120000-140000
- 140000-160000
- 160000-180000
- 180000-200000
- 200000-220000



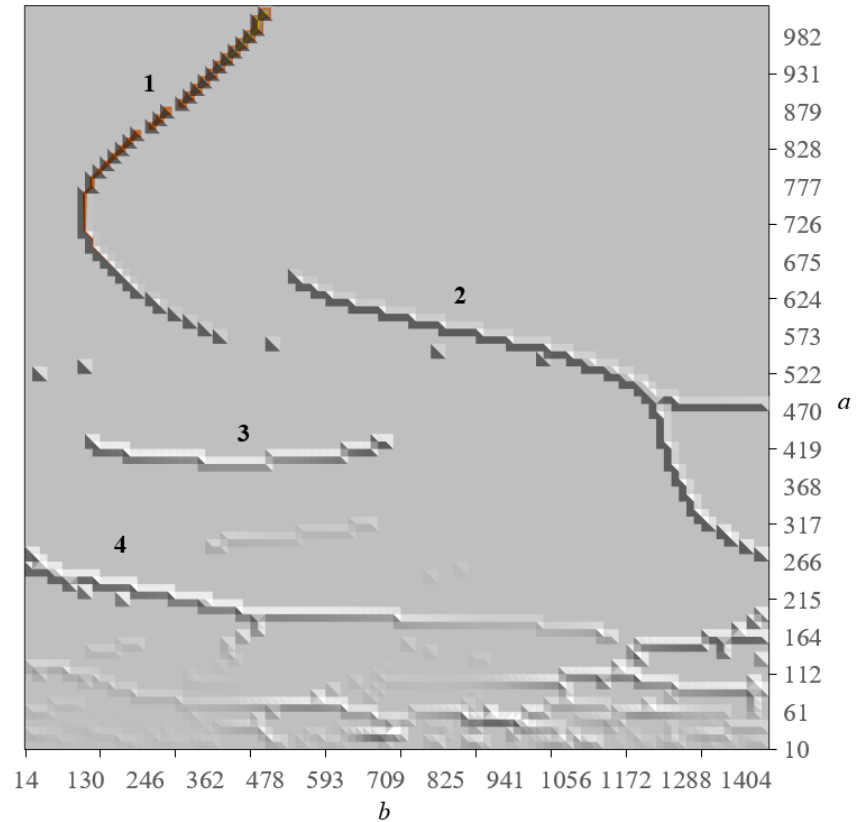
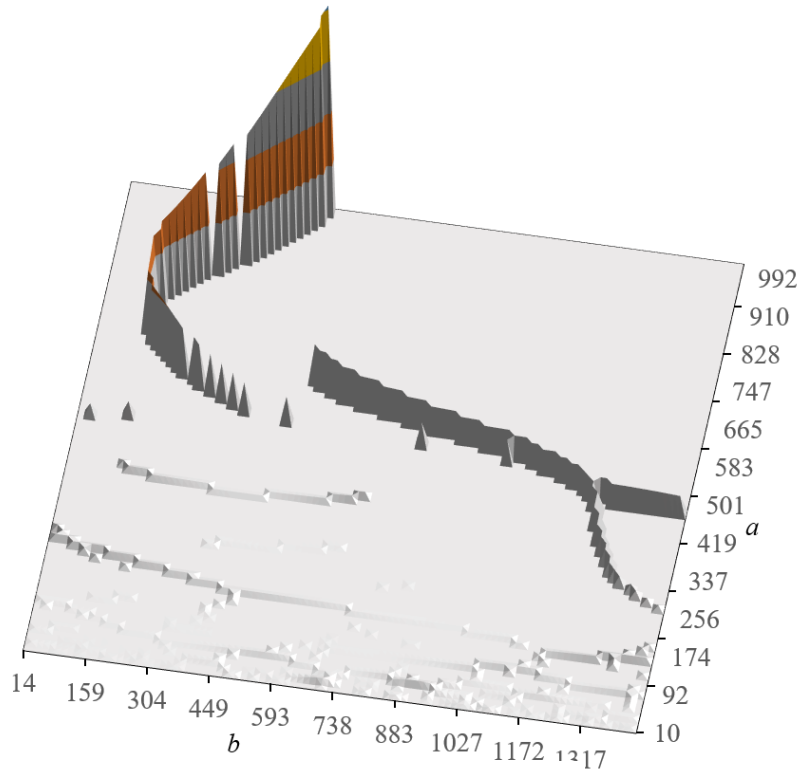
Плотность спектра энергии  $E(a_i, b_j)$  (скалограмма) функции  $N(t)$ , полученная на основе вейвлета Морле



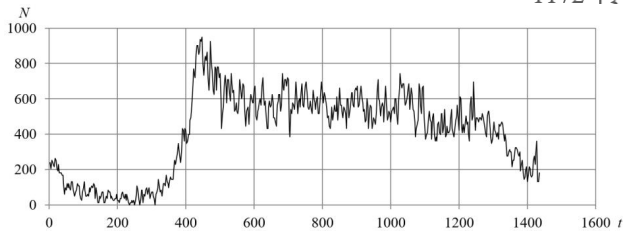


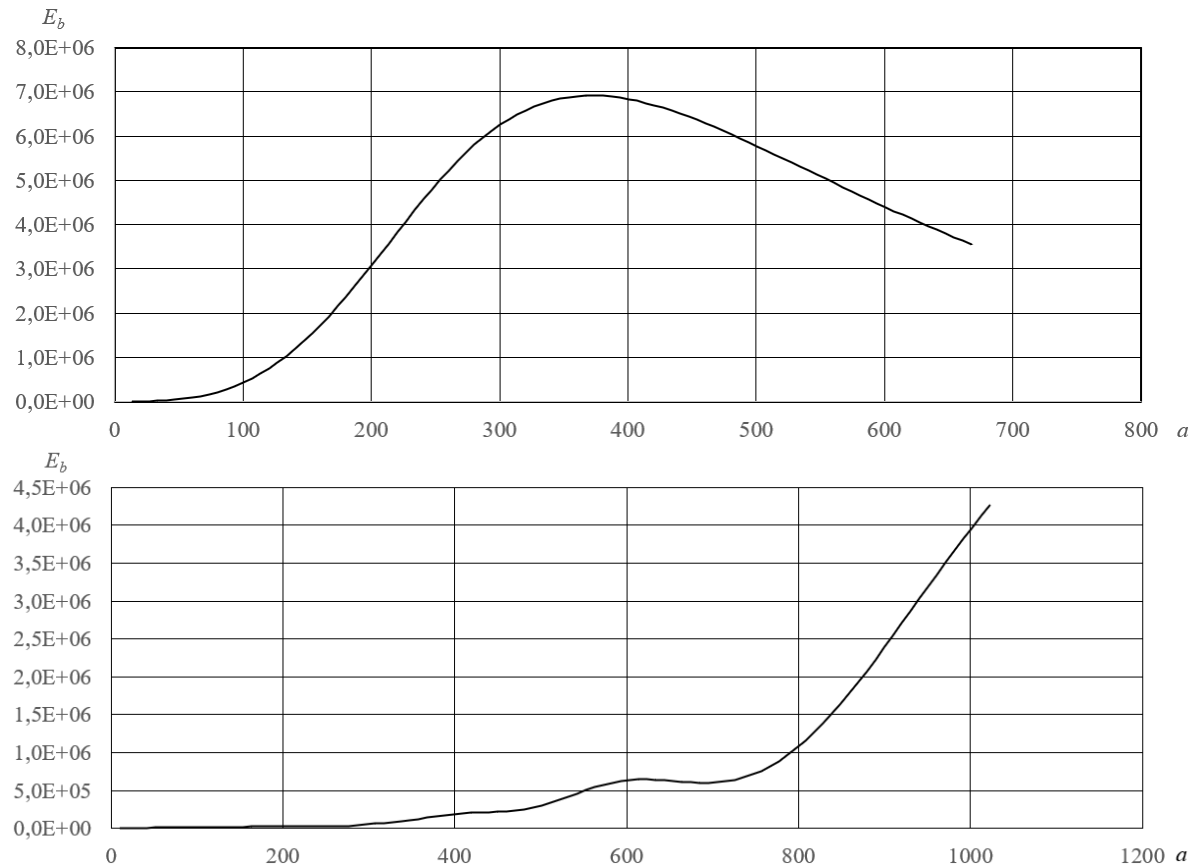
Скелетон временного ряда  $N(t)$ ,  
полученный на основе вейвлета МНат





Скелетон временного ряда  $N(t)$ ,  
полученный с использованием вейвлета Морле





Глобальные спектры энергии  $E_b(a_i)$  (скейлограммы) временного ряда  $N(t)$ ,  
полученные на основе вейвлетов МНат (вверху) и Морле (внизу)

*Опубликовано: Бояринов М.Г., Вавилин А.С., Шумков А.Г. Использование комплекса фотовидеофиксации нарушений правил дорожного движения для выделения детерминированной и стохастической составляющих интенсивности транспортного потока // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – №3. – С. 61-71. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-3-61.*



В основе **метода нормированного размаха** (подхода Хёрста) лежит аппроксимация безразмерного показателя

$$R/S$$

для известного временного ряда  $N(t_i)$  степенной зависимостью  $at^H$ , где  $a$  и  $H$  – константы,  $t$  – время. Здесь обозначено:

$$S = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M [N(t_i) - \langle N \rangle]^2},$$

– среднеквадратическое отклонение значений случайной величины  $N(t_i)$  интенсивности от среднего значения  $\langle N \rangle = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M N(t_i)$ ;  $M$  – количество слагаемых временного ряда случайной величины  $N(t_i)$  на отрезке времени наблюдения  $t \in [0, \tau]$ .

$$R = \max_{t \in [0, \tau]} Z(t) - \min_{t \in [0, \tau]} Z(t).$$

– накопленный размах отклонений  $Z(t) = \sum_{i=1}^M [N(t_i) - \langle N \rangle]$  случайной величины  $N(t_i)$  от среднего значения  $\langle N \rangle$  на отрезке времени наблюдения.







