

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА АВТОМОБИЛЕЙ С УЧЕТОМ ПЕРЕСЕЧЕННОЙ МЕСТНОСТИ

Дорохин С.В., Чистяков А.Г.

*ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», (394036, г. Воронеж, Проспект Революции, 19) [rivelenasoul@mail.ru](mailto:rivelenasoul@mail.ru)*

В статье показано, что при оценке динамической плавности движения автомобиля учитывается только величина изменения скорости при движении по исследуемому участку дороги. Этого достаточно для оценки дорог в равнинной местности, где дорожные условия, влияющие на изменение режима движения, расположены на значительном расстоянии друг от друга. Для оценки трассы дорог, в сложных условиях пересеченной местности, где влияние изменяющихся параметров на режим движения взаимопроникающее, необходимо учитывать также и частоту изменения скорости. Разброс значений отрицательных ускорений свидетельствует о том, что на разных участках дорог, характеризующихся одинаковыми значениями коэффициента безопасности, существуют различные условия движения и соответственно зависящая от них плавность движения различна. В этих условиях авторы предлагают использовать показатели, которые, отражая реакцию автомобиля на изменение условий движения, учитывают при этом величину, интенсивность и частоту изменения скорости. Для подтверждения полученных теоретических предположений было проведено сопоставление параметров: разброс скорости и разброс ускорения на основе анализа данных, полученных во время натурных наблюдений на участках дорог в сложных условиях. Доказано, что среди группы показателей, которые возможно было бы использовать для оценки динамической плавности трассы, наилучшим образом отражающими равномерность движения и учитываемыми как величину изменения скорости, так и ее частоту, характерные для дорог в пересеченной местности являются показатели, основанные на использовании среднеквадратического отклонения ускорений.

Ключевые слова: транспортный поток, условия движения, сложные условия, скорость движения, дорожные условия, разброс скорости, разброс ускорения.

## INVESTIGATION OF METHODS TO ASSESS THE CONDITIONS OF THE FLOW OF VEHICLES, TAKING INTO ACCOUNT CROSS-COUNTRY

Dorokhin S.V., Chistyakov A.G.

*Voronezh State University of Engineering Technology, (394036, Voronezh, Prospect Revolution, 8) [rivelenasoul@mail.ru](mailto:rivelenasoul@mail.ru)*

The article shows that, in assessing the dynamic fluidity of the vehicle is taken into account only the magnitude of change of speed when driving through the test section of the road. This is sufficient for evaluation of roads in a flat area where road conditions affecting the change in the driving mode, located at a considerable distance from each other. To estimate the slopes of roads in difficult terrain conditions, where the effect of changing parameters on the mode of movement of interpenetrating, you must also take into account the rate of change of speed. Scatter in the values of negative acceleration indicates that different parts of the roads are characterized by the same values of the safety factor, there are various traffic conditions and, accordingly, depending on their fluidity of movement is different. Under these conditions, the authors propose the use of indicators that reflect the car response to changing traffic conditions into account while the magnitude, intensity and frequency of change of speed. To confirm these theoretical assumptions, we compared the parameters: the spread speed and acceleration of the spread based on the analysis of data obtained during field observations on sections of roads in difficult conditions. It is proved that among a group of indicators that may be used to evaluate the dynamic smooth track, it reflects the fluidity and sensitive to both the magnitude of change of speed, and its frequency characteristic of the roads in rough terrain are indicators based on the use of the standard deviation of acceleration .

Keywords: traffic flow, traffic conditions, difficult conditions, speed, road conditions, speed variation, the variation of acceleration.

В работах многочисленных исследователей неоднократно указывалось, что безопасность и удобство движения автомобиля, а также возможность движения с высокими скоростями, при которых обеспечивается эффективность движения автотранспорта, требуют плавной трассы. На практике оценка условий движения базируется в основном на анализе эпюры скорости

движения одиночного автомобиля или транспортного потока. На любое изменение условий движения автомобиль реагирует изменением скорости [1-3].

**Теоретический анализ.** Наиболее широкое применение в последнее время из показателей, основанных на учете изменения скорости движения, приобрел метод коэффициента безопасности, разработанный проф. Бабковым. Коэффициент безопасности  $K_{\zeta}$ , определяемый как отношение скорости на исследуемом участке  $V_t$  к скорости на входе на этот участок  $V_{вх}$ , хорошо зарекомендовал себя при исследовании условий движения на равнинных дорогах, где опасные участки располагаются достаточно далеко друг от друга, чтобы не оказывать существенного влияния на общее снижение скорости и изменения плавности движения. Однако по утверждению проф. Бабкова при одинаковом коэффициенте безопасности снижение скорости от 60 км/ч до 30 км/ч неоднозначно снижению скорости от 30 км/ч до 15 км/ч.

