УДК 656.11

© Д. А. Захаров, канд. техн. наук, доцент

© О. Д. Буракова, студент

© А. Н. Чистяков, канд. техн. наук, доцент

(Тюменский индустриальный университет)

E-mail: zaharov1976@rambler.ru, burakova.96@bk.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-2-240-245

© D. A. Zakharov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© O. D. Burakova, student

© A. N. Chistyakov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

(Tyumen industrial university)

E-mail: zaharov1976@rambler.ru, burakova.96@bk.ru

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ И ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА УРОВЕНЬ АВАРИЙНОСТИ

METHODOLOGY OF ASSESSING THE INFLUENCE OF ROAD NETWORK PARAMETERS AND ROAD TRAFFIC ON THE ACCIDENT RATE

Представлены результаты исследований влияния параметров дорожного движения и характеристик улично-дорожной сети на количество ДТП с пострадавшими в городах. Приводится зависимость количества ДТП с пострадавшими от интенсивности и направлений движения транспортных и пешеходных потоков, количества полос для движения транспортных средств, применения технических средств и схем организации движения, освещенности УДС, ограничений видимости участников движения от места конфликта, наличия объектов фото- и видеофиксации нарушений ПДД и других факторов. Описаны основные этапы методики прогнозирования количества ДТП.

Ключевые слова: безопасность движения, дорожно-транспортные происшествия, параметры дорожного движения, улично-дорожная сеть, транспортные средства.

The article presents the results of assessing the impact of traffic parameters and characteristics of the road network on the number of road accidents with victims in urban areas. The authors demonstrate the dependence of the number of accidents with victims on various factors, such as the following: intensity and direction of the traffic and pedestrian flows, the number of lanes for vehicles, the use of technical means and schemes for traffic organization, light intensity at the road network, sight distance restrictions of the traffic participants in regard to the accident site, availability of the objects of photo- and video fixation of the driving regulations' violations, and other factors. The basic steps of the method of forecasting the accidents number are described.

Keywords: traffic safety, traffic accidents, traffic parameters, street and road network, vehicles.

Проблема травматизма в дорожно-транспортных происшествиях (ДТП) актуальна во всем мире. В резолюции 64/255, принятой 02.03.2010, Генеральная Ассамблея ООН провозгласила 2011–2020 гг. десятилетием действий по обеспечению безопасности дорожного движения. По данным Всемирной организации здравоохранения, к 2020 году дорожно-транспортный травматизм может стать третьим ведущим компонентом глобального бремени болезней и травм [1].

В Российской Федерации действует Федеральная целевая программа (ФЦП) «Повышение безопасности дорожного движения в 2013–2020 годах». В рамках программы Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта

(НИИАТ) выполняет научно-исследовательскую работу (НИР) «Проведение научных исследований, направленных на разработку современных методов организации дорожного движения, в том числе основанных на исследовании влияния режимов движения транспортных потоков на безопасность дорожного движения». Одной из задач НИР является разработка современных методических подходов к организации дорожного движения, направленных на повышение безопасности и качества дорожного движения на автомобильных дорогах.

В работе [1] приведена парадигма дорожно-транспортной безопасности, в которой говорится о том, что дорожно-транспортный травматизм в значительной степени предсказуем и предотвраща-

тим. Установка светофорных объектов, пофазный разезд, ограничение скорости движения применением дорожных знаков будут действовать только на часть происшествий, совершенных участниками движения неосознанно, по причине человеческих ошибок. Данными мероприятиями сложно повлиять на происшествия, совершенные по причине грубого и осознанного нарушения правил дорожного движения.

В монографии В. Г. Живоглядова [2] дается оценка степени опасности условий на улично-дорожной сети. Влияние транспортных и пешеходных потоков на автотранспортную аварийность изучал И. Н. Пугачев [3]. В работе А. И. Петрова [4] рассмотрены пространственно-временные особенности формирования автотранспортной аварийности.

Три вида анализа дорожно-транспортных происшествий: количественный, качественный и топографический, — описаны в работе С. А. Евтюкова [5]. Решение проблемы обеспечения безопасности дорожного движения рассматривается в работах П. А. Кравченко [6, 7]. Анализ причин ДТП приводится в работах [8–16]; прогнозирование ДТП — в работах [17, 18].

В Тюменском индустриальном университете проводятся исследования по оценке влияния параметров дорожного движения и характеристик улично-дорожной сети на автотранспортную аварийность в городах.

