

УДК 656.021; 519.246

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В Г. ВОЛГОГРАДЕ НА ОСНОВЕ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Исаев А.Н., Кривоспиченко С.А., Чигиринская Н.В., Андреева М.И.

*ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет»,
Волгоград, e-mail: NVTchi@yandex.ru*

В статье выполнен анализ интенсивности дорожно-транспортных происшествий на регулируемом перекрестке города Волгограда. Представлена авторская методология исследования с обоснованием методов исследования. Обоснован выбор управляющих факторов на основе статистики ГИБДД и мнений экспертов. На основе метода ранговой корреляции установлено распределение наиболее значимых для безопасности движения факторов. Учтены и устранены интеркоррелируемые и слабо связанные с целевой функцией факторы. Устранены возможные ошибки моделирования, связанные с размерностью факторов. Для этого было проведено нормирование факторов и целевой функции. Представлено обобщение и математическая обработка результатов собственных наблюдений авторов. Обосновано, что безопасность движения на российских дорогах в основном отражает ненадлежащее поведение основных участников процесса. Приведены практические рекомендации относительно применения методов математической статистики для отбора управляющих факторов, построения регрессионных моделей и прогнозирования безопасности дорожного движения.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, травматизм пешеходов, статистика ГИБДД, непосредственные наблюдения, «трехпроцентный барьер», значимые факторы безопасности, метод ранговой корреляции, метод экспертных оценок, коэффициент конкордации Кэнделла, интеркорреляция факторов, нормирование, линейная полиномиальная модель, коэффициент множественной регрессии, оценка достоверности модели

REGRESSION MODELS FOR ANALYSIS THE ROAD SAFETY IN VOLGOGRAD

Isaev A.N., Krivospichenko S.A., Chigirinskaya N.V., Andreeva M.I.

Volgograd State Technical University, Volgograd, e-mail: NVTchi@yandex.ru

In this paper the analysis of the intensity of traffic accidents on a regulated intersection in the city of Volgograd. Presents the author's research methodology rationale methods. The choice of control factors on the basis of traffic statistics, and expert opinion. It is established the distribution significance of the most important for traffic safety factors, based on the method of rank correlation (method of expert evaluations). The interrelated factors or factors, which are weakly related with the target function, are excluded from consideration. Fixed possible errors modeling related to the dimension of factors. This was achieved through normalization factors and the objective function. Are presented a generalization and mathematical processing of the results of our observations. It is substantiated that the traffic safety on the roads of Russia, mainly reflects the improper behavior of the main actors. Provides practical advice on the application of methods of mathematical statistics for selection of control factors, build regression models and forecasting of road safety.

Keywords: traffic safety, injury to pedestrians, traffic statistics, direct observation, «the barrier of three percent», significant factor, rank correlation method, expert estimations method, the coefficient of concordance, interrelated factors, standardization, linear polynomial model, the coefficient of multivariate regression, estimation reliability model

По российскому законодательству [1] «...безопасность дорожного движения – состояние данного процесса, отражающее степень защищенности его участников от дорожно-транспортных происшествий и их последствий...». Дорожно-транспортным происшествием называют [1] «...событие, возникшее в процессе движения по дороге транспортного средства и с его участием, при котором погибли или ранены люди, повреждены транспортные средства, сооружения, грузы, либо причинен иной материальный ущерб...». То есть исключаются, например, происшествия с участием только пешеходов.

Целью настоящего исследования является моделирование состояния безопасности дорожного движения.

На начальном этапе (табл. 1) исследований было проведено анкетирование студентов старших курсов факультета автомобильного транспорта – всего 30 участников. Большинство участников опроса в качестве функции отклика – показателя, определяющего безопасность движения – назвали дорожно-транспортный травматизм. Он и явился целевой функцией (отклика) в нашем исследовании.