Устранить это противоречие пытаются введением показателей, учитывающих величину изменения скорости. Один из таких коэффициентов, применяемых для оценки условий движения на очень извилистых местах, предлагают авторы [1,5]

$$K = \frac{v_e - v_t}{v_{\zeta}}, \quad (1)$$

где  $v_e$  - скорость на участке, предшествующем исследуемому;  $v_t$  - фактическая скорость на исследуемом участке;  $v_{\zeta}$  - безопасная скорость на исследуемом участке.

Особо опасным считается участок, на котором значение  $K$  больше 0,30. Если представить дробь в правой части выражения в виде двучлена:

$$K = \frac{v_e}{v_{\zeta}} - \frac{v_t}{v_{\zeta}}, \quad (2)$$

то первый член  $\frac{v_t}{v_{\zeta}}$  представляет собой величину, обратную коэффициенту безопасности,

определенную для расчетных скоростей, то есть

$$\frac{1}{K_{\zeta}} = \frac{v_e}{v_{\zeta}}. \quad (3)$$

Для данного участка эта величина расчетная и постоянная. Второй член характеризует поведение водителя при проезде опасного участка. Причем, чем больше превышение скорости по сравнению с безопасной, тем большее значение имеет вся разность, и тем меньшее значение имеет вся разность, определяющая коэффициент, что должно характеризовать улучшение условий движения, хотя очевидно, что в этом случае вероятность ДТП повышается. Кроме того, рассматриваемый показатель применим только для участков дорог, где основным фак-

тором, изменяющим условия движения, являются кривые в плане. Применение этого показателя для дорог с иными условиями, такими как сужение проезжей части, ограничения видимости, влияние ограждений и придорожной полосы и т.д. затруднено тем, что для указанных условий безопасная скорость или неопределенна, или определяется на основании статистического анализа натуральных наблюдений, сопоставленная используемых скоростей с аварийностью и пр. [1,4,6]. В самом деле, если для кривых в плане безопасная скорость определяется из условия равновесия автомобиля по известной формуле

$$v_{\text{б}} = [127R(\varphi \pm i_{\text{пол}})]^{1/2}, \quad (4)$$

где  $R$  - радиус кривой в плане;  $\varphi$  - коэффициент сцепления;  $i_{\text{пол}}$  - поперечный уклон проезжей части, то ширина проезжей части и обочины связана с безопасной скорости эмпирическим уравнением

$$b = \frac{a + k}{2} + D + y, \quad (5)$$

где  $b$  - ширина полосы движения;  $a, k, y$  - геометрические характеристики расчетного автомобиля;  $D = 0,35 + 0,005v$ ,  $v$  - (расчетная) безопасная скорость.

Аналогичная картина видна при рассмотрении случаев влияния на скорость других факторов. С учетом этого получается, что

$$v_{\text{б}} = v_{\text{т}} \text{ или } K = \frac{1}{K_{\text{б}}} - 1. \quad (6)$$

Во всех этих случаях предлагаемый показатель по характеру своей работы идентичен коэффициенту безопасности.

Режим движения автомобилей в очень редких случаях формируется под воздействием только одного фактора – в данном случае кривых в плане. Формирование режима происходит при одновременном воздействии сразу многих факторов. В этом случае не представляется необходимым привлекать дополнительные показатели для практической оценки условий движения, если они не позволяют отражать рассматриваемые условия в более реальном виде, поскольку они не вносят существенных уточнений в уже апробированную, детально разработанную методику. Такая методика, использующая коэффициент безопасности, хорошо зарекомендовала себя при оценке как условий безопасного движения, так и плавности изменения характеристик, взаимосвязанная между собой. Наряду с этим, следует отметить, что существует некоторая неопределенность в использовании указанного метода на участках, где элементы трассы, вызывающие перепады в скорости движения автомобилей (кривые малого радиуса, участки резкого ограничения скорости, влияние придорожной полосы и т.д.) находятся в непосредственной близости друг от друга. В этих случаях, характерных для большинст-

ва дорог в сложных условиях, возникают, затруднения в установлении значений скорости движения, входящей в расчетную формулу коэффициента безопасности [4-8]. Эта неопределенность связана с тем, что автомобиль входит на последующий участок со скоростью, зависящей не только от его параметров, но, в целом в ряде случаев, и от характеристик предыдущего участка. Примером может служить и рассмотренный уже в [7] случай обратных кривых в плане малых радиусов, скорость на которых определяется соотношением величин радиусов и величиной прямой вставки между ними. В связи с этим следует вспомнить проф. Бабкова о том, что «... его метод, вообще говоря применим тогда, когда до опасного места имеются участки дороги, которые позволяют развивать более высокую скорость движения».

