

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-6-528-538>

УДК 656.13

Разработка моделей экспресс-анализа безопасности дорожного движения

Канд. техн. наук, доц. Л. С. Абрамова¹⁾,
кандидаты техн. наук Г. Г. Птица¹⁾, С. В. Капинус¹⁾, Т. В. Харченко¹⁾

¹⁾Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет (Харьков, Украина)

© Белорусский национальный технический университет, 2021
Belarusian National Technical University, 2021

Реферат. Приведены результаты исследования актуальной научно-технической проблемы определения уровня безопасности дорожного движения на участках автомобильных дорог. Целью исследования являлась разработка экспресс-метода оценки безопасности дорожного движения на основе усовершенствования метода итогового коэффициента аварийности путем редукции частных коэффициентов аварийности при необходимой точности определения уровня безопасности на автомобильных дорогах общего пользования. Проведена формализация взаимосвязи параметров условий дорожного движения для изучения уровня безопасности на автомобильных дорогах. Латентные факторы параметров условий движения получены на основе редукции их совокупности методом главных компонент с учетом взаимосвязи частных коэффициентов аварийности, что позволило разработать аналитические модели определения безопасности дорожного движения для внедрения в практику проведения аудита безопасности дорожного движения. Разработана методика выявления опасных участков на автомобильных дорогах, в которую вошли 11 параметров дорожных условий из 18 частных коэффициентов аварийности, предложенных в прототипе и нормативных документах Украины. Адекватность модели определена значениями отклонений полученных данных по авторской модели и модели-прототипу от значений относительного коэффициента аварийности, которые соответственно составили 3,22 и 18,61, т. е. предложенная модель в шесть раз уменьшает значение отклонений и влияет на точность определения уровня безопасности. Экспериментальные исследования проведены на 79 км автомобильных дорог (на 385 секторах с неизменными значениями параметров условий движения). Результаты сравнительного анализа уровня безопасности по модели-прототипу и разработанной модели были идентичными и показали уменьшение временных и трудовых затрат в 1,6 раза без потери точности. Таким образом, разработанную методику рекомендуется применять для определения потенциальной опасности участков автомобильных дорог во время экспресс-анализа безопасности автомобильной дороги или при проведении аудита безопасности дорожного движения на различных стадиях жизненного цикла автомобильной дороги.

Ключевые слова: уровень безопасности дорожного движения, параметры условий движения, коэффициенты аварийности, латентные факторы, аудит безопасности дорожного движения

Для цитирования: Разработка моделей экспресс-анализа безопасности дорожного движения / Л. С. Абрамова [и др.] // *Наука и техника*. 2021. Т. 20, № 6. С. 528–538. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-6-528-538>

Development of Models for Express Analysis of Road Safety

L. S. Abramova¹⁾, H. H. Ptitsia¹⁾, S. V. Kapinus¹⁾, T. V. Kharchenko¹⁾

¹⁾Kharkiv National Automobile and Highway University (Kharkiv, Ukraine)

Abstract. Results of a study of an actual scientific and technical problem of determining the road safety level on road sections are presented in the paper. The aim of the study is to develop an express method for assessing road safety based on improving the method of the final accident rate by reducing the partial accident rate with the required accuracy of determining the safety

Адрес для переписки

Птица Геннадий Григорьевич
Харьковский национальный
автомобильно-дорожный университет
ул. Ярослава Мудрого, 25,
61002, г. Харьков, Украина
Тел.: +38 057 707-37-06
gennadij.ptitsa@gmail.com

Address for correspondence

Ptitsia Hennadij H.
Kharkiv National
Automobile and Highway University
25, Yaroslava Mudrogo str.,
61002, Kharkiv, Ukraine
Tel.: +38 057 707-37-06
gennadij.ptitsa@gmail.com

level on public roads. The formalization of the relationship between the parameters of road traffic conditions has been carried out to study the level of safety on highways. Latent factors of the parameters of traffic conditions have been obtained on the basis of reduction of their aggregate by the method of principal components, taking into account the relationship of partial accident rates. This condition has allowed to develop analytical models for determining road safety for implementation in the practice of conducting a road safety audit. A method for identifying hazardous areas on highways has been proposed in the paper. It includes 11 parameters of road conditions out of 18 partial accident rates proposed in the prototype and regulatory documents of Ukraine. The adequacy of the model is determined by deviation values of the obtained data according to the prototype model from the values of the relative accident rate, which were 3.22 and 18.61, respectively. The proposed model reduces the deviation value by six times and affects the accuracy of determining the safety level. Experimental studies have been conducted on 79 km of highways (on 385 sectors with constant values of traffic conditions parameters). The results of a comparative analysis of the safety level for the prototype model and the developed model have been identical and shown a decrease in time and labor costs by 1.6 times without loss of accuracy. Thus, the developed methodology is recommended to be applied for determining the potential danger of road sections during an express analysis of the road safety or when conducting a safety audit at various stages of the road life cycle.

