

МЕТОД КОНФЛИКТНЫХ ЗОН ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНОСТИ: РАЗРАБОТКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ

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., obd.kafedra-madi@mail.ru,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64

Аннотация. В статье приведены основные положения разработки метода конфликтных зон прогнозирования аварийности по потенциальной опасности. Приведены результаты исследования порога чувствительности потенциальной опасности отдельных конфликтов, а также иные параметры, учитывающие специфику взаимодействия участников движения на конфликтных объектах.

Ключевые слова: аварийность, прогнозирование аварийности, методы прогнозирования, потенциальная опасность, метод конфликтных зон.

FORECASTING METHOD CONFLICT ZONES ROAD ACCIDENT: DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT

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, obd.kafedra-madi@mail.ru,

MADI, 64, Leningradsky Pros., Moscow, 125319, Russia

Abstract. In the article definitions of conflict zones to develop a method for predicting the potential danger of road accidents. The research results of the sensitivity of the potential danger of individual road conflicts, as well as other options, tailored to participants' interaction on road conflict objects.

Keywords: road accident, road accident forecasting, prediction methods, the potential danger, the method of conflict zones.

Введение

За последние 5 лет в Республике Беларусь произошло около 509,3 тыс. аварий, в которых погибли 6303 человека и получили ранения более 33,3 тыс. человек (ежедневно гибнут около 4 человек и около 18 получают ранения) [1]. В Российской Федерации ежегодно происходит около 200 тысяч аварий с пострадавшими, в которых гибнут более 26 тысяч человек и более 250 тысяч человек получают ранения. Российские ученые проводят исследования по созданию и совершенствованию методов оценки безопасности движения, которая определяется аварийностью. Оценка безопасности на существующих (длительное время) объектах проводится по результатам статистического анализа аварийности [2]. В Российской Федерации и за рубежом используются следующие методы

(рекомендованы действующими техническими нормативными правовыми актами Российской Федерации):

- статистический метод [3], основанный на анализе статистических данных по влиянию на аварийность типовых мероприятий по изменению условий движения;
- метод линейных графиков коэффициентов аварийности (разработан российским исследователем В.Ф. Бабковым [4]), основанный на построении и анализе эпюры условной опасности на каждом типовом участке дороги. Эта опасность, выражаемая итоговым коэффициентом аварийности Кит, определяется как произведение частных коэффициентов аварийности Ка, характеризующих условную опасность отдельных факторов. В результате на эпюре итоговых коэффициен-

тов для всей дороги четко видны участки с повышенной условной опасностью;

- метод линейных графиков коэффициентов безопасности (разработан В.Ф. Бабковым [4]), основанный на построении эпюры скоростей движения на дороге и выявлении мест и величины перепадов скорости, по которым и осуществляется оценка безопасности – чем больше перепадов скоростей движения и чем они «круче», тем опаснее;
- метод конфликтных точек [5] (автор – Г. Раппопорт, ФРГ), основанный на определении числа и типа конфликтных точек, которые по степени опасности (в порядке убывания) делятся на пересечения, слияния и отклонения. Оценка безопасности осуществляется по сумме произведений числа конфликтных точек на степень их опасности;
- метод конфликтных ситуаций [6, 7] (предложен К. Хайденом, Швеция), основанный на экспериментальном определении на реально существующем объекте числа видимых опасных (конфликтных) ситуаций, которые с определенной для данного вида конфликта закономерностью возникают в тысячи раз чаще, чем происходят аварии, с последующим пересчетом числа конфликтных ситуаций в число аварий посредством соответствующих коэффициентов приведения.

К сожалению, эти методы не учитывают детальных особенностей конфликтных объектов, имеют неприемлемо низкую точность прогноза. К тому же методы линейных графиков относятся в основном к линейным участкам загородных дорог, и попытки ученых применить их к городским конфликтным объектам не дали приемлемых результатов. Что касается метода конфликтных ситуаций, то он требует реального объекта и не может быть использован в процессе проектирования или принятия решения.

