

Экономика транспорта

Факторы, влияющие на смертность в ДТП

Екатерина Александровна Пономарева

ORCID: 0000-0003-0489-3961

Кандидат экономических наук,
заведующий лабораторией социально-
экономических проблем регулирования
Института контрольно-надзорной
деятельности, РАНХиГС
(РФ, 119571, Москва, пр. Вернадского, 82).
E-mail: ponomareva-ea@ranepa.ru

Александра Дмитриевна Савина

ORCID: 0000-0002-0708-1929

Младший научный сотрудник
лаборатории социально-экономических
проблем регулирования
Института контрольно-надзорной
деятельности, РАНХиГС
(РФ, 119571, Москва, пр. Вернадского, 82).
E-mail: savina-ad@ranepa.ru

Аннотация

В настоящей работе количественно анализируются факторы смертности в дорожно-транспортных происшествиях в России. На основании проведенного анализа формулируются практические рекомендации в отношении политики сокращения смертности на дорогах общего пользования. Целью исследования стал анализ влияния управляемых с точки зрения государственного регулирования факторов — неудовлетворительных дорожных условий и состояния автомобильного парка на смертность в ДТП. Несмотря на то что скоростной режим на дорогах является одним из основных факторов, влияющих на серьезность ущерба в ДТП, его ограничения будут негативно сказываться на темпах экономического роста, поэтому актуален поиск инструментов, которые позволяли бы сокращать смертность без ущерба для развития. Количественный эконометрический анализ данных о ДТП в России за 2015–2019 годы на основе логит-моделей позволил выделить несколько групп управляемых факторов, наиболее значимо связанных с вероятностью смертельного исхода в результате ДТП, прежде всего неудовлетворительное состояние дорог, неисправности в работе транспортных средств, нарушение правил дорожного движения. Наличие в момент ДТП любого из этих факторов приводит к повышению вероятности гибели человека. Для сокращения вероятности смертельного исхода рекомендуется в первую очередь устранение неудовлетворительных дорожных условий, организация дополнительных специальных дорожных сооружений (пешеходных переходов, регулируемых перекрестков), а также ужесточение ответственности за некоторые виды нарушений ПДД и усиление контроля над устранением соответствующих видов неисправностей в ходе планового технического обслуживания автомобилей.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, смертельный исход в ДТП, стоимость статистической жизни, неудовлетворительные дорожные условия, нарушения правил дорожного движения.

JEL: R41, R42, C25.

Статья подготовлена в рамках выполнения научно-исследовательской работы государственного задания РАНХиГС.

Статья поступила в редакцию в апреле 2022 года

Factors Influencing Traffic Accident Mortality

Ekaterina A. Ponomareva

ORCID: 0000-0003-0489-3961

Cand. Sci. (Econ.), Head, Laboratory
of Socio-Economic Problems of Regulation,
Institute of Control and Supervision,
Russian Presidential Academy of National
Economy and Public Administration,^a
ponomareva-ea@ranepa.ru

Alexandra D. Savina

ORCID: 0000-0002-0708-1929

Junior Researcher, Laboratory
of Socio-Economic Problems of Regulation,
Institute of Control and Supervision,
Russian Presidential Academy of National
Economy and Public Administration,^a
savina-ad@ranepa.ru

^a 82, Vernadskogo pr., Moscow, 119571, Russian Federation

Abstract

This study provides a quantitative analysis of the mortality factors affecting traffic accidents in Russia and offers practical policy recommendations for reducing mortality on public roads. Although the posted speed limit is one of the main factors governing the severity of damage in automotive accidents, setting it lower will tend to reduce the rate of economic growth. Therefore, devising policy instruments that will reduce mortality without compromising economic development should have a high priority. The literature traditionally distinguishes five sets of factors that affect the likelihood and severity of an accident: the characteristics of traffic on a given road network, the maintenance of the road network, weather conditions, driver characteristics, and the condition of the vehicle. Logit models used for quantitative econometric analysis of traffic accident data in Russia from 2015 to 2019 have identified several groups of manageable factors that are highly correlated with the probability of a fatality from an accident. The primary factors among them are road condition, correct operation of vehicles, and observance of traffic rules by drivers. If any of these factors are less than optimal at the time of an accident, the likelihood of death increases. To reduce the probability of traffic fatalities, unsatisfactory road conditions should be eliminated, additional special road structures (such as pedestrian crossings and regulated intersections) should be arranged, liability for certain types of traffic violations should be more stringent and preventing serious types of malfunctions should be a focus of scheduled vehicle maintenance.

Keywords: traffic accident, fatal traffic accident, value of a statistical life, requirements for conditions of public roads, traffic violations.

JEL: R41, R42, C25.

Acknowledgements

This article was written as part of the RANEPa state research programme.

Введение

Около 1% смертей в России в 2020 году приходилось на дорожно-транспортные происшествия. В целом показатель смертности в ДТП на 100 тыс. человек населения за 2020 год составил 11,0 человека, что более чем в два раза превосходит аналогичный показатель для стран ЕС. Экономический ущерб, наносимый ДТП, находится во всем мире на уровне 3% мирового ВВП. Всё это обуславливает высокую актуальность выработки эффективной политики по предотвращению смертности в ДТП.

Объектом настоящего исследования являются ДТП со смертельным исходом. Цель исследования состоит в выявлении потенциальных инструментов сокращения смертности в ДТП среди таких управляемых факторов, как состояние автодорожной инфраструктуры и транспортных средств, а также соблюдение правил дорожного движения его участниками. В соответствии с этой целью были поставлены следующие задачи:

- определение факторов, влияющих на вероятность смерти в ДТП, и формулировка содержательных гипотез о направлении их влияния, в том числе выделение хорошо управляемых с точки зрения государственного регулирования факторов;
- выбор наиболее подходящего метода оценивания модели, построенной с использованием ранее отобранных характеристик, а также последующая ее оценка;
- выявление наиболее значимых факторов ДТП со смертельным исходом, количественная оценка их связи;
- выбор итоговой модели исследования на основе верификации ее предсказательной способности;
- выработка на основании полученных оценок практических рекомендаций по сокращению вероятности наступления смерти в результате ДТП.

Основой для исследования послужили данные из карточек дорожно-транспортных происшествий в России. Особое внимание при анализе величин и значимости влияния рассмотренных факторов смертности в ДТП уделялось влиянию неудовлетворительных дорожных условий, технической неисправности транспортных средств и нарушений правил дорожного движения. Результаты эмпирического анализа позволили подтвердить практически все гипотезы, выдвинутые на этапе предварительного анализа. Оптимальной моделью с точки зрения содержательной

интерпретации, а также качества прогноза оказалась логистическая регрессия.

Статья включает следующие содержательные разделы: методологические подходы к оценке вероятности и тяжести последствий ДТП с обзором научной литературы, описание особенностей используемой базы данных, моделирование вероятности ДТП со смертельным исходом и оценка результатов, а также практические рекомендации по регулированию сферы автомобильного транспорта.

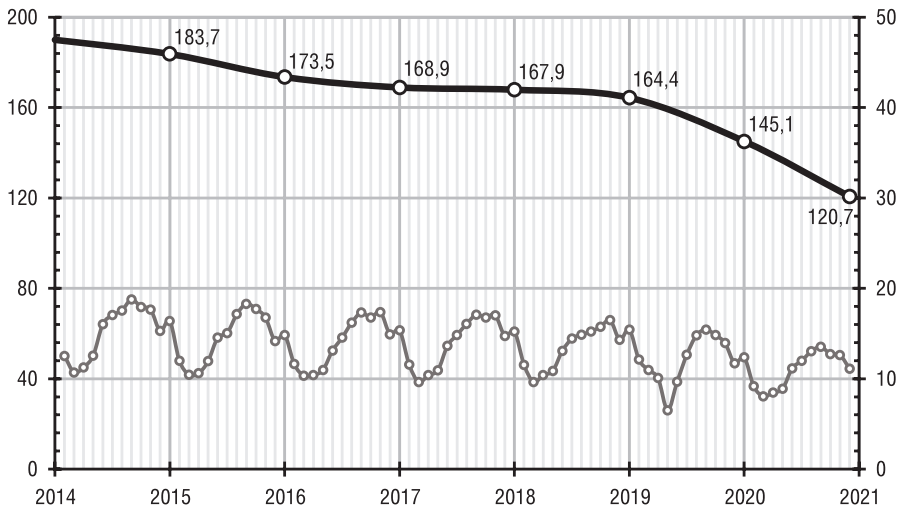
1. Вероятность и тяжесть последствий ДТП: методологические подходы к оценке и ключевые факторы

За последние семь лет ежегодное число ДТП и величина ущерба демонстрируют снижение. В среднем за рассматриваемый период количество ДТП сократилось на 34%, число погибших — на 41%. На рис. 1а–1б показана динамика изменения количества ДТП и числа погибших в них по годам и по месяцам за 2015–2021 годы.

