УДК 625.76.096

© И. Н. Пугачев, д-р техн. наук, доцент
(Тихоокеанский государственный университет,
Хабаровск, Россия)

E-mail: ipugachev64@mail.ru

© Н. Г. Шешера, канд. техн. наук
(Дальневосточный юридический
институт МВД России,
Хабаровск, Россия)

E-mail: kolyaka239@mail.ru

© В. И. Щеглов, аспирант
(Тихоокеанский государственный университет,
Хабаровск, Россия)

E-mail: sheglov-valentin@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-3-127-133

© I. N. Pugachev, Dr. Sci. Tech., Associate Professor
(Pacific State University,
Khabarovsk, Russia)

E-mail: ipugachev64@mail.ru

© N. G. Sheshera, PhD in Sci. Tech.
(Far Eastern Law Institute
of the Ministry of Internal Affairs of Russia,
Khabarovsk, Russia)

E-mail: kolyaka239@mail.ru

© V. I. Shcheglov, post-graduate student
(Pacific State University,
Khabarovsk, Russia)

E-mail: sheglov-valentin@mail.ru

АНАЛИЗ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДОРОГ С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ОЦЕНКЕ ИХ АВАРИЙНОСТИ

ANALYSIS OF GEOMETRIC ELEMENTS OF ROADS WHEN ASSESSING THEIR ACCIDENT RATE BY MEANS OF MODERN GEOINFORMATIONAL SYSTEMS

Предложена форма сбора информации о геометрических элементах дорог при оценке их аварийности, которая, помимо точности значений, имеет наименьший уровень трудовых и финансовых затрат, что способствует внедрению в деятельность дорожных служб принципов оценки дорог по «Методике коэффициентов аварийности» профессора В. Ф. Бабкова. При этом для установления очередности перестройки опасных участков предложено дополнительно учитывать тяжесть ДТП с помощью разработанных авторами поправочных коэффициентов.

Ключевые слова: коэффициенты аварийности, коэффициенты тяжести ДТП, геометрические элементы дорог, геоинформационные системы.

A form is proposed for collecting information about the geometric elements of roads when assessing their accident rate, which, in addition to the accuracy of the values, has the lowest level of labor and financial costs. This contributes to the implementation of the road assessment principles in the activities of road services according to the «Method of accident rates» worked out by Professor V. F. Babkov. Herewith, in order to establish the sequence of restructuring hazardous areas, it is proposed to additionally take into account the severity of accidents by means of the correction factors developed by the authors.

Keywords: accident rates, road traffic accident severity factors, geometric elements of roads, geoinformational systems.

В 1970-х годах профессором В. Ф. Бабковым была разработана «Методика коэффициентов аварийности», которая на основе характеристик улично-дорожной сети (УДС) позволяет прогнозировать вероятность аварийности на рассматриваемом участке [1]. Изучая закономерности происхождения ДТП, В. Ф. Бабков определил значимые факторы УДС, к которым позже присвоил коэффициенты их влияния на

аварийность. Всего вышло 18 коэффициентов, основанных на результатах анализа статистических данных о ДТП и характеризующих влияние на безопасность движения параметров дорог и улиц в плане, поперечном и продольном профилях, элементов обустройства, интенсивности движения, состояния покрытия.

С ростом автомобилизации населения проблема аварийности становилась острее, и в за-

висимости от потребностей общества «Методика коэффициентов аварийности» дополнялась. Каждое обновление сопровождалось большим количеством полевых исследований, изысканий, лабораторных работ [2].

С развитием информационно-телекоммуникационных сетей появилась возможность анализировать характеристики УДС с использованием вычислительных технологий, в том числе геоинформационных сетей и системы глобального позиционирования.

Используя современные технологии, было получено и обработано большое количество статистических данных о ДТП с пострадавшими и без них. Два этих вида событий были сравнены между собой в программном продукте Statistica 6.0, в результате была обнаружена устойчивая зависимость случаев ДТП с травматизмом от некоторых характеристик УДС (рис. 1), определено девять коэффициентов к ним и пороговое значение вероятности возникновения травматизма, равное 2,09 с достоверностью 70 % (рис. 2), и «Методика коэффициентов аварийности» была дополнена поправочными коэффициентами тяжести [2, 3].

