

Н.В. Щёголева

Саратовский государственный технический университет

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ПОТЕРИ ИНФОРМАЦИИ ВОДИТЕЛЯМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ РИСКА

Разработана методика оценки возможности потери информации водителями на опасных элементах автомобильной дороги. Предложена математическая модель оценки с использованием теории риска. Применение этого метода позволит повысить безопасность движения.

Ключевые слова: теория риска, безопасность, оценка вероятности, водитель.

Любой уровень эмоционального состояния и психического напряжения является следствием информационной нагрузки и (или) перегрузки человека. Один и тот же уровень информации является неприемлемым для одних людей и не вызывающим больших напряжений для других. Этим подтверждается вероятностная сущность восприятия и переработки информации человеком. Динамический объем информации (B , бит/с) об опасной дорожной обстановке, частично или полностью воспринимаемый водителем, непрерывно поступающий к нему, определяется по формуле

$$B = b \cdot V. \quad (1)$$

Объем информации зависит от скорости движения автомобиля (V , м/с) и фактического количества информации (b , бит/м), сосредоточенной на конкретном участке дороги или в конкретной дорожно-транспортной ситуации.

Зависимость (1) показывает, что с ростом скорости движения автомобилей увеличивается информационная нагрузка водителей, и поэтому в основе математической модели с использованием теории риска положены такие теоретические законы распределения вероятностей, которые хорошо согласуются с фактическими распределениями вероятностей скоростей свободного движения автомобилей. Плотности (гистограммы) распределения скоростей свободного движения со-

временных автомобилей хорошо согласуются с законом нормального распределения.

Для вывода формул, описывающих риск потери информации водителем на основе нормального закона распределения, введем следующие обозначения (рис. 1):

$B_{\text{ср}}$ – математическое ожидание или среднее значение расчетного или фактического количества информации об опасных геометрических элементах, поступающей в кратковременную память водителя за 1 с, бит/с;

$B_{\text{кр}}$ – математическое ожидание или среднее значение критического количества информации об опасных геометрических элементах, при поступлении которой в кратковременную память водителя за 1 с будет потеряно (не усвоено) 50 % этой информации, бит/с;

$f(B_{\text{ср}})$ – поле рассеивания параметра $B_i^{\text{ср}}$ в пределах плотности распределения ($f(x_2)$);

$f(B_{\text{кр}})$ – поле рассеивания параметра $B_i^{\text{кр}}$ в пределах плотности распределения ($f(x_1)$);

$\sigma_{B_{\text{ср}}}$ и $\sigma_{B_{\text{кр}}}$ – средние квадратические отклонения текущих значений указанных параметров.

Формулы теории риска представляют собой формулы сравнения, в которых анализируется в данном случае положение закона распределения фактического количества информации со средним значением $B_{\text{ср}}$ относительно положения закона распределения критического количества информации со средним значением $B_{\text{кр}}$ (см. рис. 1). При этом подвижным является фактический закон распределения информации, а неподвижным – закон распределения критического количества информации (при котором будет теряться (не усваиваться) 50 % этого показателя).

Чем ближе фактический закон распределения к неподвижному закону, тем больше область риска (c), показывающая, какая часть значений фактической информации попала в область распределения критической информации. При этом интервал $a = B_{\text{кр}} - B_{\text{ср}}$ между математическими ожиданиями фактического количества $B_{\text{ср}}$ и критического количества $B_{\text{кр}}$ информации уменьшается.

Выполним свертку независимых нормально распределенных случайных величин $B_i^{\text{ср}}$ и $B_i^{\text{кр}}$, показанных на рис. 1. В соответствии с решениями теории вероятностей известно, что сумма независимых нормально

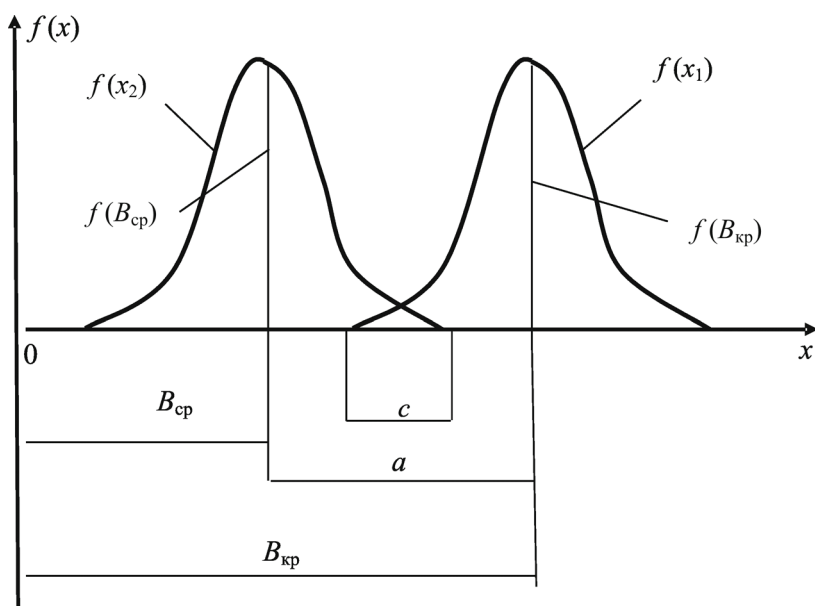


Рис. 1. Плотность распределения фактического и критического количества информации с геометрическим представлением области риска: c – область риска; a – интервал между математическими ожиданиями; $f(x_2)$ – подвижное распределение фактической информации

распределенных случайных величин имеет нормальное распределение [1–3]. Тогда по формуле свертки получаем

$$f_{x_1-x_2}(Z) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x_1) \cdot f(z-x_1) dx = \frac{1}{\sigma_a \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(z-a)^2}{2\sigma_a^2}}, \quad (2)$$

где $f(z-x_1) = f(x_2)$ (см. рис. 1); $a = B_{кр} - B_{ср}$ – интервал между математическими ожиданиями нормально распределенных величин; $\sigma_a = \sqrt{\sigma_{B_{ср}}^2 + \sigma_{B_{кр}}^2}$ – среднее квадратическое отклонение суммарного распределения двух нормально распределенных величин.

Функция суммарного распределения имеет вид

$$F(z) = \left[\frac{1}{(\sigma_a \sqrt{2\pi})} \right] \int_{-\infty}^z e^{-\frac{(z-a)^2}{2\sigma_a^2}} dx. \quad (3)$$

Заменой переменной $U = (z-a)/\sigma_a$ при $a=0$ и $dz = \sigma_a du$ получаем вероятность того, что $z < 0$:

$$P(z < 0) = \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \right] \int_{-\infty}^u e^{-u^2/2} du = \Phi_u(u) - \Phi_u(-\infty) = \Phi_u(u), \quad (4)$$

где $\Phi_u(u)$ – функция нормального распределения.

Учитывая, что риск потери информации $r = P(z > 0)$ связан с формулой (4) соотношением $P(z > 0) = 1 - P(z < 0)$, получаем

$$r = P(z > 0) = 1 - \Phi_u(u) = 1 - \Phi_u\left(\frac{z}{\sigma_a}\right). \quad (5)$$

Табулируется, как правило, функция Лапласа

$$\Phi(u) = \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \right] \int_0^u e^{-u^2/2} du, \quad (6)$$

которая связана с функцией нормального распределения $\Phi_u(u)$ соотношением $\Phi_u(u) = 0,5 + \Phi(U)$.

Тогда

$$r = 1 - [0,5 + \Phi(u)] = 0,5 - \Phi(u) = 0,5 - \Phi(z / \sigma_a). \quad (7)$$

При $u = 0$ [или при $z = 0$] формула (6) дает риск 50 %, т.е. $r = 0,5$. При отрицательном аргументе u имеем $\Phi(-u) = -\Phi(u)$ и, следовательно, риск потери информации, устанавливаемый по формуле (7), становится больше 50 %.

При $z = a$ формула (7) принимает вид

$$r = 0,5 - \Phi\left(\frac{a}{\sigma_a}\right), \quad (8)$$

и позволяет определять риск возникновения интервала a между математическими ожиданиями фактического количества информации и количества информации, соответствующей 50%-му риску.

Учитывая, что $a = B_{кр} - B_{ср}$ и $\sigma_a = \sqrt{\sigma_{B_{кр}}^2 + \sigma_{B_{ср}}^2}$, окончательно получаем

$$0,5 - \Phi\left[\frac{B_{кр} - B_{ср}}{\sqrt{\sigma_{B_{кр}}^2 + \sigma_{B_{ср}}^2}}\right], \quad (9)$$

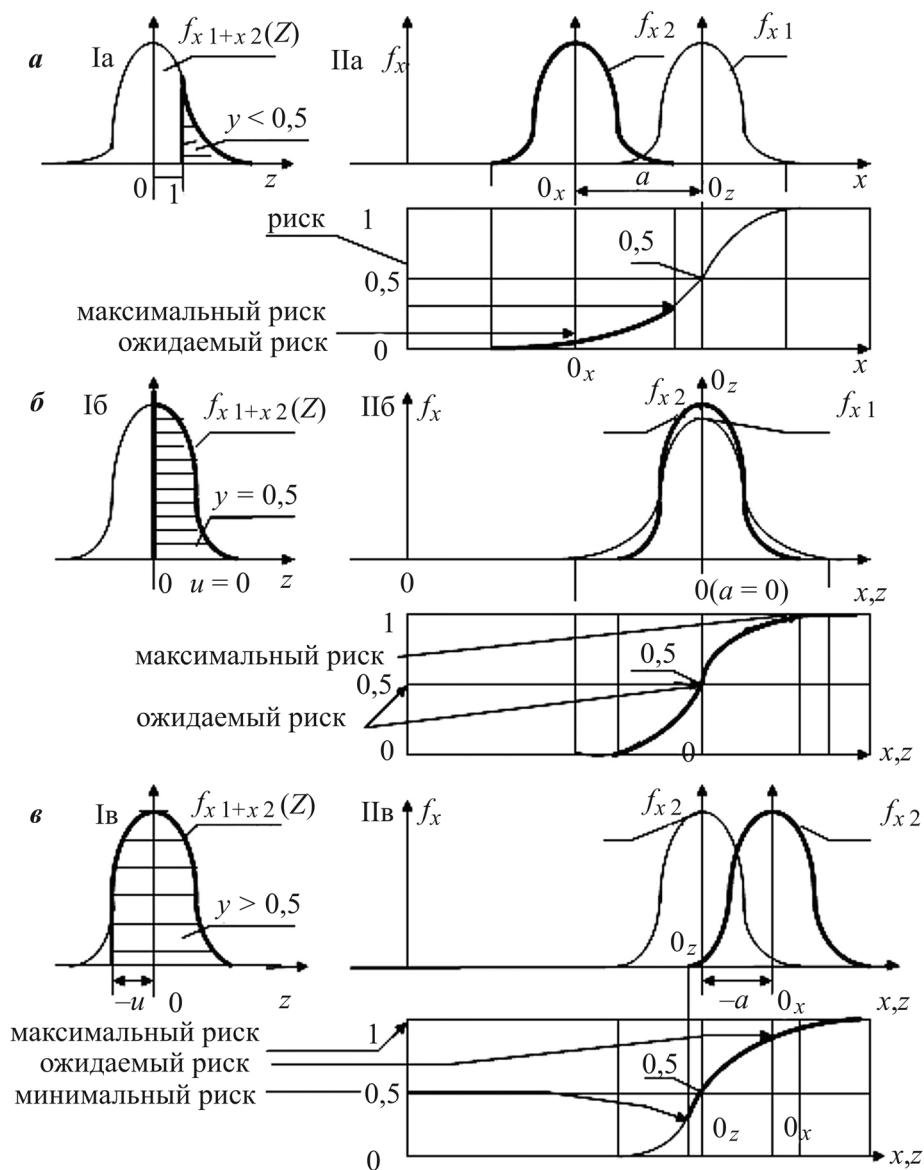


Рис. 2. Область риска по суммарному закону распределения (Ia, Ib, Iv) при различных положениях исходных законов распределения (IIa, IIб, IIв):
 а – при $u > 0$ и $a > 0$; б – при $u = 0$ и $a = 0$; в – при $u < 0$ и $a < 0$

где $\Phi(u)$ – функция Лапласа, определяемая по специальным таблицам в зависимости от значения квантили:

$$u = \frac{B_{кр} - B_{ср}}{\sqrt{\sigma_{B_{кр}}^2 + \sigma_{B_{ср}}^2}},$$

$\sigma_{B_{ср}}$ – среднее квадратическое отклонение фактического количества информации, учитывающее, что процесс восприятия водителем дорожной обстановки неоднозначен.

Разработанная методика оценки вероятности потери информации водителями с использованием теории риска предназначена для повышения безопасности дорожного движения.

При эксплуатации дороги одним из методов повышения безопасности дорожного движения является установка запрещающих знаков 3.24 на основе допустимого риска потери информации водителем [4]. При проектировании дорог риск потери информации водителем используется при обосновании геометрических параметров дорог в сочетании со средствами организации движения. Внедрение этого метода в практику организации дорожного движения обещает дать ощутимый экономический и социальный эффект, основанный на повышении безопасности движения на существующих дорогах [2–4].

Список литературы

1. Вероятностные методы в инженерных задачах: справ. / А.Н. Лебедев, М.С. Куприянов, Д.Д. Недосекин, Е.А. Чернявский. – СПб.: Энергоатомиздат, 2000. – 333 с.
2. Столяров В.В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска: в 2 ч. / Сарат. гос. техн. ун-т. – Саратов, 1994. – Ч. II. – 232 с.
3. Столяров В.В. Технический регламент «Проектирование автомобильных дорог» (Альтернативный проект) // Дороги. Инновации в строительстве. – СПб., 2010. – С. 12–19.
4. Щеголева Н.В. Обоснование допустимой величины риска потери информации водителем // Проблемы транспорта и транспортного строительства: межвуз. науч. сб. / Сарат. гос. техн. ун-т. – Саратов, 2007. – С. 80–84.

Получено 18.03.2011