Цель исследования — повышение безопасности движения путем применения методики прогнозирования количества ДТП на участках улично-дорожной сети в населенных пунктах, учитывающей закономерности формирования количества ДТП. Проводимые исследования направлены на предотвращение ДТП из-за неосознанных человеческих ошибок.

Проведение исследований планируется в три этапа.

1. Разработка методики прогнозирования количества ДТП путем установления и практического использования зависимости количества ДТП от параметров дорожного движения и автотрог.

2. Изучение УДС города Тюмени и оценка степени опасности на отдельных участках.

3. Разработка комплекса мероприятий по снижению количества ДТП.

Основная идея методики прогнозирования количества ДТП заключается в применении метода аналогии и использовании зависимости количества ДТП, полученной после обработки данных по очагам аварийности, применительно к другим участкам УДС. Методика прогнозирования количества ДТП — усовершенствованный топографический анализ ДТП путем установления зависимости количества ДТП при различных параметрах дорожного движения и характеристик УДС. Применение методики и определение мероприятий по обеспечению безопасности движения актуально для новых или реконструируемых участков УДС, по которым отсутствуют статистика и качественный анализ ДТП. В методике описана последовательность действий для определения комплекса мероприятий по снижению риска возникновения ДТП и оценки их эффективности.

В 2015 году на территории города Тюмени в 1461 ДТП с пострадавшими погиб 41 человек и получили ранения разной степени тяжести 1972 участника дорожного движения. Количество наездов на пешехода составило 407, число погибших пешеходов 19, травмированных 409.

Наименьшее количество ДТП происходит в ночные и утренние часы, после чего увеличивается и достигает максимума с 16:00 до 20:00, в период наибольшей интенсивности движения автомобилей (рис. 1). Проведенные в г. Тюмени замеры освещенности показали на отдельных участках УДС несоответствие ее уровня требованиям нормативной документации.

Наименьшее количество ДТП с участием пешеходов наблюдается в ночные и утренние часы, наибольшее — с 8 до 10 часов утра, в обед с 12 до 14 часов и в вечернее время с 16 до 20 часов (рис. 2).

Наибольшее количество ДТП с участием пешеходов происходит во время максимальной интенсивности движения пешеходов по пути на работу и с работы и в обеденный перерыв. Целесообразно усиливать патрулирование экипажами ГИБДД на нерегулируемых пешеходных переходах в указанное время.

Основной причиной столкновений является несоблюдение очередности проезда (48 %), неправильный выбор дистанции (17 %). Снижение аварийности на пересечении автомобильных до-

Рис. 1. Время совершения ДТП в городе Тюмени в 2015 г.

Рис. 2. Время совершения ДТП с пешеходами в городе Тюмени в 2015 г.

рог возможно за счет запрета левого поворота (при наличии путей объезда); установки светового объекта; применения пофазного разъезда. При применении пофазного разъезда снижается пропускная способность узла и увеличиваются транспортные заторы.

Основными причинами ДТП с пешеходами являются нарушение правил проезда пешеходного перехода (40 %) и переход вне пешеходного перехода (25 %). Снижение количества данных ДТП возможно путем оборудования нерегулируемых пешеходных переходов светофорами (в том числе вызывного действия), установкой

запрещающего знака 3.24 «Ограничение максимальной скорости», искусственных неровностей (с установкой предупреждающего знака 1.17) и объектов фото-, видеофиксации нарушений правил дорожного движения.

Анализ статистических данных показывает, что количество ДТП с пострадавшими зависит от интенсивности и направлений движения транспортных и пешеходных потоков, количества полос для движения транспортных средств, ограничений скорости движения, применения технических средств и схем организации движения, освещенности УДС, времени совершения ДТП,

ограничений видимости участников движения до места пересечения траекторий движения (точки конфликта), наличия объектов фото- и видеофиксации нарушений ПДД и других факторов.

Наибольшее количество ДТП с пострадавшими в городах происходит на нерегулируемых пешеходных переходах и пересечениях автодорог в одном уровне. Для данных условий далее построены математические зависимости (формулы (1), (2)).

Количество ДТП на нерегулируемых пешеходных переходах определяется по формуле

$$N_{\text{ДТП}}^{\text{пеш}} = N_{\text{ДТП}_0}^{\text{пеш}} + S_n \cdot n_i \cdot N_{\text{ТС}_i} + S_L \cdot L_B + S_v \cdot v + S_N \cdot N_{\text{пеш}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{ДТП}_0}^{\text{пеш}}$ — количество ДТП на нерегулируемых пешеходных переходах при оптимальных условиях, ед.; n_i — количество полос движения транспортных средств, ед.; $N_{\text{ТС}_i}$ — интенсивность движения транспортных средств на участке дороги с нерегулируемым пешеходным переходом, ед./ч; L_B — расстояние видимости водителем транспортного средства пешехода в момент выхода на проезжую часть, м; v — разрешенная скорость движения ТС на участке УДС перед пешеходным переходом, км/ч; $N_{\text{пеш}}$ — интенсивность движения пешеходов в обоих направлениях на нерегулируемом пешеходном переходе, чел./ч; S — параметры чувствительности к изменению значения переменных.