На сегодняшний день при оценке безопасности дорожного движения с использованием «Методики коэффициентов аварийности» имеется возможность определять общую аварийность для разных регионов, с индивидуальным подходом к климатическим особенностям

и рельефу местности, уровню экономических потерь и вероятности возникновения травматизма при ДТП. При этом необходимы достоверные исходные данные о геометрических элементах дороги и факторах УДС. Их получение связано с натурными исследованиями и, соответственно, с большими трудозатратами [4].

С помощью современных геоинформационных систем, созданных с использованием высокоточного оборудования спутников Земли, для анализа по «Методике коэффициентов аварийности» появилась возможность с минимумом трудозатрат измерять такие показатели УДС, как длина участка, радиус кривых, длина кривой, продольный уклон и т. д. [5–7].

Для определения продольного уклона необходимо знать высотные отметки поверхности дороги, которые получают путем нивелирования. В программе Google Earth Pro эти данные были получены со спутников Земли (рис. 3, 4).

Продольный уклон рассчитывается по формуле

$$i = \frac{H}{l} 1000, \quad (1)$$

где H — разность высоты между двумя точками, м; l — расстояние между этими точками, м.

Для определения радиуса кривой в плане достаточно знать длину хорды L и высоту сегмента h (рис. 5).

Современные информационные телекоммуникационные сети позволяют получить карто-

Model: Logistic regression (logit) N of 0's: 281 1's: 33 (Sheet1 in расчёт1 без заголовков)

Dep. var: Var210 Loss: Max likelihood (MS-err. scaled to 1)

Final loss: 83.486028323 Chi²(13)=44.122 p=0.00003

	Const.B0	Var11	Var30	Var41	Var69	Var99	Var100	Var103	Var115	Var137	Var145	Var162	Var167	Var206
Estimate	-3.84068	-0.16976	1.03887	2.7971	1.293403	0.04264	-0.50686	1.52732	0.684502	1.070527	0.423336	-0.05152	1.60187	2.27947
Standard Error	0.67176	0.56092	0.80108	1.0228	0.499456	0.72616	1.15708	1.26803	0.508967	0.540031	0.507405	0.50084	0.72775	0.85196
t(300)	-5.71733	-0.30264	1.29684	2.7348	2.589626	0.05872	-0.43805	1.20448	1.344883	1.982343	0.834316	-0.10287	2.20112	2.67557
p-level	0.00000	0.76237	0.19568	0.0066	0.010077	0.95321	0.66167	0.22935	0.179679	0.048353	0.404767	0.91814	0.02849	0.00787
-95%CL	-5.16264	-1.27360	-0.53758	0.7844	0.310523	-1.38637	-2.78389	-0.96804	-0.317097	0.007798	-0.575187	-1.03713	0.16973	0.60290
+95%CL	-2.51872	0.93409	2.61532	4.8099	2.276284	1.47166	1.77017	4.02267	1.686100	2.133256	1.421860	0.93409	3.03401	3.95604
Wald's Chi-square	32.68782	0.09159	1.68179	7.4790	6.706161	0.00345	0.19189	1.45077	1.808711	3.929682	0.696083	0.01058	4.84494	7.15868
p-level	0.00000	0.76217	0.19470	0.0062	0.009612	0.95317	0.66135	0.22841	0.178672	0.047449	0.404109	0.91807	0.02773	0.00746
Odds ratio (unit ch)	0.02148	0.84387	2.82603	16.3974	3.645171	1.04356	0.60238	4.60580	1.982783	2.916916	1.527047	0.94978	4.96229	9.77149
-95%CL	0.00573	0.27982	0.58416	2.1910	1.364138	0.24998	0.06180	0.37983	0.728260	1.007828	0.562599	0.35447	1.18498	1.82742
+95%CL	0.08056	2.54488	13.67163	122.7180	9.740413	4.35645	5.87185	55.85022	5.398385	8.442312	4.144821	2.54490	20.78039	52.24979
Odds ratio (range)		0.84387	2.82603	16.3974	3.645171	1.04356	0.60238	4.60580	1.982783	2.916916	1.527047	0.94978	4.96229	9.77149
-95%CL		0.27982	0.58416	2.1910	1.364138	0.24998	0.06180	0.37983	0.728260	1.007828	0.562599	0.35447	1.18498	1.82742
+95%CL		2.54488	13.67163	122.7180	9.740413	4.35645	5.87185	55.85022	5.398385	8.442312	4.144821	2.54490	20.78039	52.24979