Keywords: road safety level, traffic conditions parameters, accident rates, latent factors, road safety audit

For citation: Abramova L. S., Ptitsia H. H., Kapinus S. V., Kharchenko T. V. (2021) Development of Models for Express Analysis of Road Safety. *Science and Technique*. 20 (6), 528–528. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-6-528-538> (in Russian)

Введение

Уровень развития транспортной системы государства – один из важнейших признаков ее технологического прогресса. Потребность в высокоразвитой транспортной системе еще более усиливается при интеграции Украины в европейскую и мировую экономику. Геостратегическое расположение страны способствует развитию транспортной системы как составляющей транзитных перевозок между государствами Европы, Азии, Ближнего Востока. К транспортной системе в рыночных условиях предъявляются высокие требования по качеству, регулярности и надежности транспортных связей, сроков и стоимости доставки. Поэтому состояние транспортной системы Украины должно соответствовать условиям европейской интеграции по обеспечению необходимого уровня комфорта и безопасности дорожного движения.

Последние десятилетия вопросы безопасности движения в мире являются одними из первоочередных, о чем свидетельствует принятие в апреле 2016 г. Генеральной Ассамблеей Организации Объединенных Наций задачи сокращения к 2020-му вдвое количества случаев смерти и травм в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП) [1]. Кроме этого, ДТП наносят экономике Украины значительные убытки. По данным Всемирной организации здравоохранения и Всемирного банка, ежегодные потери экономики страны от ДТП достигают 5 млрд дол. США, что составляет 3–6 %

ВВП [2]. Поэтому решение проблемы обеспечения безопасности дорожного движения относится к приоритетным задачам развития страны.

В условиях ограниченности материальных ресурсов для Украины актуально решать проблему повышения надежности системы управления безопасностью дорожного движения средствами выбора необходимых мероприятий по ликвидации опасных участков, в первую очередь путем усовершенствования существующих методов определения уровня безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах. При оценке безопасности дорожного движения заслуживают внимания методы, учитывающие защищенность участников дорожного движения. На основании анализа имеющихся методов [3] предложена их классификация по типу входных параметров: статистические данные ДТП; вероятность рисков возникновения ДТП; параметры условий движения, влияющие на психоэмоциональное состояние водителя; потери общества от ДТП; технические показатели эффективности дорожного движения. В результате выделен метод итогового коэффициента аварийности $K_{ит}$ на основании определения частных коэффициентов аварийности K_i , которые соответствуют влиянию различных параметров дорожных условий [4]:

$$K_{ит} = \prod_{i=1}^n K_i, \quad (1)$$

где n – количество частных коэффициентов аварийности.

Этот метод имеет приоритет среди известных способов оценки безопасности дорожного движения, поскольку получил практическое применение в нормативной документации Украины и является наиболее полным по количеству исследуемых факторов [5]. Установлено, что практическое применение указанного метода сопровождается трудоемкостью и неоднозначностью определения параметров условий движения, которые влияют на значения частных коэффициентов аварийности и эффективность его применения при проведении аудита безопасности на автомобильной дороге [6] и экспресс-анализе уровня безопасности дорожного движения.

В результате анализа научных исследований отечественных и зарубежных ученых изучены тенденции развития вариантов формализации метода итогового коэффициента аварийности, заключающиеся в построении уточненных или упрощенных моделей за счет выделения значимых параметров условий движения. В частности, известны работы [7–10], направленные на повышение качественной оценки уровня безопасности дорожного движения за счет применения методов статистического анализа. Учитывая, что условия движения как основа оценки уровня безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах являются многопараметрической подсистемой комплекса «дорожное движение», необходимо применение именно методов многомерного статистического анализа для разработки модели состояния безопасности дорожного движения. Данная модель должна учитывать взаимосвязь отдельных параметров условий движения в виде аналитической зависимости, что, безусловно, эффективно отразится на ее практическом применении для определения потенциально опасных участков на дорогах.

Цель исследования – совершенствование метода итогового коэффициента аварийности путем редукции частных коэффициентов аварийности при необходимой точности определения уровня безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах общего пользования. Для достижения цели авторами решены следующие задачи:

– формализована взаимосвязь параметров условий дорожного движения для определения

уровня безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах;

– определены латентные факторы параметров условий движения на основании взаимосвязи частных коэффициентов аварийности;

– разработаны аналитические модели определения безопасности дорожного движения для внедрения в практику проведения аудита безопасности дорожного движения.

Разработка аналитических моделей определения уровня безопасности дорожного движения

Организация безопасного дорожного движения с позиции защищенности участников движения от ДТП зависит от множества факторов, входящих в систему «человек – автомобиль – дорога – среда», и от оптимального взаимодействия звеньев и элементов всей системы, сбой в функционировании которой провоцирует возникновение сложных дорожно-транспортных ситуаций, увеличивающих риск ДТП.

На основе применения коэффициентов аварийности для определения уровня безопасности дорожного движения опишем дорожно-транспортную ситуацию D_j совокупностью частных коэффициентов аварийности K_{ji}

$$D_j = K_{j1}, K_{j2}, \dots, K_{ji}, \dots, K_{jn}, \quad (2)$$

где K_{ji} – значение i -го ($i = \overline{1; n}$) частного коэффициента аварийности для D_j ($j = \overline{1; m}$).