В зависимости от значения  $H$  показателя степени (это и есть показатель Хёрста) различают три вида временных рядов:

$$0 < H < 0,5$$

– **антиперсистентные** процессы, для которых характерна **знакопеременная тенденция**, и фактически речь идет о неустойчивости значений рассматриваемого временного ряда;

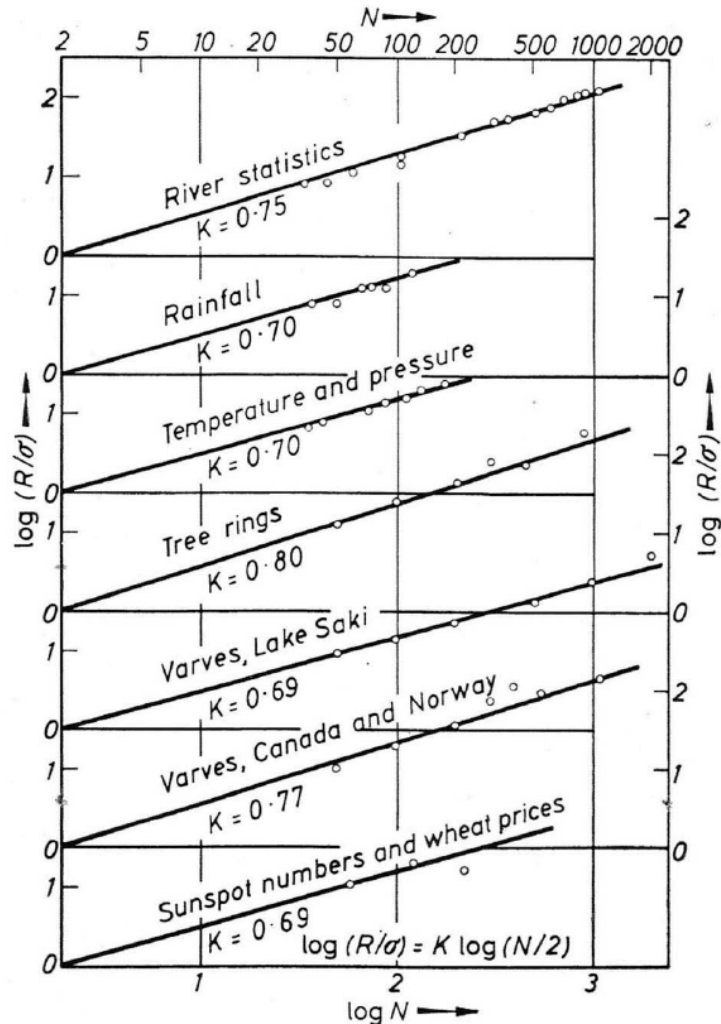
$$H \approx 0,5$$

– рассматриваемые процессы являются **случайными** и не имеют какого-либо тренда, то есть **история формирования** слагаемых рассматриваемого временного ряда не влияет на последующие значения;

$$0,5 < H < 1,0$$

– **персистентные** процессы, для которых наблюдается сохранение наблюдаемой тенденции, то есть **история формирования** слагаемых рассматриваемого временного ряда **оказывает влияние** на последующие значения.



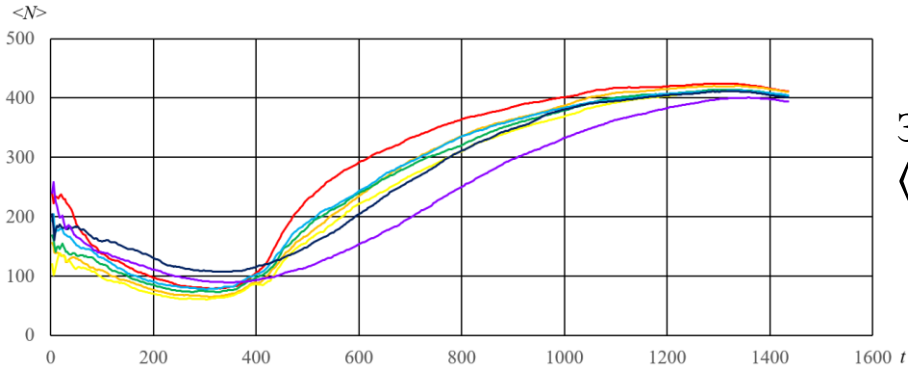


Показатели  $K$  Хёрста для

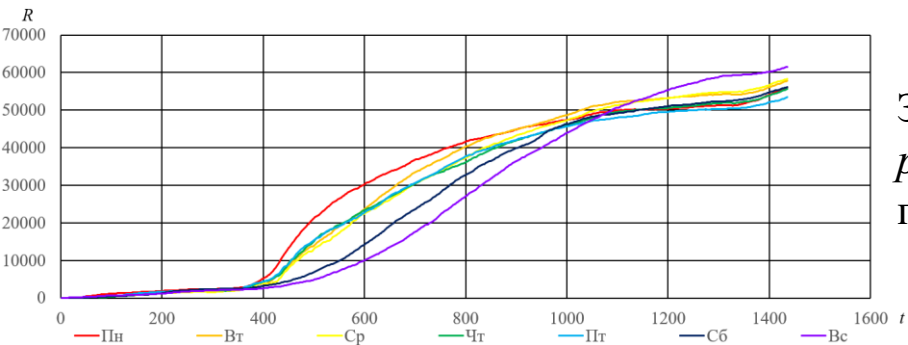
- речных стоков ( $K = 0,75$ ),
- ливневых дождей ( $K = 0,70$ ),
- температуры и давления ( $K = 0,70$ ),
- годовых колец деревьев ( $K = 0,80$ ),
- грязевых отложений (озеро Саки,  $K = 0,69$ ),
- грязевых отложений (Канада и Норвегия,  $K = 0,77$ ),
- солнечные пятна и цены на пшеницу ( $K = 0,69$ ).

**Источник:** Sutcliffe J., Hurst S., Awadallah A.G., Brown E., Hamed R. (2016) **Harold Edwin Hurst: the Nile and Egypt, past and future**, Hydrological Sciences Journal, 61:9, 1557-1570. DOI: 10.1080/02626667.2015.1019508

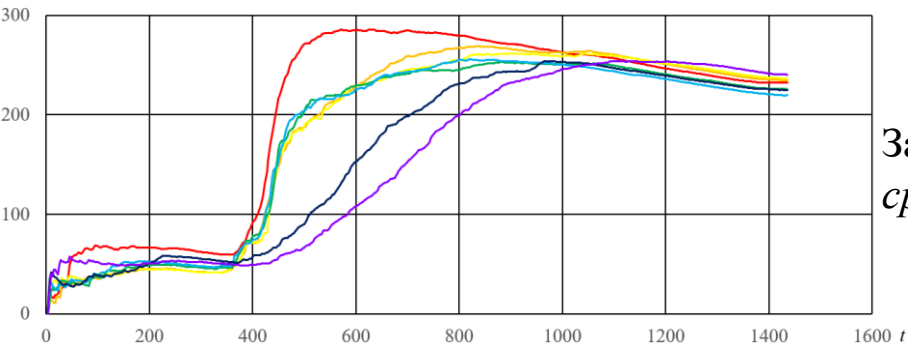




Зависимость от времени  $t$  (мин) *среднего значения*  $\langle N \rangle$  интенсивности транспортного потока (авт/ч),

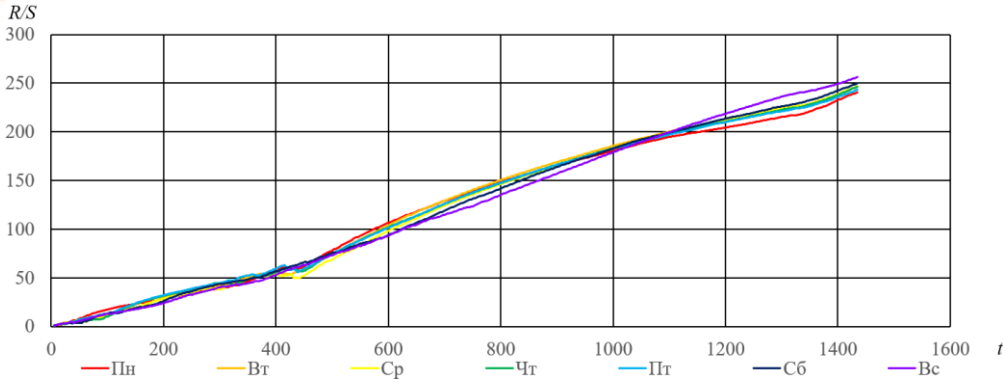


Зависимость от времени  $t$  (мин) *накопленного размаха*  $R$  (авт/ч) интенсивности транспортного потока по дням недели