Многофакторная модель количества ДТП имеет вид:

$$N_{\text{ДТП}} = N_{\text{ДТП}_0} + S_v \cdot V + S_F \cdot F + S_{L_\Phi} \cdot L_\Phi + S_{L_B} \cdot L_B + S_{L_1} \cdot L_1 + S_{Z_{\text{напр}}} \cdot Z_{\text{напр}} \cdot q_1 + S_{N_2} \cdot N_2 \cdot q_2, \quad (2)$$

где $N_{\text{ДТП}_0}$ — количество ДТП в оптимальных условиях (при минимальных значениях переменных величин), ед.; V — разрешенная скорость движения ТС на участке УДС, км/ч; F — освещенность УДС в темное время суток; L_Φ — расстояние удаления от объектов видеофиксации нарушений ПДД, м; L_B — расстояние видимости до объекта в точке возможного конфликта, м; L_1 — геометрические параметры УДС; $Z_{\text{напр}}$, q_1 — уровень загрузки и количества потоков ТС (ед.), движущихся с пересечением и слиянием траекторий с разных направлений, со слиянием траекторий в рамках одной фазы светофорного регулирования; N_2 , q_2 — интенсивность движения (авт./ч) и количество транспортных и пешеход-

ных потоков (ед.), движущихся с пересечением траекторий в рамках одной фазы светофорного регулирования; S — параметры чувствительности к изменению значений соответствующих факторов.

Далее приведены предварительные результаты обработки данных по количеству, видам и причинам ДТП с учетом параметров автодороги и схемы организации дорожного движения. Частный вид математической модели количества ДТП на регулируемых (с применением светофорных объектов) пересечениях автодорог имеет вид:

$$N_{\text{ДТП}}^{\text{пер}} = N_{\text{ДТП}_0} + S_1 \cdot n_1 + S_2 \cdot n_2 + S_3 \cdot n_3, \quad (3)$$

где n_1 — количество пересечений транспортных потоков, движущихся прямым ходом и выполняющих левый поворот в период действия одной фазы светофорного регулирования, ед.; n_2 — количество слияний транспортных потоков, движущихся прямым ходом и выполняющих левый поворот в период действия одной фазы светофорного регулирования, ед.; n_3 — количество слияний транспортных потоков, движущихся прямым ходом и выполняющих правый поворот в период действия одной фазы светофорного регулирования.

После обработки данных по количеству ДТП в очагах аварийности в г. Тюмени за 2015 год по-

Таблица 1

Параметры математической модели количества ДТП

Показатель	Значение
Численные значения параметров чувствительности	$S_0 = 0,18$ $S_1 = 0,10$ $S_2 = 1,29$ $S_3 = 1,02$
Коэффициент множественной корреляции R	0,78
Коэффициент множественной детерминации D	0,61
t -статистика коэффициента корреляции t	7,7
Уровень значимости коэффициента корреляции	0,99
Средняя ошибка аппроксимации E , %	43,0
Среднее квадратичное отклонение S_y	2,67
Дисперсионное отношение Фишера F	2,62
Табличное значение критерия Фишера	1,56
Уровень адекватности $P(F)$	0,99

Таблица 2

Определение мероприятий по снижению автотранспортной аварийности (пример)

Фактор	Мероприятия по снижению аварийности
Количество транспортных потоков, движущихся с пересечением (слиянием)	Изменение схемы организации дорожного движения и запрет левого поворота; пофазный разъезд транспортных потоков
Разрешенная скорость движения, км/ч	Ограничение скорости (дорожные знаки, объекты ФВФ)
Ограничение скорости движения, км/ч	Искусственные неровности
Интенсивность движения пешеходов, чел./ч	Перильное ограждение, отдельная пешеходная фаза, светофор пешеходный

лучены численные значения параметров математической модели, а также результаты проверки модели на адекватность (табл. 1).