Параметры, определяющие K_{ji} , относятся к условиям движения (интенсивность, ширина обочин и проезжей части, радиус кривых в плане и т. д.). Тогда описание процесса дорожного движения с позиции безопасности имеет вид

$$D = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1i} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \dots & K_{2i} & \dots & K_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{j1} & K_{j2} & \dots & K_{ji} & \dots & K_{jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{m1} & K_{m2} & \dots & K_{mi} & \dots & K_{mn} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где m – количество дорожно-транспортных ситуаций.

Количество возможных комбинаций в матрице (3) составляет 450 вариантов, что затрудняет применение метода итогового коэффициента для экспресс-анализа. Следовательно, необходимо определение взаимосвязи показателей безопасности и скрытых причин, объясняющих данную взаимосвязь. Для решения этой задачи авторы применили методы факторного анализа, которые позволили выявить латентные факторы, описывающие дорожную ситуацию с одновременной редукцией количества этих факторов [11]. Наиболее целесообразный инструмент редукции совокупности частных коэффициентов аварийности – метод главных компонент, который позволяет: формировать оптимальное пространство новых ортогональных факторов без потери содержательной информации K_{ji} ; создавать модель из основных факторов без выделения «специфических»; определять пространство факторов меньшей размерности, описывающее совокупность K_{ji} и позволяющее не уточнять полученные приближенные оценки. С учетом этого получена формализация описания дорожно-транспортной ситуации (4) на основании латентных факторов ($F_{jf} = f(K_{ji})$) при условии, что факторов гораздо меньше, чем частных коэффициентов аварийности ($p \ll n$). Тогда

$$D_j = F_{j1}, F_{j2}, \dots, F_{jf}, \dots, F_{jp}, \quad (4)$$

где F_{jf} – значение f -го ($f = \overline{1; p}$) латентного фактора аварийности для отдельной дорожно-транспортной ситуации.

Переход от K_{ji} к F_{jf} выполнен с помощью выявления между ними линейной зависимости методом главных компонент, который требует выполнения определенных этапов исследования (рис. 1). Входной информацией для редукции является матрица исходных данных значений K_{ji} , выходной – матрица факторных нагрузок.



Рис. 1. Этапы проведения редукции коэффициентов аварийности

Fig. 1. Stages of accident rate reduction

В ходе исследования выявлены большие различия в диапазонах варьирования параметров условий движения на автомобильных дорогах различных технических категорий, что обусловлено составом и количеством участников дорожного движения, требованиями к скоростным режимам движения и параметрам проезжей части дороги. В технической классификации дорог Украины выделяют пять категорий автомобильных дорог (АД). Дальнейшие исследования проведены для АД II технической категории, которые по протяженности в Украине занимают третье место (первое и второе – дороги III и IV категорий). Данный выбор основан на том, что статистика ДТП, особенно тяжесть их последствий, на АД II технической категории выше, чем на других категориях дорог общего пользования.

Согласно требованиям метода главных компонент определено оптимальное количество латентных факторов, которые формируются по критериям Кайзера и Кеттелла и являются достаточными для описания совокупности K_{ji} . При выборе количества факторов учитывались такие, как: объем описанной дисперсии исходных показателей (пять факторов описывают 66 % дисперсии частных коэффициентов аварийности, четыре – 57 %); количество частных коэффициентов аварийности, описанных выделенными факторами (пять факторов включают 11 частных коэффициентов аварийности, четыре фактора – девять); статистическая обоснованность критериев (именно критерий Кайзера имеет статистическую обоснованность). Следовательно, количество выделенных факторов равно пяти.

Результатом факторного анализа является простое описание для каждой переменной, характеризующейся преимущественным влиянием одного фактора, и наоборот, определен один фактор, который связан только с одной группой переменных.

В результате факторного анализа определены собственные значения факторов и соответствующие им факторные нагрузки, что дало возможность сформировать конечные модели латентных факторов (табл. 1) на основе средневзвешенных значений частных коэффициентов аварийности на километровой участке дороги (K_i^{B3B}). Это позволило учесть взаимное влияние секторов с неизменными величинами параметров условий движения в зоне одного километра автомобильной дороги и осуществить сравнительный анализ значений итогового коэффициента аварийности и количества ДТП, так как статистические данные о ДТП в отчетах представлены по километрам.

Таблица 1

Модели латентных факторов параметров условий движения
Models of latent factors parameters of motion conditions

Фактор	Модель
F_1	$(0,77839K_2^{B3B} + 0,70217K_3^{B3B} + 0,79791K_{12}^{B3B})/1,9371$
F_2	$(-0,80791K_9^{B3B} - 0,87163K_{14}^{B3B})/1,8029$
F_3	$(0,87524K_5^{B3B} + 0,8174K_6^{B3B})/1,7512$
F_4	$(0,81989K_4^{B3B} + 0,68222K_{18}^{B3B})/1,2122$
F_5	$(-0,48343K_8^{B3B} - 0,75671K_{15}^{B3B})/1,1532$

На основании установления линейной связи между частными коэффициентами аварийности и латентными факторами осуществлен переход от известных частных коэффициентов аварийности к выявленным пяти латентным факторам определения итогового коэффициента аварийности. В связи с этим влияние выявленных факторов на уровень безопасности дорожного движения описывается следующей регрессионной моделью:

$$K_{ит}^* = -36,517 + 8,818F_1 - 11,749F_2 - 1,209F_3 + 10,573F_4 - 4,784F_5, \quad (5)$$

где $K_{ит}^*$ – итоговый коэффициент аварийности для экспресс-анализа безопасности.

