

УДК 535.016

ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ПО ВЕРОЯТНОСТНЫМ МОДЕЛЯМ ГРАДИЕНТНОЙ АТМОСФЕРЫ

Бобров В.Н.

ФКОУ ВПО «Воронежский институт ФСИН России», Воронеж, e-mail: vifsin@mail.ru

В статье изложены подходы по оцениванию параметров безопасности дорожного движения. В качестве основного фактора безопасности движения выступает оценка водителем дальности до объектов, находящихся на дороге. Безопасность движения обеспечивается тогда, когда расстояние видимости объектов на дороге не меньше остановочного пути автомобиля. Визуальный контакт водителя с объектами определяется геометрической дальностью видимости, определяемой преломляющими свойствами градиентной атмосферы. Она характеризуется значительной изменчивостью вертикального профиля показателя преломления, что приводит к появлению ошибок визуального определения положения объектов. Так объекты, расположенные на дороге, в утренние и вечерние часы наблюдаются ближе, а днем дальше своего истинного положения. Применяя вероятностные модели градиентной атмосферы, были получены новые математические выражения для расчета коэффициента безопасности дорожного движения. По ним были проведены расчеты, в результате которых было установлено, что используемая в настоящее время методика завышает показания коэффициента безопасности дорожного движения. Предлагается учитывать фактическое состояние градиентной атмосферы при оценивании параметров движения.

Ключевые слова: безопасность движения, остановочный путь, видимость объектов, показатель преломления, приземный слой атмосферы

ESTIMATING THE PARAMETERS OF DRIVING SAFETY ON GRADIENT ATMOSPHERE PROBABILISTIC MODELS

Bobrov V.N.

Voronezh Institute of the Russian Federal Penitentiary Service, Voronezh, e-mail: vifsin@mail.ru

The article describes the approaches to the traffic safety parameters estimating. The main factor of safety driving is driver's estimating of the distance to objects on the road. Traffic safety is ensured when the visibility distance of objects on the road is not less than stopping distance of the vehicle. Visual contact of the driver with objects is defined by geometrical visibility range defined by gradient refractive properties of the atmosphere. It is characterized by a significant variability of the vertical profile of the refractive index, which leads to errors of visual determining the objects position. So objects on the road in the morning and evening are seemed to be closer, and in the afternoon – further than its true position. Using probabilistic models of the atmosphere gradient, new mathematical expressions for the road safety calculation were obtained. These calculations state that the currently used method overestimates road safety coefficient. It is offered to consider the actual state of the gradient atmosphere at the motion parameters estimation.

Keywords: safety, stopping distance, the visibility of objects, refractive index, surface atmospheric layer

Проблема безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах является актуальной, поскольку связана со значительными жертвами и материальными потерями при дорожно-транспортных происшествиях (ДТП) [1].

Количество происшествий, при прочих равных условиях, зависит от интенсивности движения, которая определяет скорости автомобилей, закономерности движения транспортных потоков и эмоциональную напряженность водителей.

При малой интенсивности движения действия водителей определяются только восприятием ими дорожных условий. Некоторые водители, развивая слишком высокую скорость движения, снижают не только свое внимание, но и реакцию на изменения дорожной обстановки. Тем самым создаются благоприятные условия для возникновения ДТП.

Относительное количество ДТП на дорогах с малой интенсивностью движения выше, чем при большой интенсивности.

Такая картина характерна и для периодов спада движения на дорогах в утренние и вечерние часы [1].

Таким образом, в качестве основного фактора безопасности дорожного движения выступает своевременная оценка водителем дальности до объектов, находящихся на дороге, которая определяется метеорологической дальностью видимости.