Несмотря на последовательное сокращение общего числа ДТП и ущерба в них, на протяжении более десяти лет Россия остается одной из стран с наиболее высокими показателями смертности в ДТП [Ревич, 2006; Ревич, Решетников, 2000]. Например, в 2020 году смертность в России составила 11 человек на 100 тыс. населения, тогда как в Европе этот показатель составляет от 2,27 в Великобритании до 6,56 в Польше¹. В то же время показатель аварийности в России составляет 91 ДТП (с пострадавшими, ранеными или погибшими) на 100 тыс. населения, что является не самым высоким значением для Европы (от 62–66 в Польше и Франции до 343 в Австрии, табл. 1). Так как многие авторы отмечают, что оценки стоимости статистической жизни в России значительно различаются [Косякина, Пономарева, 2021; Прохоров, Шмаков, 2013], значение в 3,5 млн руб. принято в качестве близкого к усредненному.

Экономические потери от количества погибших в результате ДТП, оцененные в процентах от валового внутреннего продукта, во всех рассматриваемых странах очень малы, самое высокое значение наблюдается именно для России. В настоящее время политика снижения смертности и иных видов ущерба в ДТП приобретает высокую актуальность в связи с неблагоприятными факторами, влияющими на показатели избыточной смертности в последние несколько лет, — пандемией коронавируса и ухудше-

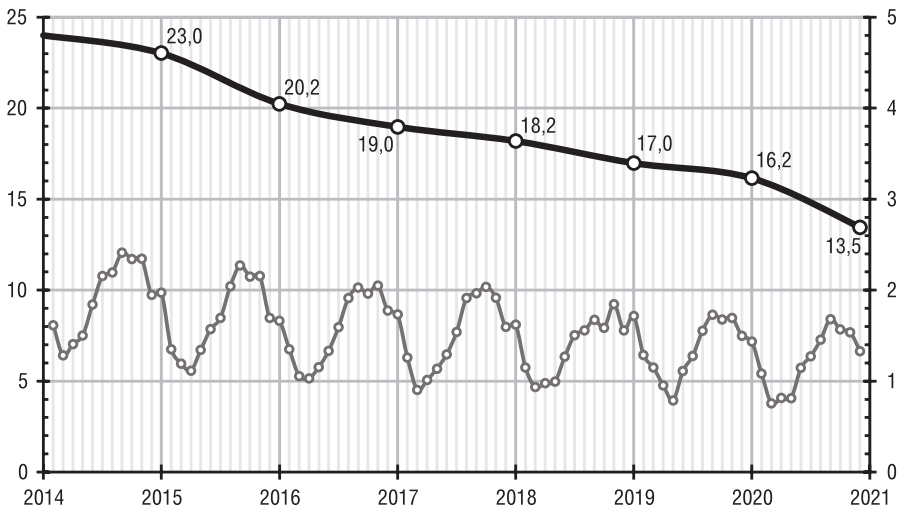
¹ <https://data.oecd.org/transport/road-accidents.htm>.



Источник: Госавтоинспекция МВД РФ. Показатели состояния безопасности дорожного движения. <http://stat.gibdd.ru>.

Рис. 1а. Динамика количества ДТП (левая ось — количество ДТП в год, правая ось — количество ДТП в месяц, тыс. единиц), 2015-2021 годы

Fig. 1a. Dynamics of the Number of Accidents (Left Scale — Number of Accidents per Year, Right Scale — Number of Accidents per Month, Thousands), 2015-2021



Источник: Госавтоинспекция МВД РФ. Показатели состояния безопасности дорожного движения. <http://stat.gibdd.ru>.

Рис. 1б. Динамика числа погибших в ДТП (левая ось — количество погибших в ДТП в год, правая ось — количество погибших в ДТП в месяц, тыс. человек), 2015-2021 годы

Fig. 1b. Dynamics of the Number of Deaths in Traffic Accidents (Left Scale — Number of Deaths in Traffic Accidents per Year, Right Scale — Number of Deaths in Traffic Accidents per Month, Thousand People), 2015-2021

Т а б л и ц а 1

**Сравнительная статистика по безопасности дорожного движения
в разных странах, 2020 год**

T a b l e 1

Comparative Statistics on Road Safety in Different Countries, 2020

Страна	Количество ДТП с пострадавшими на 100 тыс. человек населения	Число погибших в ДТП на 100 тыс. человек населения	Экономические потери от смертей в ДТП (% ВВП)
Австрия	343,949	3,858	0,004
Бельгия	261,523	4,317	0,005
Великобритания	141,657	2,273	0,003
Германия	317,755	3,266	0,003
Испания	219,809	3,706	0,007
Италия	198,653	4,022	0,006
Польша	62,029	6,564	0,020
Франция	66,955	3,771	0,005
США	585,745	11,782	0,010
Россия	91,096	11,093	0,054

Примечания: 1. Данные по Испании, США и России приведены за 2019 год. 2. Средняя стоимость статистической жизни принята за 3,5 млн руб. и переведена в доллары по среднему курсу соответствующего года.

Источник: по данным Организации экономического сотрудничества и развития. <https://data.oecd.org/transport/road-accidents.htm>.

нием экономической ситуации в результате введения экономических санкций, а также в связи с тем, что, по статистике, в ДТП с наиболее серьезными последствиями чаще всего попадают мужчины средних лет, которые являются основой трудоспособного населения.

Объяснение факторов смертности в ДТП имеет довольно длительную историю: с 1950-х годов исследователи пытались объяснить тяжесть последствий ДТП при помощи различных методологических подходов и факторов в зависимости от качества и полноты имевшихся данных. В литературе выделяется значительное число факторов, оказывающих влияние на вероятность ДТП и смертельного исхода при его совершении. Среди крупных групп факторов можно выделить характеристики водителя (возраст как прокси-переменная для наличия проблем со здоровьем и опыта, пол, соблюдение правил дорожного движения), характеристики транспортного средства (исправность отдельных частей автомобиля, наличие систем безопасности), характеристики трафика (плотность движения, скорость и ее дисперсия, наличие отдельных категорий участников — пешеходов, велосипедистов, грузовых машин и пр.), погодные условия (видимость, состояние дорожного покрытия и пр.), состояние автодорожной инфра-

структуры (наличие и исправность обязательных элементов — светофоров, дорожных знаков, качество дорожного покрытия и пр.), иные условия (скорость прибытия специальных служб после ДТП). Для удобства анализа и выявления всех факторов исследователи часто раскладывают имеющиеся факторы в матрицу Хэддона [Yaacob et al., 2018]². Матрица структурирует причины смерти в ДТП в зависимости от фазы дорожно-транспортного происшествия и группы факторов (табл. 2).

Одним из основных факторов риска возникновения ДТП является количество транспортных средств на дороге и поведение их водителей. Чаще всего исследователи проверяют гипотезу о наличии положительного влияния роста трафика на число ДТП в единицу времени. С практической точки зрения объем трафика на автомобильных дорогах измеряется такими показателями, как среднегодовая суточная интенсивность движения³ [The Handbook of Road Safety Measures, 2009], удельная плотность потока транспортных средств⁴ [Ivan et al., 2000; Lord et al., 2005], средняя доля грузового транспорта на определенном участке дороги в течение определенного временного интервала [Ivan et al., 1999], фактическая скорость движения на дороге и ее дисперсия [Garber, Ehrhart, 2000; Lave, 1985; Taylor et al., 2002], а также требования к скоростному режиму на дороге (и их изменения) [Wong et al., 2005]. Большинство авторов подтверждают наличие значимой положительной связи между переменными интенсивности движения и количества ДТП, некоторые говорят о большем уровне влияния указанного фактора на вероятность ДТП со смертельным исходом.

Так, в [Lave, 1985] исследовалась зависимость между скоростью транспортных средств и смертностью в ДТП. Автор собрал данные по шести типам дорог в США за 1981–1982 годы и построил серию линейных регрессий — для каждого типа дорог и каждого года была рассчитана отдельная модель. Чарльз Лейв использовал два фактора, позволяющих учесть влияние скорости движения автомобилей на дороге, — среднее значение скорости и дисперсию. Помимо этого, в уравнение регрессии включались характеристики водителя и доступность больниц (оцененная автором как число больниц на единицу площади страны, умноженное на долю населения, проживающего вне мегаполисов). Результаты анализа

² См. также: Фаттахов Т. Дорожно-транспортный травматизм в России и факторы его возникновения // Аист на крыше. 2017. <https://www.proaist.ru/articles/dorozhno-transportnyy-travmatizm-v-rossii-i-factory-ego-vozniknoveniya/>.

