

УДК 625.7.8:656.13.05

ДАВЫДОВСКИЙ А. Г., ЛИННИК А. М.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ В МЕГАПОЛИСЕ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Минск, Беларусь*

Представлены результаты корреляционного анализа причин дорожно-транспортных происшествий в условиях современного мегаполиса, как г. Минск. Выявлены наиболее частые причины дорожно-транспортных происшествий, включая наезды на пешеходов по вине водителей (23,7%), столкновение на перекрестках (11,7%), инциденты на регулируемых (12,2%) и нерегулируемых (16,3%) пешеходных переходах, а также на проезжей части (43,34%). Исследована зависимость транспортных инцидентов от времени суток, дня недели и месяца года. Показаны периоды, когда дорожно-транспортные инциденты происходят с 3.00 до 6.00 ч, с 15.00 до 18.00, а также с 21.00 до 24.00 в понедельник, пятницу и воскресенье в январе, марте, июне, сентябре, октябре и ноябре. Методы корреляционного и множественного регрессионного анализа могут быть основой превентивного управления безопасностью дорожного движения в условиях современного мегаполиса.

Ключевые слова: дорожно-транспортные происшествия, математическое моделирование, корреляционный анализ, множественный регрессионный анализ, системный анализ.

Введение

Ежегодное увеличение интенсивности дорожного движения сопровождается возрастанием нагрузки на дорожно-транспортную инфраструктуру современных городов, которая с каждым годом все хуже справляется со своими функциями. Как следствие – увеличивается частота заторов в улично-дорожной сети городов и количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП) [1, 2]. В этой связи решение проблемы обеспечения безопасности дорожного движения относится сегодня к наиболее приоритетным задачам развития страны. В то же время по объективным причинам улично-дорожная сеть крупных населенных пунктов не может быть модернизирована в столь сжатые сроки как количественно, так и качественно [3].

Целью работы является системный анализ статистических данных и разработка математических регрессионных моделей, характеризующих динамику дорожно-транспортных происшествий в условиях современного мегаполиса (на примере г. Минска).

Регрессионные модели динамики дорожно-транспортных происшествий

Для системного анализа и прогнозирования риска ДТП целесообразно рассматривать техническое состояние транспортных средств, дорожного полотна, погодноклиматические факторы и поведение человека. Погодные условия, включая атмосферное давление, влажность, скорость ветра, концентрацию кислорода, могут негативно сказываться на способности человека управлять транспортными средствами. К факторам, связанным с транспортным средством, относятся: выбор способа передвижения, размеры и массу транспортных средств, мощность двигателя и скоростные характеристики, техническое состояние и оборудование транспортных средств [4]. Факторы внешней среды включают время суток, погодные условия, состояние дорожного покрытия, загруженность транспортного потока, проведение дорожно-ремонтных работ. Дорожные факторы включают качество дорожного покрытия, дорожную инфраструктуру. К факторам, тесно связанным с человеком в процессе дорожного

движения, относятся: опыт вождения, психофизиологическое состояние, общий уровень соматического здоровья и т. д. Анализ статистики ДТП в г. Минске в период с 2012 по 2017 гг. включительно свидетельствует, что в большинстве случаев виновником ДТП являются водители, превышающие скорость, нарушающие правила дорожного движения, в частности, при проезде перекрестков, пешеходных переходов и процессе маневрирования. Причем в Республике Беларусь доля таких ДТП составляет около 75%, тогда как в некоторых странах она доходит до 90% [3, 5].

Системный анализ статистических данных о ДТП был выполнен с помощью инструментов процессора «Excel 2013» из пакета «Microsoft Office for Windows 10». При этом из системного анализа были исключены наиболее очевидные причины ДТП, такие как техническая неисправность транспортных средств, управление транспортным средством в состоянии алкогольного опьянения, нетрезвое состояние пешеходов, выезд на встречную полосу, неподчинение сигналам и дорожным знакам, нарушение проезда перекрестков, нарушение проезда пешеходных переходов, переутомление и сон за рулем, переход в неустановленном месте, выход из-за стоящего транспортного средства, переход на запрещающий сигнал, управление транспортным средством.

