

УДК 65.015:519.246

Н.И.КУЛЬБАШНАЯ

*Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова*

## **СПЕКТРАЛЬНО-КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ЭНТРОПИЙНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ НА УЧАСТКАХ ДОРОГ**

Рассматривается использование спектрально-корреляционной теории случайных процессов при формировании энтропийных характеристик скоростей движения по участкам дорог.

Розглядається використання спектрально-кореляційної теорії випадкових процесів при формуванні ентропійних характеристик швидкостей руху по ділянках доріг.

The spectral and correlation theory of the casual processes application to the velocity entropy characteristics formation while driving on the road sectors is under consideration.

*Ключевые слова:* участок дороги, случайный процесс, энтропийные характеристики, относительная организация взаимодействия, автокорреляция.

Поведение водителей на дороге может рассматриваться как импульсивное, вследствие периодического изменения информационной загрузки среды [1]. Как показано в работах [2,3] в качестве критерия взаимодействия участников движения со средой и между собой может использоваться значения относительной организации взаимодействия.

Прямое измерение данного показателя невозможно. Поэтому оценка относительной организации взаимодействия на участке дороги может осуществляться по значениям скоростей движения ходовой лаборатории. Поскольку периодическое изменение значений относительной организации взаимодействия по смежным участкам дороги рассматривается как случайный процесс, то в свою очередь требуется соответствующее математическое описание.

Ряд авторов во главе с проф. Хачатуровым А.А. использовали теорию случайных процессов для исследования динамики системы «дорога – шина – автомобиль – водитель» [4]. Решение поставленных задач предусматривалось с целью придания автомобилю желаемых свойств при проектировании или модернизации. Участок дороги считался реализацией случайной поверхности, а совокупность таких реализаций представляла собой рельеф дороги, который в свою очередь является исходным понятием для определения характеристик и моделей дорожных неровностей.

Применение теории случайных процессов для анализа состояния транспортного потока рассмотрено в отечественных и зарубежных публикациях, в которых решалась задача изучения взаимодействия отдельных транспортных средств [5]. В своих исследованиях В.П. По-

лищук и А.П. Дзюба рассмотрели возможность более широкого использования спектрально-корреляционной теории случайных процессов относительно транспортного потока. Но во всех случаях методика аналитического описания статистических характеристик скорости транспортного потока, как правило, осуществлялась через информацию о скорости движения отдельных автомобилей [5].

На основании существующих публикаций можно сделать вывод, что возможность использования теории случайных процессов для формирования информационного взаимодействия участников движения с дорожной средой, в полной мере не рассматривалась.

Поэтому целью данной статьи есть дальнейшее применение спектрально-корреляционного анализа для исследования энтропийных характеристик скоростей движения, изменяющихся по участкам дорог.

Таким образом, имея рассчитанное значение относительной организации взаимодействия вдоль дороги  $R(l)$ , которое изменяется с переходом с участка на участок, можно рассматривать его периодическое изменение как случайный процесс.

На определенном участке дороги  $l_k$  случайный процесс характеризуется совокупностью значений  $x(l_k)$  который может оцениваться математическим ожиданием, дисперсией, функцией и плотностью распределения вероятности  $x(l_k)$ . Математическое ожидание для случайного процесса имеет вид [5,6]

$$\mu_x = M\{x(l)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} x(l) f_1 x(x, l) dx, \quad (1)$$

его дисперсия

$$D_x = M[x(l) - \mu_x(l)]^2, \quad (2)$$

где  $M$  – символ математического ожидания.

Рассмотрим изменение относительной организации взаимодействия по участкам как стационарный случайный процесс (т.е. значение  $R(l)$  не изменяется во времени).

Установлено, что случайная функция относительной организации взаимодействия распределена нормально с параметрами  $\mu_x = 0,273$ ,  $D_x = 0,01075$ .

Изменение значений относительной организации взаимодействия является нормальным стационарным процессом, который описывается

следующим распределением [6]

$$F(t) = \frac{1}{0,103\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\tilde{x})^2}{0,0215}}. \quad (3)$$

Для проверки соответствия эмпирического распределения нормальному закону использована формула для расчета теоретической частоты вариационного ряда

$$F^i = \frac{n\lambda}{\sigma_x} F(l), \quad (4)$$

где  $n$  – общее количество значений;  $\lambda$  – величина классового интервала.

Установлено, что эмпирические ( $F(l)=116$ ) и вычисленные по нормальному закону ( $F^i=114,2$ ) частоты этого распределения согласуются между собой.