Основные аспекты создания метода

Расчетная модель определения потенциальной опасности была существенно изменена, в нее были введены новые факторы, влияющие на аварийность, – их оказалось около ста. Все они были объединены в псевдонезависимые группы. Внутри каждой группы все факторы связаны аналитическими зависимостями различной сложности и пред-

ставлены в виде отдельных коэффициентов. Структурная формула определения потенциальной опасности P_o имеет вид произведения семи коэффициентов, представляющих свои группы факторов

$$P_o = K_{OH}^{a_1} \cdot K_u^{a_2} \cdot K_e^{a_3} \cdot K_p^{a_4} \cdot K_H^{a_5} \cdot K_y^{a_6} \cdot K_t, \text{ ед.}, \quad (1)$$

где K_{OH} – начальная вероятность конфликта, характеризующая вероятность одновременного появления двух конфликтующих участников в конфликтной зоне (которая ограничена эллипсом, полуоси которого равны расстоянию, преодолеваемому конфликтующими участниками за 1 с), ед.; K_u – коэффициент скоростей, характеризующий влияние скоростей движения конфликтующих участников на вероятность возникновения конфликтной ситуации и перерастания ее в коллизию; K_e – коэффициент вида конфликта, характеризующий габаритные особенности, которые присущи данным конфликтующим участникам; K_p – коэффициент плотности, характеризующий влияние интенсивности и плотности транспортного потока на вероятность возникновения конфликтной ситуации и перерастания ее в коллизию; K_H – коэффициент нарушений, характеризующий вероятность возникновения конфликтной ситуации и перерастания ее в коллизию при грубых нарушениях Правил дорожного движения; K_y – коэффициент условий, в которых происходит конфликтное движение; K_t – коэффициент времени, характеризующий продолжительность работы объекта под расчетной транспортно-пешеходной нагрузкой; a_1 – a_6 – показатели степени ранжирования, позволяющие компенсировать погрешности формализации определения потенциальной опасности и существенно повысить точность прогноза.

Конфликтные зоны и порог чувствительности

Уточнены некоторые зависимости внутри групп факторов, определяемых коэффициентами структурной формулы. Введено ранжирование аварий по тяжести последствий, понятие «порог чувствительности» – такая величина потенциальной опасности, ниже которой она не вызывает аварий. Было введено понятие «конфликтная зона» – неразрывная группа компактно расположенных

и взаимодействующих между собой пространственных конфликтных точек, границы которых соприкасаются или пересекаются. Пространственная конфликтная точка – это ограниченное пространство (площадь) на проезжей части вокруг геометрической конфликтной точки, одновременный проезд через которое двух конфликтующих участников физически невозможен (для легковых автомобилей – около 22 м²). Конфликтная зона позволяет учитывать некоторые психологические аспекты взаимодействия конфликтующих участников дорожного движения и существенно повысить точность прогноза. Схема образования конфликтных зон показана на рис. 1.

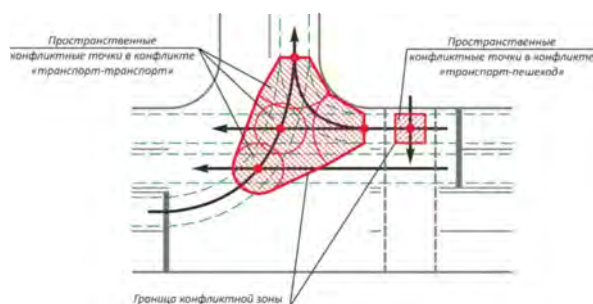


Рис. 1. Схема образования конфликтной зоны

Потенциальная опасность конфликтных точек нелинейно суммируется в пределах конфликтной зоны с учетом порога чувствительности.

Принципиально новый метод отличается суммированием потенциальной опасности в пределах конфликтной зоны. Предложена следующая расчетная зависимость:

$$P_{Oz} = \left[\sum_{i=1}^N P_{oi}^m \right]^{1/n}, \quad (2)$$

где P_{Oz} – потенциальная опасность конфликтной зоны, ед.; P_{oi} – потенциальная опасность конфликтных точек, входящих в конфликтную зону, ед.; N – количество конфликтных точек в конфликтной зоне; m и n – показатели степени.

Следует пояснить понятие «порог чувствительности». Известно, что некоторые конфликтные объекты работают безаварийно в течение длительного времени. Детальный очаговый анализ аварийности на объектах по-

казал, что в значительной части конфликтных точек аварии также отсутствуют. Это говорит о том, что потенциальная опасность, не превышающая некоторого критического (порогового) значения, не вызывает очаговой аварийности. Порог чувствительности – это минимальная величина потенциальной опасности в конфликтной точке, которая с доверительной вероятностью 0,5 не вызывает аварий в количестве 0,333 авт./год и больше. Физический смысл этого явления заключается в том, что система ВАДС (водитель–автомобиль–дорога–среда движения) способна самостоятельно разрешать конфликты малой опасности. При этом постоянное совершенствование конструкции автомобилей в области активной и пассивной безопасности, рост профессионального уровня водителей, подготовка пешеходов к участию в дорожном движении и другие факторы привели к тому, что минимальный уровень опасности, который разрешается автоматически в системе ВАДС, или так называемый «порог чувствительности» потенциальной опасности, со временем постепенно повышается. В разработанных моделях потенциальная опасность конфликтных точек, которая меньше порога чувствительности, не суммируется при определении потенциальной опасности конфликтных зон. В процессе диссертационных исследований установлены значения порога чувствительности для всех видов конфликта на регулируемых перекрестках и искусственных неровностях.

