©Т.В. Гавриленко, сайт http://road-project.okis.ru

Материалы Всероссийской конф. «IV Всесибирский конгресс женщин-математиков». Приложение к журналу «Открытое образование». –2006. –С.23-30.

УДК 625.748.6+519.5+001.89

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ВОСПРИЯТИЯ РЕКЛАМНЫХ ЩИТОВ В ПРИДОРОЖНОМ ПРОСТРАНСТВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Т.В. Гавриленко, О.Ю. Антоненко*

Рекламные щиты на дорогах являются одним из элементов дорожного пространства. Оценка восприятия сигналов, поступающих из него к водителю, проводится с помощью анкетирования пользователей автомобильных дорог. В развитие проведенных в период плановой экономики исследований информационного пространства водителя, в анкету были включены вопросы, посвященные восприятию рекламы на дорогах. Степень согласованности ответов опрашиваемых оценивалась по коэффициенту конкордации. Результаты исследований показали, что на рекламную продукцию больше обращают внимание в летний период года. Сенсорное пространство водителя рассматривается как нечеткое множество. Введены лингвистические переменные и построены функции принадлежности.

Автомобильная дорога, состоящая из определенных геометрических элементов, расположенных на фоне ландшафта, представляет собой единую систему, называемую информационным пространством водителя. В процессе движения водитель транспортного средства должен принять и переработать объем информации, состоящей из большого количества зрительных, звуковых и других раздражителей. При этом существует абсолютный порог ощущений, определяемый как минимальная величина раздражителя, действующего на органы чувств водителя [1]. Данные психологов показывают, что человек способен воспринять и переработать не более 16 событий в секунду [2]. Если объем информации или сигналы поступают чаще, а водитель не успевает отреагировать, то происходит пропуск нескольких этапов в процессе зрительного восприятия, недооценка важности сигнала и, соответственно, водитель допускает ошибки при выборе режима движения.

В условиях рыночной экономики появились новые составляющие придорожного пространства – рекламные щиты. Существуют противоречивые мнения о роли рекламной продукции на автомобильных дорогах. Ряд специалистов считает, что наличие рекламных щитов отвлекает водителя от слежения за дорожной обстановкой и приводит к снижению безопасности. Другие, наоборот, утверждают, что в условиях однообразного дорожного пейзажа реклама нарушает монотонность движения, и тем самым способствует концентрации внимания водителя. Результаты наших исследований позволяют, с одной стороны, оценить влияние рекламы на безопасность движения, а с другой – эффективность воздействия дорожных рекламных щитов на потребителей.

Исследования базировались на методе экспертных оценок, который позволяет перевести качественные критериии в количественные показатели значимости анализируемых объектов. Нами был проведен анкетный опрос 33 водителей разного возраста, профессий и стажа вождения, часто пользующимися федеральными дорогами Красноярского края. Анкетирование проводилось дважды: в зимний и летний периоды года. Летом было опрошено 14 водителей, зимой – 19. Данные об экспертах представлены в табл. 1.

В специально разработанной анкете водителям предлагалось оценить по десятибалльной шкале степень привлечения их внимания 10 объектами, в том числе и рекламными щитами, при движении по дороге. В анкете также предлагалось качественно оценить влияние рекламных щитов на безопасность движения по трем позициям: снижает, повышает безопасность движения или не влияет на нее. Результаты опроса по оценке восприятия рекламных щитов на дорогах представлены в табл. 1.

* © О.Ю. Антоненко, Т.В. Гавриленко, Красноярская архитектурно-строительная академия, e-mail: o_antonenko@mail.ru, gavtan@mail.ru.

Далее результаты опроса каждого эксперта были проранжированы, т.е. фактору, набравшему наибольшее количество баллов, присваивался ранг 1. Следующему – ранг 2 и т.д. Факторам, получившим равное количество баллов, присваивались одинаковые ранги.

