

2. Romanov A.N., Pegin P.F. *Nadezhnost' voditelja* (Reliable drivers), Khabarovsk, Izdatel'stvo Tihookeanskogo gosudarstvennogo universiteta, 2006, 376 p.
3. Oficial'nyj sajt GIBDD MVD Rossii, <http://www.gibdd.ru/stat/>
4. Zade L.A. *Ponjatie lingvisticheskoj peremenoj i ego primenenie k prinjatiju priblizhennyh reshenij* (The concept of linguistic variable and its application to the adoption of the approximate solutions), Moscow, Mir, 1976, 165 p.
5. Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. *Prinjatie reshenij na osnove nechetkih modelej. Primery ispol'zovanija* (Decision-making based on fuzzy models: Examples of use), Riga, Zinatne, 1990, 184 p.
6. Wentzel E.S. *Teorija verojatnostej* (Probability theory), Moscow, Vyshaya shkola, 1999, 576 p.
7. Coffman L. *Vvedenie v teoriju nechetkih mnozhestv* (Introduction to the theory of fuzzy sets), Moscow, Radio i svjaz', 1982, 432 p.
8. Slyunkina E.S., Kliavin V.E., Gritsenko E.A., Petruhin A.B., Zambon F., He H., Hyder A.A. Activities of the Bloomberg Philanthropies Global Road Safety Programme (formerly RS10) in Russia: promising results from a sub-national project *Injury, Injury*, 2013, vol. 44, suppl. 4, pp. S64–S69.
9. Kondratiev V., Shikin V., Grishin V., Orlov S, Klyavin V., Yurasova E., Sethi D., Peden M., Gupta S., Migliorini L. Intersectoral Action to Improve Road Safety in two Regions of the Russian Federation, *Public Health Panorama*, 2015, vol. 1, issue 2, pp. 198-204.

Рецензент: С.А. Ляпин, д-р техн. наук, проф. ЛГТУ, г. Липецк

Статья поступила 06.04.2016

УДК 656.13.05

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНОСТИ ПО КОНФЛИКТНЫМ СИТУАЦИЯМ

Денис Васильевич Капский, канд. техн. наук, доц., d.kapsky@gmail.com,
Белорусский национальный технический университет (БНТУ),
Республика Беларусь, 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65,

Анатолий Иосифович Рябчинский, д-р техн. наук, проф., abd.kafedra-madi@mail.ru,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64

Аннотация. В статье приведены подходы к совершенствованию метода прогнозирования аварийности по конфликтным ситуациям. Приведены результаты исследований и установленные зависимости аварийности от приведенных конфликтных ситуаций, что позволяет оценить аварийную эффективность внедряемых мероприятий на объекте и при необходимости внести соответствующие коррективы, устраняющие недостатки.

Ключевые слова: аварийность, прогнозирование аварийности, методы прогнозирования, метод конфликтных ситуаций.

IMPROVED METHOD FOR PREDICTING ROAD ACCIDENT CONFLICT SITUATIONS

Denis V. Kapsky, Ph.D., associate professor, d.kapsky@gmail.com,
Belarusian National Technical University, 65, Nezavisimosty Ave., Minsk, 220013, Belarus

Anatoly I. Rybchinsky, Dr.Sc., professor, abd.kafedra-madi@mail.ru,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia

Abstract. The paper presents approaches to improve the forecasting method road accident on conflict situations. Presented the results of research and established depending road accident from those conflicts, which allows to evaluate the effectiveness of the emergency

measures implemented at the site , and if necessary, make appropriate adjustments , eliminating the disadvantages.

Keywords: *road accident , road accident forecasting, prediction methods, the method of conflict situation.*

Введение

В мировой практике при производстве сложной продукции предусмотрен обязательный выходной контроль качества. Сегодня в организации дорожного движения такого контроля нет – существует либо контроль (экспертиза) проектной документации, либо контроль соответствия готовой продукции этой документации. Однако, в процессе выбора решений, выбора, разработки и внедрения мероприятий по разным причинам возможны ошибки или недоработки, в конечном счете ухудшающие качество дорожного движения. Между тем имеется принципиальная возможность избежать внедрения мероприятий с ошибками и недоработками, касающимися в первую очередь аварийности. *Любое внедряемое мероприятие не может быть принято к постоянной эксплуатации без оперативной оценки аварийности.* Такую возможность предоставляет современный метод конфликтных ситуаций прогнозирования аварийности, согласно которому на реально существующем объекте можно получить относительно точный прогноз аварийности всего за 5 ч его работы. Для этого достаточно сразу, например, после пробного запуска, тщательно фиксировать в течение 5 ч все конфликтные ситуации и пересчитать их в число аварий. Это позволит сопоставить между собой ожидаемые результаты, полученные по исходным данным при прогнозировании аварийности по статистическому методу или по методу конфликтных зон, с результатами прогнозирования по реальным условиям на реальном объекте по методу конфликтных ситуаций и в случае необходимости внести соответствующие коррективы, повышающие совокупное качество дорожного движения. Именно поэтому необходима обязательная оперативная контрольная оценка аварийности при внедрении мероприятий, которая базируется на усовершенствованном методе конфликтных ситуаций.