³ Среднее арифметическое годовое значение количества транспортных средств, проходящих через поперечное сечение автомобильной дороги в сутки суммарно в обоих направлениях.

⁴ Число транспортных средств, проходящихся на 1 км (на 1 милю) протяженности полосы дороги.

Т а б л и ц а 2
Т а б л и ц а 2

Матрица Хэддона: зависимость тяжести последствий ДТП от различных факторов

Hadidon Matrix: Dependence of the Severity of the Consequences of an Accident on Various Factors

Фаза ДТП		Факторы		
До аварии	Минимизация вероятности аварии	характеристики участников ДТП	характеристики средства и оборудования	характеристики окружающей среды
		- Информированность - Поведение (отношение к риску ДТП) - Состояние здоровья - Качество энфорсmenta (соблюдение ПДД)	- Удовлетворительные дорожные условия - Освещение - Исправность тормозной системы ТС - Управляемость ТС - Соблюдение рекомендованного скоростного режима	- Технико-геометрические особенности (дизайн) дороги - Качество дорожной разметки - Скоростные ограничения - Наличие элементов дорожной инфраструктуры для пешеходов
В момент аварии	Минимизация негативных последствий аварии	- Состояние здоровья - Использование удерживающих приспособлений (ремней и подушек безопасности)	- Использование удерживающих приспособлений (ремней и подушек безопасности) - Возможность использования иных приспособлений безопасности - Наличие дополнительных устройств ТС для минимизации ущерба от ДТП	Наличие противоаварийных устройств на дороге
После аварии	Сохранение жизни участников аварии	- Своевременность оказания первой помощи - Доступность медицинской помощи	- Простота доступа к месту ДТП - Вероятность возгорания в результате ДТП	- Наличие спасательных служб и простота их вызова - Перегруженность отдельных участков дороги

Источник: по данным [Yaacob et al., 2018]; <https://www.proaist.ru/articles/dorozhno-transportnyy-travmatizm-v-rossii-i-factory-ego-vozniknoveniya/>.

показали, что именно фактор дисперсии скорости оказался значимым в большинстве моделей, а коэффициент при нем был положительным и варьировался от 0,001 до 0,58 в зависимости от категории дороги⁵.

Еще одним методом оценки влияния величины максимальной разрешенной скорости на вероятность ДТП являются исследования «до — после». Например, авторы [De Pauw et al., 2014] оценивали влияние снижения максимальной скорости с 90 до 70 км/ч, предписанного в нескольких провинциях Бельгии в 2001–2002 годах. Авторы сравнивали риск ДТП на 80 участках дорог (61 участок с изменившимся скоростным режимом и 19 с неизменным) с 1996 года по 2007-й. Результаты анализа показали, что ужесточение скоростного режима снизило вероятность ДТП на 5%, а для ДТП с тяжелыми травмами и смертельным исходом — на 33%.

Необходимо также отметить, что с практической точки зрения учет фактических объемов трафика на дорогах в большинстве случаев затруднен ввиду отсутствия таких данных или высокой трудоемкости их сбора, поэтому эти показатели часто оцениваются при помощи усредненных значений или прокси-переменных, таких как показатели грузо- и пассажирооборота, потребления бензина и другие.

Несмотря на значительное влияние фактора скорости на вероятность смерти в ДТП, использование этих результатов для принятия практических решений в области регулирования ограничено. Как следует из результатов большинства исследований, увеличение скорости движения транспортных средств приводит к росту вероятности смертельного исхода в ДТП. При этом нулевая смертность будет достигаться при полном отсутствии движения на автомобильных дорогах. Однако развитие и использование транспортной инфраструктуры является одним из источников экономического роста [Казакова, Поспелова, 2017; Литвинова, Пономарев, 2016]. Имеющиеся в разных странах ограничения скорости представляют своего рода компромисс между безопасностью дорожного движения и темпами экономического роста, и многие исследователи обращаются к этой проблеме [Law et al., 2011; Sirajudeen et al., 2021].

Погодные и климатические условия также влияют на вероятность ДТП и тяжесть его последствий. Наиболее часто включаемыми в анализ динамики числа ДТП в единицу времени и тяжести последствий ДТП факторами являются наличие осадков в момент ДТП и среднее количество осадков, характерное для места ДТП [Afghari et al., 2018]. Чаще всего эмпирический анализ демонстри-

⁵ В качестве зависимой переменной автором рассматривался уровень смертности в ДТП.

рует, что неблагоприятные или нехарактерные для определенной местности погодные условия приводят к росту числа и тяжести ДТП. Осадки влияют одновременно на видимость на дороге и состояние дорожного полотна [Jovanis, Chang, 1986]. При анализе влияния этого фактора важно учитывать и то, что видимость улучшается сразу после прекращения дождя или снега, а состояние дороги — нет.

Модели, учитывающие влияние осадков на вероятность ДТП, демонстрируют наиболее противоречивые с точки зрения направления влияния результаты, поскольку поведение водителей может различаться в зависимости от особенностей, в том числе географических и природно-климатических, их постоянного места пребывания. Так, снежный день в странах Скандинавии не вызывает такого транспортного коллапса, как дождливый в средиземноморских странах. В России значительное количество ДТП со смертельным исходом в летние месяцы с более благоприятными погодными условиями может быть связано с общим увеличением количества водителей на дороге⁶, а также с изменением поведения (большей склонности к риску) самих водителей при более благоприятных условиях. Например, ДТП чаще случаются в субботу, когда количество участников дорожного движения ниже по сравнению с рабочими днями.

Еще одним фактором, зависящим от погодных условий и климата, является состояние дорожного покрытия, в том числе наличие наледи, снежного покрова, реагентов, грязи. Большинство исследователей выявляют значимое положительное влияние неблагоприятного состояния дорожного покрытия на вероятность и тяжесть ДТП [Chen et al., 2018; Malin et al., 2019; Salli et al., 2008].

Как было показано, смертность в результате ДТП для России выше по сравнению с развитыми странами, что требует анализа. Российские авторы, например в работах [Фаттахов, 2015; Пьянкова, Фаттахов, 2019], выделяют высокую значимость человеческого фактора, в том числе превышение скоростного режима и злоупотребление алкоголем, а также географические особенности России — большую протяженность, высокую дифференциацию между регионами, влияние места ДТП (высокий вклад в статистику смертности ДТП, произошедших вне населенных пунктов, рост смертности в ДТП в сельских населенных пунктах), особенности процессов автомобилизации населения и обновления автомобильного парка.

⁶ Например, некоторые водители могут использовать автомобиль только в период отсутствия снежного покрова на дороге.

В работе [Синявская, Шестаков, 2019] для выделения факторов, приводящих к смерти в результате ДТП, используется матрица Хэддона. Авторы отмечают особую важность для России человеческого фактора: в 2016 году более чем в 86% ДТП фиксируется вина водителей, в том числе в 30% смертельных ДТП это превышение скорости. В качестве фактора окружающей среды авторы отмечают низкое соответствие автомобильных дорог в России нормативным требованиям.

Сказанное позволяет выделить несколько наиболее управляемых с точки зрения государственного регулирования факторов, оказывающих положительное влияние на показатель смертности в ДТП, а именно: неудовлетворительное состояние дорожной инфраструктуры и транспортных средств, а также поведение водителей (в части соблюдения ими правил дорожного движения), что будет подробнее исследовано в практической части работы.

2. Методология и особенности базы данных, используемой для анализа

Для оценки взаимосвязи между вероятностью ДТП со смертельным исходом и различными влияющими факторами использовались данные Госавтоинспекции о состоянии безопасности дорожного движения⁷ за период с 1 января 2015 года по 31 августа 2019-го — всего 794 144 наблюдений⁸. В имеющуюся базу данных добавлены характеристики государственного контроля обеспечения сохранности автомобильных дорог общего пользования⁹, а также некоторые характеристики состояния автомобильных дорог в разрезе регионов¹⁰.

Переменной интереса в настоящей работе является бинарная переменная наличия («1») или отсутствия («0») смертельного исхода в ДТП. Значения переменной распределены очень неравномерно, доля ДТП без смертельного исхода составляет более 90% выборки.

Как уже говорилось, российские исследователи чаще всего говорят о высокой значимости человеческого фактора в ДТП. В рассматриваемой выборке нарушения правил дорожного движения наблюдаются только в 15% всех ДТП и в 18% ДТП со смертельным исходом. При этом, однако, рассматриваются только нарушения ПДД, совершенные именно виновником дорожно-

⁷ <http://stat.gibdd.ru>.