Рис. 1. Скриншот: анализ взаимосвязей ДТП с травматизмом и без него от геометрических элементов и характеристик движения в программе Statistica 6.0

Рис. 2. Определение порогового значения исходя из значений чувствительности и специфичности

Рис. 3. Определение высотной отметки в программе Google Earth Pro в точке A

графические данные из интернета при помощи сервисов «Яндекс.Карты», «Google.Карты», Google Earth Pro и т. п. Визуально определив на карте начало и конец кривой, при помощи приложения «Линейка» измеряется длина хорды L и высота сегмента h , по значениям которых появляется возможность определить радиус R кривой по формуле

$$R = \frac{h^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2}{2h}. \quad (2)$$

На практике для определения степени влияния кривых в плане радиуса, как правило, недостаточно [5]. Необходимо определить зону влияния данного показателя, то есть длину кривой p (длину дуги):

$$p = \frac{2\pi R\alpha}{360} = \frac{\pi R\alpha}{180}, \quad (3)$$

где R — радиус кривой (находится по формуле (2)); α — центральный угол.

Для нахождения градусной меры центрального угла α по известным величинам хорды L

Рис. 4. Определение высотной отметки в программе Google Earth Pro в точке B

Рис. 5. Кривая в плане

Рис. 6. Построение равнобедренного треугольника для нахождения градусной меры центрального угла на кривой в плане

Рис. 7. Построение измерительной дуги «Путь» на кривой в плане ул. Карла Маркса, г. Хабаровск, при помощи геоинформационной системы Google Earth Pro

и радиуса R достаточно построить на плане исследуемой кривой равнобедренный треугольник ABC (рис. 6), а из вершины треугольника A (центрального угла) провести биссектрису AD на основание (хорду) CB [8].

Далее по известным тригонометрическим функциям находим $\sin \alpha$, после чего определяем градусную меру угла по таблице $\cos$ либо $\sin$.

Длину кривой также можно получить графическим путем, используя геоинформационную систему, при помощи построения измерительной дуги «Путь» в программе Google Earth Pro (рис. 7). Но данные такого рода неточны, так как зависят от визуального представления кривой. К тому же измерительная дуга строится из прямых линий. Чем короче прямые линии в дуге, тем точнее размер кривой.

Предложенная в статье форма сбора информации помимо точности значений имеет наименьший уровень трудовых и финансовых затрат [9–11], что способствует внедрению в деятельность дорожных служб принципов оценки дорог по «Методике коэффициентов аварийности» профессора В. Ф. Бабкова. При этом для установления очередности перестройки опасных участков необходимо дополнительно учитывать тяжесть ДТП с помощью поправочных коэффициентов [2].

Система сбора, хранения и анализа графической визуализации пространственных (географических) данных и связанной с ними информации о необходимых объектах способствует качественному и точному прогнозу травматизма. Дополнительный расчет «Методики коэффициентов аварийности» для определения травматизма предполагает суммирование коэффициентов травматизма, присутствующих на исследуемом участке (см. таблицу) [12, 13]:

$$K_{\text{итог}} = K_{t_1} + K_{t_2} + K_{t_3} + \dots + K_{t_9}. \quad (4)$$

Дорожные факторы, влияющие на травматизм

Дорожный фактор, влияющий на травматизм	Условное обозначение
Две полосы движения	K_{t_1}
Ширина проезжей части до 18–18,9 м	K_{t_2}
Наличие обочины шириной 3 м	K_{t_3}
Ограничение видимости в плане ≥ 200 м	K_{t_4}
Покрытие шероховатое, новое. Коэффициент сцепления 0,75	K_{t_5}
Наличие тротуара шириной ≥ 4 м	K_{t_6}
Средняя скорость движения 60 км/ч	K_{t_7}
Пешеходный переход	K_{t_8}
Радиус кривых в плане 200–349,9 м	K_{t_9}

Глобальный мониторинг при помощи искусственных спутников Земли значительно расширяет возможности наблюдения за дорожным движением. При этом в области безопасности дорожного движения такие данные имеют большой научный интерес для уточнения существующих коэффициентов травматизма, аварийности и тяжести ДТП, а также перспективы востребованности при анализе транспортных сооружений.