Однако методика коэффициента безопасности дает однозначную оценку условий движения, основанную на сопоставлении его с ДТП и психофизиологическими показателями водителя. Причем, эта оценка отражает действительное положение, и адекватность ее подтверждается многолетним опытом оценки дорог. В свете этого возникает предположение, что при оценке условий движения методом коэффициента безопасности неявным образом учитывается и исследование продольных ускорений [9-10].

Для подтверждения этого предположения и выявления используемых, в зависимости от изменения дорожных условий, ускорений рассматривалась взаимосвязь между ускорениями, возникающими при изменении скорости с различными значениями коэффициента безопасности.

По результатам анализа данных заездов экспериментального автомобиля–лаборатории, а также натурных данных наблюдений за режимами движения установлено, что при изменении  $K_{\sigma}$  от 0,65 до 0,8 значения продольных ускорений невелики, причем при больших значениях  $K_{\sigma}$  используются меньшие ускорения. Таким образом, граничные значения коэффициента безопасности, принятые по известной методике, хорошо согласуются с требованиями плавности движения.

Следует обратить внимание на то, что приведенные данные, полученные при обследовании участков трасс, проложенных в равнинном рельефе местности, когда факторы, влияющие на изменение скорости (в большинстве случаев это кривые в плане) располагаются на значительном расстоянии друг от друга. Такое расстояние позволяет водителю восстановить оптимальный режим движения, поэтому имеется возможность заблаговременно снизить скорость. Это снижение ввиду его относительной непродолжительности мало влияет на общую равномерность движения с желаемой скоростью [6].

**Методика.** С ухудшением дорожных условий – учащающиеся кривые малого радиуса, рост продольных уклонов, появление участков с ограниченной видимостью, влияние ограждений, откосов и т.д. – относительная длина неблагоприятных участков увеличивается. Возникает

противоречие между возможной безопасной скоростью и желаемой скоростью проезда всей дороги. Поэтому водители, используя любую возможность для увеличения средней скорости, движутся в очень неровном режиме. Реализуемые продольные ускорения возрастают как при больших, так и при меньших значениях коэффициентов безопасности. Разброс значений отрицательных ускорений свидетельствует о том, что на разных участках дорог, характеризующихся одинаковыми значениями коэффициента безопасности, существуют различные условия движения и соответственно зависящая от них плавность движения различна. В этих условиях представляется целесообразным использовать показатели, которые, отражая реакцию автомобиля на изменение условий движения, учитывают при этом величину, интенсивность и частоту изменения скорости. В то же время этот показатель не должен сильно отличаться по простоте определения от метода коэффициента безопасности. Имеются две группы показателей, основанных на анализе эпюры скорости движения и удовлетворяющие выше указанным условиям. Эти показатели, использующие параметры среднее квадратическое отклонение скорости и среднее квадратическое отклонение ускорений [8].

На основе этих двух основных параметров получены и многие другие такие, как коэффициент вариации скорости, градиент скорости, градиент энергии, которые применяются для более точного описания конкретных условий. Поэтому для предварительного выбора параметра, наилучшим образом реагирующего на условия движения по дорогам в сложных условиях пересечений необходимо провести сравнение этих двух показателей.

Сравнение проводим, исходя из: простоты определения и расчета показателя; учета интенсивности изменения скорости; учета величины изменения скорости; учета частоты изменения скорости. Как стандартное отклонение скорости, так и стандартное отклонение ускорений получается на основании анализа эпюры скорости движения автомобиля. Сравнение показало, что в общем, трудоемкость расчетов обоих параметров примерно одинакова.

Интенсивность изменения скорости в явном виде учитывается параметром стандартного отклонения ускорений. Стандарт скорости учитывает интенсивность изменения скорости в неявном виде. Для теоретического сравнения предположим для простоты рассуждений, что изменение скорости описывается уравнением гармонических колебаний относительно какого-то среднего значения

$$v_t = \bar{v} + A \sin \omega t, \quad (7)$$

где  $\bar{v}$  - среднее значение скорости;  $A$  - амплитуда (размах) изменения скорости;  $t$  - время;  $\omega$  - частота изменения скорости.