Анализ латентных факторов, выраженных частными коэффициентами аварийности, позволил выявить физический смысл факторов и их влияние на уровень безопасности дорож-

ного движения: F_1 учитывает влияние ширины дороги; F_2 – влияние населенных пунктов и пересечений с другими автомобильными дорогами; F_3 – влияние условий видимости; F_4 – влияние угла продольного уклона и глубокого кювета, обрыва; F_5 учитывает влияние длины участков (вне населенных пунктов и на подходе к населенному пункту).

Таким образом, определение уровня безопасности дорожного движения по полученной модели позволяет сократить количество частных коэффициентов аварийности при определении итогового коэффициента для АД II технической категории с 18 единиц до 11, а количество переменных в модели итогового коэффициента – с 18 до 5. Это даст возможность в короткий срок определить уровень безопасности дорожного движения на участках автомобильной дороги. Поэтому считаем, что такой подход будет способствовать практическому применению в ходе проведения экспресс-анализа безопасности дорожного движения на автомобильной дороге с точки зрения минимизации временных и трудовых затрат.

Методика экспресс-анализа безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах

Разработка необходимых мероприятий, направленных на повышение безопасности дорожного движения, должна базироваться на научно-практическом исследовании участков дорог с целью выявления потенциальной опасности и конкретных причин и приоритетности их устранения. Для успешного предупреждения любых ДТП нужен интенсивный обмен информацией между участниками дорожного движения и организациями, деятельность которых направлена на предупреждение ДТП. Важную роль играет экспресс-информация, т. е. специализированная информация, необходимая для оперативного решения проблем предупреждения ДТП.

На основании разработанной модели (5) предложена методика экспресс-анализа уровня безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах общего пользования. Эта методика составлена в соответствии с требованиями нормативных документов Украины и состоит из этапов, перечисленных на рис. 2.

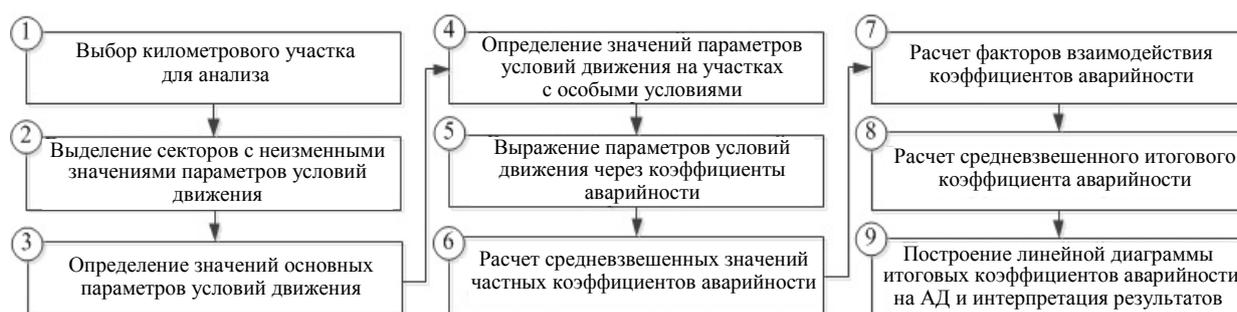


Рис. 2. Этапы экспресс-определения уровня безопасности дорожного движения

Fig. 2. Stages of express determination of road safety level

При выполнении перечисленных на рис. 2 этапов для оценки безопасности дорожного движения на АД II технической категории нужно соблюсти следующие условия.

1. Для анализа необходимо принять участок автомобильной дороги общего пользования протяженностью 1 км (границы исследуемого участка определяются километровыми столбами или другими метками).

2. Выбранный участок следует разделить на сектора с неизменными значениями параметров условий движения. Данная процедура проводится на основе натуральных или документальных наблюдений. При выделении секторов нужно учитывать, что влияние каждого из мест, где возникают те или иные препятствия движению, распространяется на некоторое расстояние. Зоны влияния различных дорожных элементов принимают по нормативам согласно М218-03450778-652:2008.

3. Обязательным для каждого сектора исследуемого участка АД II технической категории является определение следующих параметров: ширина проезжей части, м; ширина обочины, м; количество основных полос движения на проезжей части, шт.; длина прямых участков, км; длина участков на подходах к населенным пунктам, м.

4. Параметры условий движения устанавливаются с соблюдением следующих правил. При наличии:

- перекрестка или населенного пункта на исследуемом участке определяются тип перекрестка и длина населенного пункта (км);

- кривой малого радиуса или других элементов дороги, снижающих видимость на ней, определяются в плане радиус кривых (м) и видимость (м);

- продольного уклона дороги или обрыва глубиной более 5 м вдоль проезжей части определяются продольный уклон (‰) и расстояние от кромки проезжей части до обрыва (с ограждением) (м).