Таблица 1

Результаты анкетирования водителей

№	Эксперт			Влияние рекламных щитов на безопасность движения	Балл по значимости	Сезон
	Пол	Возраст	Водительский стаж			
1	м	43	15	ухудшает	5	лето
2	м	37	18	не влияет	5	
3	м	52	28	ухудшает	6	
4	м	47	16	ухудшает	6	
5	м	23	5	ухудшает	6	
6	м	54	24	ухудшает	6	
7	м	29	7	не влияет	5	
8	м	22	4	ухудшает	7	
9	м	48	20	ухудшает	6	
10	м	27	8	не влияет	4	
11	м	34	10	ухудшает	5	
12	ж	32	6	ухудшает	5	
13	ж	30	3	не влияет	8	
14	ж	27	2	не влияет	7	
15	м	21	2	ухудшает	1	зима
16	м	20	2,5	ухудшает	4	
17	м	42	20	ухудшает	3	
18	м	31	12	не влияет	1	
19	м	24	2	ухудшает	4	
20	м	27	9	не влияет	6	
21	м	22	6	ухудшает	6	
22	м	31	6	ухудшает	2	
23	м	21	3	ухудшает	3	
24	м	35	15	ухудшает	2	
25	м	35	7	ухудшает	3	
26	м	40	3	не влияет	3	
27	м	45	20	ухудшает	1	
28	м	48	27	ухудшает	2	
29	м	29	10	не влияет	3	
30	ж	28	2	не влияет	9	
31	ж	21	2	не влияет	1	
32	ж	20	2	ухудшает	5	
33	ж	18	1	ухудшает	3	

Оценка согласованности ответов опрашиваемых проводилась с помощью коэффициента конкордации [3, 4]. При применении данной методики список опрашиваемых, рассматриваемых как экспертов, должен составлять от 5 до 15 человек. При этом, если вероятность правильного суждения каждого эксперта равна 0,7, то вероятность того, что все эксперты примут это решение, составляет для группы из 5 человек – 0,525; для группы из 7 человек –

0,647, а из 10 – 0,65. Значит, при возрастании числа экспертов от 7 до 10, вероятность принятия определенного решения всеми увеличивается незначительно.

Коэффициент конкордации вычисляется по формуле

$$W = \frac{12\sum_{i=1}^{m}(S_i - \overline{S}_i)^2}{N^2 \cdot (m^3 - m) - N\sum_{j=1}^{N} T_j}. \qquad (1)$$

Здесь S_i - сумма рангов, присвоенных i-му фактору всеми экспертами; $\overline{S}_i$ - среднее значение для i-го фактора; m – число оцениваемых факторов; N – общее число экспертов.

Параметры S_i, $\overline{S}_i$, T_j определяются по формулам

$$S_i = \sum_{j=1}^{N} R_{ij}, \qquad \overline{S}_i = \frac{\sum_{i=1}^{m} S_i}{m},$$

$$T_j = \sum_{i=1}^{L_j}\left(t_{jl}^3 - t_{jl}\right).$$

Здесь Rij – ранг, присвоенный i-му фактору j-м экспертом; Lj – число групп одинаковых рангов в ранжированном ряду, представленной j-м экспертом; l – порядковый номер группы с совпавшими (равными) рангами; t_{ij} – число равных рангов по j-му эксперту в группе с номером l.

Областью значений коэффициента W является интервал: $0 \le W \le 1$. Если W=1, то имеет место полная согласованность мнений экспертов; если W=0, то имеет место полная несогласованность (противоположность) мнений экспертов. При значении, равном 0,8, степень согласованности мнений опрашиваемых экспертов считается хорошей.

Коэффициент конкордации для летнего периода составил 0,65, для зимнего – всего 0,3. Это говорит о большом разбросе мнений опрошенных, особенно зимой. Вместе с тем, были получены средневзвешенные значения рангов, путем осреднения мнений экспертов по каждому фактору. Результаты анализа анкет представлены в табл. 2.

Таблица 2

Факторы, выделяемые водителями из информационного пространства

№	Фактор	Опрос зимой			Опрос летом		
		Ранг	Средняя оценка	Коэффициент вариации	Ранг	Средняя оценка	Коэффициент вариации
1	Дорожный знак	1	3,47	0,75	1	1,93	0,30
2	Разметка	6	5,45	0,54	2	2,18	0,41
3	Встречные автомобили	3	4,42	0,51	3	4,39	0,57
4	Пересечения и примыкания	5	4,89	0,39	4	5,04	0,34
5	Ограждения	2	4,37	0,64	5	5,11	0,37
6	Элементы ландшафта	4	4,5	0,53	6	5,89	0,33
7	Обгоняющие автомобили	8	6,18	0,46	7	6,68	0,24