Анализ ДТП в период с 01.01.2012 г. по 31.12.2017 г. (на примере г. Минска) свидетельствует, что наибольший ущерб, связанный с ДТП, обусловлен гибелью и/или ранениями участников. В частности, в период с 01.01.2012 по 31.12.2017 год органами внутренних дел Мингорисполкома было зафиксировано более 5000 ДТП, включая наезды на пешеходов (36,4%), в т. ч. по вине водителей (23,7%), случаи опрокидывания транспортных средств (1,2%), наезды на препятствие (3,9%), столкновение с ударом сзади (8,04%), столкновение на перекрестке (11,7%), столкновение лобовое (2,3%), столкновение попутное (3,6%), наезд на стоящее транспортное средство (1,06%), наезд на велосипедиста (2,5%), прочие случаи, включая падение в салоне средств общественного транспорта (5,6%). Необходимо отметить, что ДТП происходили на регулируемых (12,2%) и нерегулируемых (16,3%) пешеходных переходах, на остановках общественного транспорта

(3,9%), регулируемых (11,2%) и нерегулируемых (8,1%) перекрестках, на мостах и путепроводах (0,3%), в жилой зоне, включая местный проезд, дворовую территорию (4,7%), а также на проезжей части (43,3%) улично-дорожной сети городов [1]. Наиболее часто тяжелые ДТП, сопровождающиеся гибелью участников, происходили в период 3.00–6.00 ч. (коэффициент корреляции $r^2 = 0,89$; $P < 0,02$), 12.00–15.00 ($r^2 = 0,72$; $P < 0,05$), 15.00–18.00 ($r^2 = 0,75$; $P < 0,05$) и 21.00–24.00 ($r^2 = 0,73$; $P < 0,05$). Причем наиболее часто подобные ДТП происходили в понедельник ($r^2 = 0,92$; $P < 0,02$), среду ($r^2 = 0,88$; $P < 0,05$) и воскресенье ($r^2 = 0,75$; $P < 0,02$). Частота ДТП при управлении транспортными средствами коррелирует с временем года, в частности, с вероятностью происшествий в январе ($r^2 = 0,68$; $P < 0,05$), марте ($r^2 = 0,65$; $P < 0,02$), мае ($r^2 = 0,68$; $P < 0,05$), июне ($r^2 = 0,78$; $P < 0,02$), сентябре ($r^2 = 0,82$; $P < 0,05$), октябре ($r^2 = 0,61$; $P < 0,01$), ноябре ($r^2 = 0,67$; $P < 0,02$).

Также охарактеризована динамика интенсивности гибели участников ДТП в различные месяцы на протяжении года, которое показано на рисунке 1. Осуществлена аппроксимация показателей интенсивности гибели участников дорожных инцидентов (в единицах отношения количества случаев гибели к случаям ДТП в течение года) полиномиальной функцией 6-й степени. Получены уравнения полиномиальной аппроксимации (1–3) для минимальных, средних и максимальных показателей интенсивности гибели участников дорожных инцидентов:

$$P_{\text{дтп (мин)}} = 2E - 06x^6 - 5E - 05x^5 + 0,0002x^4 + 0,0033x^3 - 0,034x^2 + 0,1059x \quad (r^2 = 0,4753), \quad (1)$$

где x – порядковый номер месяца в году.

$$P_{\text{дтп (сред)}} = 4E - 06x^6 - 0,0002x^5 + 0,0022x^4 - 0,0142x^3 + 0,0379x^2 - 0,0145x \quad (r^2 = 0,5796). \quad (2)$$

$$P_{\text{дтп (макс)}} = 2E - 06x^6 - 8E - 05x^5 + 0,0012x^4 - 0,0088x^3 + 0,0279x^2 - 0,028x; \quad r^2 = 0,5154. \quad (3)$$

При этом был выделен период года с наибольшей интенсивностью гибели участников ДТП – с сентября по ноябрь включительно.

В дальнейшем была предложена математическая модель, характеризующая связь вероятности ДТП от месяца года на основе уравнения множественной линейной регрессии (4):