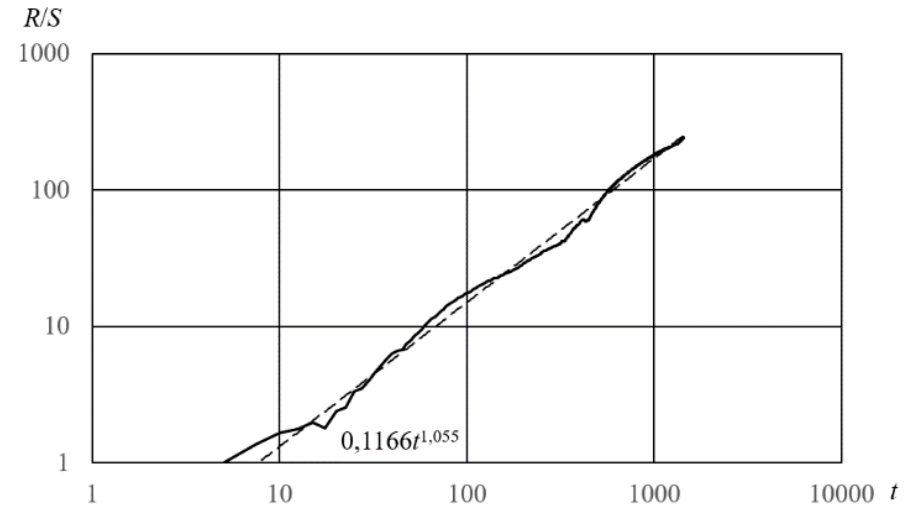
Зависимость от времени  $t$  (мин) *среднеквадратичного отклонения*  $S$  (авт/ч),

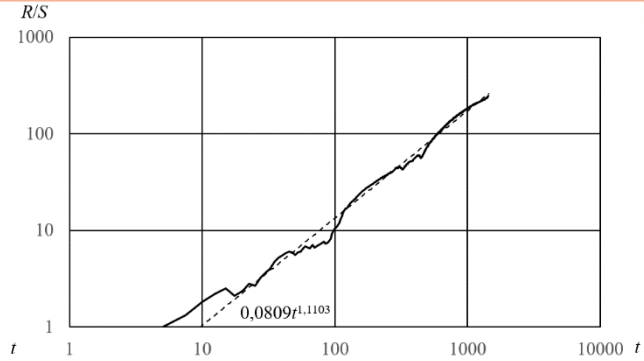
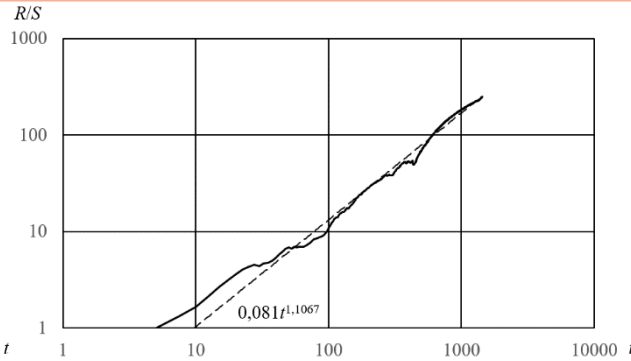
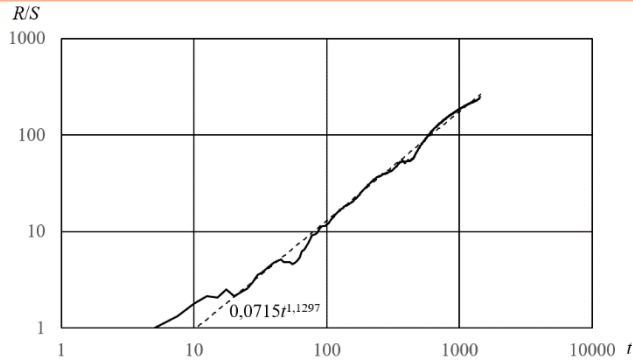




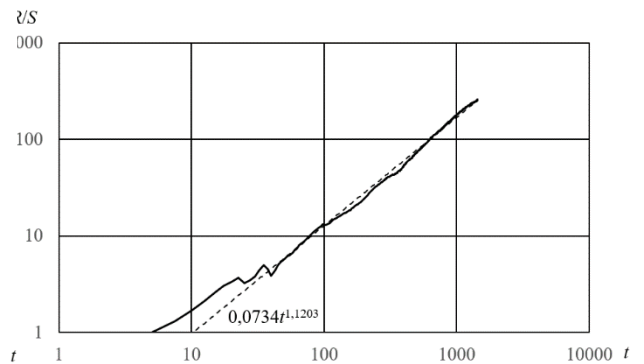
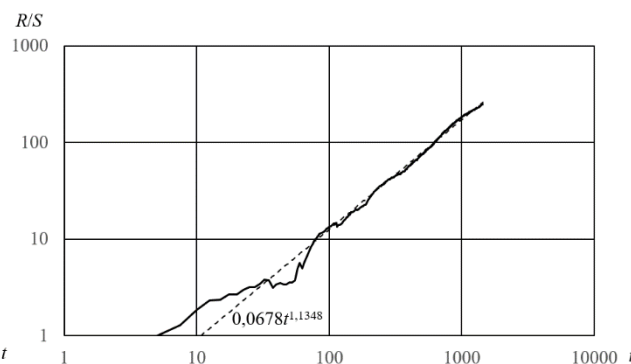
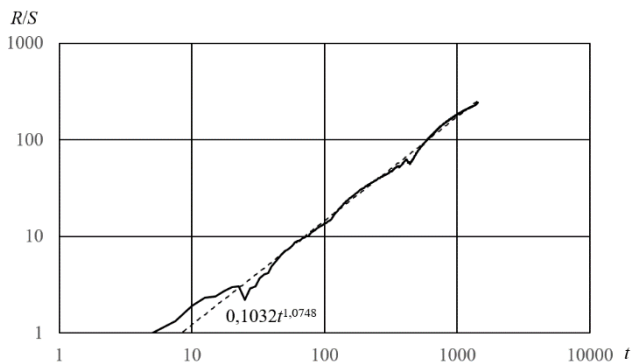
Зависимость от времени  $t$  (мин)  
нормированного размаха  $R/S$  интенсивности  
транспортного потока по дням недели

Аппроксимация степенной функцией  
 $at^H$  (---) нормированного размаха  $R/S$   
интенсивности транспортного потока  
(понедельник) с использованием логарифмических  
координат



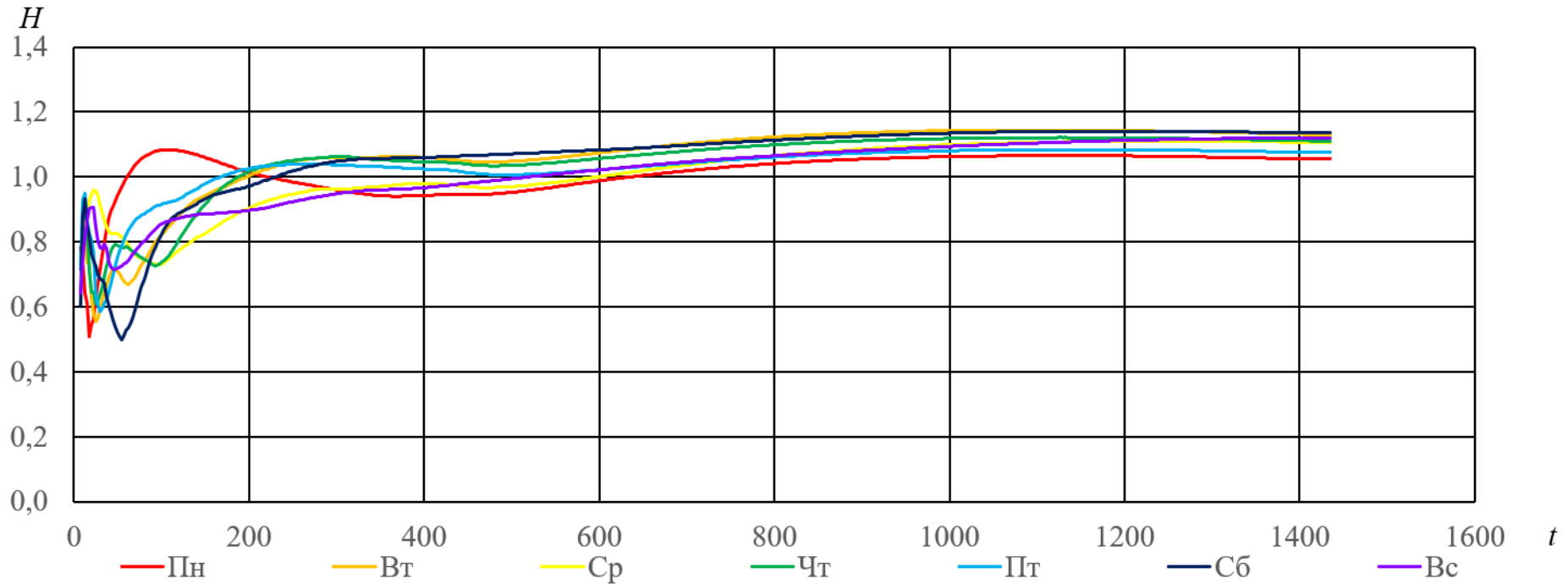


Аппроксимация степенной функцией (---) нормированного размаха  $R/S$  интенсивности транспортного потока (вторник, среда и четверг)