Для проверки стационарности исследуемого случайного процесса использовался критерий стационарности [5]

$$\frac{\sigma_M}{M^*\{M[x(t)]\}} < a_{don}, \quad (5)$$

где  $M[x(t)]$  – среднее значение  $x(t_k)$  участка, на которые разбивается существующая реализация процесса;  $M^*\{M[x(t)]\}$  – среднее значение для всей реализации процесса;  $\sigma_M$  – среднее квадратическое отклонение полученных значений  $M[x(t)]$  относительно  $M^*\{M[x(t)]\}$ ;  $a_{don}$  – заданное допустимое значение ( $a_{don} \leq 0,05$ ).

В состав объектов среды входят не только элементы дороги, являющиеся постоянным фактором, но также пешеходы и автомобили транспортного потока, интенсивность движения которых меняется со временем. Поэтому изменение значения относительной организации взаимодействия по участкам дорог можно рассматривать и как нестационарный случайный процесс.

Характеристиками динамики случайного процесса есть его энергетический спектр (спектральная плотность) и автокорреляционная

функція (т. е. спектр и функция корреляции). Функция корреляции определяется по формуле вида:

$$R_x(l_1, l_2) = M \{x(l_1)x(l_2)\} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(l_1)x(l_2), \quad (6)$$

где  $N$  – количество реализаций случайного процесса;  $x(l_1), x(l_2)$  – значение  $x(l)$  на смежных участках  $l_1, l_2$ .

С учетом, что  $l_2 = l_1 + \gamma$ , формула (6) имеет вид:

$$K_x(l_1, \gamma) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(l_1)x(l_1 + \gamma). \quad (7)$$

Спектральная плотность стационарной случайной функции называют функцию  $S_x(\omega)$ , которая связана с корреляционной функцией  $K_x(\gamma)$  взаимнообратными преобразованиями Фурье и определяется по формуле Винера – Хинчина [6]

$$S_x(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_x(\gamma) e^{i\omega\gamma} d\gamma; \quad (8)$$

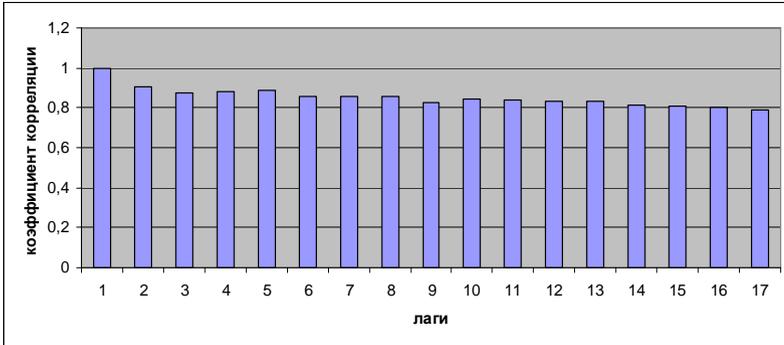
$$K_x(\gamma) = \int_{-\infty}^{\infty} S_x(\omega) e^{i\omega\gamma} d\omega. \quad (9)$$

Для параметрической корреляционной функции нестационарного случайного процесса используется обобщенный аналог теоремы Винера – Хинчина

$$S_x(l, \gamma) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_x(l, \gamma) e^{i\omega\gamma} d\gamma; \quad (10)$$

$$K_x(l, \gamma) = \int_{-\infty}^{\infty} S_x(l, \omega) e^{i\omega\gamma} d\omega. \quad (11)$$

Автокорреляционная функция для ряда значений относительной организации взаимодействия представлена на рисунке.



Коррелограмма автокорреляционной функции

Анализ автокорреляционной функции и коррелограммы позволяет сделать вывод о сильной зависимости между значениями ряда относительной организации взаимодействия участников движения. Практически незатухающий график автокорреляционной функции ряда свидетельствует о наличии отчетливого тренда. В последующих исследованиях это дает основания использовать спектрально-корреляционную теорию случайных процессов для информационного согласования смежных участков дорог.

1. Гаврилов Э.В. Эргономика на автомобильном транспорте / Э.В. Гаврилов. – К.: Техника, 1976. – 151 с.
2. Гаврилов Э.В. Системное проектирование автомобильных дорог: учебное пособие / Э.В. Гаврилов, А.М. Гридчин, В.Н. Ряпухин. – М.: Белгород: Издательство АСВ, 1998. – Ч.1. –138с.
3. Кульбашная Н.И. Согласование смежных участков городских дорог / Н.И. Кульбашная // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – К.: Техника, 2007. – Вып. 76. – С. 324-328.
4. Динамика системы «дорога – шина – автомобиль – водитель» / под ред. А.А. Хачатурова. – М.: Машиностроение, 1976. – 535 с.
5. Поліщук В. П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху: навч. посіб. / В.П. Поліщук, О.П. Дзюба. – К.: Знання України, 2008. – 175 с.
6. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування: підручник / М.Г. Попович, О.В. Ковальчук. – К.: Либідь, 1977. – 544 с.

Получено 05.06.2013