На рис. 1 показано частотное распределение факторов – объясняющих переменных. При построении частотной выборки применялся так называемый, «трехпроцентный барьер». В итоге были отобраны 5 факторов, в наибольшей степени, по мнению респондентов, влияющие на динамику травматизма в результате ДТП:

Φ_1 – среднесуточная интенсивность движения транспортных средств по магистрали (авто./сут);

Φ_2 – интенсивность движения пешеходов на магистрали в час пик (чел./ч);

Φ_3 – общее количество дорожно-транспортных происшествий на магистрали;

Φ_4 – количество ДТП на магистрали с участием пешеходов;

Φ_5 – количество нарушений на перекрестке, совершенных пешеходами.

Таблица 1

Методы исследования

Этап исследований		Применяемые методы
1.	Определение функции отклика, определяющей состояние безопасности движения	Анкетирование, ранговая корреляция, частотный анализ
2.	Предварительное определение общего перечня факторов, влияющих на функцию отклика	
3.	Уточнение общего перечня факторов, влияющих на функцию отклика	Корреляционный анализ
4.	Исключение из общего перечня взаимозависимых факторов	
5.	Сбор экспериментальных данных	Прямые непосредственные наблюдения в естественных условиях
6.	Предварительная обработка результатов экспериментальных исследований	Оценка достоверности данных. Оценка репрезентативности выборки, нормирование данных
7.	Количественная оценка степени влияния факторов на функцию отклика	Построение регрессионной модели

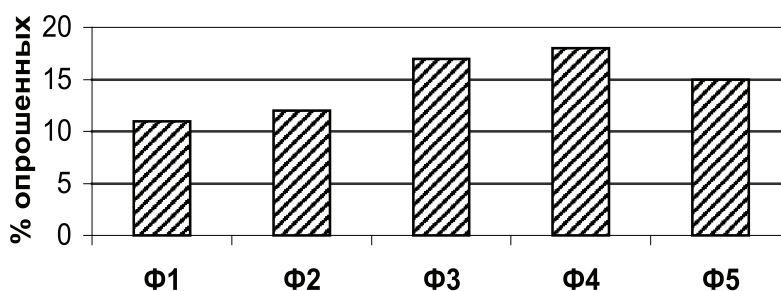


Рис. 1. Предварительный перечень факторов по результатам анкетирования

После устранения разночтений в формулировках объясняющих переменных перечень был предложен участникам анкетирования в качестве основы для ранжирования – с целью предварительной оценки

степени влияния факторов на функцию отклика. Ранжирование проведено методом ранговой корреляции [2, 3]. Общий вид таблицы экспертных оценок представлен в табл. 2.

Таблица 2

Экспертные оценки

Эксперт	Факторы					Сумма рангов
	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5	
1	4	5	2	1	3	15
2	2	1	4	3	5	15
...						
29	5	3	2	1	4	15
30	5	4	1	2	3	15
Сумма рангов	117	108	73	61	91	90
Ранг фактора	5	4	2	1	3	
Квадраты фактических отклонений	729	324	289	841	1	436,8

Приведем условные обозначения в расчетных формулах:

- n – количество рассматриваемых факторов;
- m – количество экспертов;
- j – порядковый номер рассматриваемого фактора, $j \in [1; n]$;
- x_{ij} – ранг j -го фактора, присвоенный i -м экспертом.

По значениям в строке «Сумма рангов» (1) рассчитали фактические ранги факторов по совокупному мнению экспертов – наибольшая значимость установлена для факторов, определяемых нарушениями правил дорожного движения, совершенными пешеходами.

