

ТРАНСПОРТ

УДК 656.13; 656.051

DOI 10.52928/2070-1616-2024-50-2-30-35

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ
В КОНФЛИКТНОЙ ЗОНЕ ДЛЯ ПОПУТНОГО ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА
ПОСРЕДСТВОМ УТОЧНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИВЕДЕНИЯ ПО ТЯЖЕСТИ ДТП*д-р техн. наук, проф. Д.В. КАПСКИЙ**(Белорусский национальный технический университет, Минск)**канд. техн. наук Д.П. ХОДОСКИН**(Белорусский государственный университет транспорта, Гомель)*

Погрешность существующего метода прогнозирования аварийности в конфликте «транспорт–транспорт» в попутном транспортном потоке составляет порядка 40% (для рассматриваемой методики). Более глубокий анализ данного метода показал, что он обладает широкими теоретическими (основанными на предложении усовершенствованной методики определения инертной и активной зон дилеммы) и аналитическими возможностями его усовершенствования, которые связаны с детализацией общих изменений в базовом методе, направленных на уточнение расположения и продолжительности конфликтной зоны, их формализацию, корректировку значения служебного замедления при подъезде к регулируемому перекрестку (РПК), а также учет средневзвешенного значения замедления в конфликтной зоне. Кроме того, существенную роль в дальнейшем снижении погрешности прогноза играет и поправка значений коэффициентов приведения ДТП по тяжести с их последующим включением в построение зависимости аварийности от потенциальной опасности.

Ключевые слова: конфликт «транспорт–транспорт», зона дилеммы, конфликтная зона, замедление, уравнение регрессии.

Введение. Прогнозирование аварийности в работе¹ осуществлялось в конфликте «транспорт–транспорт» при подходе к РПК при смене сигналов светофора, т.е. во внутрифазном режиме. Рассматриваемые в данном режиме столкновения с ударом сзади и попутные столкновения характеризуются тем фактом, что происходят в конфликтной зоне, расположенной на подъезде к стоп-линии. Под конфликтной зоной понимается неразрывная группа компактно расположенных и взаимодействующих между собой конфликтных точек, находящихся на полосе движения в зоне дилеммы² [1].

За базовую (существующую) принята методика прогнозирования аварийности по методу конфликтных зон во внутрифазном режиме, положения которой приведены в источнике³. На основе результатов анализа методов исследования механизма конфликтов в попутном транспортном потоке (ТП) и прогнозирования аварийности, положений разработанной модели определения местоположения зоны дилеммы и модели конфликтного взаимодействия автомобилей в попутном потоке и ее формализации, а также ряда проведенных экспериментальных исследований¹ в данной статье кратко приведены изменения, характеризующие новую методику расчета потенциальной опасности.

Основная часть. *Учет изменений в базовом методе.* По результатам исследований¹ [2] наиболее опасными являются зона В (инертная зона дилеммы) и зона С (характеризующаяся применением замедления больше служебного). Эти зоны расположены одна за другой и обладают указанными проблемными характеристиками. В связи с этим было принято решение об объединении их в одну *конфликтную зону на полосе*, параметры которой внесены в новую методику прогнозирования (рисунок 1). При попадании в первую (зону С) водитель для остановки у стоп-линии должен будет применить замедление, превышающее служебное; попадание во вторую (зону В) с большой вероятностью спровоцирует межфазный конфликт «транспорт–транспорт» или конфликт с пешеходом на отдаленном пешеходном переходе (при решении проезда перекрестка). Следовательно, данная зона определяется следующими параметрами: общей длиной конфликтной зоны $S_{кз}$, м, состоящей из длин зон S_C , м, и $S_{длв}$, м; шириной полосы движения b , м; замедлениями соответственно в зонах С и В – j_C , j_B , м/с², и замедлением в конфликтной зоне $j_{кз}$, м/с². Скорости лидирующего и ведомого автомобилей определялись по усовершенствованной методике, приведенной в работе¹.