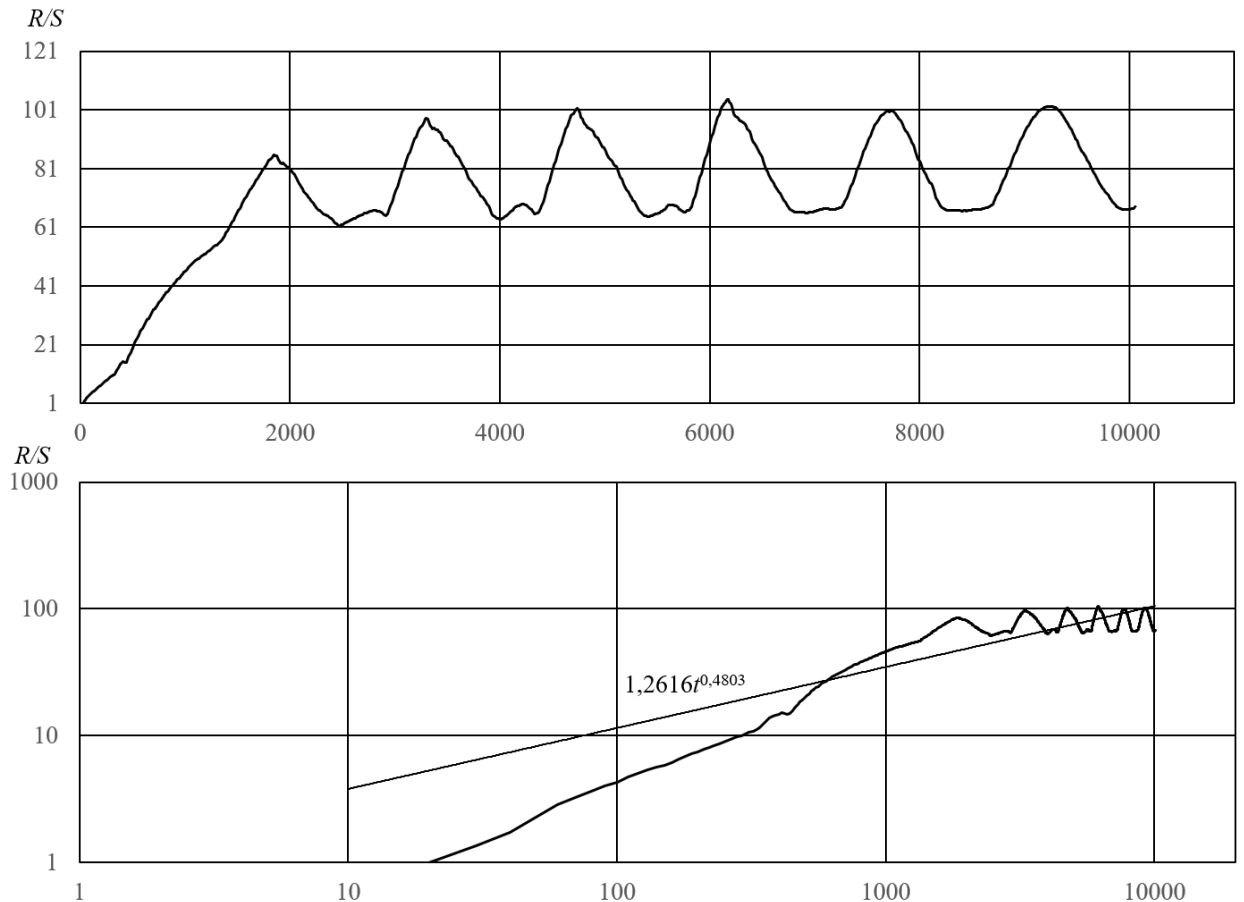
Аппроксимация степенной функцией (---) нормированного размаха  $R/S$  интенсивности транспортного потока (пятница, суббота и воскресенье)





Зависимость от времени  $t$  (мин) показателя  $H$  Хёрста для временных рядов интенсивности транспортного потока по дням наблюдения

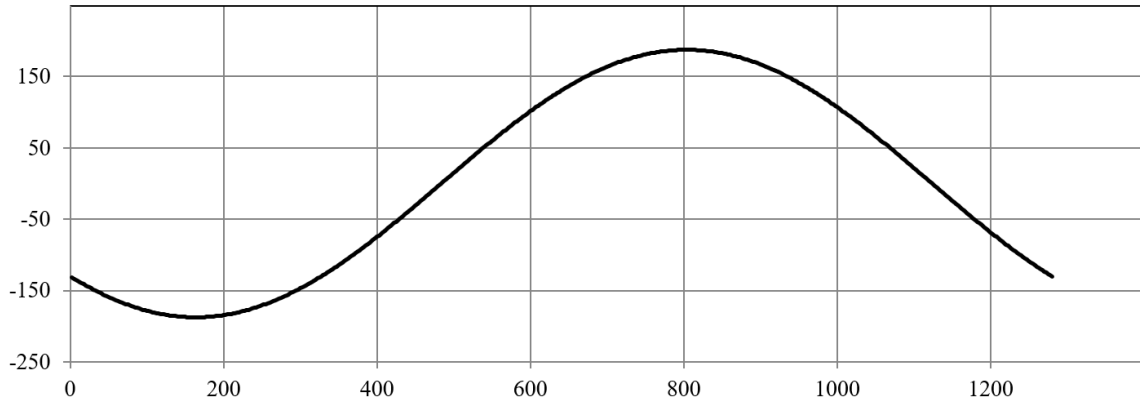




Зависимость от времени  $t$  (мин) нормированного размаха  $R/S$  в обычных (вверху) и логарифмических (внизу) координатах; аппроксимация степенной функцией (отрезок прямой на нижнем рисунке) нормированного размаха  $R/S$  интенсивности транспортного потока на протяжении недели

**Опубликовано:** Бояришинов М.Г. Метод нормированного размаха для анализа интенсивности транспортного потока // Вестник Научного центра безопасности жизнедеятельности. – 2020. – №4 (46). – С. 35-46.

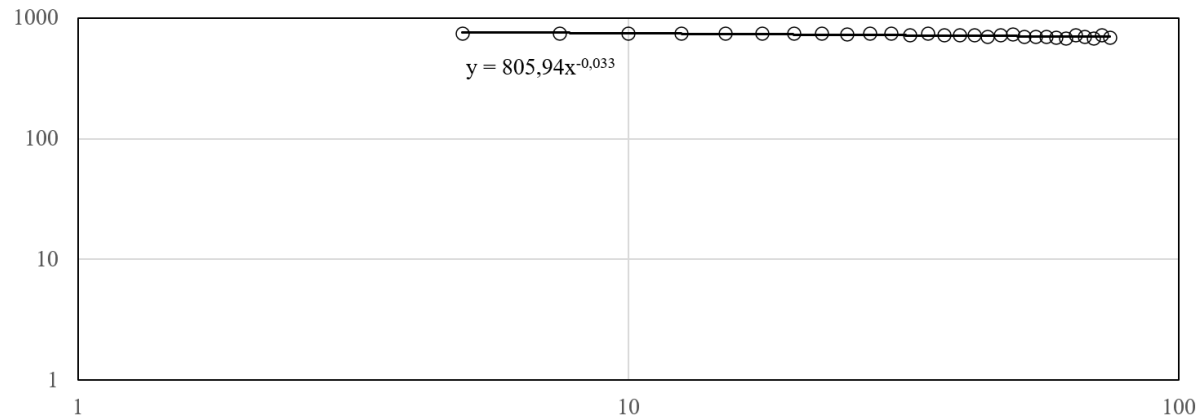
Бояришинов М.Г., Вавилин А.С., Васькина Е.В. Применение показателя Хёрста для исследования интенсивности транспортного потока // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – №2. – С. 68-81. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-2-68.



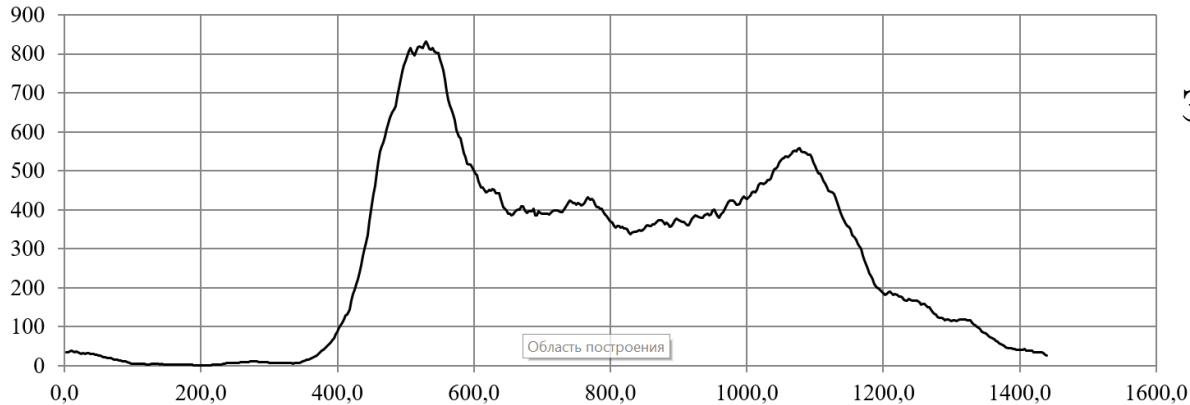
Зависимость от времени  $t$  (мин)  
первой гармоники при  
разложении в ряд Фурье  
функции  $N$  (авт/ч) суточной  
интенсивности транспортного  
потока