Расчетное значение критерия Фишера больше табличного при доверительной вероятности 0,9, что свидетельствует об адекватности разработанной математической модели. Большое значение средней ошибки аппроксимации характерно для данных, в которых хотя бы одно значение функции отклика равно нулю и не отражает фактический уровень адекватности модели [19].

Для проверки статистической значимости взаимодействий использовался критерий Стьюдента. Расчетные значения t -статистики больше табличных с вероятностью 0,90, что свидетельствует о наличии существенной корреляционной связи между количеством ДТП и переменными n_1 и n_2 . Корреляционная связь между количеством ДТП и переменной n_3 несущественная, поэтому для дальнейших расчетов применима двухфакторная модель.

Наибольшее значение параметра чувствительности S_2 (1,29 ДТП/ед. в год) показывает, что на количество ДТП на пересечениях существенно влияет количество слияний транспортных потоков, выполняющих правый и левый повороты в период действия одной фазы светофорного регулирования. В меньшей степени на количество ДТП ($S_1 = 0,10$ ДТП/ед. в год) влияет выполнение левых поворотов при встречном движении ТС в прямом направлении.

Дальнейшие исследования предполагают учет интенсивности движения и других факторов на модель количества ДТП. Определив наиболее весомые факторы типовых участков УДС, возможно выявить наиболее эффективные мероприятия по снижению количества ДТП (табл. 2).

Библиографический список

1. Всемирный доклад о предупреждении дорожно-транспортного травматизма: резюме / ВОЗ. Женева, 2004.
2. Живоглазов В. Г. Теория движения транспортных и пешеходных потоков. Ростов н/Д: Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион, 2005. 1082 с.
3. Пугачев И. Н. Организация и безопасность движения: учеб. пособие. Хабаровск: ХГТУ, 2004. 232 с.
4. Петров А. И. Особенности формирования автотранспортной аварийности в пространстве и во времени. Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. 254 с.
5. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Дорожно-транспортные происшествия: расследование, реконструкция, экспертиза. СПб.: Издательство ДНК, 2008. 392 с.
6. Кравченко П. А., Воробьев А. Г. Организационный и технологический ресурс проблемы обеспечения БДД // Транспорт РФ. 2008. № 2. С. 44–50.
7. Евтюков С. А., Кравченко П. А. О целях и содержании концепции совершенствования российской системы профессиональной подготовки водителей транспортных средств // Безопасность дорожного движения. 2013. № 13. С. 32–37.
8. Проектирование автомобильных дорог и управление их состоянием: учеб. пособие / под ред. В. В. Ушакова, В. В. Сильянова, Ю. П. Шкицкого. М.: МАДИ, 2014. Т. 5. 562 с.
9. Кисляков В. М., Филиппов В. В., Школяренко И. А. Математическое моделирование и оценка условий движения автомобилей и пешеходов. М.: Транспорт, 1979. 200 с.
10. Справочник по безопасности дорожного движения / пер. с норв. под ред. проф. В. В. Сильянова. М.: МАДИ (ГТУ), 2001. 773 с.
11. Федоров В. А., Кравченко П. А. О концепции государственной системы управления безопасностью дорожного движения // Сб. докладов 4-й междунар. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». СПб.: СПбГАСУ, 2000. С. 3–9.

12. Кравченко П. А. Квалификация специалистов — неиспользуемый ресурс обеспечения безопасности дорожного движения // Транспорт РФ. 2009. № 5 (24). С. 70–75.

13. Garib A., Radwan A. E., Al-Deek H. Estimating Magnitude and Duration of Incident Delays // Journal of Transportation Engineering. 1996. № 123. Pp. 459–466.

14. Giuliano G. Incident Characteristics, Frequency, and Duration on a High Volume Urban Freeway // Transportation Research, Part A. 1989. № 23. Pp. 387–396.

15. Karlaftis M. G., Latoski S. P., Richards N. J., Sinha K. C. ITS impacts on safety and traffic management: An investigation of secondary crash causes // ITS Journal. 1999. № 5. Pp. 39–52.

16. Raub R. A. Secondary crashes: An important component of roadway incident management // Transportation Quarterly. 1997. № 51. Pp. 93–104.

17. Qi Y. Incident delay analysis and estimation: PhD Dissertation. University of Virginia, 2002.

18. Chawla S., Zheng Y., Hu J. Inferring the root cause in road traffic anomalies // ICDM, 2012.

19. Захаров Н. С. Программа «REGRESS»: руководство пользователя. Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. 52 с.

References

1. Vsemirnyy doklad o preduprezhdenii dorozhno-transportnogo travmatizma. Rezyume [World report on the prevention of road and transport traumatism. Summary]. VOZ, Zheneva, 2004.