¹ Ходоскин Д.П. Снижение аварийности на подходах к регулируемым перекресткам путем управления движением попутных транспортных средств: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Минск, 2023. – 163 л.

² Капский Д.В. Совершенствование метода прогнозирования аварийности на регулируемых перекрестках для повышения безопасности дорожного движения: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Минск, 2003. – 132 л.

³ Капский Д.В. Методология повышения безопасности дорожного движения в городских очагах аварийности: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.10. – Минск, 2013. – 194 л.

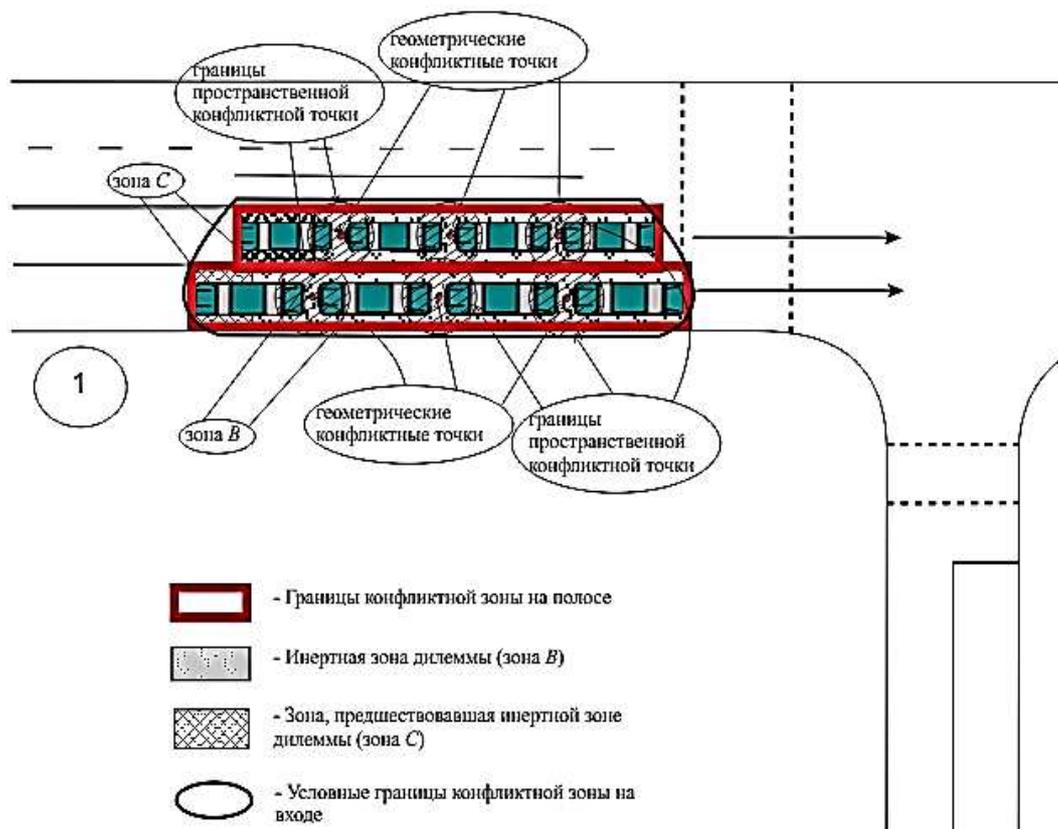


Рисунок 1. – Схема образования конфликтной зоны на входе

Конфликтная зона на входе представляет собой совокупность конфликтных зон на каждой из его полос (см. рисунок 1). Формулы для расчета протяженности конфликтных зон для каждого из возможных случаев соотношения искомых расстояний S_{min} , $S_{min C}$, S_{max} приведены в работе⁴. Например, для наиболее опасного случая (с наличием инертной зоны дилеммы) – $S_{max} < S_{min} < S_{min C}$, протяженность определяется как

$$S_{КЗ} = S_{длв} + S_C, \tag{1}$$

где $S_{длв}$ – протяженность инертной зоны дилеммы B , м;
 S_C – протяженность зоны C , м.