Определение фрактальной  
(Хаусдорфовой) размерности  
первой гармоники:

$$D = 1 - (-0,033) = 1,033$$



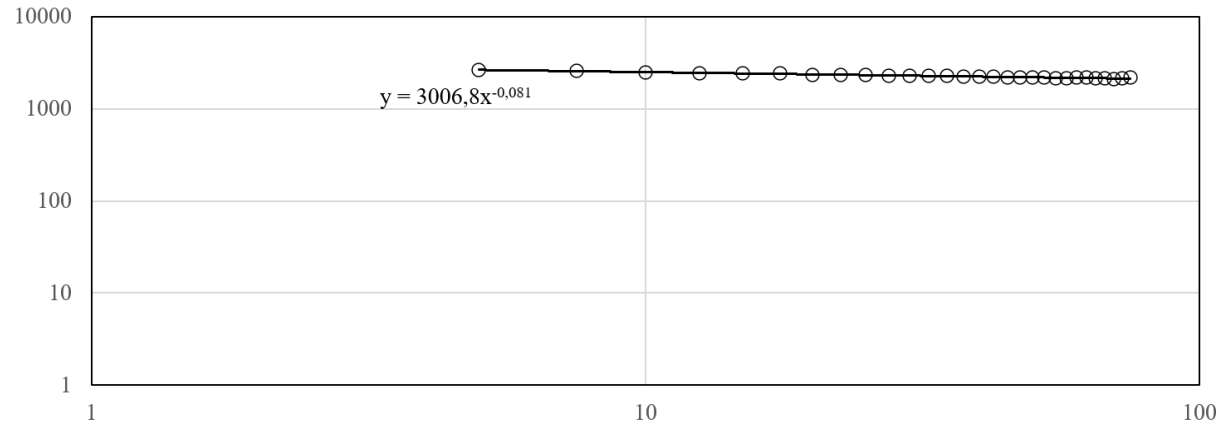


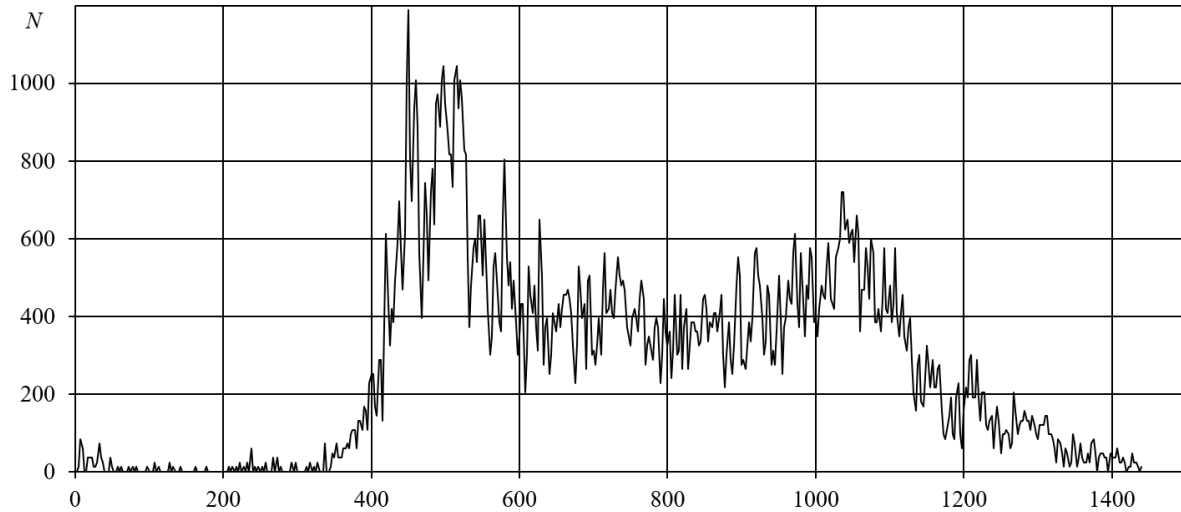


Зависимость от времени  $t$  (мин)  
сглаженной кривой  
суточной интенсивности  $N$   
(авт/ч) транспортного потока

Определение фрактальной  
(Хаусдорфовой) размерности  
сглаженной кривой:

$$D = 1 - (-0,081) = 1,081$$

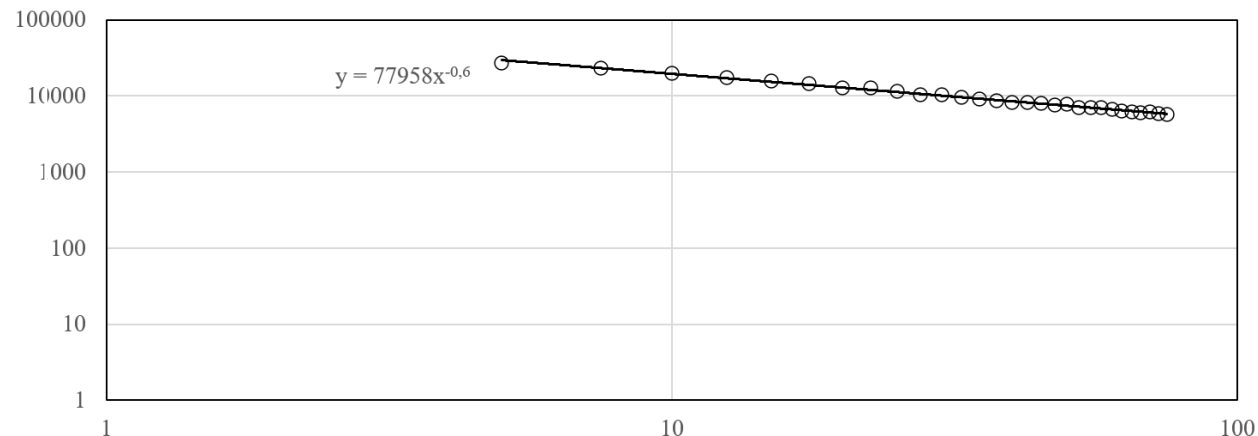




Зависимость от времени  $t$  (мин) суточной интенсивности  $N$  (авт/ч) транспортного потока; интервал осреднения  $\Delta = 5$  мин

Определение фрактальной (Хаусдорфовой) размерности интенсивности транспортного потока:

$$D = 1 - (-0,6) = 1,6$$



2014 IEEE 17th International Conference on  
Intelligent Transportation Systems (ITS-C)  
October 8-11, 2014, Qingdao, China

## An Early Warning Model of Traffic Accidents Based on Fractal Theory

Can Ye, Huiyun Li, Guoqing Xu  
Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences  
The Chinese University of Hong Kong

Shenzhen  
(can.ye, li)

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)



ScienceDirect

Chaos, Solitons and Fractals 31 (2007) 1089–1094

CHAOS  
SOLITONS & FRACTALS

[www.elsevier.com/locate/chaos](http://www.elsevier.com/locate/chaos)

## Multifractal Classification of road traffic flows

Xuwei Li<sup>a,\*</sup>, Pengjian Shang<sup>b</sup>

<sup>a</sup> School of Economics and Management, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, PR China  
<sup>b</sup> Department of Mathematics, School of Science, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, PR China

Accepted 20 October 2005

Communicated by Prof. M.S. El Naschie

### Abstract

Multifractality, present in traffic flow, usually connected with irregular scaling behavior and self-similarity. A fractal spectrum is used to classify traffic behavior measurements. The width spread and the maximum of spect two measures characterizing the spectrum of observations, are proposed as the distinguishing features among the plots. Data, obtained on Beijing Yuqianying highway over a period of about 40 months, from January 16, 2001 to 17, 2004, were used in the study. Analysis based on descriptive statistics is provided to obtain the statistical description of the inherited multifractality. The multifractal process was validated to be appropriate in the classification of the traffic flow.

© 2005 Published by Elsevier Ltd.

### 1. Introduction

Paper [3] observed driver's physiological parameters at its relationship with traffic congestion. However, the study only qualitative analysis. Paper [4–6] applied fractal theory into the traffic flow prediction, proved that the irregular

The investigation of the temporal fluctuations of traffic flow signals has recently revealed its potential in giving information related to traffic flow prediction [11,13,15,18]. In the study of seemingly complex phenomena such as traffic fractal analysis techniques, developed to draw qualitative and quantitative information from time series, have been applied recently to the study of a large variety of irregular, nonstationary signals and by now have proved to be useful to detect deep dynamical features. These methods are mainly useful to detect the presence of long-range power law correlations that have been found to exist in a wide variety of systems [10,11,15]. As soon as they are found, they are generally quantified by a scaling exponent. By estimating the scaling coefficient we are able to obtain quantitative information on the strength of power-law fluctuations of the signal and to get insight into the kind of mechanisms which may be responsible of its generation. Safanov et al. [13] showed that fractal behavior in traffic can be due to the delays in human reaction. Nair et al. [11] and Shang and Li [15] indicated that fractal and chaotic characteristics exist in the traffic system and techniques based on phase space dynamics can be used to predict the traffic speed.