2. Zhivoglyadov V. G. Teoriya dvizheniya transportnykh i peshekhodnykh potokov [Theory of the movement of transport and pedestrian flows]. Izv. vuzov. Sev.-Kavk. Region – Rostov-on-Don — Bulletin of higher schools of the North-Caucasus region, 2005, 1082 p.

3. Pugachev I. N. Organizatsiya i bezopasnost' dvizheniya. Ucheb. posobie [Organization and provision of traffic safety]. Khabarovsk, KhGTU Publ., 2004, 232 p.

4. Petrov A. I. Osobennosti formirovaniya avto-transportnoy avariynosti v prostranstve i vo vremeni [Features of motor transportation accident rate formation in space and time]. Tyumen, TyumGNGU Publ., 2015, 254 p.

5. Evtyukov S. A., Vasil'ev Ya. V. Dorozhno-transportnye proisshestiya. Rassledovanie, rekonstruktsiya, ehkspertiza [Road traffic accidents. Investigation, reconstruction, examination]. St. Petersburg, DNK Publ., 2008, 392 p.

6. Kravchenko P. A., Vorob'ev A. G. Organizatsionnyy i tekhnologicheskyy resurs problemy obespecheniya BDD [Organizational and technological resource of the problem of providing traffic safety]. Transport RF – Transport of the Russian Federation, 2008, no. 2, pp. 44–50.

7. Evtyukov S. A., Kravchenko P. A. O tselyakh i soderzhanii kontseptsii sovershenstvovaniya rossiyskoy

sistemy professional'noy podgotovki voditeley transportnykh sredstv [About the purposes and contents of the concept of improving the Russian system of vehicle drivers vocational training]. Bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya – Road traffic safety, 2013, no. 13, pp. 32–37.

8. Proektirovanie avtomobil'nykh dorog i upravlenie ikh sostoyaniem: ucheb. posobie [Design and maintenance of highways. Teaching manual], Ed. by Ushakov V. V., Sil'yanov V. V., Shkitskiy Yu. P. Moscow, MADI Publ., 2014, Vol. 5. 562 p.

9. Kislyakov V. M., Filippov V. V., Shkolyarenko I. A. Matematicheskoe modelirovanie i otsenka usloviy dvizheniya avtomobiley i peshekhodov [Mathematical modeling and assessment of traffic conditions of cars and pedestrians]. Moscow, Transport Publ., 1979, 200 p.

10. Spravochnik po bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya [The reference book on the traffic safety. Transl. from Norwegian]. Ed. by Sil'yanov V. V. Moscow, MADI Publ., 2001, 773 p.

11. Fedorov V. A., Kravchenko P. A. O kontseptsii gosudarstvennoy sistemy upravleniya bezopasnost'yu dorozhnogo dvizheniya [About the concept of the state control system of traffic safety]. Trudy 4-y mezhdunar. konf. «Organizatsiya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya v krupnykh gorodakh» [Proc. of the 4-th int. conf. "Organization and traffic safety in the large cities"]. St. Petersburg, SPSUACE, 2000, pp. 3–9.

12. Kravchenko P. A. Kvalifikatsiya spetsialistov — neispol'zuemyy resurs obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya [Qualification of experts as a not used traffic safety provision resource]. Transport RF – Transport of the Russian Federation, 2009, no. 5 (24), pp. 70–75.

13. Garib A., Radwan A. E., Al-Deek H. Estimating Magnitude and Duration of Incident Delays. Journal of Transportation Engineering, 1996, no. 123, pp. 459–466.

14. Giuliano G. Incident Characteristics, Frequency, and Duration on a High Volume Urban Freeway. Transportation Research, Part A, 1989, no 23, pp. 387–396.

15. Karlaftis M. G., Latoski S. P., Richards N. J., Sinha K. C. ITS impacts on safety and traffic management. An investigation of secondary crash causes. ITS Journal, 1999, no 5, pp. 39–52.

16. Raub R. A. Secondary crashes. An important component of roadway incident management. Transportation Quarterly, 1997, no. 51, pp. 93–104.

17. Qi Y. Incident delay analysis and estimation. PhD Dissertation. University of Virginia, 2002.

18. Chawla S., Zheng Y., Hu J. Inferring the root cause in road traffic anomalies. ICDM, 2012.

19. Zakharov N. S. Programma «REGRESS»: rukovodstvo pol'zovatelya [The "REGRESS" program. User manual]. Tyumen, TyumGNGU Publ., 1999, 52 p.