Одним из необходимых параметров при расчете значения потенциальной опасности является величина замедления в каждой из указанных выше проблемных зон (составляющих конфликтную зону). Поэтому по аналогии с формулой для определения величины среднего замедления в центре зоны дилеммы [1] представляется возможным определить замедление в каждой из них.

В соответствии с результатами исследований⁴ предлагается в качестве служебного замедления использовать значение $3,28 \text{ м/с}^2$, т.к. значение, взятое, например, в источниках [3–5] и равное $2,0\text{--}3,0 \text{ м/с}^2$ (в базовом методе⁵ применяется значение $2,0 \text{ м/с}^2$), как видится, уже устарело в силу изменений, произошедших за последние 10–20 лет и связанных с улучшениями динамических свойств транспортных средств, покрытия проезжей части и т.п.

Предлагается использовать расчетную формулу для определения продолжительности конфликтной зоны $t_{КЗ}$

$$t_{КЗ} = \frac{S_{КЗ}}{v_B}, \tag{2}$$

где v_B – скорость лидирующего автомобиля, м/с.

⁴ Ходоскин Д.П. Снижение аварийности на подходах к регулируемым перекресткам путем управления движением попутных транспортных средств: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Минск, 2023. – 163 л.

⁵ Капский, Д.В. Методология повышения безопасности дорожного движения в городских очагах аварийности: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.22.10. – Минск, 2013. – 194 л.

Для определения времени оповещения о предстоящей смене сигнала светофора в условиях недостаточной видимости предлагается использовать формулу⁶

$$t_{\text{оп}} = \frac{S_o}{v_p} - 0,6, \quad (3)$$

где S_o – фактическое расстояние видимости ТСОДД, м;

v_p – разрешенная скорость движения ТП на данном участке УДС, м/с.

Согласно вводимым изменениям, большое влияние на точность прогнозирования наряду с величиной замедления в конкретной зоне оказывает и учет непосредственной длины каждой из зон. Для рассматриваемого случая ($S_{\text{max}} < S_{\text{min}} < S_{\text{min}c}$) замедление в конфликтной зоне определяется как

$$j_{\text{КЗ}} = \frac{j_C S_C + j_B S_{\text{длВ}}}{S_C + S_{\text{длВ}}}. \quad (4)$$

Таким образом, замедление в конфликтной зоне определяется при помощи средневзвешенной величины, что позволяет учесть влияние протяженности зон C и B на величину итогового замедления.

Превышение среднего замедления в конфликтной зоне относительно служебного с учетом указанных положений рассчитывается как

$$\Delta j_{\text{КЗ}} = j_{\text{КЗ}} - 3,28 \geq 0. \quad (5)$$

Аналогично при расчете коэффициента замедления будет учитываться $\Delta j_{\text{КЗ}}$ [3]:

$$K_{\text{адл}} = 1 + \Delta j_{\text{КЗ}}^2. \quad (6)$$

Указанные выше изменения вносятся в структурную формулу для определения потенциальной опасности⁶

$$P_o = K_{\text{он}}^{a_1} \cdot K_v^{a_2} \cdot K_e^{a_3} \cdot K_p^{a_4} \cdot K_n^{a_5} \cdot K_y^{a_6} \cdot K_t^{a_7}, \text{ ед./год}, \quad (7)$$

где $K_{\text{он}}'$ – уточненный коэффициент начальной вероятности конфликта;

K_v' – уточненный коэффициент скоростей;

K_e' – уточненный коэффициент вида конфликта;

K_p' – коэффициент плотности;

K_n' – уточненный коэффициент нарушений;

K_y' – уточненный коэффициент условий;

K_t' – коэффициент времени;

a_1 – a_7 – показатели степени ранжирования.