The above analyses concern with the determination of a single exponent, leading to a monofractal description of the temporal fluctuations of such kind of signals. Monofractals are homogeneous in the sense that they have the same scaling properties, characterized by a single singularity exponent [17]. The need for more than one scaling exponent to

\* Corresponding author.

E-mail addresses: [swli@center.njtu.edu.cn](mailto:swli@center.njtu.edu.cn) (X. Li), [pjshang@center.njtu.edu.cn](mailto:pjshang@center.njtu.edu.cn) (P. Shang).

2012 Fifth International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization

## A Fixed-Fractal Traffic Flow Model Whose Hurst Exponent Appears Crossover

Li Li, Zhibing Li, Yi Zhang  
Department of Automation  
Tsinghua University  
Beijing, 100084, China  
Email: li-li\_zhbl, zhyi@mails.tsinghua.edu.cn

Yidong Chen  
Department of Electrical and Computer Engineering  
University of Texas at Austin  
Austin, TX 78712, USA  
Email: ydchen@utexas.edu

**Abstract**—In this paper, we propose a new traffic flow model, aiming to provide a possible explanation and meanwhile a useful simulation tool for the multi-fractal network traffic. It is shown that the Hurst exponent for the mainline traffic flow will appear crossover phenomena, if it consists of several self-similar components with different Hurst exponents. Therefore, crossover phenomena are pervasive in practice, since the inflows from the branch lines are usually heterogeneous and may have similar yet distinct Hurst exponents. Our results indicate that this model is useful in network traffic modeling and simulation.

**Keywords**—network flows; scaling; Hurst exponent; crossover

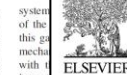
### 1. INTRODUCTION

Since the last decade, the bursty and fractal properties of network traffic received extensive attentions, from both physicists [1] and network designer/engineers [2]–[3]. It is now widely believed that the dynamic behavior of network flow under re-scaling needs to be carefully considered in performance analysis and control. For example, in the ground traffic networks, the degree of multifractality and long-range dependence of traffic flows tends to increase as congestion grows [4]–[9].

Numerous explanations and models were proposed for the origins and appearances of fractality for network traffic; e.g. [10]–[15] and the references therein. However, there are still many interesting yet challenging problems that need to be answered when we further explore the dynamics of network flow. One of such problem is the crossover phenomena which appear in the estimation of Hurst exponent for network traffic.

As well known, Hurst exponent  $H$ , which refers to the index of dependence of a time series, is the main attribute describing the fractals of network. Thus, a variety of techniques were proposed for estimating  $H$ ; e.g. [16]–[18]. The crossover phenomena means we can observe a dichotomy of scaling behaviors in estimating  $H$  (the detailed definition of the crossover phenomenon is given in the next section), e.g. [14], [19]. Investigation of the crossover phenomenon is of both theoretical and practical interest. On one hand, the crossover phenomenon, while empirically observed in many important real world systems, is not predicted by existing theory or simulation models. This discrepancy between real

078-0-7695-6690-2/12 \$26.00 © 2012 IEEE  
DOI: 10.1109/CSO.2012.103



Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

ScienceDirect

Computers and Mathematics with Applications 54 (2007) 107–116

An International Journal  
computers &  
mathematics  
with applications

[www.elsevier.com/locate/camwa](http://www.elsevier.com/locate/camwa)

## Fractal nature of highway traffic data

Pengjian Shang<sup>a,\*</sup>, Meng Wan<sup>b</sup>, Santi Kama<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Department of Mathematics, School of Science, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, PR China

<sup>b</sup> School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, PR China

<sup>c</sup> Department of Civil Engineering, University of Tokyo 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

Received 28 February 2005; received in revised form 29 June 2006; accepted 21 July 2006

### Abstract

In this paper, we applied a fractal approach to analyze the traffic data collected from the Beijing Yuqianying. The power spectrum, the empirical probability distribution function, the statistical moment scaling function and the autocorrelation function are used as indicators to investigate the presence of the fractal. The results from the fractal identification methods indicate that these data exhibit fractal behavior. A fractal framework seemed well suited for description of the data observed here, but its suitability for general traffic systems was not clear.

© 2007 Elsevier Ltd. All rights reserved.

**Keywords**: Fractal; Power spectrum; Probability distribution function; Statistical moment scaling function; Autocorrelation function

### 1. Introduction

Traffic flow often exhibits irregular and complex behavior [1]–[6]. It changes abruptly when entering or leaving a congestion zone. Its current state and future evolution depend greatly on myriad properties of interacting, often highly variable physical and human elements. Proper representation of all dynamics in a model is complex; while certain relationships can be developed through analysis, incorporation of immeasurable quantities, such as laws and social codes, creates further complications.

The presence of chaotic phenomena in traffic models has been reported in recent studies. Prigogine and Herman [7] modeled traffic integrating statistical mechanics with individual choice behavior and showed it to exhibit a high degree of complexity. Dabro and Frame [8] demonstrate how the theoretically derived, Gazis, Herman and Rotherby (GHR) traffic model [9] is highly chaotic, even when applied to small (eight-car) systems. Van Zwuylen et al. discussed the implications of human behavior, chaos and unpredictability for urban and transportation planning and forecasting. Safanov et al. [10] showed that chaotic behavior in traffic can be due to the delays in human reaction. Shang et al. [4] indicated that chaotic characteristics exist in the traffic system and techniques based on phase space dynamics can be used to predict the traffic speed. And Weidlich [11] demonstrated how random-utility-based models of relatively

\* Corresponding author.

E-mail addresses: [pjshang@center.njtu.edu.cn](mailto:pjshang@center.njtu.edu.cn) (P. Shang), [wamm@center.njtu.edu.cn](mailto:wamm@center.njtu.edu.cn) (M. Wan), [santi@u-tokyo.ac.jp](mailto:santi@u-tokyo.ac.jp) (S. Kama).

0898-1221/\$ - see front matter © 2007 Elsevier Ltd. All rights reserved.  
doi:10.1016/j.camwa.2006.07.017

2014 IEEE 17th International Conference on  
Intelligent Transportation Systems (ITS-C)  
October 8-11, 2014, Qingdao, China

## An Early Warning Model of Traffic Accidents Based on Fractal Theory

Can Ye, Huiyun Li, Guoqing Xu

Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences

The Chinese University of Hong Kong

Shenzhen, China 518055

{can.ye, ly.li, gq.xu}@siat.ac.cn

**Abstract**—Traffic accidents occur with tremendous increase over the years. We propose an early warning method combine the factors from both the drivers and their vehicles. We extract data of physiological parameters and vehicle parameters and analysis them with fractal theory. We use Hurst index to verify that parameters of driver and vehicle have a characteristic of fractal. The simulation demonstrates that when the average box dimension value of the heart rate volatility, rotational speed volatility, and the acceleration is greater than 1.7, accident will probably occur so that we should warn the driver that he should have a rational decision.

**Keywords**—Fractal theory; Hurst Index; Box Dimension

### I. INTRODUCTION

More than one million people are losing their life every year because of car accidents in the world, and the number of fatality is predicted to increase to 1.9 million in 2020 [1]. Traffic accident prediction is not only the key to intelligent transportation system research, but also the foundation on intelligent traffic system. The theory of traffic analysis and forecasting, and the effective method of quickly and accurately prediction and discrimination of road traffic state from traffic information obtained, remains challenging today. Compared to all other factors, such as road condition, vehicle condition, the psychological and physiological characteristics of the driver are more directly related to his driving behavior. Unstable psychological and physiological characteristics or even worse conditions may eventually result in traffic accidents. Ordinarily, emotion and cognition are coordinated to guide the decision-making behavior. But in some cases, the conflict of emotion and cognition make decisions and human behavior abnormal. Research suggests that emotional response to dangerous situations often deviate from cognitive assessment. Emotional responses in this situation are often dominant. Under various circumstances, a driver may produce psychological traits such as upset, anxiety, nervousness, fatigue etc [2]. A large number of traffic accidents showed that drivers in negative emotions account for a large portion of accidents.

Paper [3] observed driver's physiological parameters and its relationship with traffic congestion. However, the study is only qualitative analysis. Paper [4-6] applied fractal theory into the traffic flow prediction, proved that the irregularity

and complexity of traffic flow. These researches show that the traffic system contains nonlinearity and uncertainty. It was shown in [7] that the Hurst exponent is a good measure of traffic condition in time sequence. The higher the Hurst index, the smoother is the traffic flow. However, existing work about prediction of traffic system always ignored the human factors, which we think is the most important factor for traffic condition, especially in terms of traffic accidents. With the development of vehicle OBD (On-Board Diagnostics) and smart wearable equipment, the traffic prediction model combining drivers and vehicles will become an important research direction in future study.

Based on the former study, this paper uses fractal method to forecast the traffic accident. The contribution of this paper is as following: 1) we propose to combine human physiological parameters with OBD data as the impact factors, 2) then we use the fractal theory to analyze the parameters. We establish a fractal analysis model based on physiological parameters and OBD data to alarm drivers in irrational situation, which facilitates the accident prediction in intelligent transportation systems.

### II. BACKGROUND

#### A. Fractal Theory

Fractal is a branch of modern mathematics, known as the geometry theory of nature. Fractal theory claims that under certain circumstances, partial shows similarities with the whole on structure, configuration, function, energy or other aspects.