8	Указатели	7	6,03	0,38	8	6,86	0,33
9	Рекламные щиты	10	8,26	0,27	9	7,18	0,27
10	Автомобили, стоящие на обочине	9	7,42	0,34	10	9,75	0,04

Коэффициент вариации показывает разброс мнений экспертов по каждому фактору. В таблице также приведены обобщенные значения рангов, расставленных по убыванию средневзвешенных оценок. Несмотря на очень большой разброс мнений водителей, значения обобщенных рангов, присвоенных рассматриваемым факторам, оказались близкими в обоих опросах. Водители в первую очередь обращают внимание на дорожные знаки. Разметка привлекает внимание только в летний период (зимой ее практически не видно). Большое внимание водители уделяют также встречным автомобилям (3 место), пересечениям и примыканиям. Такие факторы, как рекламные щиты на дорогах, и автомобили, стоящие на обочине, не привлекают особого внимания большинства опрошенных водителей.

Ни один из экспертов не отметил положительного воздействия рекламы на безопасность движения. Третья часть опрошенных водителей заявила, что рекламные щиты не влияют на безопасность движения. Соответственно 2/3 респондентов указали на отрицательное воздействие рекламных щитов.

Окружающее водителя пространство, состоящее из множества сигналов, не зависит от восприятия водителя, т.е. является объективным фактором. В нем выделяется некоторое ограниченное подмножество сигналов, реально воспринимаемых водителем. Именно последнее находит отражение у человека и превращается во множество субъективных впечатлений. Оно называется сенсорным пространством. Восприятие и значимость сигналов зависят от индивидуальности человека, его интеллектуальных способностей, национальности, культурного уровня, традиций, условий восприятия, состояния водителя и от его деятельности, т.е. в сенсорном пространстве объем информации значительно меньше, чем в информационном пространстве.

Таким образом, сенсорное пространство непостоянно и для его оценки может быть применена теория нечетких множеств. Она позволяет наилучшим образом структурировать всё то, что разделено не очень точными границами, например, мысль, язык и восприятие у людей. В теории нечетких множеств учитывается возможность постепенного перехода от принадлежности к непринадлежности элемента к множеству [5].

Рекламные щиты являются одним из элементов информационного пространства. Восприятие рекламы водителем, как потребителем рекламной продукции, в лингвистическом описании может быть, например: «крайне положительным», «положительным», «нейтральным», «отрицательным», «крайне отрицательным». Воздействие рекламы на водителя с точки зрения его отвлечения от главной задачи – безопасного движения по автомобильной дороге – может быть описано свойствами: «не влияет на безопасность движения», «слабо влияет», «существенно влияет», «сильно влияет».

Таким образом, в данной задаче выделяются две нечеткости: влияние на безопасность движения и достижение цели рекламодателями. В итоге должны быть обеспечены и безопасность движения, и заинтересованность в потреблении рекламной продукции.

Введем нечеткое множество B, которое определяется как множество упорядоченных пар вида $<x, \mu_B>$, где x является элементом определенного универсального множества U, а μ_B – функция принадлежности x к B, ставящая в соответствие каждому из элементов $x \in U$ определенное действительное число из интервала [0, 1], т.е. эта функция определяется в форме отображения:

$$\mu_B : U \to [0, 1]. \qquad (2)$$

Функция принадлежности μ показывает, в какой мере объект обладает выбранным свойством x. Если $\mu_B=1$, то элемент x однозначно принадлежит нечеткому множеству B, если $\mu_B=0$, то элемент x однозначно не принадлежит нечеткому множеству B. Функция принадлежности может задаваться аналитически в форме математического выражения $f(x)$ или гра-

фически в форме некоторой кривой [5]. Она может быть задана в виде аппроксимационной функции гистограммы, построенной по опытным данным [6, 7].

В самой простой постановке задачи о восприятии рекламы водителем относительно нечеткого множества *B* введем лингвистическую переменную *«Восприятие рекламных щитов водителями»*. Она имеет два значения: «*незначительное*» и «*значительное*». Каждое значение лингвистической переменной характеризуется нечетким подмножеством:

U_1 – нечеткое подмножество состояний сенсорного пространства «Восприятие рекламных щитов значительное» (т.е. водитель реагирует на рекламные щиты);

U_2 – нечеткое подмножество состояний сенсорного пространства «Восприятие рекламных щитов незначительное» (т.е. водитель не реагирует на рекламные щиты).