⁸ Данные за 2020 год не были включены в рассматриваемый период, так как для их анализа был бы необходим учет структурных сдвигов, возникших в результате осуществления комплекса противоэпидемиологических мероприятий.

⁹ <https://proverki.gov.ru/portal/public-open-data>.

¹⁰ <https://www.fedstat.ru/indicator/50215>.

транспортного происшествия. Наиболее часто встречаются такие нарушения, как управление транспортным средством в состоянии опьянения и в отсутствие прав управления, которые встречаются примерно в 60 и 28% случаев ДТП со смертельным исходом соответственно.

Отдельное внимание хотелось бы уделить факторам наличия неудовлетворительных дорожных условий и неисправности транспортных средств. По первому фактору в анализируемой выборке значения соответствующих переменных распределены достаточно равномерно: наличие хотя бы одного неудовлетворительного дорожного условия (НДУ)¹¹ наблюдается в 37% всех ДТП, причем среди ДТП со смертельным исходом неудовлетворительные дорожные условия наблюдаются также приблизительно в 36% ДТП. Для сравнения: в 2013 году в порядка 25% ДТП наблюдалось наличие НДУ [Фаттахов, 2015], что отражает рост значимости этого фактора. По данным за 2015–2019 годы, чаще других встречаются неудовлетворительные условия таких видов, как отсутствие или плохая видимость горизонтальной разметки (в 21% ДТП), отсутствие дорожных знаков (7%), недостатки зимнего содержания (6%), а также неправильное применение и/или плохая видимость дорожных знаков и отсутствие пешеходных ограждений (по 5%).

Переменные, характеризующие наличие неисправностей транспортных средств, тоже распределены в анализируемой выборке крайне неравномерно. Так, например, только в 3,2% ДТП в общем числе ДТП со смертельным исходом наблюдается наличие хотя бы одной неисправности. Однако такое распределение соответствует обобщенным данным Госавтоинспекции о безопасности дорожного движения. Наиболее часто встречаются неисправности, связанные с колесами транспортного средства и его обзором, их доля составляет 38 и 31% числа случаев ДТП со смертельным исходом соответственно.

Таким образом, особенностью исследуемой выборки является неравномерность распределений объясняющих переменных, а также наличие большого количества наблюдений, дифференцированных во времени и пространстве. Размер выборки позволяет включать в анализ значительное число факторов, а также использовать современные методы анализа больших данных, которые не применимы на малых выборках. База данных о состоянии автомобильных дорог имеет панельную структуру, единицей наблюдения для некоторых характеристик дорожной инфраструктуры является один регион в один год (табл. 3).

¹¹ Одновременное наличие двух и трех видов НДУ встречается относительно редко — в 23 и 7% случаев соответственно.

Т а б л и ц а 3

Переменные в модели: описание и гипотезы

T a b l e 3

Variables in the Model: Description and Hypotheses

Название и описание переменной	Проверяемая гипотеза
ДТП со смертельным исходом (0 — нет, 1 — да) ^a	—
День недели ^a	В выходные дни вероятность смертельного исхода выше
Количество транспортных средств — участников ДТП ^a	Чем больше транспортных средств участвует в ДТП, тем более вероятен смертельный исход
Количество человек — участников ДТП ^a	Чем больше людей участвует в ДТП, тем более вероятен смертельный исход
Количество проверок состояния автомобильных дорог в соответствующем регионе до даты ДТП ^b	Чем больше проверок состояния дорог проводилось, тем менее вероятен смертельный исход
Среднее число нарушений, выявляемых за одну проверку ^b	Чем больше нарушений в ходе проверок было выявлено (и устранено), тем менее вероятен смертельный исход
Доля дорог, соответствующих нормативным требованиям (%) ^c	Чем лучше состояние автомобильных дорог, тем менее вероятен смертельный исход
Сумма контрактов на ремонт дорог за предшествующие годы (руб., логарифм) ^d	Чем больше объем проведенных работ по ремонту автомобильных дорог, тем более вероятен смертельный исход
Вид ДТП (категориальная переменная) ^a	Вероятность смертельного исхода выше для некоторых типов ДТП (наезд на пешехода, опрокидывание и др.)
Тип транспортного средства — виновника ДТП (категориальная переменная) ^a	Вероятность смертельного исхода выше для ДТП с участием мототранспорта, велосипедов и грузовых автомобилей и др.
Категория дороги (категориальная переменная) ^a	Вероятность смертельного исхода выше для ДТП, происходящих на дорогах определенных категорий (федерального значения и др.)
Местоположение ДТП (бинарная переменная) ^a	Для ДТП вне населенных пунктов вероятность смертельного исхода выше
Категория улицы населенного пункта (категориальная переменная) ^a	Вероятность смертельного исхода в ДТП выше для отдельных типов улиц населенных пунктов ввиду различий в интенсивности движения и скоростных режимах
Осадки в момент ДТП (категориальная переменная) ^a	Для ДТП, в момент совершения которых наблюдалось выпадение осадков, более вероятен смертельный исход
Туман в момент ДТП (бинарная переменная) ^a	Вероятность смертельного исхода в ДТП выше, если в момент ДТП наблюдается туман
Ураганный ветер в момент ДТП (бинарная переменная) ^a	Вероятность смертельного исхода в ДТП выше при ураганном ветре
Состояние покрытия проезжей части (категориальная переменная) ^a	Вероятность смертельного исхода выше для ДТП при нарушении сцепных качеств дорожного покрытия
Освещение в момент ДТП (категориальная переменная) ^a	Вероятность смертельного исхода выше для ДТП, происходящих в темное время
Группа технических неисправностей ТС в момент ДТП (категориальная переменная) ^a	Вероятность смертельного исхода выше при наличии у транспортных средств неисправностей

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы 3

Название и описание переменной	Проверяемая гипотеза
Нарушения правил дорожного движения водителем ТС — виновником ДТП (бинарная переменная) ^a	Управление ТС водителем в состоянии алкогольного опьянения и нарушение им правил применения ремней безопасности увеличивают вероятность смертельного исхода
Неудовлетворительные дорожные условия в момент ДТП (бинарная переменная) ^a	Смертельный исход более вероятен для ДТП, происходящих на дорогах, для которых характерно наличие НДУ любого типа
Сооружения и инженерные устройства дороги (бинарная переменная) ^a	Вероятность смертельного исхода варьируется в зависимости от типа сооружения
Количество факторов, повышающих опасность дорожной ситуации в момент ДТП (например, сужение проезжей части) ^a	Вероятность ДТП со смертельным исходом тем выше, чем больше факторов повышенной опасности дорожной ситуации (различных типов) наблюдается одновременно

^a <http://stat.gibdd.ru>;^b <https://proverki.gov.ru/portal/public-open-data>;^c <https://www.fedstat.ru/indicator/50215>;^d <https://zakupki.gov.ru>.

Источники: база данных «Показатели состояния безопасности дорожного движения» Госавтоинспекции. <http://stat.gibdd.ru>; база данных ФГИС «Единый реестр проверок» Генеральной прокуратуры Российской Федерации. <https://proverki.gov.ru/portal/public-open-data>; Росстат. <https://www.fedstat.ru/indicator/50215>; ГИС «Единая информационная система в сфере закупок». <https://zakupki.gov.ru>.

3. Моделирование вероятности ДТП со смертельным исходом

В эмпирической части исследования для анализа использовались несколько методологических подходов. Была построена логит-модель, а также модели на основе методов машинного обучения — нейронной сети (neural network) и классификации методом опорных векторов (support vector machine, SVM). Результаты всех моделей сравнивались с точки зрения критерия качества прогноза.

В рамках оценивания логистической модели вероятности смертельного исхода в ДТП построены несколько спецификаций моделей, предполагающих различную функциональную связь зависимой переменной с показателями неудовлетворительных дорожных условий, а именно модель, включающая фактор наличия в момент ДТП хотя бы одного НДУ, модель с фактором количества НДУ разных типов, встречающихся одновременно (и их перекрестных эффектов)¹², а также модель с включением набора фиктивных переменных (29 единиц), каждая из которых отражает на-

¹² При этом существенные эффекты взаимного усиления эффектов НДУ разных типов обнаружены не были, в некоторых случаях, напротив, наблюдалось взаимное ослабление, что могло быть следствием снижения склонности к риску у водителей.