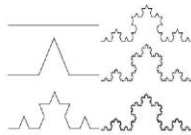


Fig.1 Koch curve [8]

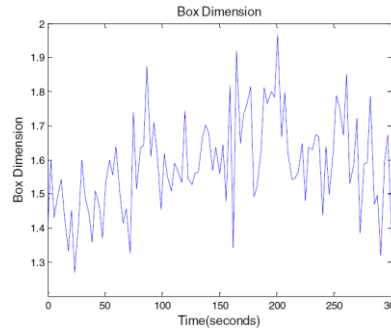


Fig.8 Box dimension of heart rate volatility

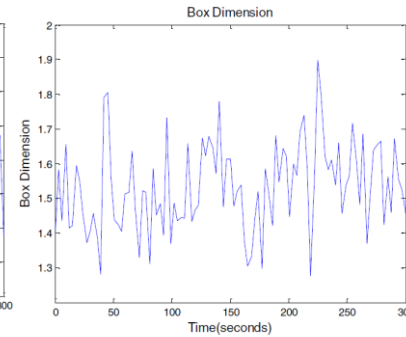


Fig.9 Box dimension of rotation speed volatility

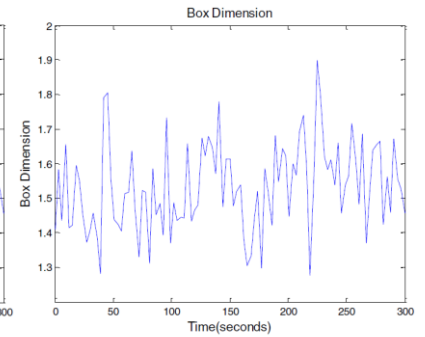


Fig.10 Box dimension of acceleration

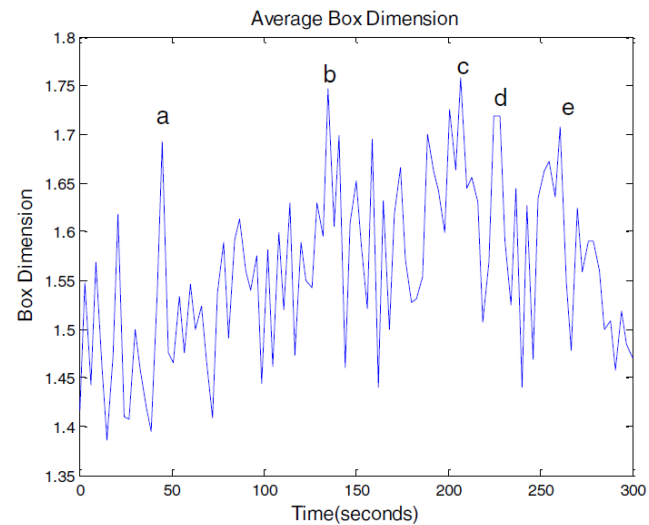
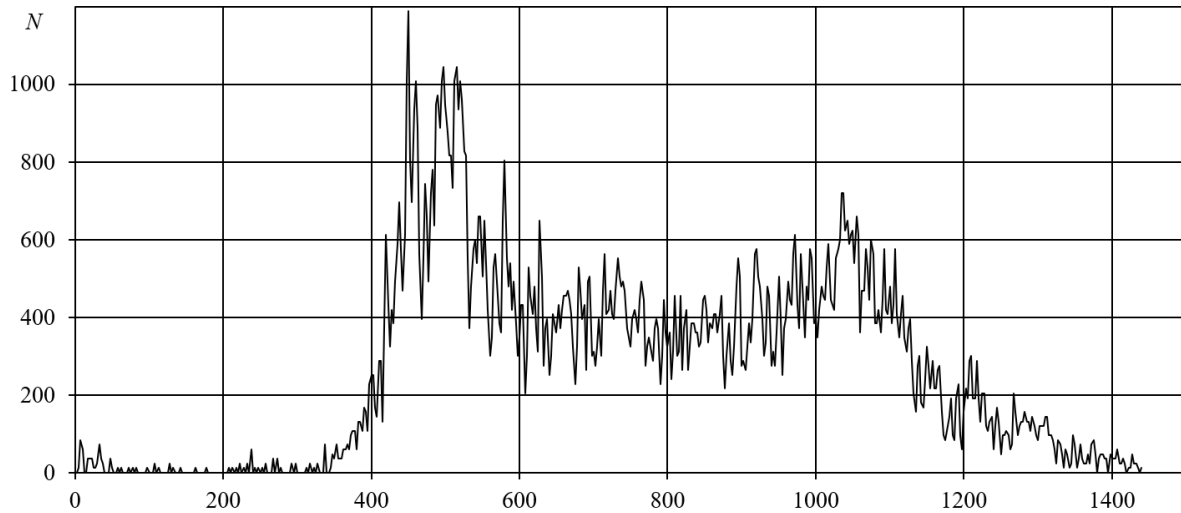


Fig.11 The mean value of the three box dimensions



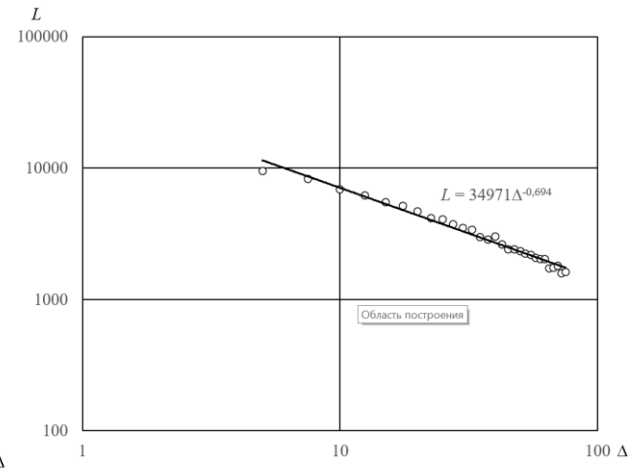
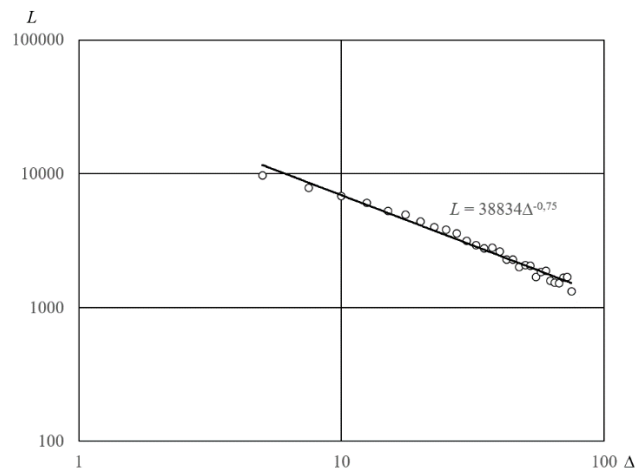
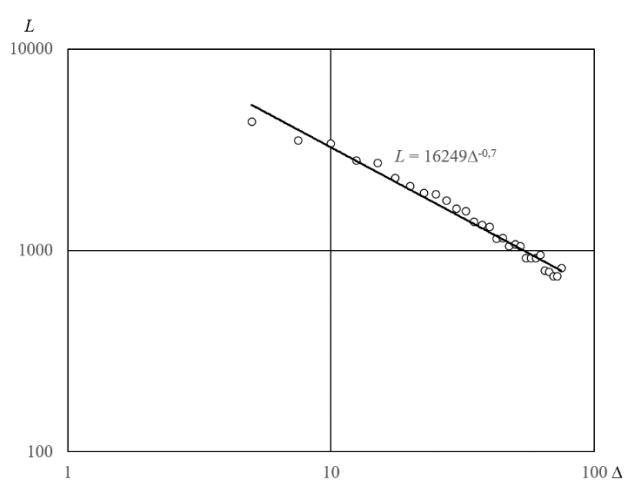
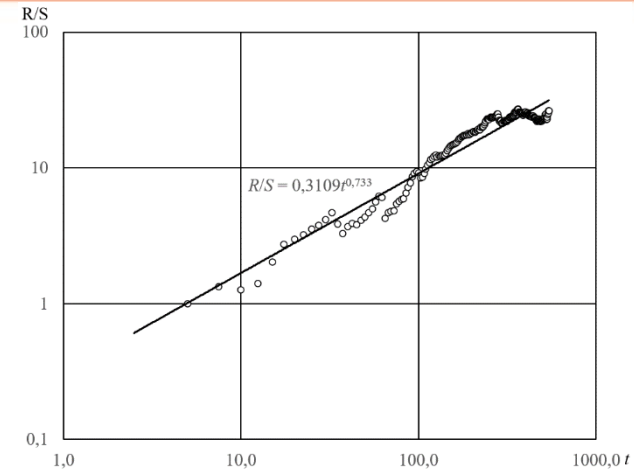
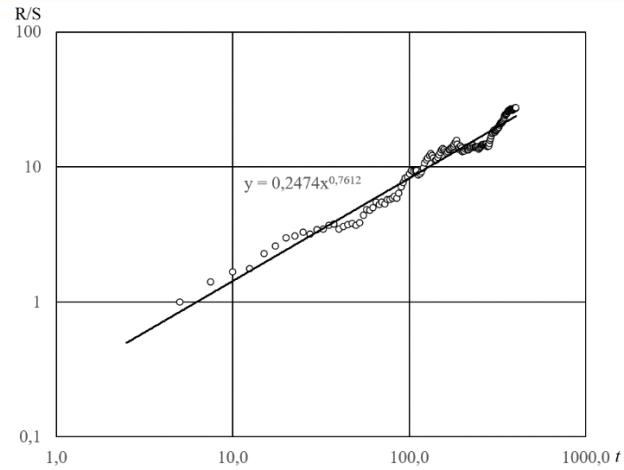
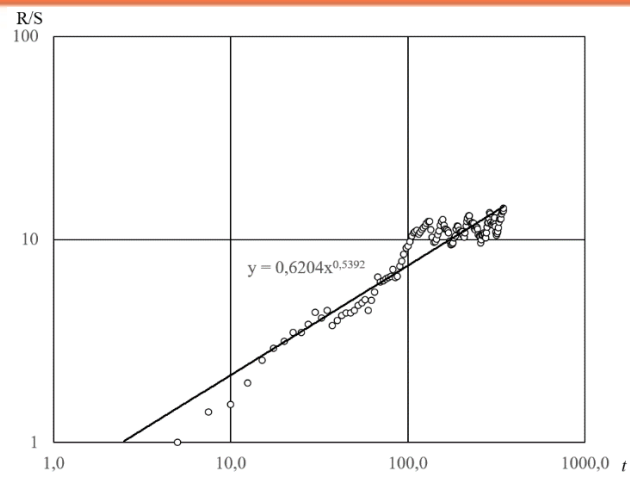