Зависимость аварийности от потенциальной опасности внутрифазного режима по конфликтным зонам на полосах с использованием усовершенствованного метода представлена на рисунке 2.

Для оценки возможности практического использования полученной (и последующих) регрессионной модели на первом этапе выполняется контроль ее адекватности. Она заключается в проверке выполнения модельных предположений, которая осуществляется на основании анализа остатков. На втором этапе производится оценка статистической значимости уравнения регрессии при помощи расчета и оценки коэффициентов корреляции и детерминации, критериев Фишера, Стьюдента и P -Value. На третьем этапе оценивается качество уравнения регрессии при помощи коэффициента детерминации и скорректированного коэффициента детерминации. Последний необходим при сравнении альтернативных регрессионных моделей, отличающихся друг от друга разным количеством параметров [6–8].

Значения статистических параметров по модели, приведенной на рисунке 2: коэффициентов корреляции (r) – 0,87, детерминации (R^2) – 0,753; скорректированного коэффициента детерминации (R_{Adj}^2) – 0,752; критерия Фишера (F) – 869,9; критериев Стьюдента (t) для ($B1$) – 29,5, для свободного члена – 6,1.

⁶ Капский, Д.В. Методология повышения безопасности дорожного движения в городских очагах аварийности: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.22.10. – Минск, 2013. – 194 л.

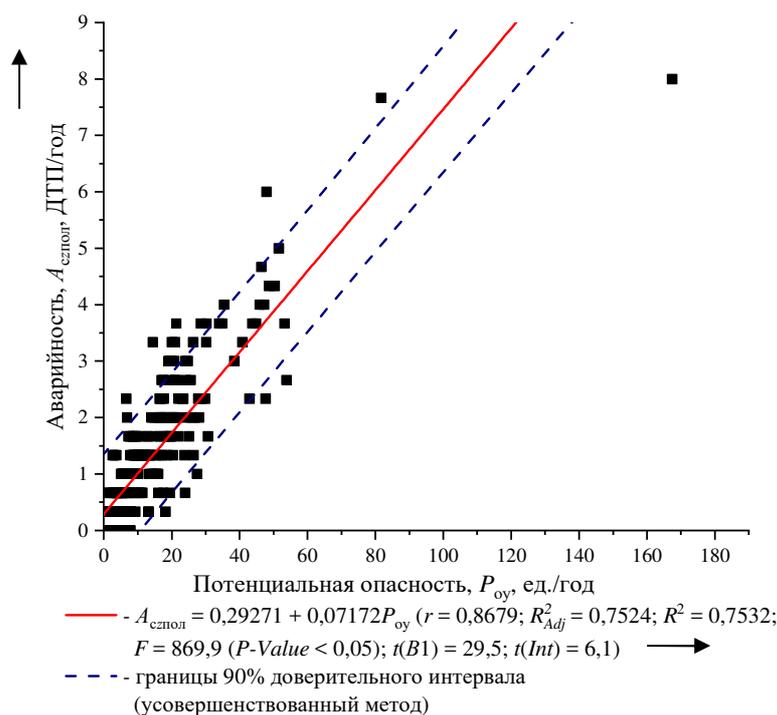


Рисунок 2. – Зависимость аварийности от потенциальной опасности внутрифазного режима с использованием изменений в существующем методе⁷

Значение коэффициента корреляции свидетельствует о наличии высокой зависимости, однако значение коэффициента детерминации – об удовлетворительном качестве полученной регрессионной модели, поскольку она объясняет порядка 75% изменения аварийности. Соответственно 25% изменчивости аварийности можно отнести к влиянию других факторов (хотя это не соответствует действительности). Значения критериев Стьюдента, Фишера и *P-Value* указывают на статистическую значимость полученного уравнения регрессии.