Эти два подмножества дополняют друг друга, т.е. выполняется свойство

$$B = \{x_1 | \mu_1 + x_2 | \mu_2\}. \qquad (3)$$

При этом $\mu_2 = 1 - \mu_1$.

В табл.3 приведены результаты опроса водителей по оценке степени восприятия рекламных щитов.

Таблица 3

Результаты опроса водителей по восприятию рекламных щитов

Баллы	Зимний опрос		Летний опрос		Суммарные данные	
	Доля ответов	Накопленные доли	Доля ответов	Накопленные доли	Доля ответов	Накопленные доли
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	0,2105	0,2105	0,0	0,0	0,1212	0,1212
2	0,1579	0,3684	0,0	0,0	0,0909	0,2121
3	0,3158	0,6842	0,0	0,0	0,1818	0,3939
4	0,1053	0,7895	0,0714	0,0714	0,0909	0,4848
5	0,0526	0,8421	0,3571	0,4286	0,1818	0,6667
6	0,1053	0,9474	0,3571	0,7857	0,2121	0,8788
7	0,0000	0,9474	0,1429	0,9286	0,0606	0,9394
8	0,0000	0,9474	0,0714	1,0	0,0303	0,9697
9	0,0526	1,0	0,0	1,0	0,0303	1,0000
10	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0000	1,0000

Анализируя распределения ответов по степени привлечения внимания водителей рекламными щитами (баллов по значимости), можно построить кривые, соответствующие определенным реакциям водителей на рекламные щиты.

На рис. 1 и 2 приведены гистограммы результатов опроса для лета и зимы соответственно. На рис. 3 показана суммарная гистограмма, включающая результаты опроса всех 33 респондентов. По оси абсцисс отложены баллы, в которых оценивалось восприятие рекламы водителями, по оси ординат – накопленные доли ответов экспертов, проставивших соответствующий балл.

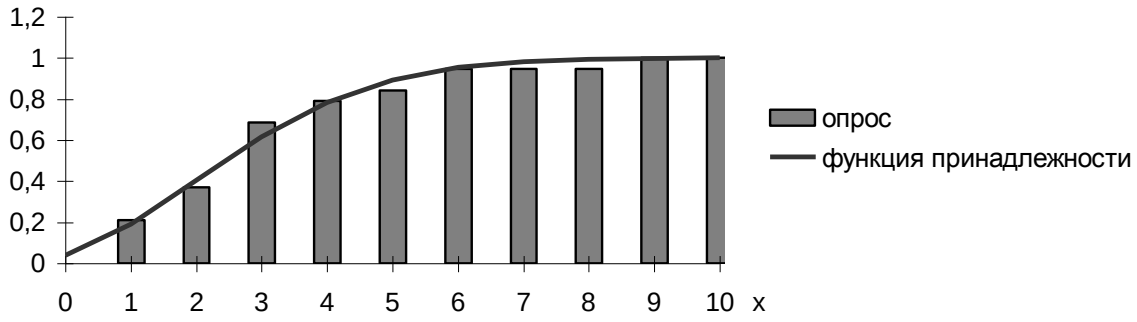

Рис.1. Накопленные доли ответов водителей по баллам,
опрошенных зимой, и график функции принадлежности

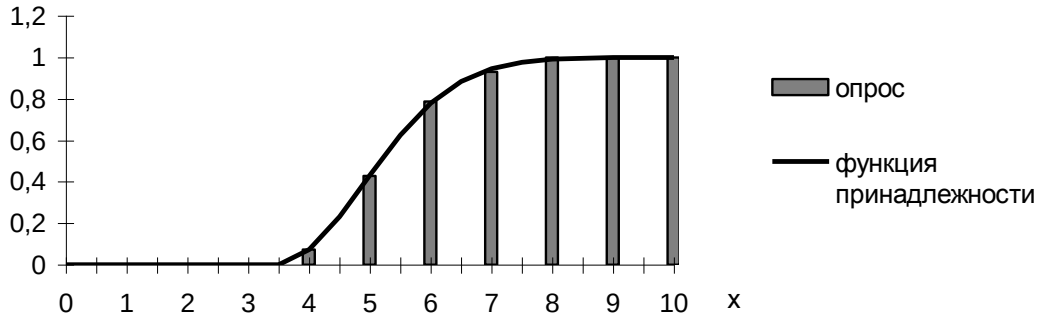

Рис.2. Распределение ответов респондентов по баллам,
опрошенных летом и график функции принадлежности