Тогда среднее квадратическое отклонение скорости  $\sigma_v$  за время поездки  $T$  выразится

$$\sigma_v^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [v(t) - \bar{v}]^2 dt = \frac{1}{T} \int_0^T A^2 \sin^2 \omega t dt, \quad (8)$$

$$\sigma_v^2 = \frac{A^2}{T} \int_0^T \sin^2 \omega t dt = \frac{A^2}{T} \left( \frac{t}{2} - \frac{1}{4\omega} \sin 2\omega t \Big|_0^T \right), \quad (9)$$

$$\sigma_v^2 = \frac{A^2}{T} \left( \frac{T}{2} - \frac{1}{4\omega} \sin 2\omega T \right). \quad (10)$$

В силу того, что длительность поездки достаточно большая, а период изменения скорости сравнительно мал, можно выбрать время  $T$  таким, чтобы  $\sin 2\omega T$  стало равным 0, то есть

$$T = \frac{\pi n}{2\omega}, \quad (11)$$

тогда

$$\sigma_v^2 = \frac{A^2}{2}, \quad (12)$$

$$\sigma_v = \frac{A}{\sqrt{2}}. \quad (13)$$

Ускорение при этих допущениях опишется уравнением

$$a(t) = \frac{dv}{dt} = A\omega \cos \omega t, \quad (14)$$

среднее за время поездки ускорение

$$a_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{dv}{dt} dt = \frac{1}{T} \int_0^T dv = \frac{1}{T} (v_t - v_0). \quad (15)$$

$$a_{cp} = \frac{1}{T} (A \sin \omega T - A \sin 0) = \frac{A}{T} \sin \omega T. \quad (16)$$

При достаточно большом времени  $T$  величиной  $a_{cp}$  можно пренебречь. Тогда среднее квадратическое отклонение ускорений можно определить следующим образом:

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{T} \int_0^T (a_i - a_{cp})^2 dt = \frac{1}{T} \int_0^T a^2(t)_i dt, \quad (17)$$

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{T} \int_0^T A^2 \omega^2 \cos^2 \omega t dt = \frac{A^2}{T} \omega^2 \int_0^T \cos^2 \omega t dt. \quad (18)$$

Производя те же допущения после интегрирования получим

$$\sigma_a^2 = \frac{A^2 \omega^2}{2}, \quad (19)$$

$$\sigma_a = \frac{A\omega}{\sqrt{2}}. \quad (20)$$

Таким образом, можно сделать предварительное предположение, что при оценке динамической плавности движения учитывается только величина изменения скорости при движении по исследуемому участку дороги. Этого достаточно для оценки дорог в равнинной местности, где дорожные условия, влияющие на изменение режима движения, расположены на значительном расстоянии друг от друга. Для оценки трассы дорог, в сложных условиях пересеченной местности, где влияние изменяющихся параметров на режим движения взаимопроникающее, необходимо учитывать также и частоту изменения скорости. Показатели, основывающиеся на применении параметра разброс ускорений, позволяют это учесть [7-8].

Для подтверждения полученных теоретических предположений было проведено сопоставление параметров разбросов скорости и разбросов ускорения на основе анализа данных, полученных во время натуральных наблюдений на участках дорог в сложных условиях. По результатам данных заездов определялись для одних и тех же участков значения показателей  $\sigma_v$  и  $\sigma_a$ . Сопоставление показало, что одним и тем же значением  $\sigma_a$  соответствуют два различных значения  $\sigma_v$ : значение, полученное при изменении величины скорости (амплитудное изменение) и значение, зависящее от того как часто происходит это изменение (частотное изменение) (рисунок 1). При этом наиболее сложные участки дорог, где изменение скорости происходит часто, хотя и на небольшую величину, получают лучшую оценку, чем участки с монотонным изменением скорости.