Полученные значения являются приближенными и поэтому требуют оценки достоверности, которая выполняется в два этапа:

- рассчитываем коэффициент согласования (5) мнений экспертов (коэффициент конкордации Кэндалла), показывающий

$$\chi^2 = W \cdot m \cdot (n - 1) = 0,243 \cdot 30 \cdot (5 - 1) = 29,16 > \chi^2_{\text{табл}}(1 - 0,95; n - 1) = 9,4.$$

С учетом статистической достаточности выводов, сделанных экспертами в отношении значимости выбранных факторов, проведены экспериментальные исследования. Исследование охватывает временной период с января 2010 г. по июнь 2014 г. Данные по факторам $\Phi_1 \dots \Phi_4$ за весь период получены в результате анализа официальных документов ОГАИ ГИБДД по Тракторозаводскому району г. Волгограда. Экспериментальные данные в отношении фактора Φ_5 за период с февраля 2014 г. по июнь 2014 г. получены в результате прямых непосредственных наблюдений за до-

степень доверия к результатам ранжирования факторов;

- проверяем гипотезу о достаточной согласованности мнений экспертов, для чего расчетное значение критерия χ^2 сравниваем с табличным $\chi^2_{\text{табл}}(1 - \alpha; n - 1)$ при заданной доверительной вероятности α и числе степеней свободы $n - 1$.

В результате обработки экспертных оценок (табл. 1) получено следующее заключение:

- по степени значимости рассматриваемые факторы расположены в последовательности: $\Phi_4, \Phi_3, \Phi_5, \Phi_2, \Phi_1$;
- коэффициент конкордации Кэндалла

$$W = \frac{D}{D_{\text{max}}} = \frac{12 \cdot \sum_{j=1}^n (A_j - \bar{A})^2}{m^2 \cdot (n^3 - n)} = 0,243;$$

- оценка экспертов является достаточной с вероятностью не ниже 0,95, поскольку

рожной ситуацией на определенном перекрестке. Наблюдения выполнялись двумя независимыми исследователями в течение 5 месяцев по 14...18 дней ежемесячно по 2...6 часов в сутки. Для повышения объективности календарные дни и время суток, в которые проводились наблюдения, менялись произвольно. Результаты наблюдения за каждый месяц усреднялись. Достоверность средних значений за период прямых непосредственных наблюдений, определенная по критерию Стьюдента, составила не менее 98% с учетом объемов статистических выборок не менее 35 наблюдений.

Таблица 3

Усредненные результаты экспериментов

Период	Травматизм	Интенсивн. движения ТС (авт./сут)	Интенсивн. движения пешеходов (чел./ч)	Кол-во ДТП	Кол-во ДТП с участием пешеходов	Кол-во нарушений ПДД пешеходами
	R	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	Φ_5
01.2010	2	40367	7984	2	1	6
02.2010	1	42583	8015	1	0	4
		...				
12.2012	4	45256	11328	4	3	6
		...				
05.2014	3	48756	9837	3	1	5
06.2014	2	49564	10602	2	1	7

Усредненные значения, полученные в результате статистической обработки данных прямых непосредственных на-

блюдений, несущественно отличаются от сведений, приведенных в официальной документации за тот же временной период.

Это позволило нам использовать официальные данные (фактор Φ_5) за период с февраля 2014 г. по январь 2014 г. в качестве исходных данных для построения регрессионных моделей. Общий массив (табл. 3) исходных данных включает усредненные результаты 54 экспериментов, что образует выборку, репрезентативность которой достаточна для построения линейной [2, 3, 4] пятифакторной ($54 > 2^5 = 32$) регрессионной модели.

Для уточнения списка объясняющих переменных определим (1, 2) коэффициенты корреляции (табл. 4):

коэффициент корреляции «фактор – функция»

$$r_{\Phi_j R} = \frac{\sum_{i=1}^k (\Phi_{ij} - \bar{\Phi}_j) \cdot (R_i - \bar{R})}{k \cdot \sigma_{\Phi_j} \cdot \sigma_R}; \quad (1)$$

коэффициент интеркорреляции факторов

$$r_{\Phi_j \Phi_z} = \frac{\sum_{i=1}^k (\Phi_{ij} - \bar{\Phi}_j) \cdot (\Phi_{iz} - \bar{\Phi}_z)}{k \cdot \sigma_{\Phi_j} \cdot \sigma_{\Phi_z}}. \quad (2)$$

