

## КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ДВИЖЕНИЯ НА МАРШРУТАХ БОЛЬШОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ

Маткеримов Т.Ы.<sup>1</sup>, Атамкулов У.Т.<sup>2</sup>, Бекбосынов А.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Кыргызский государственный технический университет, Бишкек, Кыргызстан

<sup>2</sup> Ошский технологический университет, Ош, Кыргызстан

*Аннотация:* Определено влияние факторов, характеризующих дорожное движение и подсистемы дорога на реакции системы «скорость движения автомобиля и функцио-нальное состояние водителей».

*Ключевые слова:* тормозная система, водитель, рулевое управление, трасса.

## QUANTITATIVE CRITERIA FOR EVALUATING TRAFFIC CONDITIONS ON LONG-DISTANCE ROUTES

Matkerimov T.Y.<sup>1</sup>, Atamkulov U.T.<sup>2</sup>, Bekbosvnov A.I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kyrgyz State Technical University, Bishkek, Kyrgyzstan, talai.m@bk.ru

<sup>2</sup> Osh University of technology, Osh, Kyrgyzstan

*Annotation:* The influence of factors that characterize traffic and the road subsystem on the reaction of the system "car speed and the functional state of drivers" is determined.

*Key words:* brake system, driver, steering, track.

Глубокую разработку в философии получил системный подход к анализу явлений, происходящих в природе и обществе. Такой подход можно применить и к исследованиям системы «Водитель-Автомобиль-Дорога-Среда». Потому, что водитель, сам являясь специфической сложной системой, функционирует в системе, состоящей из ряда подсистем, со сложными взаимосвязями между ними. Поэтому, приняв за основу известные системы, для удобства исследования, упорядочения множества связей и лучшего понимания задачи по разработке режимов движения, труда и отдыха водителей автомобилей составим структурную схему их формирования. Определенными свойствами обладает, каждый элемент системы (подсистемы), которые заложены в него природой (водитель), либо человеком - дорога и автомобиль. Ведущим звеном системы является водитель, который выполняет роль управляющего элемента, стремясь обеспечить оптимальный режим работы системы в любых ситуациях. Для того чтобы эта система работала должно выполняться условие по поступлению информации, источником которой являются транспортный поток, обустройство и инфраструктура дороги, элементы организации дорожного движения, участники дорожного движения, трасса дороги и т.д.

К водителю вся такая информация поступает через зрительный орган, который, в свою очередь, связан с мозгом человека. Потом управляющий сигнал посылается рукам и ногам, в результате от заранее выбранной цели происходит воздействие, на двигатель-трансмиссию на рулевое управление и тормозную систему. Таким образом формируется определенный режим движения автомобиля. Затем, водитель, анализируя тот или иной режим и дорожную обстановку, в случае необходимости вносит свои коррективы в назначенный режим движения. Принятие решения об оптимальном режиме движения в основном зависит от психофизиологического состояния самого водителя и его работоспособности. Но работоспособность водителя, в свою очередь, также

зависит от дорожной обстановки, в которой формируются и режимы движения. Поэтому подсистему водитель-автомобиль мы можем рассматривать как сложную биомеханическую систему. В результате возникает определенная организация движения автомобиля и труда водителя. В целом, система ВАДС разбивается на ряд подсистем, которые находятся между собой во взаимодействии. Сама дорожная подсистема состоит из множества элементов, которые можно объединить в следующие группы: геометрические элементы дороги (ширина проезжей части и земляного полотна, величины уклонов, радиусов кривых и т.д.); конструктивные элементы дороги и их техническое состояние в пространстве; элементы инженерного оборудования и их техническое состояние; элементы организации движения и т.д. Развитие функционального состояния водителя объясняется многообразием факторов, вызывающих эти изменения.