Учет в методике уточненных коэффициентов приведения по тяжести ДТП. Приведение ДТП по тяжести последствий неоднозначно, что следует из сравнения величин коэффициентов приведения⁸ [3; 9] (особенно от их абсолютной разницы между собой). Кроме того, определенная на данной стадии величина потенциальной опасности уже в достаточной мере характеризует тяжесть последствий, поскольку учитывает в используемой методике основные параметры, влияющие на тяжесть ДТП, такие как скорость движения, интенсивность, коэффициент приведения состава транспортного потока и др. Поэтому необходимо оценить адекватность выбора соответствующего коэффициента для ДТП с ранеными и со смертельным исходом.

С помощью алгоритма выполнен поиск наилучших зависимостей между аварийностью и потенциальной опасностью при различных значениях коэффициентов приведения для ДТП с ранеными от 1,5 до 5 с шагом 0,5 и для ДТП со смертельным исходом от 5 до 50 с шагом 0,5. В результате установлены следующие значения: $K_p = 4$, $K_c = 9$. Указанные диапазоны и полученные значения примерно подтверждаются справочными и вычисленными данными, представленными в работах, указанных выше. Зависимость приведенной аварийности от потенциальной опасности с учетом установленных значений коэффициентов приведения для ДТП с ранеными и ДТП с погибшими изображена на рисунке 3.

Значения статистических параметров для модели, изображенной на рисунке 3, составляют: коэффициент корреляции (r) – 0,94; детерминации (R^2) – 0,881; скорректированного коэффициента детерминации (R^2_{Adj}) – 0,88; критерия Фишера (F) – 886,7; критериев Стьюдента (t) для ($B1$) – 29,8, для свободного члена – (-2,8).

Значение коэффициента корреляции показывает на наличие высокой зависимости, а значение коэффициента детерминации – на достаточно хорошее качество полученной регрессионной модели, поскольку она объясняет 88% изменения аварийности. Соответственно 12% изменчивости аварийности можно причислить к влиянию других факторов. Выводы по исследованию критериев Стьюдента, Фишера и *P-Value* аналогичны предыдущей зависимости. Графическое исследование остатков показало определенную близость их графиков к горизонтальной «полосе», поэтому регрессионная модель считается удовлетворительной.

⁷ Ходоскин Д.П. Снижение аварийности на подходах к регулируемым перекресткам путем управления движением попутных транспортных средств: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Минск, 2023. – 163 л.

⁸ Капский Д.В. Совершенствование метода прогнозирования аварийности на регулируемых перекрестках для повышения безопасности дорожного движения: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Минск, 2003. – 132 л.

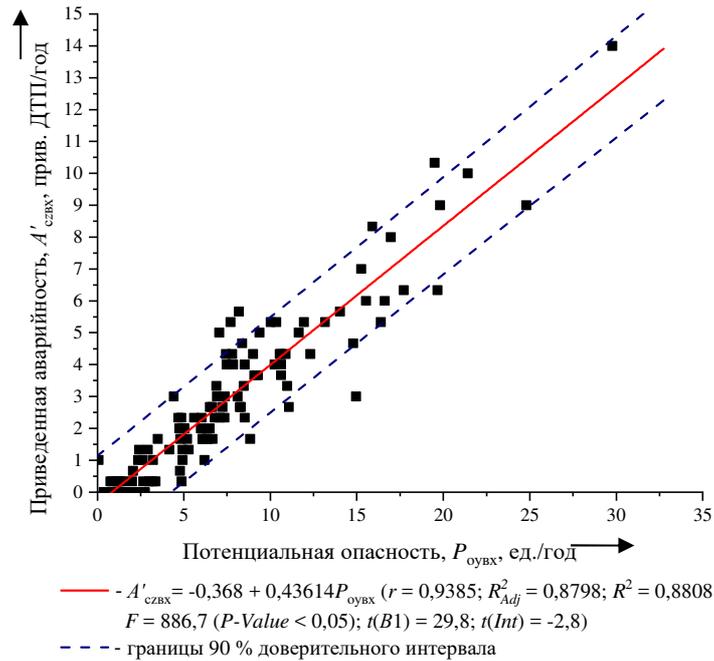


Рисунок 3. – Зависимость приведенной аварийности от потенциальной опасности по конфликтным зонам на входах с учетом уточненных коэффициентов приведения по тяжести ДТП⁹

По имеющейся выборке ДТП за исследуемый период установлено процентное распределение общего числа ДТП в попутном транспортном потоке по тяжести, которое позволило в дальнейшем прогнозировать конкретное число ДТП с разбивкой по тяжести.