Поскольку коэффициенты интеркорреляции (2) факторов достаточно малы ($< 0,7$), можно говорить о слабом взаимном влиянии и, следовательно, о взаимной независимости объясняющих переменных, что позволяет включить все факторы в ре-

грессионную модель. Вместе с тем малые значения (табл. 3) коэффициентов корреляции «фактор – функция» (1) для факторов Φ_1 и Φ_2 практически означают отсутствие линейной зависимости функции отклика от этих факторов, поэтому при построении модели мы рассматриваем факторы Φ_3, Φ_4, Φ_5 .

Таблица 4
Корреляция и интеркорреляция

Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	Φ_5	
0,029	0,016	0,934	0,733	0,347	R
	0,724	0,032	0,007	0,081	Φ_1
		0,055	0,040	-0,030	Φ_2
			0,429	0,360	Φ_3
				0,623	Φ_4

Ранее [4, 5] мы обсуждали вопросы, связанные с корректностью построения и возможностью математического анализа регрессионных моделей, в частности, с так называемыми условиями Гаусса – Маркова. Для обеспечения выполнения комплекса условий в отношении ортогональности и ротатабельности исходных данных, выполним их нормирование [3, 4]. Фрагмент массива нормированных исходных данных и результаты моделирования приведены в следующей таблице (табл. 5).

Таблица 5
Результаты моделирования (нормированные величины)

№ п/п	Y (норма R)	X ₃ (норма Φ_3)	X ₄ (норма Φ_4)	X ₅ (норма Φ_5)	
1	-0,20	-0,20	-0,33	0,14	
...					
54	0,20	-0,20	-0,33	0,14	
Результаты моделирования					
Коэфф. регрессии	a_j	0,08	0,66	0,85	0,14
Критерий Стьюдента	t_j	0,1525	1,2626	1,6153	0,2624

Из представленных (рис. 2) графиков видно, что поведение прогнозной линии идентично экспериментальным данным,

следовательно, модель соответствует реальному процессу.

Проверка адекватности модели по критерию Фишера при $\alpha = 0,9$

$$F_{\text{мод}} = \left(\frac{\sigma_{\text{эксп}}}{\sigma_{\text{мод}}} \right)^2 = \frac{\sum_{i=1}^z (R_i^{\text{эксп}} - \bar{R})^2}{\sum_{i=1}^z (R_i^{\text{эксп}} - R_i^{\text{мод}})^2} = 1,816 > F_{1-\alpha}(z-1; z-1) = 1,426$$

показала, что модель достаточно полно отражает закономерности моделируемого процесса.

На основании проведенного нами регрессионного моделирования можно сделать следующие выводы:

1) линейная полиномиальная модель адекватно описывает моделируемый про-

цесс безопасности дорожного движения в г. Волгограде;

2) проведенный авторами предварительный опрос экспертов о наиболее значимых факторах, влияющих на безопасность движения, вполне согласуется с ранжированием факторов, представленных в модели;