5. Для выражения параметров условий движения через частные коэффициенты аварийности необходимо учитывать их диапазон значений (табл. 2). Величина коэффициента не интерполируется, а принимается ближайшая в таблице.

6. На основании полученных данных по табл. 2 проводится расчет средневзвешенных значений частных коэффициентов аварийности для километрового участка автомобильных дорог.

7. Расчет латентных факторов условий движения выполняется по разработанным моделям (табл. 1) с учетом рассчитанных средневзвешенных значений коэффициентов аварийности. В моделях латентных факторов частным коэффициентам аварийности, которые не были определены из-за отсутствия влияния соответствующего параметра условий движения на дорожную ситуацию, присваивается значение 1.

8. Уровень аварийности определяется итоговым коэффициентом аварийности (5) с учетом латентных факторов.

9. Для выявления потенциально опасных участков необходимо руководствоваться следующими значениями средневзвешенного итогового коэффициента аварийности: при $K_{ит}^* < 3$ – участок безопасный; при $3 \leq K_{ит}^* < 5$ – малоопасный; при $5 \leq K_{ит}^* < 10$ – опасный; при $K_{ит}^* > 10$ – участок повышенной опасности.

Значения частных коэффициентов аварийности на автомобильной дороге II технической категории
 Values of partial accident rates for highway of II technical category

Показатель	Значение					
	7,5	9,0	10,5	14,0 (без разделительной полосы)	14,0 (с разделительной полосой)	
K_2 (при укрепленных обочинах)	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	
Ширина обочины, м	3,0			4,0		
K_3 (двухполосные дороги)	1,0			0,8		
K_3 (трехполосные дороги)	0,49			0,35		
Продольный уклон, ‰	20		30		50	
K_4	1,0		1,25		2,5	
Радиус кривых в плане, м	600–1000		1000–2000		2000	
K_5	1,4		1,25		1,0	
Видимость в плане, м	250		350		500	
K_6 (в плане)	2,0		1,45		1,0	
Длина прямых участков, км	3	5	10	15	20	25
K_8	1,0	1,1	1,4	1,6	1,9	2,0
Тип пересечений	В разных уровнях	Кольцевые	В одном уровне при интенсивности на пересекаемой дороге, процент от суммарной на двух дорогах			
			До 10		10–20	
K_9	0,35	0,7	1,5		3,0	4,0
Количество полос движения на проезжей части	2		3, без разметки		3, с разметкой	
K_{12}	1,0		1,5		0,9	
Длина населенного пункта, км	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	6,0
K_{14}	1,0	1,2	1,7	2,2	2,7	3,0
Длина участков на подходах к населенному пункту, м	0–100		100–200		200–400	
K_{15}	2,5		1,9		1,5	
Расстояние от кромки проезжей части до обрыва, м	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0
K_{18} (с ограждением)	2,2	2,0	1,85	1,75	1,4	1,0

Для анализа безопасности дорожного движения на АД с учетом средневзвешенных значений итогового коэффициента аварийности целесообразно построить диаграмму его изменения по километрам, что способствует выявлению потенциально опасных участков дороги, а также определить приоритеты реализации мероприятий по повышению безопасности дорожного движения.

Исследование уровня безопасности дорожного движения по разработанной методике

С тем чтобы подтвердить полученные теоретические результаты и дать оценку эффективности разработанной экспресс-методики, провели экспериментальные исследования и сравнительный анализ безопасности движения по методике прототипа. Для выполнения эксперимента были выбраны участки АД II техниче-

ской категории, которые по количеству ДТП и их тяжести относятся к участкам с повышенной аварийностью. Из исследований исключали участки дорог, проходящих через населенные пункты протяженностью более 6 км, поскольку условия движения на АД и в населенных пунктах различны. Выбраны автомобильные дороги Р-23, Р-25, М-17, Н-15 общей протяженностью 365 км. Согласно данным статистики ДТП определили 79 участков дорог с повышенным риском аварийности.

Порядок формирования исходных данных по предложенной методике состоял в следующем:

- 1) исследуемый участок автомобильной дороги делили на сектора с неизменными значениями параметров условий движения (рис. 3);
- 2) для каждого сектора определяли значения параметров условий движения (табл. 2);



Рис. 3. Километровый участок исследуемой автомобильной дороги

Fig. 3. Kilometer stretch of investigated highway

3) значения параметров условий движения выражали через частные коэффициенты аварийности (табл. 2);

4) определяли величины латентных факторов безопасности движения по выявленным зависимостям (табл. 1).

Обследовали 385 секторов с неизменными значениями параметров условий движения, расположенных на участках с повышенной аварийностью исследуемых автомобильных дорог. На основании сформированной базы исходных данных определили значения уровня безопасности дорожного движения по предложенным моделям (табл. 3). Сравнительный анализ результатов расчетов уровня безопасности дорожного движения по экспресс-модели $K_{ит}^*$ и прототипу $K_{ит}^{взв}$ представлен на рис. 4.

На рис. 4 приведены данные для средневзвешенных величин итогового коэффициента аварийности модели-прототипа, поскольку пиковые значения не учитывают взаимодействие

смежных участков с неизменными параметрами условий движения. Сравнительный анализ величин итогового коэффициента аварийности экспресс-модели и модели-прототипа подтверждает адекватность предложенной модели итогового коэффициента аварийности.