личие в момент ДТП неудовлетворительного дорожного условия определенного вида (*dummy_NDU*):

$$dtp_fatal_i = \alpha + X_i \times \beta + \sum_{k=1}^{29} \gamma_k \times dummy_NDU_{ik} + \varepsilon_i, \quad (1)$$

где X_i обозначает набор объясняющих переменных, кроме НДУ. В этот набор входят количество участников ДТП — транспортных средств и людей, количество проверок и нарушений, характеристики нормативного состояния дорог в регионе ДТП, вид ДТП и тип ТС участников ДТП, категория дороги и улицы населенного пункта, погодные условия в момент ДТП (включая осадки), состояние проезжей части и освещения, а также виды сооружений и дорожных устройств, нарушений ПДД и неисправностей транспортных средств (полный список включенных в регрессии объясняющих переменных¹³ приведен в табл. 3).

Количественные оценки модели (1), коэффициенты модели и предельные эффекты содержатся в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Результаты оценивания логистической модели (1)

T a b l e 4

Results of Evaluating the Logistic Model (1)

Независимая переменная	Коэффициент	Предельный эффект
<i>День недели (категориальная переменная, базовая категория — понедельник, приведены только значимые)</i>		
Суббота	0,05***	0,00***
Воскресенье	0,04**	0,00**
Количество ТС — участников ДТП	–0,03***	–0,00***
Количество человек — участников ДТП	0,23***	0,02***
Количество проверок	–0,00**	–0,00**
Среднее число нарушений за проверку	0,03***	0,00***
Доля дорог, соответствующих нормативным требованиям (%)	0,00***	0,00***
Сумма контрактов на ремонт дорог за предшествующие годы (руб., логарифм)	0,00***	0,00***
<i>Вид ДТП (дамми-переменная)</i>		
Наезд на пешехода	1,07***	0,08***
Наезд на велосипедиста	0,61***	0,05***
Наезд на препятствие	0,32***	0,02***
Наезд на стоящее ТС	–0,13***	–0,01***
Столкновение	–0,04	–0,00
Съезд с дороги	–0,40***	–0,02***

¹³ Фактор трафика учитывался при помощи прокси-переменных потребления бензина и грузо- и пассажиропотоков по регионам, однако существенного вклада в объяснение динамики смертности в ДТП эти переменные не внесли.

Продолжение таблицы 4

Независимая переменная	Коэффициент	Предельный эффект
Опрокидывание	-0,07*	-0,00*
Падение пассажира	-1,48***	-0,05***
Тип транспортного средства — виновника ДТП (дамми-переменная, базовая категория — легковые автомобили)		
Грузовые автомобили и ремонтная техника	0,46***	0,03***
Специальные автомобили и техника	0,09	0,01
Мототранспорт	0,32***	0,02***
Велосипеды	-0,06	-0,00
Общественный транспорт	0,41***	0,03***
Иное	-0,25***	-0,01***
Категория дороги (базовая категория — федеральные дороги)		
Региональные или межмуниципальные	-0,21***	-0,01***
Местные	-0,90***	-0,05***
Частные	-0,54***	-0,03***
Другие	-0,25***	-0,01***
Не указана	-0,97***	-0,05***
Дамми-переменная «ДТП произошло вне населенного пункта» — 0, «ДТП произошло в населенном пункте» — 1	-0,49***	-0,03***
Категория улицы населенного пункта (базовая категория — магистральные улицы)		
Главные и основные	0,39***	0,03***
Второстепенные и местного значения	0,02	0,00
Пешеходные и велосипедные зоны	0,06	0,00
Иное	0,41***	0,03***
Осадки в момент ДТП (базовая категория — без осадков)		
Дождь	0,12***	0,01***
Снегопад	0,04	0,00
Метель	0,24***	0,02***
Туман в момент ДТП (дамми-переменная)	0,22***	0,01***
Ураганный ветер в момент ДТП (дамми-переменная)	0,26	0,02
Температура в момент ДТП (базовая категория — нормальная температура)		
Температура выше 30°C	0,00	0,00
Температура ниже 30°C	-0,07	-0,00
Состояние покрытия проезжей части (базовая категория — сухое)		
Свежеуложенное покрытие, поверхностная обработка	-0,22*	-0,01**
Пыльное	0,06	0,00
Мокрое	-0,10***	-0,01***
Покрытое водой	0,36	0,02
Загрязненное	-0,24***	-0,01***
Заснеженное	-0,48***	-0,02***
Со снежным накатом	-0,45***	-0,02***
Гололедица	-0,30***	-0,02***
Обработанное противогололедными материалами	-0,24***	-0,01***

Продолжение таблицы 4

Независимая переменная	Коэффициент	Предельный эффект
Освещение в момент ДТП (базовая категория — светлое время суток)		
Сумерки	0,27***	0,028***
В темное время суток, освещение отсутствует	0,62***	0,05***
В темное время суток, освещение не включено	0,49***	0,04***
В темное время суток, освещение включено	0,42***	0,03***
Неудовлетворительные дорожные условия в момент ДТП (дамми-переменная)		
Дефекты покрытия	0,06**	0,00**
Нарушения в размещении рекламы	0,28***	0,02***
Недостатки зимнего содержания	0,11***	0,01***
Недостаточное освещение	-4,81	-0,06***
Неисправное освещение	0,72***	0,06***
Неисправность светофора	0,12	0,01
Плохая видимость дорожных знаков	0,13***	0,01***
Неровное покрытие	0,46***	0,03***
Дефекты дорожных ограждений	0,27***	0,02***
Дефекты железнодорожных переездов	-0,27	-0,01
Дефекты люков, смотровых колодцев и ливневой канализации	0,42***	0,03**
Дефекты обочин	0,53***	0,04***
Дефекты разделительной полосы	0,20	0,01
Низкие сцепные качества покрытия	0,15**	0,01**
Ограничение видимости	0,26***	0,02**
Дефекты рельсов железнодорожных путей	0,67*	0,05
Неразличимость вертикальной разметки	0,26***	0,02***
Неразличимость горизонтальной разметки	0,13***	0,01***
Отсутствие временных технических средств обеспечения движения в местах проведения работ	0,47***	0,03***
Отсутствие дорожных знаков	0,21***	0,01***
Отсутствие дорожных ограждений	0,64***	0,05***
Отсутствие направляющих устройств и световозвращающих элементов на них	0,41***	0,03***
Отсутствие освещения	0,52***	0,04***
Отсутствие пешеходных ограждений	0,08**	0,00**
Отсутствие пешеходных дорожек	0,17***	0,01***
Отсутствие элементов обустройства остановок	0,05	0,00
Плохая видимость световозвращателей на дорожных ограждениях	0,38***	0,03**
Плохая видимость светофора	0,47**	0,03*
Сужение проезжей части / наличие препятствий	0,24***	0,02***
Сооружения и инженерные устройства дороги (дамми-переменная)		
Нерегулируемый перекресток неравнозначных дорог	-0,45***	-0,0228***
Нерегулируемый перекресток равнозначных дорог	-0,63***	-0,03***
Нерегулируемое пересечение с круговым движением	-0,60***	-0,03***

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы 4

Независимая переменная	Коэффициент	Предельный эффект
Нерегулируемый пешеходный переход	-0,69***	-0,03***
Нерегулируемый пешеходный переход вблизи детского учреждения	-1,13***	-0,04***
Нерегулируемый железнодорожный переезд	0,23	0,02
Регулируемый перекресток	-0,70***	-0,03***
Регулируемый пешеходный переход	-0,50***	-0,02***
Регулируемый пешеходный переход вблизи детского учреждения	-1,00**	-0,04***
Регулируемый железнодорожный переезд без дежурного	1,41***	0,15***
Регулируемый железнодорожный переезд с дежурным	-0,15	-0,01
Остановка общественного транспорта	-0,19***	-0,01***
Остановка трамвая	-0,40***	-0,02***
Пешеходная дорожка	-0,33***	-0,02***
Пешеходная зона	-0,52**	-0,02***
Количество различных факторов, повышающих опасность дорожной ситуации, в момент ДТП	-0,17***	-0,01***
Неисправности ТС (базовая категория — отсутствие)		
Колеса и шины	0,14***	0,01***
Тормозная система	0,14	0,01
Ремни безопасности	-0,29**	-0,01**
Топливная система	0,28	0,02
Обзор	0,10	0,01
Двигатель	1,01**	0,09*
Прицеп	0,85***	0,07**
Рулевое управление	0,02	0,00
Электрооборудование	-0,03	-0,00
Прочее	-0,02	-0,00
Нарушения ПДД водителем ТС — виновником ДТП (дамми-переменная)		
Управление в состоянии алкогольного опьянения	1,11***	0,10***
Управление в состоянии наркотического опьянения	0,52***	0,04***
Непристегивание ремня безопасности водителем	0,99***	0,09***
Непристегивание ремня безопасности пассажиром	0,40***	0,03***
Нарушение правил перевозки детей	-0,15***	-0,01***
Управление ТС лицом, не имеющим на это права	0,20***	0,01***
Нарушение правил обгона	0,79***	0,06***
Эксплуатация технически неисправного ТС, приведшая к ДТП	0,32***	0,02***
Некорректная эксплуатация или эксплуатация технически неисправного ТС	-0,15***	-0,01***
Константа	-2,88***	-0,22***

Примечание. Уровни значимости коэффициентов: * — коэффициент значим на 10-процентном уровне, ** — коэффициент значим на 5-процентном уровне, *** — коэффициент значим на 1-процентном уровне.