Существующие проблемы

Метод был предложен К. Хайденом (Швеция) и заключается в экспериментальном определении числа конфликтных ситуа-

ций на исследуемом объекте с последующим пересчетом его в число аварий P_a [1, 2]:

$$P_a = \eta_{\text{кфс}} n_{\text{кфс}}, \quad (1)$$

где P_a – прогнозируемое число аварий, ав./год; $\eta_{\text{кфс}}$ – коэффициент приведения конфликтных ситуаций к авариям (табл. 1); $n_{\text{кфс}}$ – среднегодовое число конфликтных ситуаций, кфс/год.

Конфликтная ситуация – это такая дорожно-транспортная ситуация, при которой в течение последующего времени (до 1 с) произойдет столкновение или иная коллизия, если хотя бы один из участников не предпримет экстренные уклончивые действия [3].

Метод имеет две трудноразрешимые проблемы – обнаружение и идентификация конфликтных ситуаций. Наблюдатель обязан постоянно держать в поле зрения всех участников движения, что требует определенной подготовки и физически трудновыполнимо. Проблема успешно решается применением видеосъемки с последующим анализом изображения [4, 5].

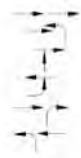





В работах [6, 7] исследуются возможности имитационного моделирования конфликтных ситуаций. В качестве меры опасности конфликтной ситуации принимается величина замедления, а в качестве риска столкновения – число конфликтных ситуаций. В некоторых моделях [8, 9] учитываются геометрия перекрестка, состав транспортного потока и некоторые параметры светофорного регулирования и др. В работе [10] учитываются скорость движения и время до момента совершения коллизии (рис. 1).

В работе [11] в модель дополнительно введен набор решений, принимаемых водителями в типовых ситуациях. Основной недостаток моделирования конфликтных ситуаций – значимое несоответствие модели реальной действительности из-за множества допущений и упрощений при ее построении.

К недостаткам метода можно отнести невысокую точность и трудности в определении конфликтных ситуаций. Однако метод быстро прогрессирует.

Таблица 1

Значения коэффициента приведения $\eta_{\text{кфс}}$ [3, 8 и др.] (фрагмент)

| Объект | Конфликт | Особенность взаимодействия | $\eta_{\text{кфс}} 10^{-5}$ | Источник |
|--|---------------------|---|-----------------------------|---|
| – | T–T | $V \leq 30$ км/ч | 2,4 | К. Хайден, Швеция |
| – | T–T | $V > 30$ км/ч | 9,6 | |
| – | T–П | $V_0 \leq 30$ км/ч | 11,9 | |
| – | T–П | $V_0 > 30$ км/ч | 34,0 | |
| – | T–T | $V > 30$ км/ч | 53,3 | Х. Людвигсен, Дания |
| – | T–T | – | 60 | Олдер, Спайсер, США |
| Нерегулируемый перекресток | T–T |  | 10,4 | Х. Эрке, Германия |
| | | | 20,8 | |
| | | | 19,2 | |
| | | | 16,2 | |
| | | | 12,7 | |
| 7,1 | | | | |
| Улицы городов, перекрестки, дорога 3 кат., дорога 1 кат. | T–T | – | 10,0 | В. Шештокас, Д. Самойлов, Литва |
| | | | 1–3 | |
| | | | 4,5 | |
| | | | 2,4 | |
| – | T–T | $V \leq 30$ км/ч | 2,2 | Р. Кульмала, Финляндия |
| – | T–T | $V > 30$ км/ч | 24,2 | |
| – | T–П | $V_0 \leq 30$ км/ч | 15,4 | |
| – | T–П | $V_0 > 30$ км/ч | 55,1 | |
| Перекрестки | T–T |  | 5,1 | Р. Дж. Браун, ЮАР |
| | | | 5,1 | |
| | | | 11,9 | |
| | | | 3,0 | |
| | | | 0,4 | |
| | | | 13,0 | |
| | | | 2,0 | |
| | | | 0,7 | |
| 7,0 | | | | |
| Регулируемый перекресток (РПК) | T–П |  | 51,3 | Б. Цимолонг, Г. Гштальтер, Германия |
| | | | 3,0 | |
| Регулируемый перекресток | T–T |  | 22,7 | Ю. Врубель, Беларусь |
| Кольцевой перекресток | T–T | | 5,8 | |
| Нерегулируемый пешеходный переход | T–П | | 0,8 | |
| Переход вне пешеходного перехода | T–П | | 2 | |
| Остановочный пункт маршрутного пассажир. транспорта | T–П | 3 | | |
| | |  | 8 | |
| РПК | T _{пов} –П |  | 0,27 | Е. Кот, Беларусь |
| | | | 0,33 | |