Заключение. Учет порога чувствительности является одним из шагов в совершенствовании модели зависимости аварийности от потенциальной опасности для рассматриваемых видов конфликтов. На рисунке 4 показаны результаты пошагового совершенствования параметров, характеризующих зависимость, которая получена по базовой методике расчета потенциальной опасности.

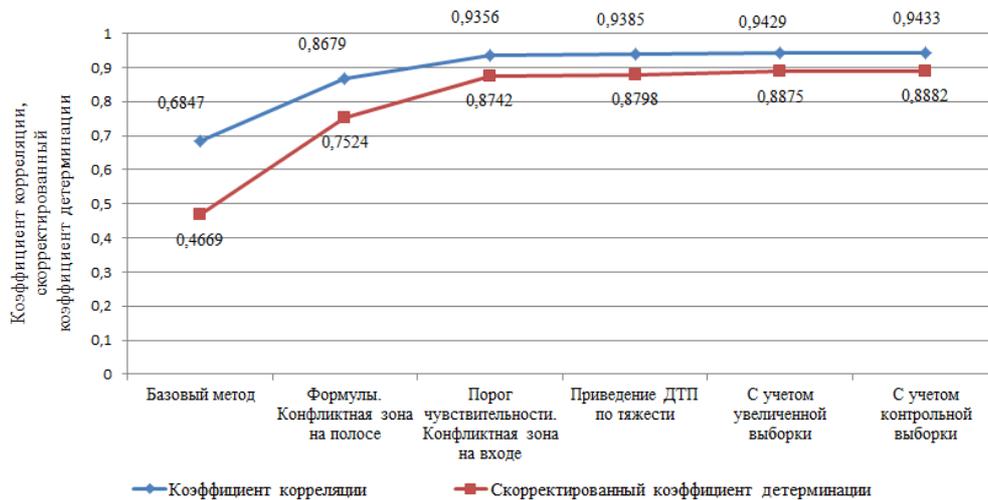


Рисунок 4. – Пошаговое изменение коэффициента корреляции и скорректированного коэффициента детерминации

В результате совершенствования методики поитерационный подход позволил достичь существенного улучшения качества статистических параметров, характеризующих итоговую регрессионную модель по сравнению с параметрами модели, соответствующей базовому методу. На рисунке 4 представлена динамика коэф-

⁹ Ходоскин Д.П. Снижение аварийности на подходах к регулируемым перекресткам путем управления движением попутных транспортных средств: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Минск, 2023. – 163 л.

фициента корреляции и скорректированного коэффициента детерминации, который используется для сравнения альтернативных регрессионных моделей, отличающихся друг от друга разным количеством параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Капский Д.В. Прогнозирование аварийности в дорожном движении. – Минск: БНТУ, 2008. – 243 с.
2. Капский Д.В., Ходоскин Д.П. Разработка мероприятий по снижению аварийности в попутном транспортном потоке // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Пром-сть. Приклад. науки. – 2022. – № 10(46). – С. 86–91.
3. Врубель Ю. А. Организация дорожного движения. В 2 ч. Ч. 1. – Минск: Белорус. фонд безопасности дорож. движения, 1996. – 328 с.
4. Лукьянчук А.Д., Капский Д.В. Безопасность транспортных средств: учеб. пособие. – Минск: БНТУ, 2016. – 264 с.
5. Молодцов В.А. Безопасность транспортных средств: учеб. пособие. – Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 236 с.
6. Серегина В.С., Старовойтов А.Н., Бочаров Д.И. Анализ данных: учеб.-метод. пособие. – Гомель: БелГУТ, 2012. – 136 с.
7. Харин Ю.С., Малюгин В.И., Абрамович М.С. Математические и компьютерные основы статистического анализа данных и моделирования: учеб. пособие. – Минск: БГУ, 2008. – 455 с.
8. Четыркин Е.М., Калихман И.Л. Вероятность и статистика. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 319 с.
9. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения: справ.: [пер. с англ.] / В. У. Рэнкин, П. Клафи, Г. С. Левинсон и др. – М.: Транспорт, 1981. – 592 с.