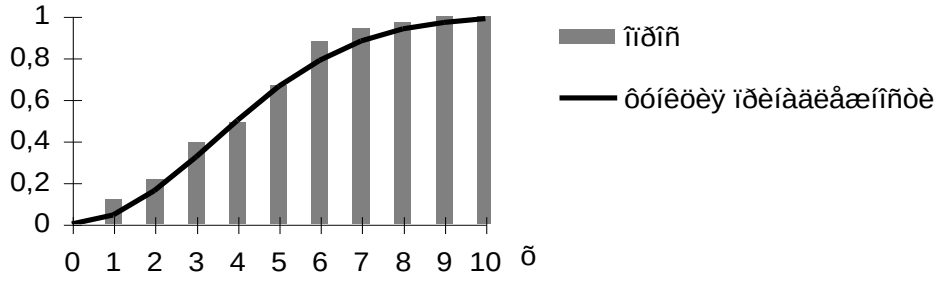

Рис. 3. Распределение ответов респондентов по баллам для всей
совокупности ответов и график функции принадлежности

Построенные гистограммы можно аппроксимировать выпукло-вогнутой кривой вида:

$$f(x,a,b)=\begin{cases}0, & \text{при} \quad x>a \\ 1-e^{-b\cdot(x-a)^2}, & \text{при} \quad x\geq a\end{cases}, \qquad (4)$$

где a и b – соответствующие коэффициенты, удовлетворяющие условиям: $0\leq x\leq a$, $b>0$ [5].

Коэффициенты a и b определяются по методу наименьших квадратов [8]. В этом случае сумма квадратов отклонений экспериментальных точек, т.е. ответов водителей, $f_C(x_i)$ от сглаживающей кривой $f(x_i,a,b)$ обращается в минимум:

$$\sum_{i=1}^{n}\left[f_C(x_i)-f(x_i,a,b)\right]^2 \to \min. \qquad (5)$$

Сначала задаются грубые значения искомых параметров a_0, b_0,, а затем производится их уточнение, т.е. находятся поправки Δa, Δb:

$$\begin{cases} a = a_0 + \Delta a \\ b = b_0 + \Delta b \end{cases}. \qquad (6)$$

Погрешности определения поправок – невязки определяются по зависимости

$$\varepsilon_i = y_i - \left(1 - e^{-b\cdot(x-a)^2}\right), \qquad i = 1,2,\ldots,n. \qquad (7)$$

Грубое значение параметра a_0 вычислялось по формуле $a_0 = (x_i - x_{i-1})/2$ для значения i, при котором $y_{i-1}=0$, а $y_i>0$. Грубое значение параметра b_0 определялось по зависимости $b_0 = \dfrac{\ln(1-y_i)}{(x_i-a_0)^2}$, для минимального значения i, при котором $y_i \geq 0{,}5$.

Система условных уравнений для поправок решалась методом Зейделя [9]. Коэффициенты функции (4) уточнялись до тех пор, пока среднеквадратическая погрешность

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(y(x_i)-f(x_i,a,b)\right)^2}{n}} \qquad (8)$$

не стала минимальной.

Значения коэффициентов и относительной погрешности приведены в табл. 4.

Таблица 4

Характеристики функции принадлежности

Вид данных	Коэффициенты		Среднеквадратическая погрешность	z
	a	b		
Зимний опрос (рис. 1)	-0,7793	0,0671	0,0374	6,36
Летний опрос (рис. 2)	3,42	0,2266	0,0064	7,67
Объединенные данные (рис. 3)	0,0	0,0432	0,0382	6,98

Полученная аналитическая зависимость может быть использована в качестве функции принадлежности к нечеткому подмножеству U_1, т.е. $\mu_1=f(x,a,b)$. Тогда функция принадлежности к нечеткому множеству U_2 вычислится по зависимости $\mu_2=1-f(x,a,b)$.