Наиболее существенными по величине оказываемого эффекта на вероятность смертельного исхода в ДТП и его статистической значимости являются:

- принадлежность ДТП к типам «наезд на пешехода» и «наезд на велосипедиста»;
- число людей, участвовавших в ДТП;
- тип транспортного средства, считающегося виновником ДТП;
- наступление ДТП вне населенных пунктов и на некоторых категориях улиц;
- неудовлетворительное состояние дорожного покрытия, а также уровень освещения и видимости.

С практической точки зрения больший интерес представляет группа характеристик, которая относится к состоянию автомобильных дорог и инфраструктуры в месте ДТП:

- наличие неудовлетворительных дорожных условий на месте ДТП (любого типа);
- возникновение ДТП на определенных дорожных сооружениях;
- наличие некоторых видов технических неисправностей ТС — участников ДТП;
- некоторые виды нарушений ПДД участниками ДТП.

В модели (1) большинство коэффициентов γ_k , которые находятся при переменных — идентификаторах различных видов НДУ, положительны и значимы. Величина снижения вероятности смертельного исхода в результате устранения одного определенного НДУ варьируется от 0,3 до 5,8%. Наибольший предельный эффект будут оказывать устранение проблем с освещением — его неисправности (5,8%) и отсутствия (3,8%), проблем с отсутствием ограждений в необходимых местах (4,9%) и неудовлетворительным состоянием обочин (3,9%), а также с видимостью светофоров (3,4%).

Для оценки качества предсказательной силы модели выборка была разделена на обучающую и тестовую подвыборки в пропорции 7 : 3¹⁴. В результате можно говорить о том, что построенная модель (1) верно классифицирует более 99% наблюдений тестовой подвыборки.

Достаточно высокий уровень предсказательной способности модели также подтверждается с помощью ROC-кривой (рис. 2).

¹⁴ Соотношение является стандартным при проведении такого анализа.

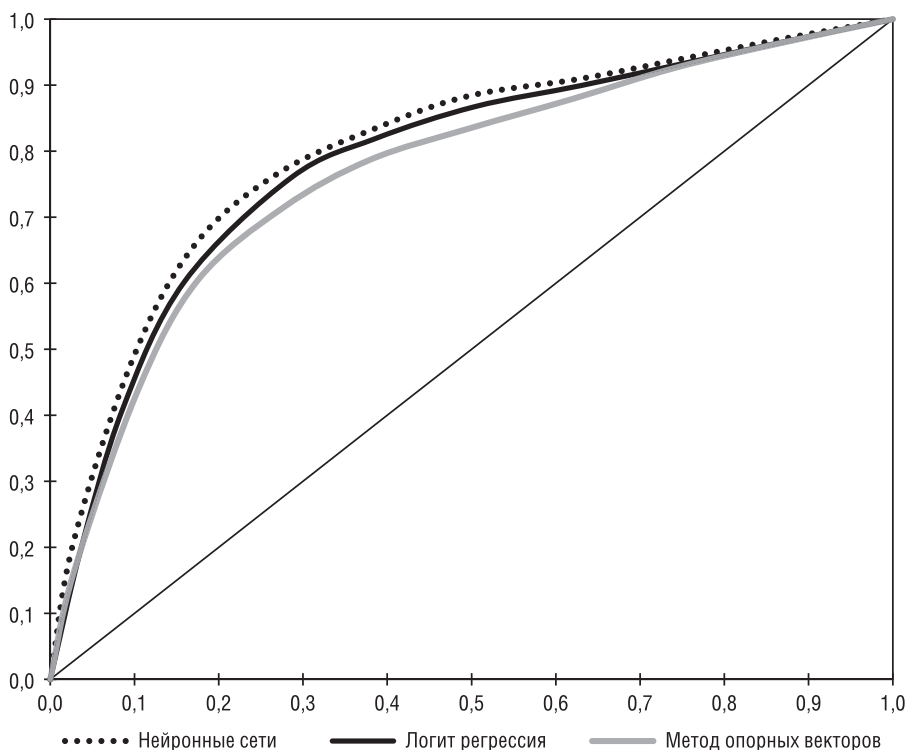


Рис. 2. ROC-кривые для оцениваемых моделей с зависимой переменной «ДТП со смертельным исходом» (ось абсцисс — доля неверно предсказанных моделью ДТП со смертельным исходом в общем числе ДТП со смертельным исходом, ось ординат — доля верно предсказанных моделью ДТП со смертельным исходом в общем числе ДТП со смертельным исходом)

Fig. 2. ROC Curves for Estimated Models with Dependent Variable "Fatal Accident" (X-Axis — Ratio of Fatal Accidents Incorrectly Predicted by the Model to Total Fatal Accidents, Y-Axis — Ratio of Fatal Accidents Correctly Predicted by the Model to Total Fatal Accidents)

Для сравнения результатов исследуемая выборка была проанализирована с помощью методов машинного обучения. Построены две модели с использованием метода нейронных сетей и метода опорных векторов (SVM). В теории классификации логит-модель может считаться разновидностью моделей, основанных на методе нейронной сети. Поэтому качество прогноза модели нейронной сети должно быть не хуже качества прогноза логит-модели. Использование метода опорных векторов также может считаться относительно более предпочтительным, особенно для данных, характеризующихся высокой степенью вариации. Однако в то же время логистическая регрессия тоже может быть не хуже модели, построенной методом опорных векторов. Существенным преимуществом логит-модели с практической точки зрения является возможность анализа и интерпретации влияния каждого фак-

тора, а модели машинного обучения представляют собой своего рода черный ящик.

Значение площади под ROC-кривой, AUC ROC, составляет для модели нейронных сетей AUC 0,791, а для модели, оцененной методом опорных векторов AUC, — 0,767. С этой точки зрения наилучшей является модель нейронных сетей. Однако значение показателя качества очень незначительно превышает соответствующее значение для логистической модели, что с учетом ее преимуществ с точки зрения содержательного анализа позволяет считать ее оптимальной.

4. Практические рекомендации по предотвращению риска смертности в ДТП

Проведенный эмпирический анализ свидетельствует о возможности совершенствования законодательства в сфере управления состоянием автомобильных дорог общего пользования, а также создания адекватной системы стимулов для участников дорожного движения в нескольких направлениях.

Во-первых, наличие почти всех видов дорожных сооружений на участках дорог приводит к снижению вероятности смертельного исхода в ДТП на них. Фактически установка таких сооружений является инструментом по снижению тяжести последствий ДТП. Например, наличие пешеходного перехода снижает вероятность смертельного исхода примерно на 2,5–4%. Необходимость установки дополнительных единиц таких сооружений целесообразно определять исходя из анализа выгод и издержек, в котором следует учитывать помимо прочего характеристики местности и тип дороги. Так, установка пешеходного перехода более чем в четыре раза эффективнее с точки зрения снижения смертности в населенном пункте, чем вне его (4,5 и 1,1% соответственно). Однако вероятность смертельного исхода в результате ДТП в населенном пункте приблизительно на 3% ниже, чем вне населенного пункта. В то же время в населенном пункте эффект установки пешеходного перехода почти не зависит от вида улицы и составляет приблизительно 3,9% для магистральных и 3,7% для второстепенных улиц. Таким образом, эффект снижения смертности в ДТП от установки пешеходного перехода, как и любого другого специального дорожного сооружения, значительно варьируется в зависимости от характеристик местности и типа дороги.

Во-вторых, результаты построенной модели свидетельствуют, что наличие неудовлетворительных дорожных условий любого типа приводит к увеличению вероятности гибели людей в результате ДТП. Современное устранение неудовлетворительных до-

рожных условий может являться одним из наиболее эффективных инструментов сокращения смертности в результате ДТП. Однако целесообразно проводить приоритизацию мероприятий по устранению НДУ в зависимости от их стоимости, сроков и ожидаемого с точки зрения снижения смертности эффекта. Например, наиболее короткие нормативные сроки устранения нарушений приходятся на недостатки зимнего содержания (от 3 до 12 часов) и плохую видимость дорожных знаков (24 часа). При этом наличие таких типов НДУ повышает вероятность смертельного исхода только на 0,7 и 0,8%, соответственно. В то же время с точки зрения тяжести последствий ДТП сильнее всего — на 5,8 и 4,9% — увеличивают вероятность смертельного исхода неисправности освещения и отсутствие ограждений в необходимых местах, так что именно эти недостатки целесообразно устранять в первую очередь. Таким образом, можно говорить о необходимости сокращения сроков устранения указанных видов неудовлетворительных дорожных условий.