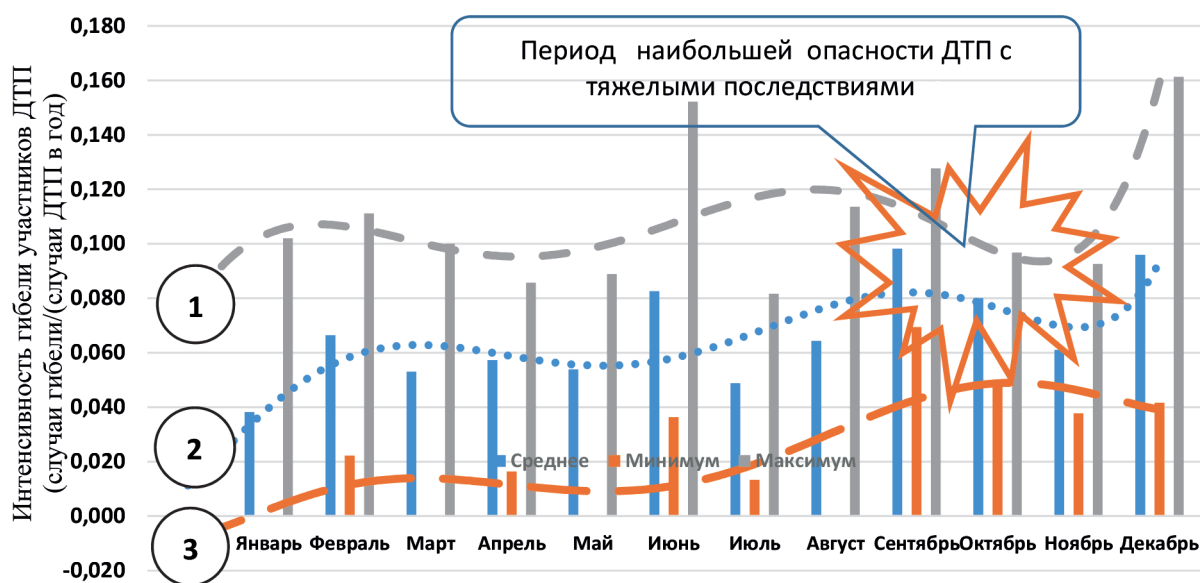


Рис. 1. Интенсивность гибели участников дорожно-транспортных происшествий в течение года

$$P_{\text{ДТП}} = 0,78P_{\text{февр}} - 0,62P_{\text{сент}} + 0,4P_{\text{ноябр}} + 0,43P_{\text{дек}}, (R^2 = 0,99; F = 0,067), \quad (4)$$

где R^2 — коэффициент детерминации и F -критерий Фишера, которые характеризуют качество регрессионной модели.

Вероятность ДТП зависит от таких факторов, как неправильный выбор скорости (НВС), нарушение правил маневрирования (НПМ), нарушение правил проезда перекрестков (НППП), несоблюдение дистанции (НД), что выражено в уравнении (5):

$$P_{\text{ДТП}} = 0,21P_{\text{НВС}} + 0,21P_{\text{НПМ}} + 0,4P_{\text{НППП}} + 0,29P_{\text{НД}}, (R^2 = 0,99; F = 0,0147). \quad (5)$$

Вместе с тем, разработана математическая модель (6 и 7, характеризующая зависимость вероятности ДТП от вероятности происшествия в четверг (ЧТВ) пятницу (ПТЦ), субботу (СБТ) и воскресенье (ВСК):

$$P_{\text{ДТП}} = 0,059P_{\text{ЧТВ}} + 0,543P_{\text{ПТЦ}} + 0,18P_{\text{СБТ}} + 0,579P_{\text{ВСК}}, (R^2 = 0,99; F = 0,049), \quad (6)$$

или

$$P_{\text{ДТП}} = 0,4P_{\text{ПТЦ}} + 0,2895P_{\text{СБТ}} + 0,3P_{\text{ВСК}}, (R^2 = 0,99; F = 0,000476). \quad (7)$$

Вероятность ДТП с тяжелыми последствиями и гибелью участников может быть представлена математическими моделями (8 и 9), включая неправильный выбор скорости (НВС)

и нарушение дистанции (НД) и нарушение проезда перекрестков (НПП):

$$P_{\text{погиб}} = 2,8635P_{\text{НВС}} + 6,4367P_{\text{НД}}, (R^2 = 0,98; F = 0,000757), \quad (8)$$

а также:

$$P_{\text{погиб}} = 0,89P_{\text{НВС}} + 0,043P_{\text{НПП}}, (R^2 = 0,951; F = 0,0071). \quad (9)$$

Анализ предложенных множественных линейных регрессионных моделей свидетельствует о том, что дорожная ситуация в течение февраля и сентября оказывают наиболее значительное влияние на вероятность ДТП на протяжении года. При этом наиболее существенное значение в группе факторов, способствующих ДТП с тяжелыми последствиями и гибелью участников, имеют такие, как день недели — пятница и воскресенье, а также особенности поведения водителя при управлении транспортным средством — неправильный выбор скорости и нарушение дистанции между транспортными средствами.

Заключение

На основе корреляционного анализа установлены основные причины ДТП (наезды на пешеходов по вине водителей (23,7%), столкновение на перекрестках (11,7%), инциденты на регулируемых (12,2%) и нерегулируемых (16,3%) пешеходных переходах, а также на проезжей части (43,34%). При этом чаще всего ДТП отмечены с 3.00 до 6.00 ч и с 15.00 до

24.00 в понедельник, среду пятницу и воскресенье в январе, марте, июне, сентябре, октябре и ноябре с учетом особенностей транспортного потока и улично-дорожной сети такого мегаполиса, как Минск. На основе предложенных моделей полиномиальной аппроксимации 6-й степени (1–3) и множественной линейной регрессии (4–9) может быть разработана информационная система анализа и прогнозиро-