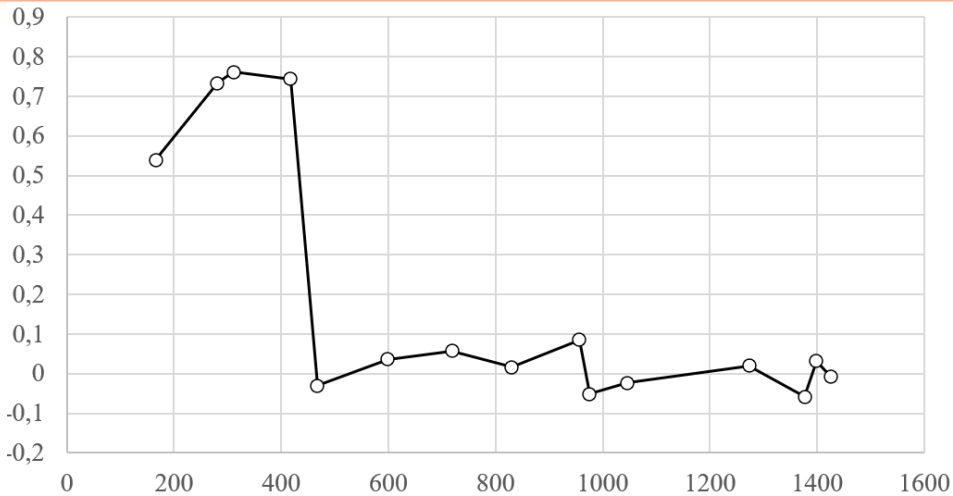
Зависимость от времени  $t$  (мин) суточной интенсивности  $N$  (авт/ч) транспортного потока; интервал осреднения  $\Delta = 5$  мин

Бенуа Б. Мандельброт установил связь между фрактальной размерностью  $D$  и индексом Хёрста  $H$ :

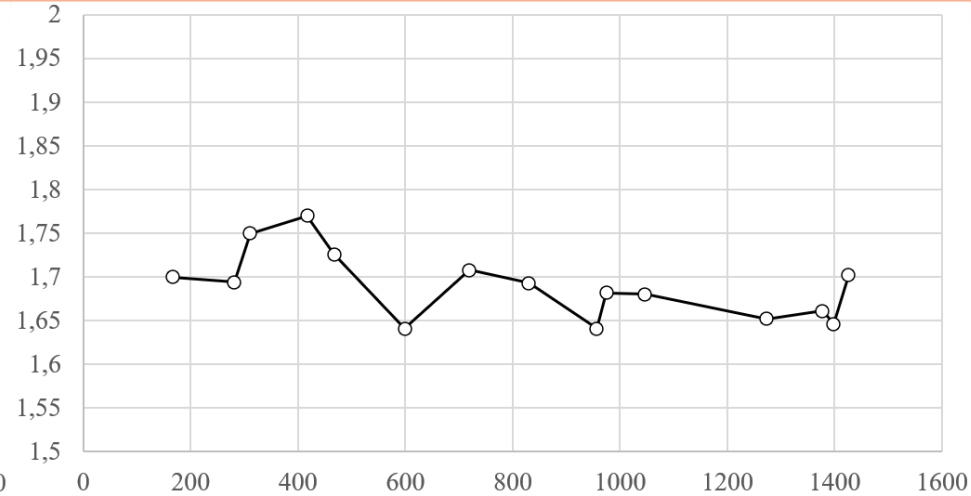
$$D = 2 - H$$



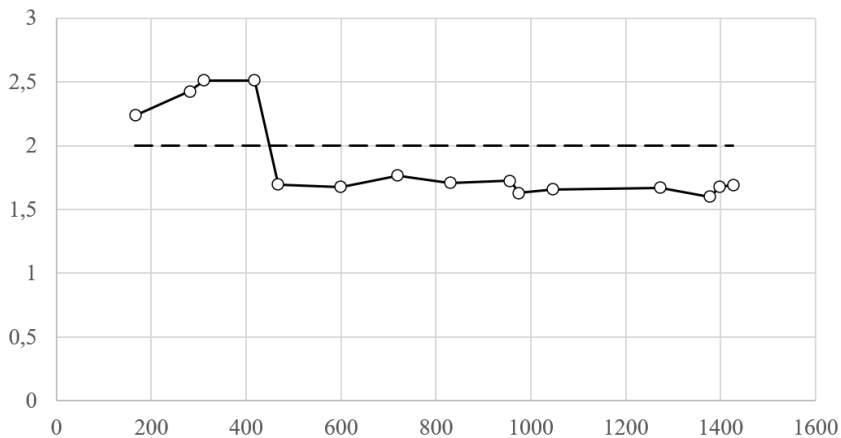




Зависимость показателя  $H$  Хёрста от среднего значения  $N$  интенсивности транспортного потока



Зависимость фрактальной размерности  $D$  от среднего значения  $N$  интенсивности транспортного потока



Зависимость суммы  $D + H$  значений фрактальной размерности  $D$  и показателя  $H$  Хёрста функции интенсивности транспортного потока  $N$  от среднего значения интенсивности транспортного потока.





### **Выводы:**

*Современные математические методы статистического анализа, Фурье-анализа, вейвлет-анализа, нормированного размаха (подход Хёрста), фрактального анализ могут оказаться полезным для анализа, глубокого понимания и корректного описания движения транспортных потоков по автомобильным дорогам современных городов.*

*Эти подходы могут оказаться перспективным с точки зрения разработки средств прогнозирования и перспективного планирования, создания аналитического инструмента для обоснования и принятия управленческих решений по проектированию новых транспортных магистралей и реконструкции существующей улично-дорожной сети.*







## Библиографический список

1. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
2. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организация движения. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
3. Сильянов В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1984. – 287 с.
4. Сильянов В.В., Домке Э.Р. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 352 с.
5. Петров В.Ю., Петухов М.Ю., Якимов М.Ю. Анализ режимов работы улично-дорожной сети г. Перми. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2004. – 275 с.
6. Якимов М.Р. Транспортное планирование: Создание транспортных моделей городов. – М.: Логос, 2013. – 188 с.
7. Трофименко Ю.В., Якимов М.Р. Транспортное планирование: Формирование эффективных транспортных систем крупных городов. – М.: Логос, 2013. – 464 с.
8. Арепьева А.А., Якимов М.Р. Транспортное планирование: Особенности моделирования транспортных потоков в крупных российских городах – М.: Логос, 2013.
9. Астратов О.С., Кузьмин С.А. Обнаружение транспортных средств и оценка параметров транспортных потоков по видеопоследовательности // Информационно-управляющие системы. – 2006. – №3. – С. 19-27.





## Библиографический список

10. Головнин О.К., Столбова А.А. Вейвлет-анализ как инструмент исследования характеристик дорожного движения для интеллектуальных транспортных систем в условиях недостающих данных // Труды Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук. Искусственный интеллект, инженерия данных и знаний. – 2019. – Том 18. – №2. – С. 326-353.
11. Hurst H.E. The Problem of Long-Term Storage In Reservoirs // International Association of Scientific Hydrology. Bulletin. – 1956. – No. 1(3). – Pp. 3-27.
12. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
13. Can Ye, Huiyun Li, Guoqing Xu. An Early Warning Model of Traffic Accidents Based on Fractal Theory. 2014 IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) October 8-11, 2014. Qingdao, China, pp. 2280-2285.
14. Xuewei Li, Pengjian Shang. Multifractal classification of road traffic flows. Chaos, Solitons and Fractals, 2007, 31, pp. 1089–1094.
15. Pengjian Shang, Meng Wan, Santi Kama. Fractal nature of highway traffic data. Computers and Mathematics with Applications, 2007, 54, pp. 107–116.
16. Li Li, Zhiheng Li, Yi Zhang, Yudong Chen. A Mixed-Fractal Traffic Flow Model Whose Hurst Exponent Appears Crossover. 2012 Fifth International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, Conference Publishig Service, 2012, pp. 443-447.