Для удостоверения точности рассмотренных моделей проведена оценка связи между количеством происшествий на 1 млн авт.-км (относительный коэффициент аварийности) и значением итогового коэффициента аварийности. Выбор параметра для сравнения основывался на устойчивых связях между относительным и итоговым коэффициентами аварийности [4, 12]. Значение относительного коэффициента аварийности определяется зависимостью статистического количества ДТП (z) от интенсивности движения на участке (N) [3].

Кроме того, точность разработанной модели определяли степенью отклонения величин относительного коэффициента аварийности от значений итогового коэффициента аварийности по прототипу и предложенной модели. Так, экспресс-модель итогового коэффициента аварийности имеет преимущество над моделью-прототипом, поскольку определение $K_{ит}^*$ существенно (в шесть раз) уменьшает отклонение значений относительного коэффициента аварийности от итогового коэффициента аварийности (по модели-прототипу отклонение составило 18,61, по экспресс-модели – 3,22), что влияет на точность определения уровня безопасности дорожного движения.

Таблица 3

Результаты расчетов итогового коэффициента аварийности по экспресс-модели
Results of calculating final accident rate while using express-model

№ км	F_f	K_i	Сектор					$K_i^{взв}$	F_f
			1	2	3	4	5		
8_9	F_1	K_2	1,0	0,6	0,6	0,6	1,0	0,8600	1,022681313
		K_3	0,80	0,49	0,49	0,49	1,00	0,7715	
		K_{12}	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9650	
	F_2	K_9	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0500	-0,953986127
		K_{14}	1	1	1	1	1	1,0000	
	F_3	K_5	-	-	-	-	-	-	0,966529496
		K_6	-	-	-	-	-	-	
	F_4	K_4	-	-	-	-	-	-	1,239138768
		K_{18}	-	-	-	-	-	-	
	F_5	K_8	1	1	1	1	1	1	-1,07536579
		K_{15}	1	1	1	1	1	1	
	Длина сектора			0,25	0,15	0,10	0,10	0,40	1
Средневзвешенный итоговый коэффициент								0,785893306	

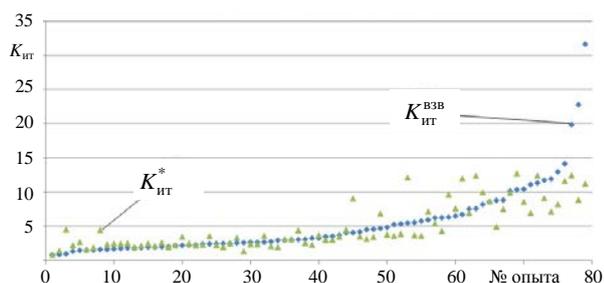


Рис. 4. Сравнение значений итогового коэффициента аварийности по прототипу и экспресс-модели: \blacklozenge – модель-прототип; \blacktriangle – экспресс-модель

Fig. 4. Comparison of final accident rate value of prototype and express-model: \blacklozenge – prototype model; \blacktriangle – express model

В ходе экспериментов вычислен итоговый коэффициент аварийности на всей протяженности АД II технической категории Р-23. Зна-

чения $K_{ит}$ по предложенной экспресс-модели (рис. 5b) сравнили с величинами итогового коэффициента аварийности, которые были определены по модели-прототипу (рис. 5a). На диаграммах цветом выделены участки, где зафиксированы ДТП. По модели-прототипу выявлено 43 опасных участка автомобильной дороги, из них восемь – очень опасные. При этом ДТП происходили на 21 % всех опасных участков. Из выявленных очень опасных участков ДТП случались на 62 % участков автомобильной дороги. При сравнении по предложенной модели выявлено 44 опасных участка, из них 10 относились к очень опасным. При этом на 23 % опасных участков происходили ДТП. Из выявленных очень опасных участков зафиксированы ДТП на 60 % из них.