При этом потенциальная опасность конфликтных зон ранжируется в зависимости от величины наиболее опасных конфликтных точек и расстояния между ближайшими конфликтными точками исследуемых конфликтных зон.

Потенциальная опасность второстепенных конфликтных зон P_{Oz}^* с учетом их ранжирования в пределах объекта определяется по формуле

$$P_{Oz}^* = P_{Oz} \cdot e^{-\chi_z}, \quad \text{ед.}, \quad (3)$$

где χ_z – показатель степени:

$$0 \leq \chi_z = \frac{P_o^{m1} - P_o^{m2}}{P_o^{m1} S_{k12} - 5K_{пн2}} \leq 1, \quad (4)$$

где P_o^{m1} – максимальное значение потенциальной опасности в конфликтной точке главной (1) конфликтной зоны (с наибольшим значением P_{oi}^m), ед.; P_o^{m2} – максимальное значение потенциальной опасности в конфликтной точке исследуемой второстепенной (2) конфликтной зоны, ед.; S_{k12} – расстояние между ближайшими конфликтными точками главной и исследуемой второстепенной зонами, м; $K_{пн2}$ – динамический коэффициент приведения второстепенного потока.

Определяется вероятное число приведенных (к аварии с материальным ущербом) аварий для каждой конфликтной зоны, которое затем для каждого конфликта суммируется в пределах всего объекта для каждого режима движения. Зная распределение аварий

по тяжести последствий для каждого вида конфликта и режима движения, можно определить для исследуемого объекта прогнозируемое число аварий каждой тяжести последствий.

Основные результаты

Разработан метод «Конфликтных зон», который адекватно реагирует на изменения транспортно-пешеходной нагрузки и условий движения, позволяет прогнозировать аварийность для практических целей не только на существующих, но и проектируемых объектах, для которого разработан комплекс методик прогнозирования аварийности на регулируемых перекрестках и на искусственных неровностях в различных видах конфликтов «транспорт–транспорт» и «транспорт–пешеход» (рис. 2).