Библиографический список

1. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения. М.: Транспорт, 1993. 271 с.
2. Пугачев И. Н., Шешера Н. Г., Каменчуков А. В. Совершенствование методов оценки качества и безопасности дорожного движения. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. 139 с.
3. Паклин Н. Логистическая регрессия и ROC-анализ — математический аппарат // BaseGroup Labs. Технологии анализа данных: сайт. Рязань, 2017. URL: <https://basegroup.ru/community/articles/logistic> (дата обращения: 07.03.2020).
4. Ваксман С. А. Проблемы развития и организации функционирования транспортных систем городов // Проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: материалы VIII междунар. (одиннадцатой екатеринбургской) науч.-практ. конф., 14–15 июня 2002 г. URL: <http://www.waksman.ru/Russian/Systems/Problems.htm> (дата обращения: 07.03.2017).
5. Пугачев И. Н., Шешера Н. Г. Применение методики коэффициентов травматизма в целях контроля качества будущих и эксплуатируемых дорог // Качество и жизнь. 2016. № 1 (9). С. 58–61.
6. Ярмолинский А. И., Пугачев И. Н., Шешера Н. Г. Совершенствование методики оценки аварийности автомобильных дорог по степени обеспечения безопасности движения в городских условиях // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2016. № 3 (42). С. 33–42.
7. Pugachev I., Kulikov Y., Markelov G., Sheshera N. Factor Analysis of Traffic Organization and Safety Systems // 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in large cities», SPbOTSIC-2016, 28–30 September 2016, St. Petersburg. St. Petersburg, 2017. Pp. 529–535.
8. Пугачёв И. Н., Ярмолинский А. И., Шешера Н. Г. Сравнительный анализ методик коэффициентов аварийности и травматизма, совершенствование мероприятий в безопасности дорожного движения // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплекса: материалы междунар. науч.-практ. конф. Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2016. Вып. 16. С. 179–185.
9. Пугачев И. Н., Шешера Н. Г. Исследование дорожной обстановки в местах совершения ДТП с позиций травматизма // Автотранспортное предприятие. 2015. № 7. С. 43–46.
10. Белов А. А., Баллод Б. А., Елизарова Н. Н. Теория вероятностей и математическая статистика. Ростов н/Д: Феникс, 2008. 318 с.
11. Шешера Н. Г., Подшивалов А. Н. Оценка качества строительства и реконструкции транспортных сооружений // Влияние науки на инновационное развитие: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. 3 окт. 2015 г., г. Самара. Уфа: ООО «ОМЕГА САЙНС», 2015. С. 56–59.
12. Пугачёв И. Н., Шешера Н. Г., Попов А. А. Предложения по развитию технических и технологических методов и средств в системе управления качеством продукции транспортного строительства // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2015. № 1. С. 69–73.
13. Никольский Д. А. Система «человек — машина — окружающая среда»: доклад // МГИУ. 2014 г. URL: <http://www.studfiles.ru/preview/4594627/> (дата обращения: 07.03.2020).

References

1. Babkov V. F. *Dorozhnye usloviya i bezopasnost' dvizheniya* [Road conditions and traffic safety]. Moscow, Transport Publ., 1993, 271 p.
2. Pugachev I. N., Sheshera N. G., Kamenchukov A. V. *Sovershenstvovanie metodov otsenki kachestva i bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya* [Improvement of methods for assessing the quality and safety of road traffic]. Khabarovsk, Tikhookean. gos. un-t Publ., 2018, 139 p.
3. Paklin N. *Logisticheskaya regressiya i ROC-analiz — matematicheskiy apparat* [Logistic regression and ROC analysis-mathematical apparatus]. *BaseGroupLabs. Tekhnologii analiza dannykh: sayt* [Data analysis technologies: website]. Ryazan, 2017. Available at: <https://basegroup.ru/community/articles/logistic> (accessed: 07.03.2020).
4. Vaksman S. A. *Problemy razvitiya i organizatsii funktsionirovaniya transportnykh sistem gorodov* [Problems of development and organization of functioning of urban transport systems]. *Trudy VIII mezhdunar. (odinnadtsatoy ekaterinburgskoy) nauch.-prakt. konf., 14–15 iyunya 2002 g. «Problemy razvitiya transportnykh sistem gorodov i zon ikh vliyaniya»* [Proceedings of the VIII international (the XI Yekaterinburg) scientific and practical conference, June 14–15, 2002 “Problems of development of transport

systems of cities and zones of their influence”]. Available at: <http://www.waksman.ru/Russian/Systems/Problems.htm> (accessed: 07.03.2017).