Требование безопасности движения автомобиля математически может быть записано в следующем виде [5]:

$$S_{вид} \geq S_{ост} = \frac{K_{\Sigma}}{254\phi} V_a^2 + \frac{T_{\Sigma}}{3,6} V_a + S_o, \quad (1)$$

где $S_{вид}$ – дальность (расстояние) видимости, препятствий, м; $S_{ост}$ – остановочный путь автомобиля, м; K_{Σ} – коэффициент эффективности торможения; ϕ – коэффициент сцепления колес с дорогой; V – скорость движения автомобиля, км/ч; T_{Σ} – суммарное время распознавания водителем препятствия, реакции водителя и срабатывания

привода тормозов, c ; S_0 – расстояние между остановившимся автомобилем и дорожным объектом, m .

Это означает, что водитель может объективно оценивать дорожную обстановку и обеспечить безопасность движения, если расстояние видимости объектов на дороге не меньше остановочного пути автомобиля. На основании этого применяют коэффициент безопасности:

$$K_B = \frac{S_{вид}}{S_{ост}} \geq 1. \quad (2)$$

Расстояние видимости объектов на дороге днем может быть определено известным соотношением [1]:

$$S_{вид} \approx S_m = \frac{1}{k} \ln \frac{K_D}{\varepsilon} \quad (3)$$

Определяя остановочный путь только с использованием первого члена многочлена (1), для расчета K_B можно рекомендовать следующее выражение:

$$K_B = \frac{254\phi}{kK_3V_a^2} \ln \frac{K_D}{\varepsilon} = \frac{254\phi}{kK_3V_a^2} \ln V. \quad (4)$$

Параметр K_B нужно рассматривать как комплексный показатель безопасности движения по условиям видимости, так как он учитывает основные параметры системы дорожного движения. Исходя из необходимого условия безопасности $K_B \geq 1$, зная или задаваясь «неуправляемыми» параметрами, характеризующими прозрачность атмосферы (k), зрительные функции и условия освещения (ε), можно оценивать и нормировать другие параметры, определяющие безопасность движения и видимость. В частности, минимально допустимые контрасты, видимость препятствий, расположенных на дороге и допустимые скорости движения [5].

При отсутствии факторов, ухудшающих прозрачность атмосферы (k) визуальный контакт водителя с препятствиями, расположенными на дороге, определяется геометрической дальностью видимости. Траекторию последней определяет поведение вертикального профиля показателя прелом-

ления в слое атмосферы, расположенной над дорогой, причем этот слой может быть представлен как совокупность i -слоев с различными преломляющими свойствами.

Поскольку нижние слои атмосферы характеризуются значительной изменчивостью влагосодержания, наличием инверсий температуры, то и вертикальный профиль показателя преломления может существенно изменяться, что в свою очередь может приводить к появлению значительных ошибок визуального определения положения препятствий, расположенных на дороге. Так в утренние и вечерние часы препятствия, расположенные на дороге, наблюдаются ближе, а днем дальше своего истинного положения [3].

Восстановление вертикального профиля показателя преломления атмосферы (n) осуществляется по известной зависимости последнего от абсолютной температуры воздуха (T), атмосферного давления (p) и парциального давления водяного пара (e) [4] в каждом i -слое атмосферы [4]:

$$n_i = 1 + 10^{-6} N_i = 1 + 10^{-6} \left[\frac{77,6}{p} \left(p_i + 4810 \frac{e_i}{T_i} \right) \right],$$

где N_i – выражен в « N -единицах».

При определении геометрической дальности препятствий, расположенных на дороге, с учетом вертикального профиля показателя преломления атмосферы, может быть использована методика, рассмотренная в [2].

Пусть водитель находится в транспортном средстве в точке A на высоте h_0 от поверхности дороги (рис. 1). Геометрическая дальность препятствия B , расположенного на дороге от транспортного средства, определяется проекцией траектории наблюдения из точки A до препятствия B на ось OX , направленную вдоль поверхности дороги. Для удобства рассмотрения будем считать, что начало вертикальной оси совпадает с точкой A , а сама ось, направлена вниз, к поверхности дороги. Наблюдение препятствия B производится под углом ϕ_0 к горизонту.

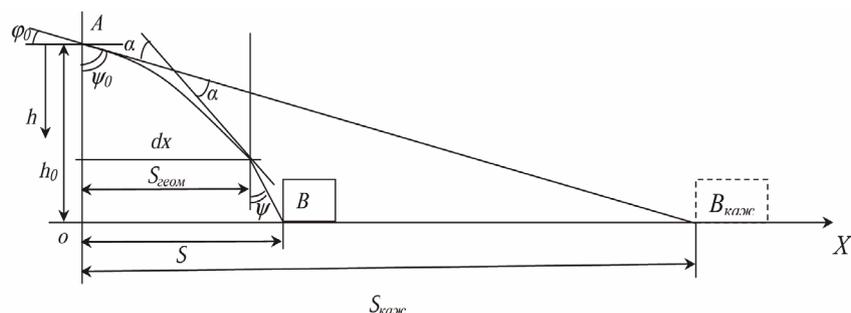


Рис. 1. Реальное и кажущееся положение препятствий, расположенных на дороге

Величина угла относительно перпендикуляра, опущенного из точки A на поверхность дороги, будет равна $\Psi_0 = \frac{\pi}{2} - \phi_0$.

В связи с изменением вертикального профиля показателя преломления с высотой угол ψ , составляемый касательной к траектории наблюдения и перпендикуляром к поверхности дороги, будет отличаться от ϕ_0 на величину угла рефракции α .

Рассмотрим, как меняются угол ψ и проекция траектории наблюдения на поверхность дороги S_{geom} с высотой. Предположим, что земная поверхность является плоской (то есть пренебрегаем её кривизной), а атмосфера может быть представлена как совокупность тонких слоев. Каждый такой слой характеризуется постоянным значением показателя преломления.

Если наблюдение расположенного на дороге препятствия B ведется в выбранной системе координат из слоя с показателем преломления $n_0 = n(0)$, а нижележащий слой толщины dh имеет показатель преломления $n = n(h)$, то для точки пересечения траектории наблюдения с этим слоем справедливо соотношение:

$$n_0 \sin \psi_0 = n \sin \psi, \quad (6)$$

Дифференцируя (6) по x , получаем

$$\psi = \psi_0 - \sin \psi_0 \int_0^h \frac{\frac{dn}{dh}}{n \sqrt{\frac{n^2}{n_0^2} - \sin^2 \psi_0}} dh, \quad (12)$$

$$S_{geom} = \sin \psi_0 \int_0^h \frac{dh}{\sqrt{\frac{n^2}{n_0^2} - \sin^2 \psi_0}}.$$

В итоге получаем:

$$S_{geom} = n_i \frac{\sin \psi_{i-1}}{\gamma_{i-1}} \ln \left[\frac{1 + z_i + \sqrt{(1 + z_i)^2 - \sin^2 \psi_{i-1}}}{1 + \cos \psi_{i-1}} \right], \quad (13)$$

а угол между касательной к траектории наблюдения и перпендикуляром к поверхности дороги на верхней границе i -го слоя

$$\psi_{i-1} = \psi_{i-2} - \arccos \left(\frac{\sin^2 \psi_{i-2}}{1 + z_{i-1}} + \cos \psi_{i-2} \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \psi_{i-2}}{(1 + z_{i-1})^2}} \right), \quad (14)$$

где

$$\gamma_i = \frac{(n_i - n_{i-1})}{(h_i - h_{i-1})}, \quad z_i = (h_i - h_{i-1}) \frac{\gamma_{i-1}}{n_{i-1}}.$$

вертикальный градиент показателя преломления i -го слоя атмосферы, h_i – высота слоя атмосферы относительно поверхности дороги,

$$\frac{d\psi}{dx} = -\frac{1}{n} \frac{dn}{dx} \operatorname{tg} \psi. \quad (7)$$

$$\text{Так как} \quad dx = \operatorname{tg} \psi dh, \quad (8)$$

то выражение (7) примет вид:

$$\frac{d\psi}{dx} = -\frac{1}{n} \frac{dn}{dh}. \quad (9)$$

Тогда на основании (8) и (9) выражения, определяющие зависимости угла ψ и проекции траектории наблюдения препятствия B , расположенного на дороге через слой атмосферы с высоты h , можно записать как

$$\int_{\psi_0}^{\psi} d\psi = - \int_0^h \frac{1}{n} \frac{dn}{dh} \operatorname{tg} \psi dh, \quad (10)$$

$$S_{geom} = \int_0^h \operatorname{tg} \psi dh.$$

Подставляя в (10)

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\sin \psi_0}{\sqrt{\frac{n^2}{n_0^2} - \sin^2 \psi_0}} \quad (11)$$

и учитывая, что $\psi = \phi_0 - \alpha$, окончательно имеем:

Выражение для ошибки визуального определения горизонтальной дальности до препятствия, расположенного на дороге,

можно записать в виде:

$$\Delta S = h_0 \operatorname{tg} \psi_0 - S_{\text{geom}}. \quad (15)$$

Здесь $h_0 \operatorname{tg} \psi_0$ – горизонтальная дальность до препятствия при прямолинейной траектории наблюдения.

Величина ошибок определения горизонтальной дальности до препятствий, расположенных на дороге, зависит от поведения показателя преломления атмосферы с высотой, мощности слоев, в которых наблюдаются эти изменения, а также от величины угла наблюдения препятствий расположенных на дороге, по отношению к горизонту [2].

Таким образом, по аналогии с (4) и учитывая преломляющие свойства слоя атмосферы, прилегающего к дорожному покрытию, для расчета K_B^* предлагается использовать следующее выражение:

$$K_B^* = \frac{254 \phi n_i \sin \psi_{i-1}}{K_{\text{э}} V_a^2 \gamma_{i-1}} \ln \left[\frac{1 + z_i + \sqrt{(1 + z_i)^2 - \sin^2 \psi_{i-1}}}{1 + \cos \psi_{i-1}} \right]. \quad (16)$$

Используя полученное соотношение (16), в качестве примера были проведены расчеты коэффициентов безопасности K_B , результаты которых представлены на

рис. 2 в виде графических зависимостей коэффициента безопасности (K_B) от скорости движения транспортных средств (V , км/ч).

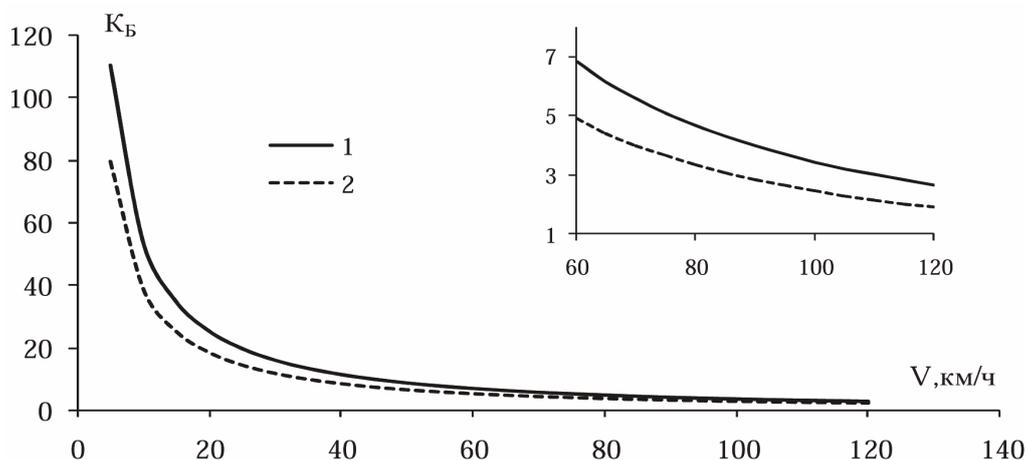


Рис. 2. Зависимость коэффициента безопасности движения от скорости движения транспортных средств: 1 – без учета, 2 – с учетом преломляющих свойств слоя атмосферы прилегающего к дорожному покрытию

При проведении расчетов были использованы следующие граничные условия: рекомендуемый коэффициент эффективности тормозной системы $K_{\text{э}} = 1,3$; значение коэффициента сцепления колес с поверхностью сухой цементобетонной автомобильной дороги $\phi = 0,65$; разность температур между дорожным покрытием и воздухом, равная 2°C .

Заключение

Из хода кривых, представленных на рис. 2, видно, что увеличение скорости движения транспортных средств (V) приводит к снижению коэффициента безопасности движения (K_B). Так, полученные значения K_B^* с учетом преломляющих свойств слоя атмосферы, прилегающего к дорожному покрытию (кривая 2) отличаются от аналогичного

параметра K_B , рассчитанного классическим способом без такого учета (кривая 1).

Расчетным путем по (4) и (16) и граничным условиям, описанным выше, было установлено, что при разностях значений температуры (Δt) между температурой слоя атмосферы, прилегающего к дорожному покрытию, и температурой воздуха наблюдаются завышения и занижения коэффициента безопасности движения (K_B).

Завышение значений происходит в случае, когда температура слоя атмосферы, прилегающего к дорожному покрытию, выше температуры воздуха, занижение значений происходит в противном случае.

Сведения о завышении/занижении коэффициента безопасности движения представлены в таблице.

Величина завышения/занижения коэффициента безопасности движения

D	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
D	3,6%	±	±	±	±	±	±	±	±

Здесь $\Delta K_B = K_B - K_B^*$, где K_B и K_B^* рассчитываются по (4) и (16) соответственно.

Полученную информацию целесообразно учитывать при решении вопросов, связанных с организацией безопасности дорожного движения.

Список литературы

1. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. – М.: Транспорт, 1982. – 288 с.
2. Бобров В.Н., Нахмансон Г.С. Влияние вертикального распределения показателя преломления атмосферы на визуальное определение местоположения взлетно-посадочной полосы с борта воздушного судна. – Метеорология и гидрология. – 2003. – №1. – С.58 – 63.
3. Бобров В.Н., Нахмансон Г.С. О сезонном и суточном изменении вертикального профиля показателя преломления атмосферы в приземном слое. – Метеорология и гидрология, 2002, №12, с. 36 – 39.
4. Казаков Л.Я., Ломакин А.Н. Неоднородности коэффициента преломления воздуха в тропосфере. – М.: Наука, 1976. – 165 с.
5. Левитин К.М. Безопасность движения автомобилей в условиях ограниченной видимости. – М.: Транспорт, 1979. – 112 с.

References

1. Babkov V.F. Dorozhnye uslovija i bezopasnost' dvizhenija. – M.: Transport, 1982. – 288 p.

2. Bobrov V.N., Nahmanson G.S. Vlijanie vertikal'nogo raspredelenija pokazatelja prelomlenija atmosfery na vizual'noe opredelenie mestopolozhenija vzletno – posadochnoj polosy s borta vozdušnogo sudna – Meteorologija i gidrologija. – 2003. – no. 1. – pp. 58 – 63.

3. Bobrov V.N., Nahmanson G.S. O sezonnom i sutochnom izmenenii vertikal'nogo profilja pokazatelja prelomlenija atmosfery v prizemnom sloe. – Meteorologija i gidrologija, 2002, no. 12, pp. 36 – 39.

4. Kazakov L.Ja., Lomakin A.N. Neodnorodnosti koeficienta prelomlenija vozduha v troposfere. – M.: Nauka, 1976. – 165 p.

5. Levitin K.M. Bezopasnost' dvizhenija avtomobilej v uslovijah ogranichennoj vidimosti. – M.: Transport, 1979. – 112 p.

Рецензенты:

Душкин А.В., д.т.н., доцент, начальник кафедры управления и информационно-технического обеспечения, ФКОУ ВПО Воронежский институт ФСИН России, г. Воронеж;

Ирхин В.П., д.т.н., доцент, профессор кафедры основ радиоэлектроники, ФКОУ ВПО Воронежский институт ФСИН России, г. Воронеж.

Работа поступила в редакцию 24.06.2014.