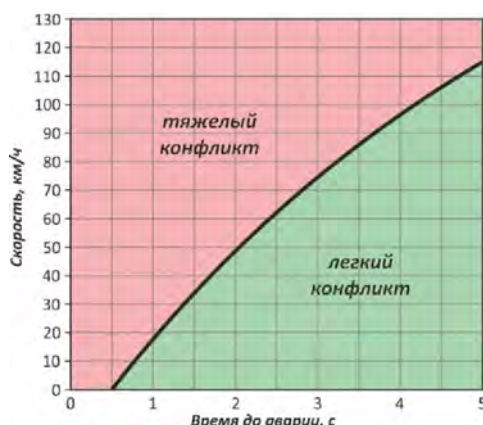


Рис.1. Графическое изображение связи между скоростью движения автомобиля и временем до конфликтной ситуации [10, с. 55, рис. 2.24]. Линией представлена граница между тяжелыми и легкими конфликтами, рекомендованная шведской техникой конфликта

Совершенствование метода

Высказано предположение, что учет степени опасности конфликтных ситуаций и тяжести последствий аварий может повысить точность прогноза. Поэтому было признано целесообразным усовершенствовать метод конфликтных ситуаций, последовательно введя в его расчетную модель степень опасности конфликтных ситуаций, тяжесть последствий аварий, порог чувствительности конфликта и нелинейную функцию пересчета числа приведенных конфликтных ситуаций в число приведенных аварий.

Применено динамическое приведение средней и тяжелой конфликтных ситуаций к легкой. Динамический коэффициент приведения $K_{пк}$ определяется как отношение условной опасности (риска аварий R_a) средней или тяжелой конфликтных ситуаций к условной опасности легкой конфликтной ситуации:

- для средней конфликтной ситуации:

$$K_{пк}^p = \frac{R_a^p}{R_a^m}; \tag{2}$$

- для тяжелой конфликтной ситуации:

$$K_{пк}^c = \frac{R_a^c}{R_a^m}, \tag{3}$$

где R_a^m, R_a^p, R_a^c – условная опасность (риск аварии) соответственно легкой, средней и тяжелой конфликтных ситуаций; $K_{пк}^p, K_{пк}^c$ –

динамические коэффициенты приведения конфликтных ситуаций по степени их опасности, соответственно средних и тяжелых.

Среднегодовое число приведенных конфликтных ситуаций $n'_{кфс}$ (прив.кфс/год) определяется по формуле

$$n'_{кфс} = \frac{n_{кфс}^m + n_{кфс}^p \cdot K_{пк}^p + n_{кфс}^c \cdot K_{пк}^c}{t_{изм}} \cdot \Phi_t, \tag{4}$$

где $n_{кфс}^m, n_{кфс}^p, n_{кфс}^c$ – число зафиксированных за время измерения соответственно легких, средних и тяжелых конфликтных ситуаций; Φ_t – годовой фонд времени, ч/год; $t_{изм}$ – время измерений конфликтных ситуаций, ч.

Подобным образом было выполнено и динамическое приведение аварий по тяжести последствий. Динамический коэффициент приведения аварий по конфликтным ситуациям $K_{пак}$ определяется как отношение условной тяжести аварии с ранением или со смертельным исходом к условной тяжести аварии с материальным ущербом:

- для аварии с ранением:

$$K_{пак}^p = \frac{E_a^p}{E_a^m}; \tag{5}$$

- для аварии со смертельным исходом:

$$K_{пак}^c = \frac{E_a^c}{E_a^m}, \tag{6}$$

где E_a^m, E_a^p, E_a^c – условная тяжесть (накопленная энергия разрушения) соответственно аварии с материальным ущербом, ранением и смертельным исходом; $K_{\text{пак}}^p, K_{\text{пак}}^c$ – динамические коэффициенты приведения аварий соответственно с ранением и смертельным исходом.

Среднегодовое число приведенных по конфликтным ситуациям аварий n'_a (прив. ав./год) определяется по формуле

$$n'_a = n_a^m + n_a^p K_{\text{пак}}^p + n_a^c K_{\text{пак}}^c, \quad (7)$$

где n_a^m, n_a^p, n_a^c – число аварий соответственно с материальным ущербом, ранением и смертельным исходом, ав./год.

Промежуточная формула для расчета прогнозируемого числа *приведенных* аварий P'_a (прив. ав./год) приобрела следующий вид:

$$P'_a = n'_{\text{кфс}} \eta'_{\text{кфс}i}, \quad (8)$$

где P'_a – прогнозируемое число приведенных аварий, прив. ав./год; $n'_{\text{кфс}}$ – среднегодовое число приведенных конфликтных ситуаций, прив. кфс/год; $\eta'_{\text{кфс}i}$ – коэффициент перевода приведенных конфликтных ситуаций к приведенным авариям для каждого вида конфликта.