5. Pugachev I. N., Sheshera N. G. *Primenenie metodiki koeffitsientov travmatizma v tselyakh kontrolya kachestva budushchikh i ekspluatiruemyykh dorog* [Application of the method of injury rate in order to control the quality of future and operated roads]. *Kachestvo i zhizn' – Quality and life*, 2016, no. 1 (9), pp. 58–61.

6. Yarmolinskiy A. I., Pugachev I. N., Sheshera N. G. *Sovershenstvovanie metodiki otsenki avariynosti avtomobil'nykh dorog po stepeni obespecheniya bezopasnosti dvizheniya v gorodskikh usloviyakh* [Improving the methodology for assessing the accident rate of highways by the degree of ensuring traffic safety in urban conditions]. *Vestnik Tikhookeanskogo gosudarstvennogo universiteta – Bulletin of the Pacific State University*, 2016, no. 3 (42), pp. 33–42.

7. Pugachev I., Kulikov Y., Markelov G., Sheshera N. *Factor analysis of traffic organization and safety systems*. Proceedings of the 12-th International Conference “Organization and traffic safety management in large cities”, SPbOTSIC-2016, 28–30 September 2016, St. Petersburg. St. Petersburg, 2017, pp. 529–535.

8. Pugachyov I. N., Yarmolinskiy A. I., Sheshera N. G. *Sravnitel'nyy analiz metodik koeffitsientov avariynosti i travmatizma, sovershenstvovanie meropriyatiy v bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya* [Comparative analysis of methods of accident and injury rate, improvement of measures in road safety]. *Trudy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Dal'niy Vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo i dorozhno-transportnogo kompleksa»* [Proceedings of the International scientific and practical conference “The Far East: problems of the development of the architectural, construction and road transport

complex”]. Khabarovsk, TOGU Publ., 2016, iss. 16, pp. 179–185.

9. Pugachev I. N., Sheshera N. G. *Issledovanie dorozhnoy obstanovki v mestakh sversheniya DTP s pozitsiy travmatizma* [Investigation of the road situation in the places of an accident from the standpoint of injuries]. *Avtotransportnoe predpriyatie – Motor transport companies*, 2015, no. 7, pp. 43–46.

10. Belov A. A., Ballod B. A., Elizarova N. N. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Probability theory and mathematical statistics]. Rostov-on-Don, Pheniks Publ., 2008, 318 p.

11. Sheshera N. G., Podshivalov A. N. *Otsenka kachestva stroitel'stva i rekonstruktsii transportnykh sooruzheniy* [Assessment of the quality of construction and reconstruction of transport structures]. *Trudy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 3 okt. 2015 g. «Vliyanie nauki na innovatsionnoe razvitiye»* [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference on October 3, 2015 “The influence of science on innovative development”]. Samara, Ufa, OMEGA SAYNS Publ., 2015, pp. 56–59.

12. Pugachyov I. N., Sheshera N. G., Popov A. A. *Predlozheniya po razvitiyu tekhnicheskikh i tekhnologicheskikh metodov i sredstv v sisteme upravleniya kachestvom produktsii transportnogo stroitel'stva* [Proposals for the development of technical and technological methods and tools in the quality management system of transport construction products]. *Dal'niy Vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo kompleksa The Far East: problems of the development of the architectural and construction complex*, 2015, no. 1, pp. 69–73.

13. Nikol'skiy D. A. *Sistema «chelovek – mashina – okruzhayushchaya sreda» (doklad)* [The system “man-machine-environment” (report)]. MGIU Publ., 2014. Available at: <http://www.studfiles.ru/preview/4594627/> (accessed: 07.03.2020).