Чтобы получить содержательный характер рассмотрим следующие факторы, которые действуют на протяжении всего времени движения на маршруте и неустойчивые воздействующие при выполнении транспортного процесса случайным образом. Группа факторов, которые характеризуют личность водителя, как темперамент, возраст, стаж работы, квалификация, психофизиологические возможности и другие создают наиболее устойчивое функциональное состояние водителя и оказывают решающее значение в обеспечении безопасности движения [4]. Наиболее существенное влияние на реакции системы «скорость движения автомобиля и функциональное состояние водителей» как показывают результаты многочисленных исследований, проведенных учеными, оказывают факторы, которые характеризуют дорожное движение т.е. интенсивность движения и состав транспортного потока, а также факторы подсистемы дорога т.е. конструктивные и геометрические показатели, показатели инженерного оборудования. Для решения задачи исследования - определения степени влияния вышеперечисленных факторов на реакции системы необходимо разработать способы их задания и оценки. Интенсивность движения на дорогах задается часовой интенсивностью  $N_{ч}$ , авт/ч и определяется следующим выражением [1]:

$$N_{ч} = 0,076 * N_{сут} , \text{ для обычного периода} \quad (1)$$

$$N_{ч} = 0,0152 * N_{сут} , \text{ для пикового периода} \quad (2)$$

Содержанием легковых автотранспортных средств в долях единиц  $P_{л}$  будем определять состав транспортного потока.

Основными геометрическими элементами оказывающих влияние на реакции системы «ВАДС» являются ширина проезжей части и продольные уклоны. На участках дороги оценку продольных уклонов будем производить по двум параметрам это  $\bar{i}$ - средневзвешенные значения продольных уклонов дороги и их среднеквадратическим отклонением  $\sigma_i$ :

$$\bar{i} = \frac{\sum_{j=1}^n l_j * i}{L}, \quad (3)$$

$$\sigma_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n \frac{(i - \bar{i})^2}{n}}, \quad (4)$$

где  $l_j$ - протяженность  $j$ -того участка с уклоном  $i$ ;  $n$ -число участков;  $L$ -общая длина рассматриваемого участка маршрута.

Значительное влияние на реакции системы также оказывают «помехи» т.е. элементы обустройства дороги, влияющие на изменение скорости движения по разным причинам. В нашем исследовании к «помехам» движению отнесены: мосты, тоннели, галереи, нерегулируемые перекрестки, съезды с дорог, автозаправочные станции, железнодорожные переезды, автобусные остановки, населенные пункты, пешеходные переходы. Применим коэффициент помехонасыщенности для учета влияния «помех» на реакции системы «ВАДС», который позволяет оценить влияние различных видов «помех» на участках маршрута дифференцированно:

$$P = \sum_{i=1}^S n_i (100 - m_i) * l_j / L, \quad (5)$$

где  $m_i$ -параметр уравнения, определяемый отношением

$$m_i = \frac{v_2}{v_1} * 100\%, \quad (6)$$

$v_1$ - скорость движения до и после «помехи», км/ч;  $v_2$ - скорость движения при прохождении «помехи», км/ч;  $i-1, 2, 3 \dots, S$ —виды «помех», которые встречаются на данном участке дороги;  $n_i$ - число «помех» каждого вида;  $L$ -длина рассматриваемого участка дороги, км.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований должно быть установлены зависимости между реакциями системы т.е. скоростью движения и функциональным состоянием водителей, и следующими факторами:

- шириной проезжей части  $B$ ;
- интенсивностью движения  $N_{\text{ч}}$ ;
- составом транспортного потока  $P_{\text{л}}$ ;
- средневзвешенным значением продольных уклонов  $\tilde{i}$  и их среднеквадратическим отклонением  $\sigma_i$ ;
- коэффициентом помехонасыщенности участка дороги  $P$ .

Изменение скорости по протяженности маршрута (длине дороги) можно рассматривать как случайную функцию. Она в свою очередь зависит от таких случайных функций как изменение продольного профиля, характеристик транспортного потока, плана дороги. Эти функции взаимосвязаны и поэтому используя математические методы корреляционной теории случайных функций можно определить их характеристики.

Как известно скорость оценивается по выражению:

$$V = L/T, \quad (7)$$

где  $L$ - длина пути, м;  $T$ - время движения, с.