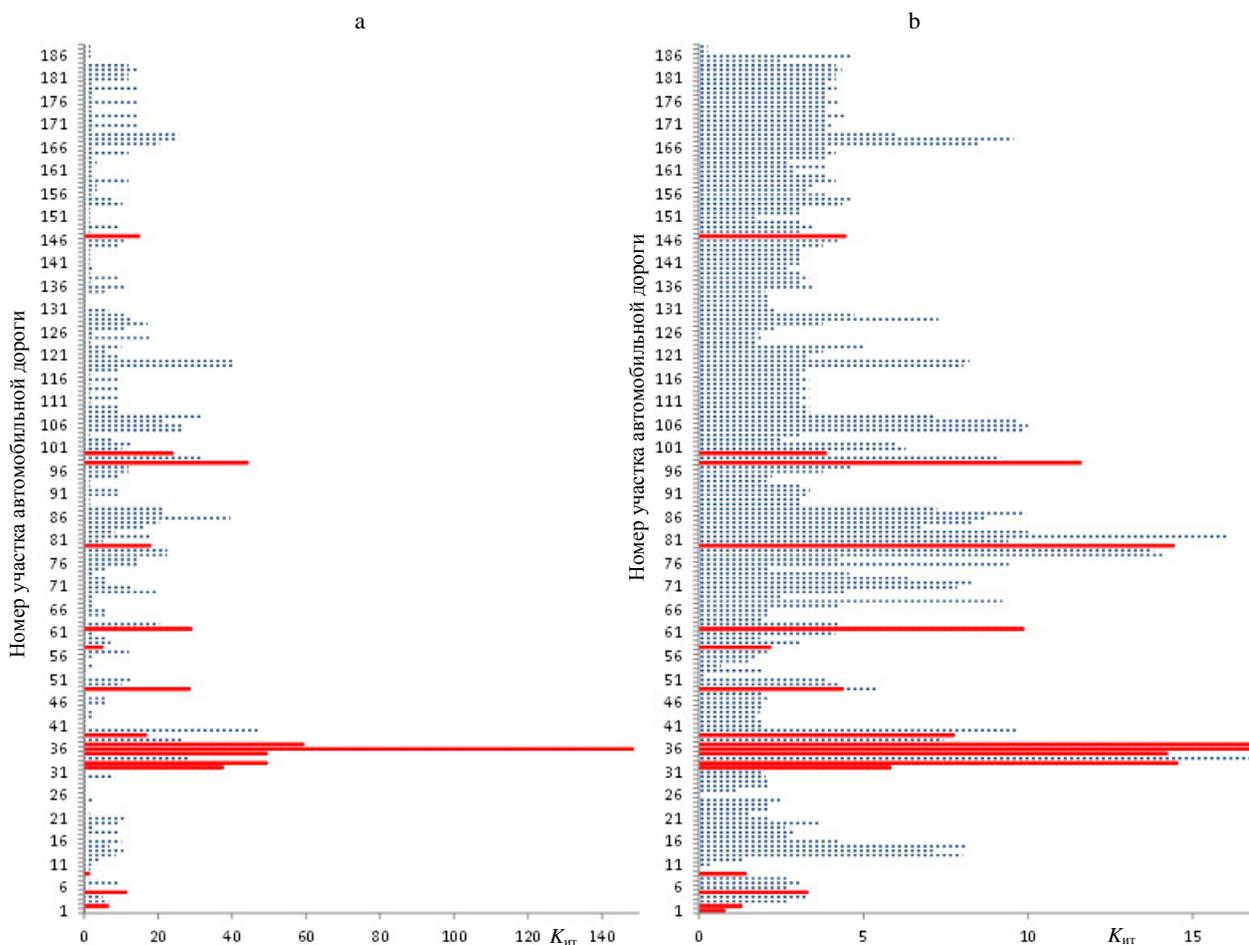


Рис. 5. Сравнение результатов определения итогового коэффициента аварийности по модели-прототипу (a) и экспресс-модели (b)

Fig. 5. Comparison of results for determination of final accident rate according to prototype model (a) and express model (b)

Анализ результатов показал, что для оценки безопасности дорожного движения на исследуемой автомобильной дороге предложенный и базовый методы определения итогового коэффициента аварийности дают схожие результаты. Можно утверждать, что точность результатов (количество выявленных опасных участков по различным моделям $\pm 2\%$; количество выявленных очень опасных участков по различным моделям $\pm 2\%$) при определении итогового коэффициента аварийности не теряется. Следовательно, для экспресс-анализа уровня безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах общего пользования целесообразно применять предложенный метод определения итогового коэффициента аварийности, поскольку он позволяет снизить временные и трудовые затраты (в 1,6 раза) без потери точности.

ВЫВОДЫ

1. В результате исследований получены математические модели итогового коэффициента аварийности, которые позволяют усовершенствовать метод определения уровня безопасности дорожного движения с минимальной потерей информативности и точности.

2. Анализ и проверка разработанной экспресс-модели определения итогового коэффициента аварийности показали эффективность ее применения, поскольку в нее входит меньшее количество переменных (пять), учитывающих 11 параметров условий движения при анализе автомобильных дорог II технической категории, вместо 18 переменных в модели-прототипе.

3. Экспериментальным путем установлено, что определение средневзвешенного значения уровня безопасности на километровой участке автомобильных дорог существенно (в шесть раз) сокращает отклонение значений относительного коэффициента аварийности от величин итогового коэффициента аварийности (по модели-прототипу $\bar{E}_{K_{ит}} = 18,61$, по экспресс-модели $K_{ит}^* - \bar{E}_{K_{ит}^*} = 3,22$), что влияет на точность определения безопасности дорожного движения.

4. Разработанную методику рекомендуется применять для определения потенциальной опасности участков автомобильных дорог во время экспресс-анализа безопасности автомобильной дороги или при проведении аудита безопасности дорожного движения на различных стадиях жизненного цикла автомобильной дороги.