Затем коэффициент $\eta'_{\text{кфс}i}$ был заменен некой функцией перерасчета числа приведенных конфликтных ситуаций в число приведенных аварий и расчетная формула приобрела следующий вид:

$$P'_a = f(n'_{\text{кфс}} 10^{-3}), \text{ прив. ав./год}, \quad (9)$$

где $f(n'_{\text{кфс}} 10^{-3})$ – функция пересчета числа приведенных конфликтных ситуаций в число приведенных аварий, отличающаяся для каждого вида конфликта.

Введено понятие порога чувствительности конфликта по конфликтным ситуациям $d_{\text{кфс}}$ – *наибольшее число приведенных конфликтных ситуаций в данной конфликтной точке, которое не вызывает в ней аварий* (т.е. соответствует не появлению хотя бы одной приведенной аварии за три года). Порог чувствительности отличается для каждого вида конфликта и отнимается от суммы приведенных конфликтных ситуаций в каждой конфликтной точке. Определение числа при-

веденных аварий стало проводиться по *расчетному числу приведенных конфликтных ситуаций* $n''_{\text{кфс}}$ (прив. кфс/год), которое определяется по формуле

$$n''_{\text{кфс}} = n'_{\text{кфс}} - (k d_{\text{кфс}}) \Phi_i, \quad (10)$$

где k – число конфликтных точек данного вида конфликта на исследуемом объекте, в которых происходили конфликтные ситуации; $d_{\text{кфс}}$ – порог чувствительности конфликта по конфликтным ситуациям в данном виде конфликта, кфс/ч.

Таким образом, принятая в качестве окончательной для диссертационной работы расчетная формула определения прогнозируемого числа приведенных аварий имеет вид

$$P'_a = f(n''_{\text{кфс}} 10^{-3}), \text{ прив. ав./год}, \quad (11)$$

Число неприведенных аварий i -й тяжести последствий P_{ai} определяется по формуле

$$P_{ai} = \frac{P'_a \delta_{ak}^i}{K_{\text{пак}}^{\Sigma}}, \text{ ав./год}, \quad (12)$$

где δ_{ak}^i – доля аварий i -й тяжести последствий в исследуемом k -м конфликте. Определяется из статистики аварийности для каждого вида конфликта; $K_{\text{пак}}^{\Sigma}$ – суммарный динамический коэффициент приведения аварий по конфликтным ситуациям.

Для реализации новой расчетной модели необходимо определить численные значения динамических коэффициентов приведения $K_{\text{пак}}^p$ и $K_{\text{пак}}^c, K_{\text{пак}}^p$ и $K_{\text{пак}}^c$; порога чувствительности $d_{\text{кфс}i}$; функции перевода расчетных приведенных конфликтных ситуаций к приведенным авариям $f(n''_{\text{кфс}})$ и долю аварий i -й тяжести последствий δ_{ak}^i для каждого вида конфликта. С этой целью были выполнены исследования, включающие получение и обработку статистической выборки аварий, экспериментальные измерения конфликтных ситуаций и поиск наилучших зависимостей приведенных аварий от приведенных конфликтных ситуаций.

Исследования проводились на 100 регулируемых перекрестках и 80 искусственных

неровностях. Исследовались зависимости аварий от конфликтных ситуаций в шести видах конфликтов. Исследуемая выборка аварийности составила 3 360 аварий за три года, в том числе 2 946 с материальным ущербом, 395 с ранением и 19 со смертельным исходом. Исследуемая выборка конфликтных ситуаций составила 19 995 штук за пять часов, в том числе 19 019 легких, 871 средних и 105 тяжелых.

Анализ аварийности был выполнен за три года, отдельно для каждого исследуемого объекта и для выборки в целом. Для каждого вида конфликта определялось общее число аварий и отдельно среднегодовое число аварий с материальным ущербом, ранением и смертельным исходом. Результаты анализа приведены в табл. 2.

Экспериментальные исследования проводились с целью определения количества и степени опасности конфликтных ситуаций. Наблюдатели-счетчики, прошедшие специальный инструктаж, в течение 5 ч светлого времени суток (примерно с 13 до 18 ч) наблюдали за работой исследуемого объекта. При возникно-

вании конфликтной ситуации фиксировалось время и место (конфликтная точка) ее возникновения, вид конфликта и степень опасности. Затем определялось среднегодовое число конфликтных ситуаций для каждого вида конфликта по каждой степени опасности и в целом. Результаты измерений конфликтных ситуаций приведены в табл. 3.

Целью *расчетных исследований* был поиск наилучших зависимостей приведенных аварий от расчетных приведенных конфликтных ситуаций для всех шести видов конфликта. Должны быть найдены искомые численные значения динамических коэффициентов приведения $K_{пк}^p, K_{пк}^c, K_{пак}^p, K_{пак}^c$ и значения порога чувствительности $d_{кфс}$. Для сопоставления точности прогноза *существующего* и *усовершенствованного* методов необходимо отыскать наилучшие зависимости, т.е. коэффициенты приведения $\eta_{кфс}$ *адаптированные* к условиям Республики Беларусь.