Скорость движения является постоянной величиной только в том случае, когда ускорение движения равно нулю. Если же ускорение не равно нулю, то тогда по известному выражению (7) получается средняя скорость движения по участку, которая отражает влияние дорожных условий по маршруту недостаточно полно.

Для определения средней скорости движения потока автомобилей по длине маршрута можно выразить следующим выражением:

$$V_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n Li/n}{T}, \text{ при } T = \text{const}, \quad (8)$$

где  $n$ -число автомобилей.

Вследствие неравномерного движения автотранспортного средства на участке значительной протяженности не учитывается степень изменчивости скорости движения поэтому ошибка расчета средней скорости движения увеличивается с увеличением времени движения.

Поэтому, когда  $L = \Delta l \rightarrow 0$  формула примет следующий вид:

$$V_{\text{ср}} = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} V_{\text{ср}} = \lim_{\Delta t} \frac{\sum_{i=1}^n \Delta l_i / n}{\Delta t}, \text{ при } \Delta t = \text{const} \quad (9)$$

После некоторых преобразований получаем:

$$\lim_{\max \Delta l \rightarrow 0} \frac{\sum_{i=1}^n \Delta l_i}{n * \Delta t} = \lim_{\max \Delta l \rightarrow 0} \frac{\sum_{i=1}^n \Delta l_i / \Delta t}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n}, \quad (10)$$

где  $v_i$  - мгновенная скорость  $i$ -того автомобиля в сечении дороги.

Так как скорость движения отдельного автотранспортного средства в данном сечении при  $\Delta l \rightarrow 0$  является случайной величиной, то формула (10) будет представлять собой общепринятую оценку математического ожидания мгновенной скорости движения  $n$ - числа автотранспортных средств в данном сечении и будет иметь вид:

$$m_v = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \quad (11)$$

Для автотранспортного потока интенсивности  $N$  совокупность всех реализаций будет формировать  $V(l)$  случайную функцию. Отсюда следует, что случайна функция  $V(l)$  это совокупность реализаций, которые являются последовательным рядом значений мгновенных скоростей движения одиночного автотранспорта, которые по длине участка непрерывно изменяются.

Рассмотрим наиболее простую характеристику случайного процесса, которой является математическое ожидание  $m_v(l)$  (детерминированная функция) [3]:

$$m_v(l) = M[V(l)] = \int_{-\infty}^{+\infty} V * W_1(V, l) * dV \quad (12)$$

Математическое ожидание – это некоторая функция, около которой собираются и относительно которой колеблются все возможные реализации случайной функции.

С математическим ожиданием рассматривается и понятие дисперсии случайного процесса, которая также является детерминированной функцией:

$$D_v(l) = M[\{V(l) - m_v(l)\}^2] = \int_{-\infty}^{+\infty} \{V - m_v(l)\}^2 * W_1(V, l) * dV \quad (13)$$

Данные характеристики (12) и (13) отражают статические свойства случайного процесса. Но случайные процессы обладая одинаковыми характеристиками могут по своим динамическим свойствам отличаться. Однако глубокое представление о динамических свойствах того или иного процесса дает его корреляционная функция:

$$K_v(l, l') = M[\dot{V}(l); \dot{V}(l')] = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} [V - m_v(l)] * [V - m_v(l')] * W_2(V, V', l, l') * dV * dV', \quad (14)$$

где  $\dot{V}(l); \dot{V}(l')$ - показывает что функция центрирована относительно математического ожидания. Корреляционная функция которая характеризует корреляцию т.е. степень линейной связи между значениями случайной функции

при любых показателях координат сечений  $l$  и будет зависеть от степени взаимосвязанности значений случайной функции и от дисперсии этих функций:

$$K_V(l, l') = \frac{K_V(l, l')}{\sigma_V^2(l) * \sigma_V^2(l')} \quad (15)$$

По маршруту Ош-Бишкек для установления свойств случайной функции  $V(l)$  и  $K_V(l, l')$  - характера корреляционной функции нами были проведены экспериментальные исследования по методу следования за «лидером». Проанализировав полученные реализации мгновенных скоростей, мы убедились в том, что более полное и реальное к действительности описание скорости движения дает нестационарная модель, то есть  $V(l)$  не удовлетворяет требованиям стационарности, которая должна принимать следующее условие:

$$f(V_1, V_2, \dots, V_n / l_1, l_2, \dots, l_n) = f(V_1, V_2, \dots, V_n / l_1 + l_0, l_2 + l_0, \dots, l_n + l_0), \quad (16)$$

где  $l_0$  - любое сечение дороги.