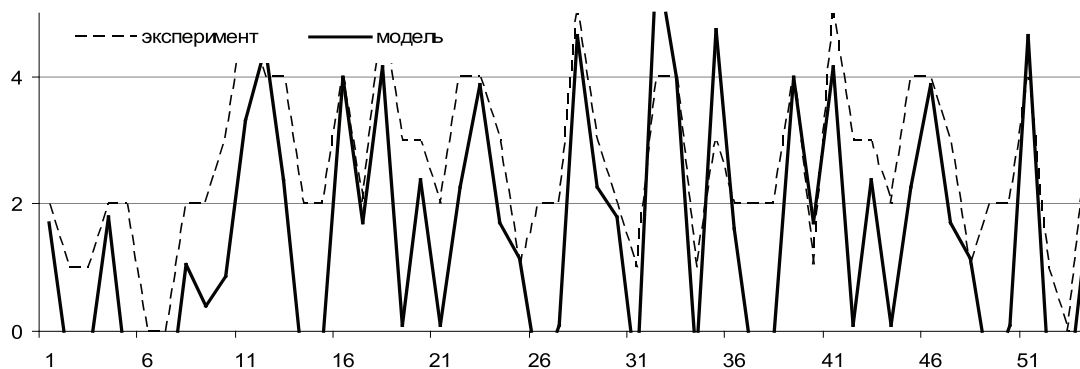


Рис. 2. Сравнение экспериментальных данных и результатов моделирования

3) руководству ГИБДД необходимо уделить особое внимание поведению пешеходов на автомагистрали и провести мероприятия, способствующие снижению общего количества дорожно-транспортных происшествий.

Список литературы

1. О безопасности дорожного движения: Федеральный закон от 10 декабря 1995 г. № 196-ФЗ с изменениями от 28 декабря 2013 г. № 437-ФЗ.
2. Чигиринская Н.В. Математическое моделирование в экономике: учеб. пособие / Н.В. Чигиринская, ВолгГТУ. – Волгоград: РПК «Политехник», 2006. – 68 с.
3. Чигиринский Ю.Л. Стохастическое моделирование в машиностроении: учеб. пособие / Ю.Л. Чигиринский, Н.В. Чигиринская, Ю.М. Быков; ВолгГТУ. – Волгоград: РПК «Политехник», 2002. – 68 с.
4. Чигиринский Ю.Л. Особенности применения табличного процессора для построения многофакторных регрессионных моделей / Ю.Л. Чигиринский, Н.В. Чигиринская // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сб. науч. тр. XI междунар. науч.-практ. конф. (19–21 марта 2014 г.). В 4 т. Т. 4 / Юго-Западный гос. ун-т, Московский гос. технол. ун-т «Станкин», Тульский гос. ун-т [и др.]. – Курск, 2014. – С. 315–319.
5. Чигиринский Ю.Л. Структура электронной таблицы для построения многофакторных регрессионных моделей / Ю.Л. Чигиринский, Н.В. Чигиринская, Л.А. Качалова // Изв. ВолгГТУ. Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». Вып. 11: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – № 8. – С. 39–41.

References

1. About Road Safety: Federal law dated with 1995/12/10, no. 196-FZ, amended with 2013/12/28, no. 437-FZ.

2. Chigirinskaya N.V. Mathematical Modelling in Economics: tutorial / N. V. Chigirinskaya; Volgograd State Technical University. Volgograd: Publisher & Printing Complex «Polytechnic», 2002. 68 p.

3. Tchigirinsky Ju.L. Stochastic Modelling in Engineering: tutorial / Ju.L. Tchigirinsky, N.V. Chigirinskaya, Yu.M. Bykov; Volgograd State Technical University. Volgograd: Publisher & Printing Complex «Polytechnic», 2006. 68 p.

4. Tchigirinsky Ju.L. Especially of usage the spreadsheet to multivariate regression modeling / Ju.L. Tchigirinsky, N.V. Chigirinskaya // Modern tool systems, information technology and innovation: proceedings of XI Int. Conf. (19–21 March 2014). Vol. 4 / Southwestern State University, Moscow State Technological University «Stankin», Tula State University [and other]. Kursk, 2014. pp. 315–319.

5. Tchigirinsky Ju.L. Spreadsheet structure to multivariate regression modeling / Ju.L. Tchigirinsky, N.V. Chigirinskaya, L.A. Kachalova // Bulletin of Volgograd State Technical University. Series of «Progressive technologies in mechanical engineering». 2014. Vol. 11, no. 8. pp. 39–41.

Рецензенты:

Мартынов В.В., д.т.н., профессор кафедры «Проектирование технических и технологических комплексов», ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.», г. Саратов;

Рогачев А.Ф., д.э.н., профессор, зав. кафедрой «Математическое моделирование и информатика», ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет», г. Волгоград.

Работа поступила в редакцию 26.12.2014.