В-третьих, наиболее значимый эффект на вероятность смерти в ДТП оказывает наличие в транспортном средстве неисправностей двигателя автомобиля. Это означает, что такой вид неисправностей наиболее важен для контроля в ходе планового технического обслуживания.

В-четвертых, нарушения правил дорожного движения являются одним из наиболее очевидных факторов дорожно-транспортных происшествий. Управление транспортным средством в состоянии алкогольного опьянения повышает вероятность гибели людей на 10,0%, нарушения правил обгона — на 6,5%, нарушения правил применения ремней безопасности — на 8,8% для водителя и на 2,8% для пассажира. Создание системы стимулов к соблюдению ПДД участниками дорожного движения должно быть основано на установлении адекватного уровня ответственности за совершенное правонарушение. Более подробный анализ показывает, что для некоторых типов нарушений ПДД установлены очень низкие уровни ответственности: например, нарушение правил обгона влечет за собой штраф в размере 5 тыс. руб., нарушение использования ремней безопасности — только 1 тыс. руб., эксплуатация технически неисправного транспортного средства — 500 руб. Ожидаемый ущерб в терминах ожидаемых потерь стоимости жизни составляет около 200 тыс. руб., 100–300 тыс. руб. и 80 тыс. руб. соответственно. Повышение ответственности до уровня ожидаемого ущерба будет создавать правильную систему стимулов для участников дорожного движения. Возможно также положительное стимулирование водителей к безопасной езде путем введения дополнительных скидок на услуги страхования автомобиля, прохождения технического осмотра, стимулирование

граждан к контролю соблюдения ПДД другими участниками дорожного движения и введение дополнительных процедур контроля знаний ПДД водителями при замене водительских прав.

Заключение

В настоящей статье количественно проанализированы основные факторы смертности в ДТП, такие как характеристики инфраструктуры и места ДТП, включая соблюдение определенных в законодательстве обязательных требований к автодорожной инфраструктуре, характеристики водителя, преимущественно его состояние, и соблюдение правил дорожного движения, погодные условия, в том числе наличие осадков различного вида в момент ДТП, и состояние дорожного покрытия.

В работе предложены четыре направления совершенствования законодательства. Предлагается рассмотреть возможность установки дорожных сооружений в местах концентрации ДТП со смертельным исходом, скорректировать сроки устранения неблагоприятных дорожных условий, связанных с недостаточным освещением автомобильных дорог, плохой видимостью дорожных знаков и отсутствием ограждений на автомобильных дорогах, пересмотреть требования к техническому осмотру транспортных средств в сторону более тщательного контроля неисправностей их двигателей, скорректировать штрафы за отдельные виды нарушений правил дорожного движения. Совместная реализация предложенных мер по выделенным направлениям может дать существенный эффект с точки зрения сокращения смертности в результате ДТП — в общей структуре ДТП количество происшествий с указанными признаками составляло от 17 до 23% в среднем за год.

Литература

1. Казакова М. В., Поспелова Е. А. Качество инфраструктуры как одно из ограничений экономического роста: сравнительный анализ России и стран мира // *Экономические отношения*. 2017. Т. 7. № 3. С. 247–268.
2. Косякина А. И., Пономарева Е. А. Стоимость статистической жизни: оценки на основе концепции человеческого капитала // *Экономическая политика*. 2021. Т. 16. № 6. С. 94–119.
3. Литвинова Ю. О., Пономарев Ю. Ю. Анализ влияния развития транспортной инфраструктуры на совокупную факторную производительность // *Российское предпринимательство*. 2016. Т. 17. № 1. С. 89–98.
4. Прохоров Б. Б., Шмаков Д. И. Причины гибели людей в мирное время и экономическая оценка стоимости потерь // *Проблемы прогнозирования*. 2013. Т. 4. № 139. С. 139–147.
5. Пьянкова А. И., Фаттахов Т. А. Смертность от дорожно-транспортных происшествий в России: подходы к оценке, тенденции и перспективы // *Демографическое обозрение*. 2019. Т. 6. № 3. С. 58–84.

6. Ревич Б. А. К оценке факторов риска смертности населения России и реальности их снижения: комментарии к докладу Всемирного банка «Рано умирать» // Проблемы прогнозирования. 2006. № 6. С. 114–132.
7. Ревич Б. А., Решетников К. Н. Причина смерти: дорожно-транспортное происшествие // Демоскоп Weekly. 2000. № 51. С. 4.
8. Синявская Н. В., Шестаков В. И. Анализ факторов дорожно-транспортного травматизма и смертности // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2019. № 1. С. 256–260.
9. Фаттахов Т. А. Дорожно-транспортный травматизм в России и его факторы // Социальные аспекты здоровья населения. 2015. Т. 44. № 4.
10. Afghari A. P., Washington S., Haque Md. M., Li Z. A Comprehensive Joint Econometric Model of Motor Vehicle Crashes Arising from Multiple Sources of Risk // Analytic Methods in Accident Research. 2018. Vol. 18. P. 1–14.
11. Chen F., Chen S., Ma X. Analysis of Hourly Crash Likelihood Using Unbalanced Panel Data Mixed Logit Model and Real-Time Driving Environmental Big Data // Journal of Safety Research. 2018. Vol. 65. P. 153–159.
12. De Pauw E., Daniels S., Thierie M., Brijs T. Safety Effects of Reducing the Speed Limit from 90 km/h to 70 km/h // Accident Analysis and Prevention. 2014. No 62. P. 426–431.
13. Garber N. J., Ehrhart A. A. Effects of Speed, Flow, and Geometric Characteristics on Crash Frequency for Two-Lane Highways // Transportation Research Record. 2000. Vol. 1717. No 1. P. 76–83.
14. Ivan J. N., Pasupathy R. K., Ossenbruggen P. J. Differences in Causality Factors for Single and Multi-Vehicle Crashes on Two-Lane Roads // Accident Analysis and Prevention. 1999. Vol. 31. No 6. P. 695–704.
15. Ivan J. N., Wang C., Bernardo N. R. Explaining Two-Lane Highway Crash Rates Using Land Use and Hourly Exposure // Accident Analysis and Prevention. 2000. Vol. 32. No 6. P. 787–795.
16. Jovanis P. P., Chang H. L. Modeling the Relationship of Accidents to Miles Traveled // Transportation Research Record. 1986. No 1068. P. 42–51.
17. Lave C. Speeding, Coordination, and the 55 MPH Limit // American Economic Review. 1985. Vol. 75. No 5. P. 1159–1164.
18. Law T. H., Noland R. B., Evans A. W. The Sources of the Kuznets Relationship between Road Fatalities and Economic Growth // Journal of Transport Geography. 2011. Vol. 19. No 2. P. 355–365.
19. Lord D., Manar A., Vizioli A. Modeling Crash-Flow-Density and Crash-Flow-V/C Ratio Relationships for Rural and Urban Freeway Segments // Accident Analysis and Prevention. 2005. Vol. 37. No 1. P. 185–199.
20. Malin F., Norros I., Innamaa S. Accident Risk of Road and Weather Conditions on Different Road Types // Accident Analysis and Prevention. 2019. No 122. P. 181–188.
21. Salli R., Lintusaari M., Tiikkaja H., Pöllänen M. Keliolosuhteet ja henkilöautoliikenteen riskit. Tampere University of Technology, Department of Business Information Management and Logistics. No 68. 2008.
22. Sirajudeen A. O., Law T. H., Wong S. V., Jakarni F. M., Ng C. P. The Sources of the Kuznets Relationship Between the Road Deaths to Road Injuries Ratio and Economic Growth // Journal of Safety Research. 2021. No 78. P. 262–269.
23. Taylor M. C., Baruya A., Kennedy J. V. The Relationship Between Speed and Accidents on Rural Single-Carriageway Roads. Transport Research Laboratory Report. No TRL511. 2002.
24. The Handbook of Road Safety Measures / R. Elvik, A. Høye, T. Vaa, M. Sorensen (eds.). Bingley: Emerald, 2009.
25. Yaacob N. F. F., Rusli N., Bohari S. N. A Review Analysis of Accident Factor on Road Accident Cases Using Haddon Matrix Approach // Proceedings of the Second International Conference on the Future of ASEAN (ICoFA) 2017. Vol. 2 / R. Saian, M. A. Abbas (eds.). Singapore: Springer, 2018. P. 55–65.