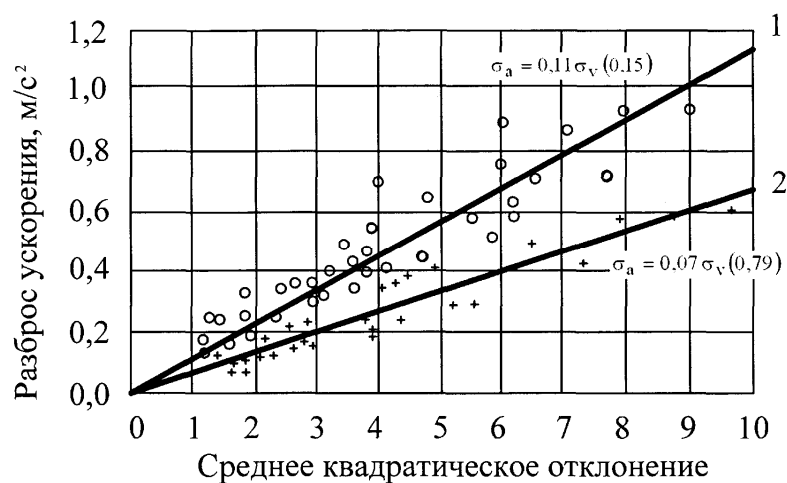


Рисунок 1 – Взаимосвязь среднего квадратического отклонения скорости и разброса ускорений при: 1 – частотном изменении скорости движения; 2 – амплитудном изменении скорости движения (в скобках указаны значения коэффициентов линейной корреляции)

**Вывод.** Применяемые для оценки качества движения показатели такие, как градиент скорости, градиент энергии, коэффициент вариации скорости являются производными от рассмотренных показателей и, следовательно, для них сохраняются полученные закономерности. Таким образом, среди группы показателей, которые возможно было бы использовать для оценки динамической плавности трассы, наилучшим образом отражающими равномерность движения и учитывающими как величину изменения скорости, так и ее частоту, характерные для дорог в пересеченной местности являются показатели, основанные на использовании среднеквадратического отклонения ускорений.

### Список литературы

1. Кондрашова Е.В., Скрыпников А.В., Скворцова Т.В. Модель определения экономических границ зон действия поставщиков материалов в условиях вероятностного характера дорожного строительства лесовозных автомобильных дорог // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – № 8. – С. 379-385.
2. Курьянов, В.К. Пропускная способность регулируемого перекрёстка [Текст] / В.К. Курьянов, А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // *Перспективные технологии, транспортные средства и оборудование при производстве, эксплуатации, сервисе и ремонте: межвуз. сборник науч.тр. Вып.2. – Воронеж, 2007. – С.201-204.*
3. Курьянов, В.К. Управление, основанное на средних характеристиках транспортного потока [Текст] / В.К. Курьянов, А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // *Перспективные технологии, транспортные средства и оборудование при производстве, эксплуатации, сервисе и ремонте: межвуз. сборник науч.тр. Вып.2. – Воронеж, 2007. – С.204-209.*
4. Методы, модели и алгоритмы повышения транспортно-эксплуатационных качеств лесных автомобильных дорог в процессе проектирования, строительства и эксплуатации [Текст] : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, А.И. Вакулин, В.Н. Логачев. – Москва: издательство ФЛИНТА: Наука, 2012. – 310 с.
5. Скворцова, Т.В. Критерии качества управления светофорной сигнализацией [Текст] / Т.В. Скворцова, А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова // *Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления: межвуз. сб. научн. тр./ под ред. В.С. Петровского. – Воронеж, 2007. – С.179-181.*
6. Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В. Метод оптимизации планов ремонта участков лесных автомобильных дорог // *Современные проблемы науки и образования*. – 2011. – № 6; URL: [www.science-education.ru/100-5155](http://www.science-education.ru/100-5155) (дата обращения: 04.10.2014).
7. Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В., Токарев Д.Е., Лобанов Ю.В. Анализ



тягово-динамических качеств тракторов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4; URL: [www.science-education.ru/110-9803](http://www.science-education.ru/110-9803) (дата обращения: 04.10.2014).

8. Скрыпников А.В. Информационные технологии для решения задач управления в условиях рационального лесопользования / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, В.Н. Логачев, А.И. Вакулин // "Международный журнал экспериментального образования" №2: материалы VI международной научной конференции «Современные проблемы науки и образования», Москва, 27-29 февраля 2012 г. С. 77-78.

9. Скрыпников А.В. Повышение безопасности движения автомобилей и автопоездов по дорогам в районах лесозаготовок / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, В.Ю. Губарев, А.Б. Киреев // "Международный журнал экспериментального образования" №2: материалы VI международной научной конференции «Современные проблемы науки и образования», Москва, 27-29 февраля 2012 г. – С. 76-77.

10. Скрыпников А.В. Оптимизация межремонтных сроков лесовозных автомобильных дорог / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // Фундаментальные исследования. Москва, 2011. – № 8 (ч. 3). - С. 667-671.

#### **Рецензенты:**

Скрыпников А.В., д.т.н., заведующий кафедрой информационной безопасности ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж;

Кондрашова Е.В., д.т.н., профессор кафедры технического сервиса и технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж.