

Н.В. Щеголева

Саратовский государственный технический университет
им. Ю.А. Гагарина, Саратов, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Водитель автомобиля в транспортной системе с точки зрения кибернетики является сложной вероятностной системой. Теория информации изучает количественные закономерности, связанные с получением, передачей, обработкой и хранением информации. В статье рассмотрено применение теории информации к проектированию автомобильных дорог и организации движения.

Ключевые слова: информация, объем передаваемой информации, пропускная способность «приемника», теория информации, проектирование дорог.

N.V. Shchegoleva

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,
Saratov, Russian Federation

METHODS OF INFORMATION THEORY IN THE ROADS DESIGN

The driver as a cybernetics is a very complex probabilistic system. Information theory studies the quantitative laws relating to the generation, transfer, processing and storing information. The using of information theory for designing roads and traffic is considered in this article.

Keywords: information, the amount of transmitted information, the capacity of "receiver", information theory, road design.

Водитель транспортного средства с точки зрения кибернетики является очень сложной вероятностной системой. Главным отличием вероятностных систем от детерминированных является то, что действия таких систем в любой ситуации можно предсказать с большей или меньшей степенью вероятности.

В транспортной системе водитель – автомобиль – дорога – среда (ВАДС) водитель выполняет функцию управляющего элемента. При этом в кибернетике управление рассматривается не как процесс принуждения (например, регулирование уличного движения), а как процесс саморегулирования.

Поведение водителя обусловлено различным психофизическим состоянием и влиянием большого количества внешних факторов. Из всех дорожно-транспортных происшествий (ДТП), которые совер-

шаются по вине водителей, 90 % происходят из-за ограниченной надежности физиологических и психологических функций человека. На современном этапе для распознавания дорожной обстановки и различных условий движения все чаще используются интеллектуальные транспортные системы. В то же время отсутствует информация о возникновении опасных ситуаций, о действиях того или иного водителя в определенной дорожной обстановке, о техническом состоянии отдельных автомобилей транспортного потока и мн. др.

Работа любой кибернетической системы начинается с момента ввода в нее информации. В транспортной системе основными источниками информации для водителя служат дорога и дорожно-транспортная ситуация (ДТС). Воспринимая органами чувств дорожную обстановку, водитель выбирает определенный режим движения автомобиля. Постоянно двигаясь по дороге, водитель получает дополнительную информацию об изменяющихся дорожных условиях и вносит коррективы в выбранный режим движения автомобиля.

Теория информации – наука, изучающая количественные закономерности, связанные с получением, передачей, обработкой и хранением информации. Эта теория в настоящее время стала необходимым математическим аппаратом при изучении процессов управления.

При этом считают, что система ВАДС определена не полностью. Так, в данном случае информация о системе «дорога – водитель – автомобиль» ограничивается знанием технических параметров дороги (уклонов, радиусов кривых и др.) и в общих чертах – состоянием и эксплуатационными характеристиками автомобиля.

Основное условие работы системы «ВАДС» – это получение, обработка, передача и хранение различного рода информации. При этом водитель в процессе движения всегда получает информацию от различных компонентов системы. Однако, чтобы любую информацию передать, ее необходимо соответствующим образом «закодировать», т.е. перевести на язык специальных символов и сигналов. Сигналами, передающими информацию, могут быть кривая в плане, вертикальная кривая, дорожные знаки и т.д.

Факторы случайности в процессах передачи информации заставляют обратиться при изучении этих процессов к вероятностным методам. В качестве меры неопределенности состояния вероятностного объекта, включая дорожно-транспортную ситуацию, используется специальная характеристика – энтропия, предложенная К. Шенноном [1].

Под энтропией в теории информации понимается неопределенность, которая возникает при распознавании человеком того или иного предмета объективного мира в процессе опытного и теоретического познания.

Рассмотрим одну из основных задач теории информации: имеется «передатчик» – источник информации (разметка, вертикальная кривая, транспортное средство) или ДТС и «приемник» (водитель), которому эта информация передается. Для решения подобных задач нужно научиться количественно определять объем передаваемой или хранимой информации и пропускную способность «приемника». По мнению профессора Е.М. Лобанова, пропускную способность человека в настоящее время оценивать трудно, так как отсутствуют методики определения этого показателя и существует проблема учета индивидуальности каждого человека [2]. Вторая причина, которая, по мнению ряда исследователей, препятствует использованию теории информации при решении проблемы человеческого фактора в дорожном движении, заключается в сложности определения объема поступающей информации. В связи со сложностью определения пропускной способности водителя необходимо применять другой подход, рассмотренный автором [3]. Он основан на оценке вероятностной сущности поведения водителя, определяемой с учетом риска возникновения дорожно-транспортного происшествия по причине несовершенства геометрических элементов дороги, а объем информации определяется с учетом выделения информации, связанной с безопасностью движения.

Рассмотрим пример данного подхода.

Риск потери информации водителем в данной работе определяется по формуле

$$\left(r = 0,5 - \Phi \frac{B_m - B_i}{\sqrt{\sigma_m^2 + \sigma_i^2}} \right), \quad (1)$$

где B_m – максимальное количество информации дорожной обстановки, при поступлении которой за 1 с вероятность безотказной работы водителя равна 50 %, бит/с; B_i – среднее количество фактической информации дорожной обстановки, поступающее в кратковременную память водителя за 1 с, бит/с; σ_m – среднее квадратичное отклонение максимального количества информации дорожной обстановки за 1 с, бит/с; σ_i – среднее квадратичное отклонение количества фактической инфор-

мации дорожной обстановки за 1 с, бит/с; $\Phi(U)$ – интеграл вероятности, определяемый по подынтегральной функции U при помощи специальных таблиц.

Для использования формулы (1) необходимо знать параметры B_m и σ_m . Рассмотрим граничные условия, при которых риск потери информации, определяемый по формуле (1), будет стремиться к нулю. Такое условие возможно только тогда, когда параметры B_i и σ_i будут соответствовать допустимому количеству информации (B_∂ и σ_∂) по условию, что информация, поступающая к водителю за 1 с, будет им перерабатываться полностью. В этом случае интеграл вероятности равен 0,5, а подынтегральная функция – 5, т.е.

$$\frac{B_m - B_\partial}{\sqrt{\sigma_{B_m}^2 + \sigma_\partial^2}} = 5 \quad (2)$$

или

$$B_m = B_\partial + 5\sqrt{\sigma_{B_m}^2 + \sigma_\partial^2}. \quad (3)$$

Условие (2) основано на представлении, что при равенстве количества информации допустимому значению (B_∂), а также при соблюдении допуска на стандарт отклонения (σ_∂) вероятность потери информации водителем стремится к нулю.

Решая уравнение (3) относительно B_m , воспользуемся зависимостью

$$\sigma_m = C_v^m \cdot B_m \quad (4)$$

при

$$C_v^m = C_v^B = \frac{\sigma_m}{B_m} = \frac{\sigma_i}{B_i}. \quad (5)$$

Условие (5) показывает, что максимальное (B_m) и фактическое (B_i) количества информации, перерабатываемой водителем (теоретическое и фактическое значения), должны принадлежать одной совокупности, т.е. рассматриваются при одних и тех же условиях. Под одними и теми же условиями принимаем равные коэффициенты вариации C_v .

Уравнение (3) представим в виде

$$B_m^2 - 2B_m \cdot B_\partial + B_\partial^2 = 25\sigma_\partial^2 + 25(C_v^m \cdot B_m)^2. \quad (6)$$

Решением уравнения (6) относительно B_m , с учетом зависимости (4), устанавливаем:

– при $C_v^m \neq 0,2$

$$B_m = 2B_\partial - \frac{\sqrt{B_\partial^2 + \left(25(C_v^m)^2 - 1\right) \cdot (B_\partial^2 - 25\sigma_\partial^2)} - B_\partial}{25(C_v^m) - 1}; \quad (7)$$

– при $C_v^{B_m} = 0,2$

$$B_m = 2B_\partial - \frac{B_\partial^2 - 25 \cdot \sigma_\partial^2}{2 \cdot B_\partial}. \quad (8)$$

Для того чтобы оценить количество информации, поступающей к водителю при движении автомобиля, обратимся к характеристике, называемой энтропией. В данном случае энтропия представляет собой меру неопределенности количества потерянной информации водителем и определяется по зависимости

$$H = -\sum_1^n (r_i \cdot \log r_i), \quad (9)$$

где r_i – вероятность (риск) потери водителем информации, поступающей от i -го элемента; n – общее число элементов дорожной обстановки на участке дороги; $\log r_i$ – двоичный логарифм риска потери информации водителем от i -го элемента.

Количество информации, приходящейся на 1 м дороги (бит/м) при $r_1 = r_2 = \dots = r_i = \dots = r_n$, устанавливаются по формуле

$$b = n \cdot H_{\max} = n \cdot \log n, \quad (10)$$

где H_{\max} – максимальное значение энтропии, равное $\log n$; n – общее число элементов дорожной обстановки.

Среднее количество информации дорожной обстановки, приходящейся на 1 с, находят по формуле

$$B = b \cdot V, \quad (11)$$

где B – то же, что B_i в формуле (1), бит/с; b – см. формулу (10), бит/м; V – скорость движения автомобиля, м/с.

Ниже приведен пример использования математической модели.

Исходные данные: Скорость движения автомобиля 40 км/ч. На опасном участке дороги находится заданное количество дорожных знаков (табл. 1), информацию которых водитель должен переработать при данной скорости движения. Допустимое количество дорожных знаков, обрабатываемых кратковременной памятью водителя (оператора), не должно превышать 8 ($n_{\partial} = 8$). Этот показатель установлен в результате исследования оперативной памяти человека [4–6] и является предельно допустимым количеством элементов дорожной обстановки (картинной плоскости) для кратковременного сохранения этих элементов в памяти.

1. Используя формулы (10) и (11), определяем количество информации дорожной обстановки на 1 м и среднее количество информации дорожной обстановки, поступающей за 1 с. Результаты расчета сводим в табл. 1.

2. По формулам (7) и (8) определяем максимальное количество информации (B_m). При этом принимаем $B_{\partial} = 184,821$, а $\sigma_{\partial} = C_{v_0} \cdot B_{\partial} = 0,05 \cdot 184,821 = 9,241$. Результаты расчета представлены в табл. 2.

Таблица 1

Количество информации дорожной обстановки

№ п/п	n , шт.	$b = n \cdot \log n$, бит/м	$B = b \cdot V$, бит/с
1	2	3	4
1	4	5,54517	61,6069
2	5	8,04718	89,404
3	6	10,7505	119,438
4	7	13,6214	151,333
5	$n_{\partial} = 8$	16,6355	$B_{\partial} = 184,821$
6	9	19,775	219,700
7	10	23,026	255,817
8	11	26,3768	293,046
9	12	29,8188	331,289
10	13	33,3443	370,455

Таблица 2

Максимальное количество информации

B_m при C_v							
0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
241,1	257,48	271,64	283,01	292,14	299,59	305,77	310,936

3. Используя формулы (1), (4) и данные табл. 1 и 2, находим риск потери информации кратковременной памятью водителя. Результаты расчета показаны в табл. 3.

Таблица 3

Риск потери информации кратковременной памятью водителя

n , шт.	Риск потери информации при C_v			
	0,05	0,15	0,25	0,35
4			$1 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
5			$4,5 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$
6	$1 \cdot 10^{-8}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$5,2 \cdot 10^{-2}$
7		$2 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-2}$	0,1002
$n_0 = 8$	$1 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	0,166
9	$9,5 \cdot 10^{-2}$	0,1611	0,2148	0,2578
10	0,7995	0,3897	0,3557	0,3594
11	0,9969	0,6406	0,5040	0,4641
12	0,9999	0,8238	0,6406	0,5398

Результаты аналогичных расчетов при разных скоростях движения представлены на рис. 1–3 (шкала риска построена в логарифмическом масштабе).

Примечание. Формула (9) используется в расчете в том случае, когда вероятности потери информации (ее неувоения) от разных элементов дорожной обстановки не равны между собой. Например, если в качестве элементов дорожной обстановки рассматривать не дорожные знаки, а автомобиль, движущийся навстречу по нашей полосе движения, детей, играющих на обочине, открытый люк смотрового колдца на проезжей части и кривую в плане малого радиуса, то риск каждого из этих элементов будет иметь свое значение, а энтропия устанавливаться по формуле (9).

В этом случае количество информации, приходящейся на 1 м дороги (бит/м), устанавливают не по формуле (10), а по зависимости

$$b = n \cdot H, \quad (12)$$

а среднее количество информации дорожной обстановки, приходящейся на 1 с, определяют как и в примере по формуле (11).

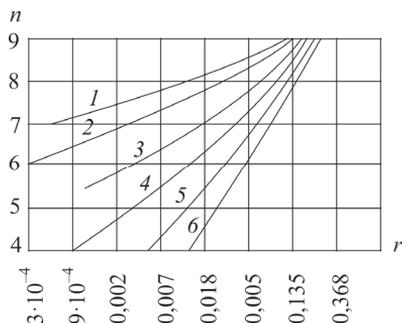


Рис. 1. Зависимость риска потери информации от числа знаков на опасных участках дороги при скорости движения $V = 40$ км/ч: 1 – при коэффициенте вариации $C_v = 0,1$; 2 – при $C_v = 0,15$; 3 – при $C_v = 0,2$; 4 – при $C_v = 0,25$; 5 – при $C_v = 0,3$; 6 – при $C_v = 0,35$

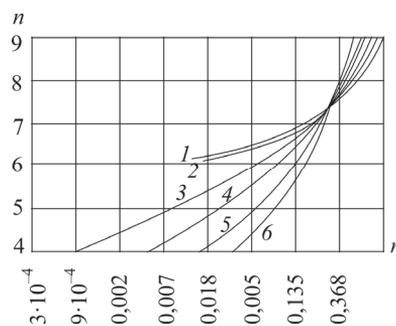


Рис. 2. Зависимость риска потери информации от числа знаков на опасных участках дороги при скорости движения $V = 60$ км/ч. Обозначения цифр кривых те же, что на рис. 1

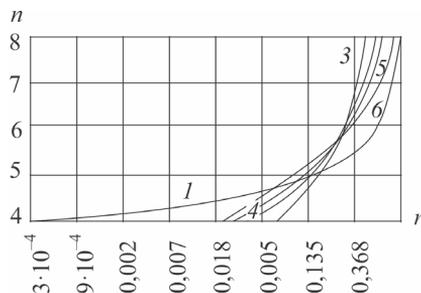


Рис. 3. Зависимость риска потери информации от числа знаков на опасных участках дороги при скорости движения $V = 90$ км/ч. Обозначения цифр кривых те же, что на рис. 1

Выводы

1. Риск потери информации водителем в большой степени зависит как от количества элементов на картинной плоскости (n), так и от коэффициента вариации этих элементов.

2. С увеличением скорости движения риск потери информации водителем при одном и том же количестве знаков возрастает.

3. При высокой однородности элементов на картинной плоскости (см. кривые, соответствующие $C_v^n = 0,1$ на рис. 1–3) и среднем количестве элементов, не превышающем допустимого значения ($n = 8$), риск потери информации водителем невелик только при скорости движения до 40 км/ч (около 0,007). С увеличением скорости движения свыше 40 км/ч число элементов $n = 8$ не является допустимым (как видно по графикам на рис. 2 и 3, при скорости 60 км/ч допустимо устанавливать не более 6 знаков, а при 90 км/ч – не более 4).

4. Величину допустимого риска потери информации водителем следует обосновывать с учетом психофизиологии водителя. Результаты этого обоснования на рис. 1–3 будут зависеть от допустимой скорости движения на данном участке дороги.

Список литературы

1. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963. – 830 с

2. Лобанов Е.М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя. – М.: Транспорт, 1980. – 311 с.

3. Щеголева Н.В. Риск потери информации как обобщенная характеристика водителя при проектировании и эксплуатации автомобильных дорог: дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2006. – 128 с.

4. Применение теории массового обслуживания в проектировании дорог / А.Я. Калужский, И.В. Бегма, В.М. Кисляков, В.В. Филиппов. – М.: Транспорт, 1969. – 136 с.

5. Вероятностные методы в инженерных задачах: справ. / А.Н. Лебедев, М.С. Куприянов, Д.Д. Недосекин, Е.А. Чернявский. – СПб.: Энергоатомиздат (С.-Петербург. отд-ние, 2000. – 333 с.

6. Мишуринов В.М., Романов А.Н. Надежность водителя и безопасность движения. – М.: Транспорт, 1990. – 167 с.

References

1. Shannon K. Raboty po teorii informatsii i kibernetike [Work on information theory and cybernetics]. Moscow: Izdatel'stvo inostrannoi literatury, 1963, 830 p.
2. Lobanov E.M. Proektirovanie dorog i organizatsiia dvizheniia s uchetom psikhofiziologii voditelia [Design of roads and traffic in view of psychophysiology driver]. Moscow: Transport, 1980, 311 p.
3. Shchegoleva N.V. Risk poteri informatsii kak obobshchennaia kharakteristika voditelia pri proektirovanii i ekspluatatsii avtomobil'nykh dorog [The risk of loss of information as a generalized description of the driver in the design and operation of highways]. Thesis of the Ph.D's degree dissertation, Saratov, 2006, 128 p.
4. Kaluzhskii A.Ia., Begma I.V., Kisliakov V.M., Filippov V.V. Prime-nenie teorii massovogo obsluzhivaniia v proektirovanii dorog [Application of queuing theory in the design of roads]. Moscow: Transport, 1969, 136 p.
5. Lebedev A.N., Kupriianov M.S., Nedosekin D.D., Cherniavskii E.A. Veroiatnostnye metody v inzhenernykh zadachakh: Spravochnik. [Probabilistic methods in engineering design: Handbook]. Saint-Petersburg: Energoatomizdat (Sankt-Peterburgskoe otdelenie), 2000, 333 p.
6. Mishurin V.M., Romanov A.N. Nadezhnost' voditelia i bezopasnost' dvizheniia. [Reliability and driver safety]. Moscow: Transport, 1990, 167 p.

Получено 3.12.2014

Сведения об авторах

Щеголева Наталья Вячеславовна (Саратов, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортное строительство» Саратовского государственного технического университета имени Ю.А. Гагарина (410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, e-mail: shegoleva123@mail.ru).

About the authors

Shchegoleva Natal'ia Viacheslavovna (Saratov, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Transport Building, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (77, Politekhnikheskaia st., Saratov, 410054, Russian Federation, e-mail: shegoleva123@mail.ru).