При решении многих практических задач рекомендуется идти на упрощённое стационарное описание и приведение к стационарному виду нестационарную функцию. Условие стационарности случайной функции  $V(l)$  достигается ее центрированием. Остационаривание функции т.е. замена нестационарного процесса на стационарный предусматривает осреднение по длине функции дисперсии и математического ожидания:

$$\tilde{m}_V = \sum_{i=1}^m \frac{\tilde{m}_V(l)}{m}; \quad (17)$$

$$\tilde{D}_V = \sum_{i=1}^m \tilde{D}_V(l_i) / m, \quad (18)$$

где  $m$ -числовые значения функции.

По следующим выражениям находим оценки математических ожиданий, дисперсии и корреляционных моментов:

$$\tilde{m}_V(l) = \sum_{i=1}^n V_i(l) / n; \quad (19)$$

$$\tilde{D}_V(l) = \sum_{i=1}^n [V_i(l_k)]^2 / n - \tilde{m}_V^2(l_k) * n / (n - 1); \quad (20)$$

$$\tilde{K}_V(l_k, l_s) = \left[ \sum_{i=1}^n V_i(l_k) * \frac{V_i(l_s)}{n} - \tilde{m}_V(l_k) * \tilde{m}_V(l_s) \right] * \frac{n}{n-1}; \quad (21)$$

где  $k, s = 0, 1, 2, 3, \dots, m-1$  – индексы координат сечений;  $i = 0, 1, 2, 3, \dots, n$  – номер реализации;  $m$ - число сечений;  $n$ - число реализаций.

Обобщенный характер корреляционной функции, исследуемой  $V(l)$  (случайной функции) мы смогли получить после обработок данных по эксперименту. На рис. 1 построены графики нормированных корреляционных функций реализаций случайной функции на трех участках маршрута Ош-Бишкек. Из рисунка видно, что графики нормированных корреляционных функций носят экспоненциальный характер, поэтому они могут быть заменены выражениями:

$$K_V(\tau) = \exp(-\mu\tau), \quad (22)$$

$$K_V(\tau) = \exp(-\mu\tau^2), \quad (23)$$

$$K_V(\tau) = (1 + \mu\tau)\exp(-\mu\tau), \quad (24)$$

$$K_V(\tau) = \left[ 1 + \mu\tau + \frac{(\mu\tau)^2}{3} \right] \exp(-\mu\tau), \quad (25)$$

где  $\tau = Dl = 50$  м;  $\mu$  – параметр корреляционной функции.

Для замены корреляционной функции была принята формула (24), т.к. при этом соблюдается следующее условие:

$$\int_0^{\infty} (1 + \mu\tau)e^{-\mu\tau} \mu\tau < \infty \text{ при } \mu \neq 0 \quad (26)$$