REFERENCES

1. Kapskii, D.V. (2008). *Prognozirovanie avariinosti v dorozhnom dvizhenii*. Minsk: BNTU. (In Russ.)
2. Kapskii, D.V. & Khodoskin, D.P. (2022). *Razrabotka meropriyatii po snizheniyu avariinosti v poputnom transportnom potoke* [Development of Activities for Reducing Accidents in Following Traffic Stream]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V. Promyshlennost'. Prikladnye nauki* [Herald of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Science], 10(46), 86–91. (In Russ., abstr. in Engl.)
3. Vrubel', Yu.A. (1996). *Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya*: V 2 ch. Ch. 1. Minsk: Belorus. fond bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya. (In Russ.)
4. Luk'yanchuk, A.D. & Kapskii, D.V. (2016). *Bezopasnost' transportnykh sredstv*. Minsk: BNTU. (In Russ.)
5. Molodtsov, V.A. (2013). *Bezopasnost' transportnykh sredstv*. Tambov: FGBOU VPO «TGTU». (In Russ.)
6. Seregina, V.S., Starovoitov, A.N. & Bocharov, D.I. (2012). *Analiz dannykh*. Gomel': BelGUT. (In Russ.)
7. Kharin, Yu.S., Malyugin, V.I. & Abramovich, M.S. (2008). *Matematicheskie i komp'yuternye osnovy statisticheskogo analiza dannykh i modelirovaniya*. Minsk: BGU. (In Russ.)
8. Chetyrkin, E.M. & Kalikhman, I.L. (1982). *Veroyatnost' i statistika*. Moscow: Finansy i statistika. (In Russ.)
9. Renkin, V. U., Klafi, P., Levinson, G. S., Kvinbi, G. D., Uotlvort, Dzh., Robinson, K. K., ... Kass, S. (1981). *Avtomobil'nye perevozki i organizatsiya dorozhnogo dvizheniya: spravochnik*. Moscow: Transport. (In Russ.)

Поступила 17.06.2024

**IMPROVING THE METHOD FOR CALCULATING POTENTIAL DANGEROUS
IN THE CONFLICT ZONE FOR COMMON TRAFFIC FLOW THROUGH
CLARIFICATION OF REDUCTION COEFFICIENTS FOR THE SEVERITY OF ROAD ACCIDENTS**

D. KAPSKI

(Belarusian National Technical University, Minsk)

D. KHODOSKIN

(Belarusian State University of Transport, Gomel)

The forecast error of the existing method for predicting accident rates in a transport-transport conflict in a passing traffic flow is about 40% (for the method under consideration). A deeper analysis of this method showed that it has broad theoretical (based on the proposal of an improved methodology for determining the inert and active zones of the dilemma) and analytical possibilities for its improvement, which are associated with clarifying general changes in the basic method aimed at clarifying the location and duration of the conflict zone and their formalization, the values of service deceleration when approaching a signalized intersection (SIC), as well as taking into account the weighted average value of deceleration in the conflict zone. In addition, a significant role in further reducing the forecast error is played by clarifying the values of the coefficients for reducing accident severity and then taking them into account when constructing the dependence of the accident rate on the potential danger.

Keywords: *transport-transport conflict, dilemma zone, conflict zone, slowdown, regression equation.*