26. Wong S. C., Sze N. N., Lo H. K., Hung W. T., Loo B. P. Y. Would Relaxing Speed Limits Aggravate Safety? A Case Study of Hong Kong // *Accident Analysis and Prevention*. 2005. Vol. 37. No 2. P. 377–388.

References

1. Kazakova M. V., Pospelova E. A. Kachestvo infrastruktury kak odno iz ogranicheniy ekonomicheskogo rosta: sravnitel'nyy analiz Rossii i stran mira [Quality of Infrastructure as One of the Limitations of Economic Growth: Comparative Analysis of Russia and the World Countries]. *Ekonomicheskie otnosheniya [Economic Relations]*, 2017, vol. 7, no. 3, pp. 247–268. DOI:10.18334/eo.7.3.38071. (In Russ.)
2. Kosyakina A. I., Ponomareva E. A. Stoimost' statisticheskoy zhizni: otsenki na osnove kontseptsii chelovecheskogo kapitala [The Value of a Statistical Life: Estimates Based on the Concept of Human Capital]. *Ekonomicheskaya politika [Economic Policy]*, 2021, vol. 16, no. 6, pp. 94–119. DOI:10.18288/1994-5124-2021-6-94-119. (In Russ.)
3. Litvinova Y. O., Ponomarev Y. Y. Analiz vliyaniya razvitiya transportnoy infrastruktury na sovokupnuyu faktornuyu proizvoditel'nost' [Analysis of the Impact of Transport Infrastructure Development on Total Factor Productivity]. *Rossiyskoye predprinimatel'stvo [Russian Entrepreneurship]*, 2016, vol. 17, no. 1, pp. 89–98. DOI:10.18334/rp.17.1.2200. (In Russ.)
4. Prokhorov B. B., Shmakov D. I. Prichiny gibeli lyudey v mirnoe vremya i ekonomicheskaya otsenka stoimosti poter' [Causes of People's Death in Peacetime and Economic Assessment of the Value of Losses]. *Problemy prognozirovaniya [Studies on Russian Economic Development]*, 2013, vol. 4, no. 139, pp. 139–147. (In Russ.)
5. Pyankova A. I., Fattakhov T. A. Smertnost' ot dorozhno-transportnykh proisshestiyy v Rossii: podkhody k otsenke, tendentsii i perspektivy [Road Traffic Morality in Russia: Assessment Approaches, Trends and Perspectives]. *Demograficheskoe obozrenie [Demographic Review]*, 2019, vol. 6, no. 3, pp. 58–84. DOI:10.17323/demreview.v6i3.9855. (In Russ.)
6. Revich B. A. K otsenke faktorov riska smernosti naseleniya Rossii i real'nosti ikh snizheniya: kommentarii k dokladu Vsemirnogo banka "Rano umirat" [Toward the Assessment of the Russian Population Mortality Risk Factors and the Feasibility of Their Reduction: Comments on the World Bank Report "Dying Too Young"]. *Problemy prognozirovaniya [Studies on Russian Economic Development]*, 2006, no. 6, pp. 114–132. (In Russ.)
7. Revich B. A., Reshetnikov K. N. Prichina smerti: dorozhno-transportnoe proisshestiye [Cause of Death: Traffic Accident]. *Demoskop Weekly [Demoscope Weekly]*, 2000, no. 51, p. 4. (In Russ.)
8. Sinyavskaya N. V., Shestakov V. I. Analiz faktorov dorozhno-transportnogo travmatizma i smernosti [Analysis of the Factors of Road Traffic Injuries and Mortality]. *Pozharnaya i tekhnosfernaya bezopasnost': problemy i puti sovershenstvovaniya [Fire and Technospheric Safety]*, 2019, no. 1, pp. 256–260. (In Russ.)
9. Fattakhov T. A. Dorozhno-transportnyy travmatizm v Rossii i ego faktory [Road Traffic Injuries in Russia and Its Factors]. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya [Social Aspects of Public Health]*, 2015, vol. 44, no. 4. (In Russ.)
10. Afghari A. P., Washington S., Haque Md. M., Li Z. A Comprehensive Joint Econometric Model of Motor Vehicle Crashes Arising from Multiple Sources of Risk. *Analytic Methods in Accident Research*, 2018, vol. 18, pp. 1–14. DOI:10.1016/j.amar.2018.03.002.
11. Chen F., Chen S., Ma X. Analysis of Hourly Crash Likelihood Using Unbalanced Panel Data Mixed Logit Model and Real-Time Driving Environmental Big Data. *Journal of Safety Research*, 2018, vol. 65, pp. 153–159. DOI:10.1016/j.jsr.2018.02.010.
12. De Pauw E., Daniels S., Thierie M., Brijs T. Safety Effects of Reducing the Speed Limit from 90 km/h to 70 km/h. *Accident Analysis and Prevention*, 2014, no. 62, pp. 426–431. DOI:10.1016/j.aap.2013.05.003.
13. Garber N. J., Ehrhart A. A. Effects of Speed, Flow, and Geometric Characteristics on Crash Frequency for Two-Lane Highways. *Transportation Research Record*, 2000, vol. 1717, no. 1, pp. 76–83. DOI:10.3141/1717-10.

14. Ivan J. N., Pasupathy R. K., Ossenbruggen P. J. Differences in Causality Factors for Single and Multi-Vehicle Crashes on Two-Lane Roads. *Accident Analysis and Prevention*, 1999, vol. 31, no. 6, pp. 695-704. DOI:10.1016/s0001-4575(99)00030-5.
15. Ivan J. N., Wang C., Bernardo N. R. Explaining Two-Lane Highway Crash Rates Using Land Use and Hourly Exposure. *Accident Analysis and Prevention*, 2000, vol. 32, no. 6, pp. 787-795. DOI:10.1016/s0001-4575(99)00132-3.
16. Jovanis P. P., Chang H. L. Modeling the Relationship of Accidents to Miles Traveled. *Transportation Research Record*, 1986, no. 1068, pp. 42-51.
17. Lave C. Speeding, Coordination, and the 55 MPH Limit. *American Economic Review*, 1985, vol. 75, no. 5, pp. 1159-1164.
18. Law T. H., Noland R. B., Evans A. W. The Sources of the Kuznets Relationship between Road Fatalities and Economic Growth. *Journal of Transport Geography*, 2011, vol. 19, no. 2, pp. 355-365. DOI:10.1016/j.jtrangeo.2010.02.004.
19. Lord D., Manar A., Vizioli A. Modeling Crash-Flow-Density and Crash-Flow-V/C Ratio Relationships for Rural and Urban Freeway Segments. *Accident Analysis and Prevention*, 2005, vol. 37, no. 1, pp. 185-199.
20. Malin F., Norros I., Innamaa S. Accident Risk of Road and Weather Conditions on Different Road Types. *Accident Analysis and Prevention*, 2019, no. 122, pp. 181-188. DOI:10.1016/j.aap.2018.10.014.
21. Salli R., Lintusaari M., Tiikkaja H., Pöllänen M. *Keliolosuhteet ja henkilöautoliikenteen riskit [Wintertime Road Conditions and Accident Risks in Passenger Car Traffic]*. Tampere University of Technology, Department of Business Information Management and Logistics, no. 68, 2008. (In Finn.)
22. Sirajudeen A. O., Law T. H., Wong S. V., Jakarni F. M., Ng C. P. The Sources of the Kuznets Relationship Between the Road Deaths to Road Injuries Ratio and Economic Growth. *Journal of Safety Research*, 2021, no. 78, pp. 262-269. DOI:10.1016/j.jsr.2021.06.007.
23. Taylor M. C., Baruya A., Kennedy J. V. The Relationship Between Speed and Accidents on Rural Single-Carriageway Roads. *Transport Research Laboratory Report*, no. TRL511, 2002.
24. Elvik R., Høye A., Vaa T., Sorensen M. (eds.). *The Handbook of Road Safety Measures*. Bingley, Emerald, 2009. DOI:10.1108/9781848552517.
25. Yaacob N. F. F., Rusli N., Bohari S. N. A Review Analysis of Accident Factor on Road Accident Cases Using Haddon Matrix Approach. In: Saian R., Abbas M. A. (eds.). *Proceedings of the Second International Conference on the Future of ASEAN (ICoFA) 2017*, vol. 2. Singapore, Springer, 2018, pp. 55-65. DOI:10.1007/978-981-10-8471-3_6.
26. Wong S. C., Sze N. N., Lo H. K., Hung W. T., Loo B. P. Y. Would Relaxing Speed Limits Aggravate Safety? A Case Study of Hong Kong. *Accident Analysis and Prevention*, 2005, vol. 37, no. 2, pp. 377-388. DOI:10.1016/j.aap.2004.09.008.