Для того, чтобы получить обычные количественные значения нечеткой переменной с соответствующими расчетными достоверностями («весами» на множестве гипотез) и использовать их далее при стохастическом моделировании, можно осуществить процедуру дефазификации, суть которой – приведение значений нечеткой переменной к обычным четким значениям [10]. Среди методов дефазификации выделяется метод «центра тяжести». Согласно этому методу рассчитывается центр тяжести (центроид) площади, охваченной функцией принадлежности:

$$z = \frac{\int_{Min}^{Max} x \cdot \mu(x)dx}{\int_{Min}^{Max} \mu(x)dx}, \qquad (9)$$

где z – четкая переменная, x – нечеткая переменная, Min, Max – границы интервала носителя нечеткого множества лингвистической переменной. В нашем случае переменная z соответствует баллу.

Результаты расчетов, выполненные по формуле (9), приведены в таблице 4. Полученные значения баллов оценивают степень восприятия рекламы водителем с учетом нечеткости и субъективности исходных данных.

В заключении могут быть сделаны следующие выводы:

1. Опрос показал, что зимой наблюдается больший разброс ответов водителей. По нашему мнению, сенсорное пространство водителя в зимнее время концентрируется на технических параметрах автомобиля, связанных с экстремальными погодными условиями. Все предметы и сигналы, попадающие в информационное пространство, воспринимаются, скорее всего, как второстепенные с точки зрения личной безопасности.
2. Водители, участвовавшие в опросе в летний период, придают большую значимость рекламным щитам по сравнению с опросом в зимний период, несмотря на то, что зимой рекламные щиты выделяются на фоне однообразного снежного пейзажа.
3. Построенные аппроксимирующие функции могут быть применены для оценки места рекламы в сенсорном пространстве водителя, рассматриваемого как нечеткое множество.

Список литературы

1. Иванов В.Н. *Основы безопасного вождения*.– М.: Профиздат, 2005.– С. 95.
2. Залуга В.П. *Знаки и указатели на автомобильных дорогах* / В.П. Залуга, С.К. Кашкин. – М.: Транспорт, 1974. – С. 128.
3. *Эксперт: Деловая игра для студентов специальности 061100 – «Менеджмент»* / Сост. Ю.В. Булгаков Красноярск: КрасГАСА, 1998. – С. 24.
4. Добров Г.М. *Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании* /Г.М. Добров, Ю.В. Ершов, Е.И Левин, Л.П. Смирнов. – Киев: Наукова думка, 1974. – С. 160.
5. Кофман, А. *Введение в теорию нечетких множеств*. – М.: Радио и связь, 1982.
6. Копьева Е.В. *Случайные и нечеткие множества в маркетинговых исследованиях* // Труды Второй Всероссийской ФАМ’2003 конференции. – Красноярск: ИВМ СО РАН, 2003. – Ч.1. – С.170-183.
7. Симонов К.В. *Исследование состояния сложного объекта на основе нечетких множеств* / К.В. Симонов, В.А. Шмидт. // Труды Второй Всероссийской ФАМ’2003 конференции. – Ч.2. – Красноярск: ИВМ СО РАН, 2003. – С.173-180.
8. Демидович Б.П. *Численные методы анализа* / Б.П. Демидович, И.А. Марон, Э.З. Шувалова. – М.: Наука, 1967. – С. 368.
9. Демидович Б.П. *Основы вычислительной математики* / Б.П. Демидович, И.А. Марон. – М.: Наука, 1970. – С. 664.
10. Леоненков А.В. *Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH*. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – С.736.

EXPERT ESTIMATION OF PERCEPTION OF PUBLICITY BOARDS IN ROADSIDE SPACE WITH USE OF THE FUZZY-SET THEORY

T. Gavrilenko, O. Antonenko

The advertising along a road is an element of road space. The perception of signals was estimated by the questionnaire. The degree of a coordination of the answers was estimated on concordaion coefficient. The results of research have shown, that advertising production is more often claimed by summer. The allocated of the roadside space do driver is considered as fuzzy set. Are entered linguistic variable and the functions of an accessory are constructed.