вания риска развития ДТП. Прогнозирование риска дорожно-транспортных ситуаций с оценкой вероятных человеческих жертв и экономических потерь может быть осуществлено на основе широкого использования нейросетевых технологий [6, 7]. Системный анализ данных о ДТП является основой для превентивного управления безопасностью дорожного движения в условиях современного мегаполиса.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Реализация** дорожно-транспортной политики в Республике Беларусь. Транспортный налог и его использование. Обеспечение безопасности дорожного движения. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mcrb.by/index.php/informatsiya/edinyj-den-informirovaniya/458-realizatsiya-dorozhno-transportnoj-politiki-v-respublike-belarus>. – Дата доступа: 20.03.2018.
2. **Что** влияет на безопасность в пути? – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gaibrest.by/?p=9164> // – Дата доступа: 20.03.2018.
3. **Дорохин, С. В.** Профилактика безопасности дорожного движения как мера снижения чрезвычайных ситуаций на дорогах / С. В. Дорохин // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2015. – Т. 1. – С. 303–307.
4. **Степченко, А. В.** Анализ основных факторов, влияющих на безопасность дорожного движения / А. В. Степченко // Наука без границ. – 2016. – № 3 – С. 24–28.
5. **Васильев А. П.** Состояние дорог и безопасность движения автомобилей в сложных погодных условиях. – М.: Транспорт, 2006. – 217 с.
6. **Терентьев, В. В.** Безопасность автомобильных перевозок: проблемы и решения / В. В. Терентьев // Надежность и качество сложных систем. – 2017, № 2 (18). – С. 90–94.
7. **Матросова Л. Д., Семенов Е. Ю.** Прогнозирование показателей безопасности дорожного движения на основе статистического анализа // Л. Д. Матросова, Е. Ю. Семенов // Среднерусский вестник общественных наук. – 2016. – Т. 11, № 3. – С. 55–60.

REFERENCES

1. **Implementation** of road transport policy in the Republic of Belarus. Transport tax and its use. Ensuring road safety. – [Electronic resource.] – Mode of access: <http://www.mcrb.by/index.php/informatsiya/edinyj-den-informirovaniya/458-realizatsiya-dorozhno-transportnoj-politiki-v-respublike-belarus>. – Date of access: 20.03.2018.
2. **What** affects safety on the road? – [Electronic resource.] – Access mode: <http://gaibrest.by/?p=9164> // – access date: 20.03.2018.
3. **Dorokhin, S. V.** Prevention of road safety as a measure to reduce emergency situations on the roads. / S. V. Dorokhin // Problems of safety in the aftermath of emergencies. – 2015. – Vol. 1. – P. 303–307.
4. **Stepchenkov, A. V.** Analysis of the main factors affecting road safety / A. V. Stepchenkov // Science without borders. – 2016. – № 3. – P. 24–28.
5. **Vasiliev, A. P.** Road Condition and traffic safety in difficult weather conditions. – Moscow: Transport, 2006. – 217 p.
6. **Terentyev, V. V.** Road transport safety: problems and solutions / V. V. Terentyev // Reliability and quality of complex systems. – 2017, № 2 (18). – P. 90–94.
7. **Sailor, D.** Prediction of road traffic safety based on statistical analysis // D. L. Matrosova, E. Y. Semenov // Central Russian messenger of social Sciences. – 2016. – Vol. 11, № 3. – P. 55–60.

Поступила
22.11.2018

После доработки
25.02.2019

Принята к печати
25.03.2019

DAVIDOVSKY A. G., LINNIK A. M.

THE SYSTEM ANALYSIS AND MATHEMATICAL MODELING ROAD ACCIDENTS IN THE METROPOLIS

The article presents the results of correlation analysis of the causes of road accidents in such a modern metropolis as Minsk. Has been identified the most frequent causes of road accidents, including pedestrian collisions caused by drivers, collisions at intersections, incidents at controlled and unregulated pedestrian crossings, as well as on the roadway. The dependence of transport incidents on the time of day, day of the week and month of the year was investigated. Shows the periods when road traffic incidents occur from 3.00 to 6.00 h, from 15.00 to 18.00 and from 21.00 to 24.00 on Monday, Friday and

Sunday in January, March, June, September, October and November. Methods of correlation and multiple regression analysis can be the basis of preventive traffic safety management in a modern metropolis.

Keywords: road accidents, mathematical simulation, correlation analysis, multiple regression analysis, system analysis.



Давыдовский Анатолий Григорьевич, доцент кафедры инженерной психологии и эргономики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, кандидат биологических наук, доцент. Область научных интересов: системный анализ и моделирование социотехнических и сложных систем. Автор более 100 научных и учебно-методических публикаций.

Почтовый адрес: 220119, г. Минск, улица Тикоцкого, дом 42, квартира 2.
E-mail: agd2011@lisr.ru; мобильный телефон: + 375 29 504 08 69



Линник Алексей Михайлович, аспирант кафедры инженерной психологии и эргономики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. Область научных интересов: проблемы, перспективы и области приложения нейронных сетей.

E-mail: linnik93@gmail.com; мобильный телефон: + 375 29 208 87 69.