5. Результаты эксперимента подтверждают адекватность модели и уменьшение временных затрат (в 1,6 раза) при проведении аудита безопасности дорожного движения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Повышение безопасности дорожного движения во всем мире [Электронный ресурс]: Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН (Семидесятая сессия). Принята 15 апр. 2016 г., № A/RES/70/260. 11 с. Режим доступа: <https://undocs.org/ru/A/RES/70/260>.
2. Доклад о состоянии безопасности дорожного движения в мире 2015 [Электронный ресурс] / Всемирная организация здравоохранения. Режим доступа: https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/GSRRS2015_Summary_RU.pdf?ua=1
3. Абрамова, Л. С. Анализ методов определения показателей безопасности дорожного движения / Л. С. Абрамова, Г. Г. Птица, В. В. Ширин // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2015. Вып. 69. С. 118–123.
4. Методика оцінки рівнів безпеки руху на автомобільних дорогах України: Державні будівельні норми України М 218-03450778-652:2008. Київ: ДерждорНДІ, 2008. 31 с.
5. FHWA Road Safety Audit Guidelines. No FHWA-SA-06-06 / Federal Highway Administration. Washington, 2006. Available at: https://safety.fhwa.dot.gov/rsa/guidelines/documents/FHWA_SA_06_06.pdf.
6. Забышный, А. С. Теоретическая основа частных коэффициентов аварийности / А. С. Забышный // Автомобильные дороги. 1994. № 5. С. 16–18.
7. Haneen, Farah. Multivariate Analyses for Infrastructure-Based Crash-Prediction Models for Rural Highways / Farah Haneen, Polus Abishai, Moshe A. Cohen // Road & Transport Research. 2007. Vol. 16, No 4. P. 26–41.
8. Чванов, В. В. Об уточнении метода «итогового коэффициента аварийности» для оценки безопасности применительно к современным условиям движения / В. В. Чванов // Дороги и мосты: сб. ст. М.: ФГУП РосдорНИИ, 2006. Вып. 16/2. С. 219–230.
9. Абрамова, Л. С. Дослідження показників безпеки руху на дорогах / Л. С. Абрамова, Г. Г. Птица // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. 2009. № 1. С. 20–26.

10. Калинина, В. Н. Введение в многомерный статистический анализ / В. Н. Калинина, В. И. Соловьев. М.: ГУУ, 2003. 66 с.
11. Бабков, В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения / В. Ф. Бабков. М.: Транспорт, 1993. 271 с.
12. Чванов, В. В. Нормирование итогового коэффициента аварийности / В. В. Чванов, И. Ф. Живописцев // Наука и техника в дорожной отрасли. 2009. Вып. 3. С. 12–16.

Поступила 03.05.2019

Подписана в печать 20.08.2020

Опубликована онлайн 30.11.2021

REFERENCES

1. *Improving Global Road Safety*. UN General Assembly Resolution (Seventieth Session). Adopted on April 15, 2016, No A/RES/70/260. Available at: <https://undocs.org/ru/A/RES/70/260> (in Russian).
2. World Health Organization, Department of Noncommunicable Diseases. *Report on Global Road Safety 2015*. Available at: https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/GSRRS2015_Summary_RU.pdf?ua=1 (in Russian).
3. Abramova L. S., Ptytsia H. G., Shyrin V. V. (2015) Analysis of Methods for Determining Road Safety Indicators. *Vestnik Kharkovskogo Natsionalnogo Avtomobilno-Dorozhnogo Universiteta = Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University*, 69, 118–123 (in Russian).
4. State Building Norms of Ukraine M 218-03450778-652:2008. *Methods for Assessing Traffic Safety Levels on the Roads of Ukraine*. Kiev, Publishing House of “DerzhdorNDI”, 2008. 31 (in Ukrainian).
5. Federal Highway Administration (2006). *FHWA Road Safety Audit Guidelines*, No FHWA-SA-06-06. Washington. Available at: https://safety.fhwa.dot.gov/rsa/guidelines/documents/FHWA_SA_06_06.pdf.
6. Zabyshny A. S. (1994) Theoretical Basis of Partial Accident Rates. *Avtomobilnye Dorogi [Car Roads]*, (5), 16–18 (in Russian).
7. Haneen Farah, Abishai Polus, Moshe A. Cohen (2007). Multivariate Analyses for Infrastructure-Based Crash-Prediction Models for Rural Highways. *Road & Transport Research*, 16 (4), 26–41.
8. Chvanov V. V. (2006) On the Refinement of the “Final Accident Rate” Method for Assessing Safety Applied to Current Traffic Conditions. *Dorogi i Mosty: Sb. St. [Roads and Bridges: Collection of Papers]*. Moscow, Federal State Unitary Enterprise “Russian Road Reserach Institute”, Iss. 16/2, 219–230 (in Russian).
9. Abramova L. S., Ptytsia H. G. (2009) Research of Road Safety Indicators. *Visnyk Donetskoho Instytutu Avtomobilnoho Transportu [Bulletin of Donetsk Institute of Road Transport]*, (1), 20–26 (in Ukrainian).
10. Kalinina V. N., Soloviov V. I. (2003) *Introduction to Multidimensional Statistical Analysis*. Moscow, State University of Management. 66 (in Russian).
11. Babkov V. F. (1993) *Road Conditions and Traffic Safety*. Moscow, Transport Publ. 271 (in Russian).
12. Chvanov V. V. (2009) Standardization of Final Accident Rate. *Nauka i Tekhnika v Dorozhnoi Otrastli = Advanced Science and Technology for Highways*, (3), 12–16 (in Russian).

Received: 03.05.2019

Accepted: 20.08.2020

Published online: 30.11.2021