Результаты расчетно-экспериментальных исследований приведены в табл. 4.

Таблица 2

Исследуемая выборка аварий

| Номер конфликта N_j | Схема конфликта | Среднегодовое число аварий n_a и их доля $\delta_{ак}$ в выборке ($n_a/\delta_{ак}$) | | | |
|-----------------------|-----------------|--|---------------|-------------------|----------------------------|
| | | Материальный ущерб | Ранение | Смертельный исход | $n_{a\bar{j}}/\Delta_{aj}$ |
| 1 | | 115,333/0,867 | 16,000/0,120 | 1,667/0,013 | 133,000/0,119 |
| 2 | | 189,000/0,904 | 19,333/0,093 | 0,667/0,003 | 209,000/0,187 |
| 3 | | 188,000/0,981 | 3,333/0,017 | 0,333/0,002 | 191,667/0,171 |
| 4 | | 479,333/0,970 | 13,667/0,028 | 1,333/0,002 | 494,333/0,441 |
| 5a | | 2,000/0,118 | 14,667/0,862 | 0,333/0,020 | 17,000/0,015 |
| 5б | | 6,000/0,103 | 50,333/0,868 | 1,667/0,029 | 58,000/0,052 |
| 6 | | 2,333/0,137 | 14,333/0,843 | 0,333/0,020 | 17,000/0,015 |
| Всего | | 982,000/0,877 | 131,667/0,117 | 6,333/0,006 | 1120,000/1,000 |

Таблица 3

Исследуемая выборка конфликтных ситуаций (за 5 ч измерений)

| Степень опасности | Число конфликтных ситуаций | | | | | | | |
|-------------------|----------------------------|------|------|------|------|-----|------|------|
| | N_j | 1 | 2 | 3 | 4 | 5a | 5б | 6 |
| | Схема | | | | | | | |
| Легкие | | 915 | 1712 | 5575 | 7686 | 823 | 1041 | 1267 |
| Средние | | 143 | 137 | 108 | 240 | 28 | 170 | 45 |
| Тяжелые | | 35 | 19 | 14 | 14 | 1 | 19 | 3 |
| Всего | | 1093 | 1868 | 5697 | 7940 | 852 | 1230 | 1315 |

Таблица 4

Результаты расчетно-экспериментальных исследований конфликтных ситуаций

| № конфликта N_j | Схема конфликта | Динамические коэффициенты приведения | | | | Порог чувствительности, кфс/ч | $K_{пак}^c$ | Доля аварий i -й тяжести | | | Расчетная функция для определения числа приведенных аварий P'_a : $P'_a = f(n''_{кфс} \cdot 10^{-3})$, прив.ав./год | Статистика | | |
|-------------------|-----------------|--------------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------------------------|-------------|----------------------------|------------|------------|--|------------|------|-------|
| | | кфс | | аварий | | | | δ^m | δ^p | δ^c | | R | E | F |
| | | $K_{пк}^p$ | $K_{пк}^c$ | $K_{пак}^p$ | $K_{пак}^c$ | | | | | | | | | |
| 1 | | 4 | 11 | 2 | 6 | 0,04 | 1,185 | 0,867 | 0,120 | 0,013 | $P'_a = -0,0006(n''_{кфс} \cdot 10^{-3})^2 + 0,129 n''_{кфс} \cdot 10^{-3} - 0,18$ | 0,84 | 0,61 | 169,5 |
| 2 | | 9 | 25 | 3 | 10 | 0,08 | 1,213 | 0,904 | 0,093 | 0,003 | $P'_a = 0,113 n''_{кфс} \cdot 10^{-3} - 0,52$ | 0,89 | 0,65 | 422,1 |
| 3 | | 7 | 36 | 7 | 16 | 0,3 | 1,132 | 0,981 | 0,017 | 0,002 | $P'_a = 0,00027(n''_{кфс} \cdot 10^{-3})^2 + 0,04 n''_{кфс} \cdot 10^{-3} - 0,211$ | 0,89 | 0,61 | 301,0 |
| 4 | | 13 | 61 | 9 | 23 | 0,3 | 1,268 | 0,970 | 0,028 | 0,002 | $P'_a = 0,073 n''_{кфс} \cdot 10^{-3}$ | 0,84 | 0,74 | 274,2 |
| 5a | | 32 | 72 | 10 | 18 | 0,08 | 8,736 | 0,118 | 0,862 | 0,020 | $P'_a = 0,002(n''_{кфс} \cdot 10^{-3})^2 + 0,067 n''_{кфс} \cdot 10^{-3} - 0,369$ | 0,79 | 0,72 | 313,3 |
| 5б | | 36 | 81 | 11 | 22 | 0,04 | 10,289 | 0,103 | 0,868 | 0,029 | $P'_a = 0,00027(n''_{кфс} \cdot 10^{-3})^2 + 0,038 n''_{кфс} \cdot 10^{-3} - 0,435$ | 0,81 | 0,73 | 378,6 |
| 6 | | 27 | 38 | 6 | 15 | 0,14 | 5,495 | 0,137 | 0,843 | 0,020 | $P'_a = 0,067 n''_{кфс} \cdot 10^{-3} - 0,406$ | 0,82 | 0,68 | 373,7 |