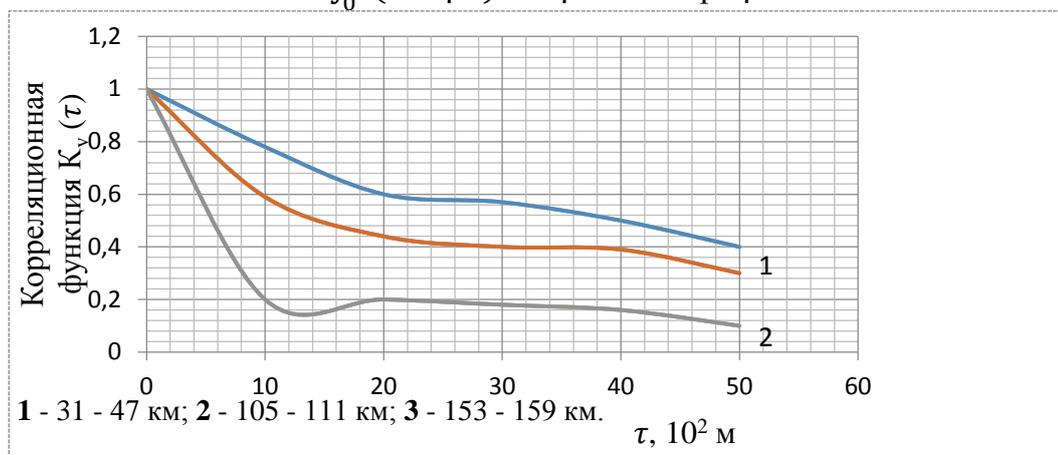


Рис. 1 - Графики нормированных корреляционных функций участков маршрута Ош-Бишкек

На исследуемых участках дорог маршрута Ош-Бишкек по показанным выше методикам нами были вычислены значения оценок скорости движения и коэффициентов помехонасыщенности. Полученные графики корреляционных функций были аппроксимированы выражением (24). С применением специальных программ на ЭВМ, аппроксимацию проводили итерационным методом. В следующих пределах изменялись указанные параметры: средние скорости движения по участку  $V_{cp}$  были от 35,5 до 65,5 км/ч; среднеквадратическое отклонение скорости  $\sigma_v$  от 9,5 до 19,4 км/ч;  $\mu$  — от 0,015 до 0,51; коэффициент помехонасыщенности  $\Pi$  от 10,3 до 36. На 31-47 км участка маршрута имелись при сложном продольном профиле перекресток нерегулируемый, два съезда с дороги и три пешеходных перехода. В сравнительных отношениях наиболее легкие условия движения были на участке между 153-159 км со стороны г. Бишкек, так как он пролегал в равнинной местности, был один пешеходный переход и один съезд с дороги. Экспериментальные исследования показали закономерность изменения оценок скорости движения с усложнением дорожных условий т.е. с увеличением  $\Pi$ . Значения средней скорости движения и среднеквадратических отклонений уменьшаются прямо пропорционально увеличению помехонасыщенности (рис.2 и 3).

$$V_{cp} = 65,5 - 0,72\Pi; \quad (27)$$

$$\sigma_v = 19,4 - 0,22\Pi; \quad (28)$$

А зависимость  $\mu$  от  $\Pi$  была установлена следующего вида рис. 4:

$$\mu = 0,004594 + 0,001585\Pi - 0,000033\Pi^2 \quad (29)$$

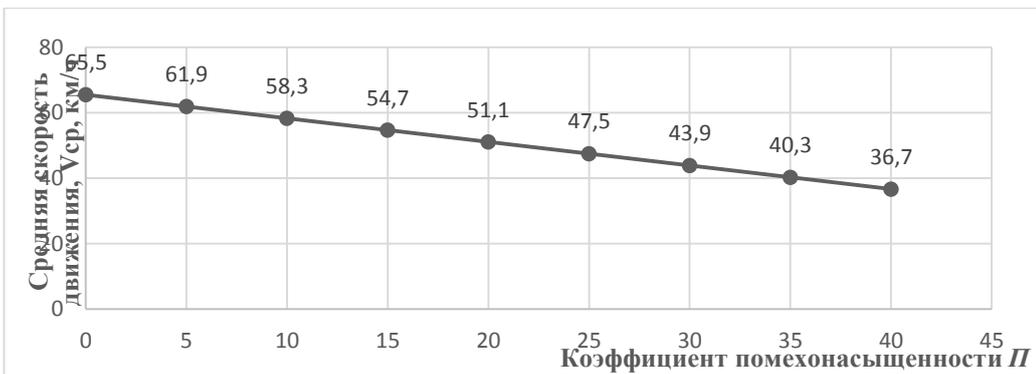


Рис. 2 - График изменения средней скорости движения

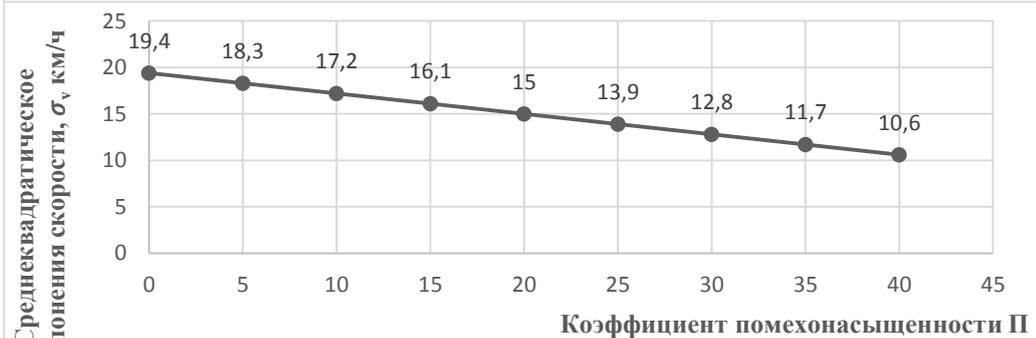


Рис. 3 - График изменения среднеквадратического отклонения от коэффициента помехонасыщенности

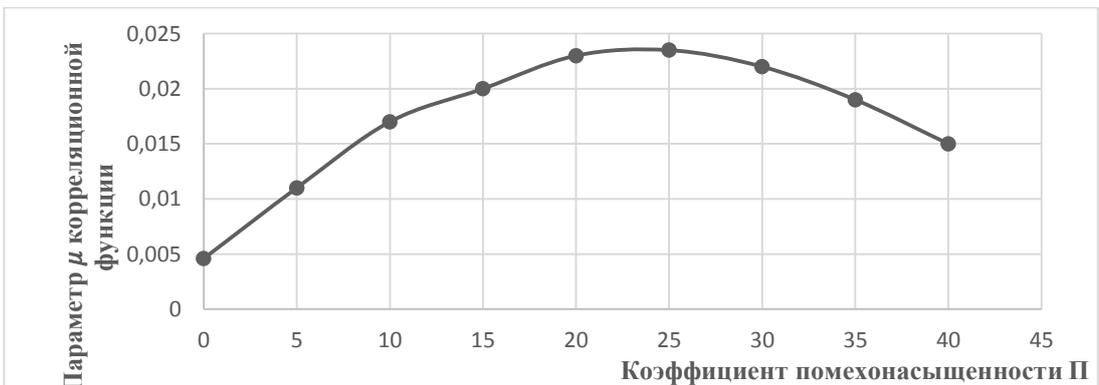


Рис. 4- График изменения параметра корреляционной функции

Таким образом, по параметру корреляционной функции  $\mu$  можно судить о степени тяжести и напряженности работы водителя, так как чем больше его значение, тем существеннее изменчивость скорости движения и, следовательно, водитель совершает большее количество управляющих действий. Так как водитель представляет собой саморегулирующую систему, оценку условий движения по всему маршруту будем производить из следующего выражения:

$$\mu_M = \sum_{i=1}^n \mu_i * t_i / \sum_{i=1}^n t_i, \quad (30)$$

где  $i=1,2,3,\dots,n$  – число участков на маршруте;  $t_i$  – время работы водителя на участке маршрута;  $\mu_i$  – параметр корреляционной функции для участка маршрута.

На основе проделанных исследований мы получили количественный критерий оценки условий движения на маршруте и появилась возможность

установления взаимосвязи между функциональным состоянием водителя и условиями движения на маршруте.

#### **Использованная литература**

1. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. – М., 1993. – 271 с.
2. Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог. – М.: Академия, 2010. – 320 с.
3. Розанов Ю.А. Теория вероятностей, случайные процессы и математическая статистика. – М.: Наука. 1985. – 320 с.
4. Клинковштейн Г. Организация дорожного движения: Учебник. – М., 2001. – 247 с.