Примечание – $K_{пк}^p$ и $K_{пк}^c$ – динамические коэффициенты приведения, соответственно средних и тяжелых конфликтных ситуаций к легкой; $K_{пак}^p$ и $K_{пак}^c$ – динамические коэффициенты приведения аварий, соответственно с ранением и смертельным исходом к авариям с материальным ущербом; δ^m , δ^p , δ^c – доля аварий соответственно с материальным

ущербом, ранением и смертельным исходом.

На рисунках 2–5 приведены зависимости аварийности от конфликтных ситуаций для двух видов конфликта, полученные по существующему и усовершенствованному методам. Как видно из таблицы и рисунков, зависимости, полученные по усовершенствованному методу, статистически более значимы и имеют большую точность.

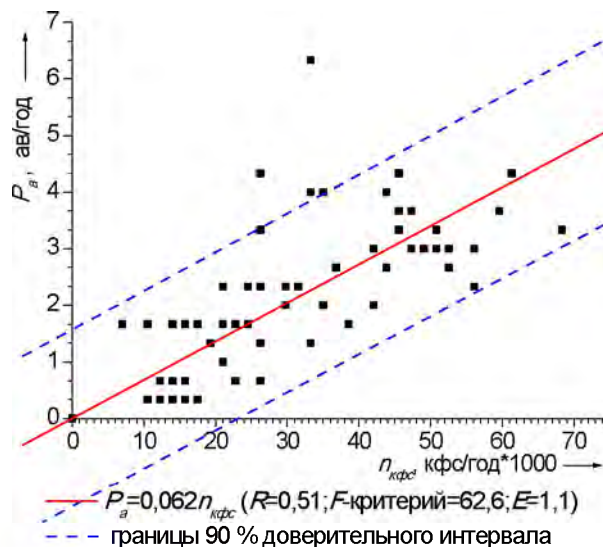


Рис. 2. Зависимость аварийности от конфликтных ситуаций (конфликт № 1, существующий метод)

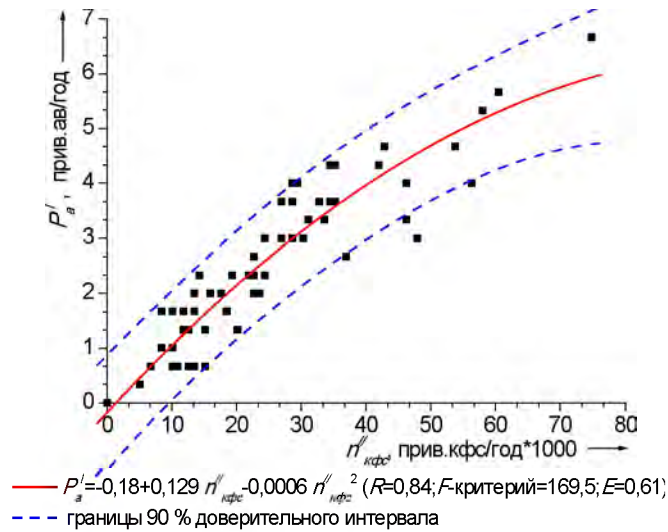


Рис. 3. Зависимость приведенной аварийности от приведенных конфликтных ситуаций (конфликт № 1, усовершенствованный метод)

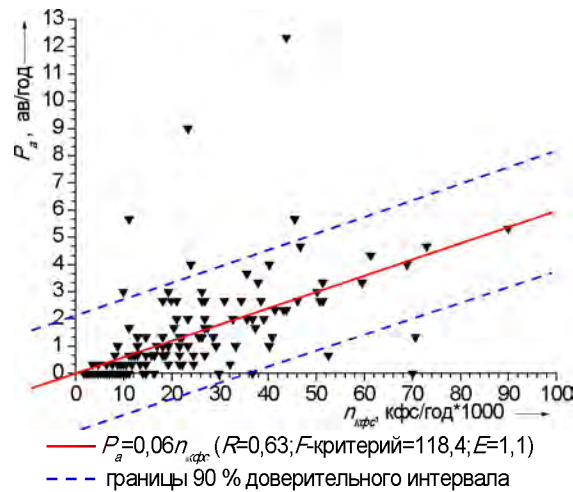


Рис. 4. Зависимость аварийности от конфликтных ситуаций (конфликт № 3, существующий метод)

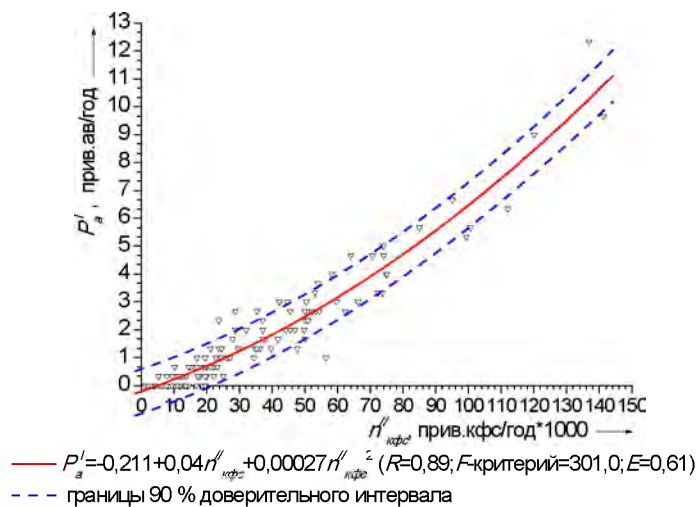


Рис. 5. Зависимость приведенной аварийности от приведенных конфликтных ситуаций (конфликт № 3, усовершенствованный метод)

Проведенные исследования показали, что имеются возможности дальнейшего совершенствования метода конфликтных ситуаций. В частности, возможна бóльшая детализация видов конфликта (например, пересечение проезжей части пешеходами справа или слева), введение в расчетную модель фактора скорости и конфликтных зон.

Зависимости аварийности от конфликтных ситуаций, полученные для всех шести основных видов конфликтов, являются статистически значимыми и имеют точность, пригодную для практических работ по организации дорожного движения.

Оценка адекватности разработанной модели

Оценка адекватности проводилась для существующего и усовершенствованного методов. Она была выполнена на пяти конкретных объектах г. Минска: трех регулируемых перекрестках и двух нерегулируемых пешеходных переходах, в зоне которых расположены искусственные неровности.

Для каждого исследуемого конфликтного объекта по всем версиям метода рассчитывалась прогнозируемая аварийность, которая затем сравнивалась с реально существующей.

Установлено следующее. Усовершенствованный метод в сравнении с существующим обладает более высокой точностью прогноза, как для каждого вида конфликта, так и для каждого исследуемого объекта – в среднем в 4 раза, и является пригодным для применения в практике организации дорожного движения. Что касается адаптации метода к условиям Республики Беларусь, то она не привела к значимым результатам, поскольку полученное изменение точности прогноза (в среднем от -1 до $+7$ %) находится в пределах расчетной погрешности.

Основные результаты

Выполнены экспериментальные исследования конфликтных ситуаций в различных видах конфликтов, которые позволили установить закономерности конфликтного взаимодействия участников движения при проезде регулируемого перекрестка, а также искусственной неровности. Установлены значения коэффициента приведения конфликтных ситуаций к авариям, учитывающие конфликтное движение в городских очагах аварийности

Республики Беларусь, для всего спектра видов конфликтов на регулируемых перекрестках и искусственных неровностях, расположенных в зоне нерегулируемых пешеходных переходов.

Усовершенствован метод конфликтных ситуаций прогнозирования аварийности, отличающийся новой математической моделью прогнозирования аварийности в конфликтах «транспорт–транспорт» и «транспорт–пешеход» (для шести видов конфликтов), в которой учтено динамическое приведение конфликтных ситуаций по степени опасности, динамическое приведение аварий по тяжести последствий, порог чувствительности конфликта и нелинейная зависимость между динамически приведенными авариями и динамически приведенными конфликтными ситуациями, позволяющий повысить точность прогноза, в среднем в 4 раза по сравнению с существующим методом, сделать его приемлемым для практического применения при оперативной оценке эффективности внедряемых мероприятий.

Разработанная модель позволяет сделать адекватный прогноз не только количества аварий, но и тяжести их последствий на существующих объектах, оценить запроектированные технические решения по транспортной планировке объектов, схемы организации движения и режимы светофорного регулирования, реализованные на улично-дорожной сети Республики Беларусь (F -критерий ≥ 169 ; $R \geq 0,79$; $E \leq 0,74$).

Представляется возможным и целесообразным дальнейшее совершенствование метода конфликтных ситуаций прогнозирования аварийности путем более детальной классификации конфликтов по видам и введения в расчетную модель прогнозирования новых факторов, влияющих на аварийность, в частности, скорости движения и конфликтных.

Разработана методика оперативной контрольной оценки аварийности при внедрении мероприятий, которая основана на подсчете числа конфликтных ситуаций на объекте сразу же после внедрения мероприятий с последующим перерасчетом их в прогнозируемое число аварий. Это позволяет оперативно оценить аварийную эффективность внедряемых мероприятий на объекте и при необходимости внести соответствующие коррективы.

Список литературы

1. The Swedish Traffic Conflict Technique // Department of Technology and Society Lund University in Sweden. – URL: http://www.tft.lth.se/fileadmin/tft/dok/Brochure_ConflictTechnique.pdf
2. Laureshyn, A. Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation / A. Laureshyn, Å. Svensson, C. Hydén // Accident Analysis & Prevention. – 2010. – Vol. 42, issue 6. – P. 1637–1646.
3. Врубель, Ю.А. Организация дорожного движения: в 2 ч. / Ю.А. Врубель. – Минск: Белорус. фонд безопасности дорожного движения, 1996. – Ч. 1. – 328 с.
4. Laureshyn, A. Application of automated video analysis to road user behaviour: doctoral thesis / A. Laureshyn. – Lund, 2010. – 202 p.
5. Archer, J. Traffic Conflict Technique: Historical to current State-of-the-Art / J. Archer // Institutionen för Infrastruktur KTH. – URL: http://www.ctr.kth.se/publications/ctr2001_05.pdf
6. Бадалян, А.М. Определение степени опасности конфликтных ситуаций в дорожном движении / А.М. Бадалян // Проектирование автомобильных дорог: сб. науч. тр. МАДИ (ГТУ) / МАДИ (ГТУ). – М., 2002. – С. 87–96.
7. Калугин, А.В. Разработка методов и средств для автоматической регистрации параметров ДТП: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: Технополиграфцентр, 2009. – 25 с.
8. Шештокас, В.В. Конфликтные ситуации и безопасность движения в городах / В.В. Шештокас, Д.С. Самойлов. – М.: Транспорт, 1987. – 207 с.
9. Єрсов, В.І. Конфліктні ситуації та безпека руху пішоходів / В.І. Єрсов, Я.В. Рябець // Безпека дорожнього руху України. – 2001. – № 2 (10). – С. 24–30.
10. Traffic Calming in Delhi – A Feasibility Study of Traffic Safety Measures: Final Thesis of Martin Kristian Kallesen / Aalborg University, Department of Development and Planning. – Denmark, August 2006. – URL: <http://projekter.aau.dk/projekter/files/6146614/MartinKallesen-2006.pdf>
11. Malkhamah, S. The Development of automatic method of safety monitoring at Pelican crossing / S. Malkhamah, M. Tight, F. Montgomery // Accident Analysis & Prevention. – 2005. – Vol. 37, issue 5. – P. 938–946.

References

1. The Swedish Traffic Conflict Technique Department of Technology and Society Lund University in Sweden, URL: Mode of access: http://www.tft.lth.se/fileadmin/tft/dok/Brochure_ConflictTechnique.pdf
2. Laureshyn A., Svensson Å., Hydén C. Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation, Accident Analysis & Prevention, 2010, vol. 42, issue 6, pp. 1637–1646.
3. Vrubel' Yu.A. *Organizaciya dorozhnogo dvizheniya* (Organization of traffic), Minsk, Belorussiy fond bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya, 1996, 328 p.
4. Laureshyn A. Application of automated video analysis to road user behavior, Doctor's thesis, Lund, 2010, 202 p.
5. Archer J. Traffic Conflict Technique: Historical to current State-of-the-Art, Institutionen för Infrastruktur KTH, http://www.ctr.kth.se/publications/ctr2001_05.pdf
6. Badalyan A.M. Proektirovanie avtomobil'nyh dorog, Sbornik trudov, Moscow, MADI (GTU), 2002, pp. 87–96.
7. Kalugin A.V. *Razrabotka metodov i sredstv dlya avtomaticheskoy registracii parametrov DTP* (Development of methods and tools for the automatic registration of accidents parameters), Doctor abstract of the thesis, Moscow, Tekhnopoligrafcentr, 2009, 25 p.
8. Sheshtokas V.V., Samojlov D.S. *Konfliktnye situacii i bezopasnost' dvizheniya v gorodah* (Conflict situations and traffic safety in towns), Moscow, Transport, 1987, 207 p.
9. Єрсов В.І., Рябець Я.В. Конфліктні ситуації та безпека руху пішоходів, Безпека дорожнього руху України, 2001, no. 2 (10), pp. 24–30.
10. Traffic Calming in Delhi – a Feasibility Study of Traffic Safety Measures: Final Thesis of Martin Kristian Kallesen, <http://projekter.aau.dk/projekter/files/6146614/MartinKallesen-2006.pdf>
11. Malkhamah S., Tight M., Montgomery F. The Development of automatic method of safety monitoring at Pelican crossing, Accident Analysis & Prevention, 2005, vol. 37, issue 5, pp. 938–946.

Рецензент: Г.М. Кухаренок, д-р техн. наук, проф. БНТУ, г. Минск, Беларусь

Статья поступила 05.02.2016