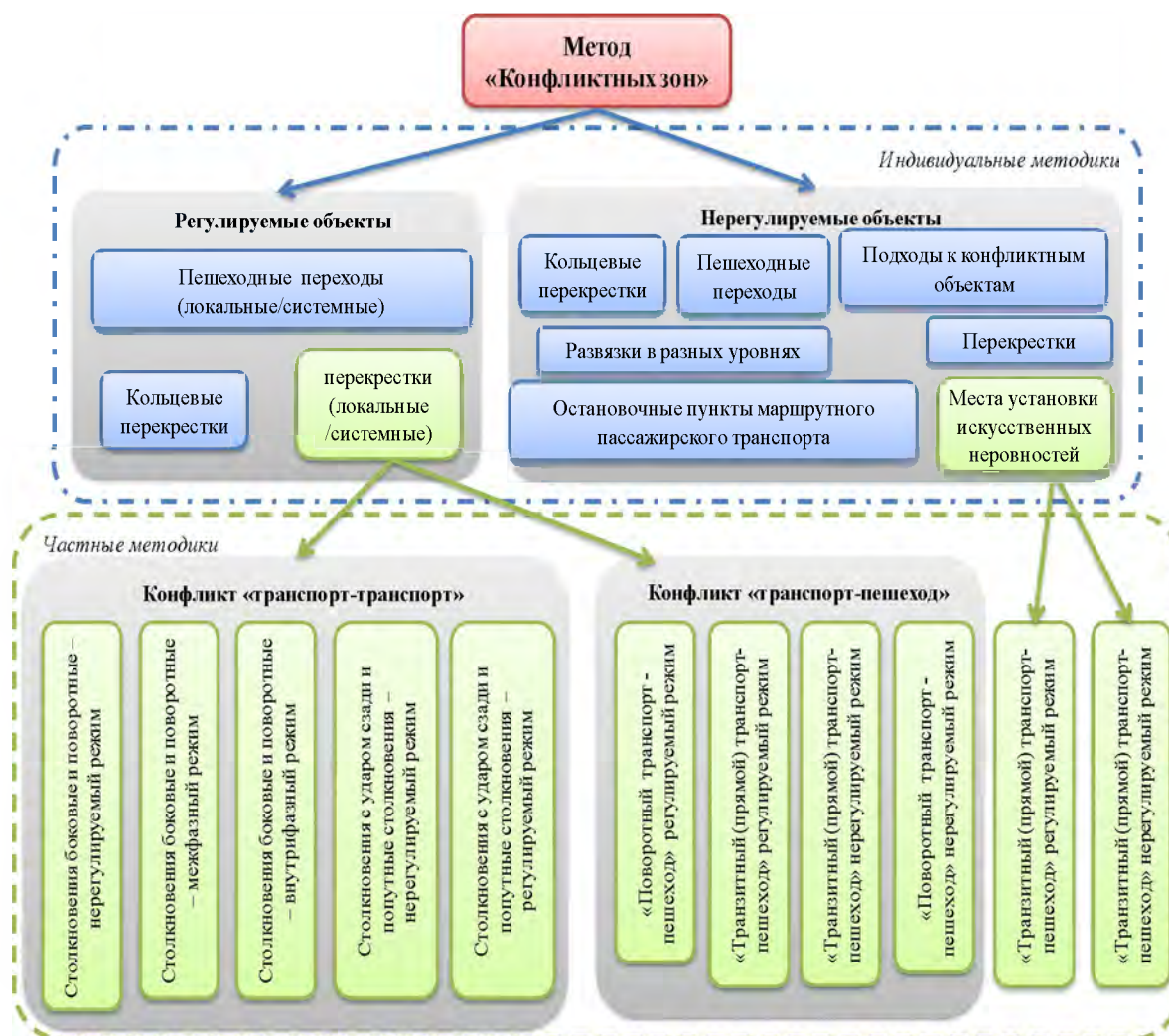


Рис. 2. Структура метода конфликтных зон

Таблица 1

Значения показателей для расчета потенциальной опасности различных видов конфликтов

Объект	Вид конфликта, режим движения	Показатель								
		a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	m	n	$P_{0\ min}$, ед.
Регулируемые перекрестки	столкновения боковые и поворотные, нерегулируемый режим	0,9	0,98	1,12	0,92	1,02	1,2	1,5	0,65	0,77
	столкновения боковые и поворотные, внутрифазный режим	1,2	0,94	1,08	1,1	0,96	1,02	0,5	0,85	1,5
	столкновения боковые и поворотные, межфазный режим	0,92	1,18	1,04	1,0	1,08	0,94	0,75	0,5	0,1
	столкновения попутные и с ударом сзади, регулируемый режим	1,02	0,98	1,12	1,1	1,06	1,04	1,25	0,7	3,79
	столкновения попутные и с ударом сзади, нерегулируемый режим	0,96	0,94	0,88	1,11	1,1	1,12	0,75	0,8	1,85
	конфликт «поворотный транспорт-пешеход», регулируемый режим	0,92	0,84	0,86	1,06	1,02	1,02	0,6	0,8	0,01
	конфликт «поворотный транспорт-пешеход», нерегулируемый режим	1,14	1,08	0,86	0,98	1,02	1,12	0,6	0,75	0,016
	конфликт «транзитный транспорт-пешеход», регулируемый режим	1,12	1,1	1,1	0,94	1,14	1,08	0,75	0,9	0,82
	конфликт «транзитный транспорт-пешеход», нерегулируемый режим	0,98	1,16	1,04	0,96	1,2	1,1	0,7	0,8	0,63
	Искусственные неровности	Конфликт «транспорт-транспорт»	0,9	0,98	1,12	0,92	1,02	1,20	0,5	0,7
Конфликт «транспорт-пешеход»		0,94	0,98	1,04	0,90	1,02	1,20	0,7	0,8	0,91

В табл. 1 приведены значения полученных показателей, входящих в расчетные формулы определения потенциальной опасности конфликтных зон.

Как следует из табл. 1, например, в конфликте «транспорт-пешеход» при наличии искусственной неровности пороговое значение потенциальной опасности значительно выше, чем для этого конфликта на перекрестках. Это объясняется тем, что при наличии искусственной неровности пешеходы переоценивают свою защищенность и принимают несколько больший риск.

На рис. 3 и 4 приведены некоторые зависимости для приведенной аварийности от потенциальной опасности.

Метод позволяет с относительно высокой точностью (более чем в 5 раз выше по сравнению с базовым методом конфликтных участков), достаточной для решения практических задач по организации дорожного движения, прогнозировать аварийность в очагах как на уже существующих объектах,

так и на стадии выбора решений при проектировании или реконструкции объектов.

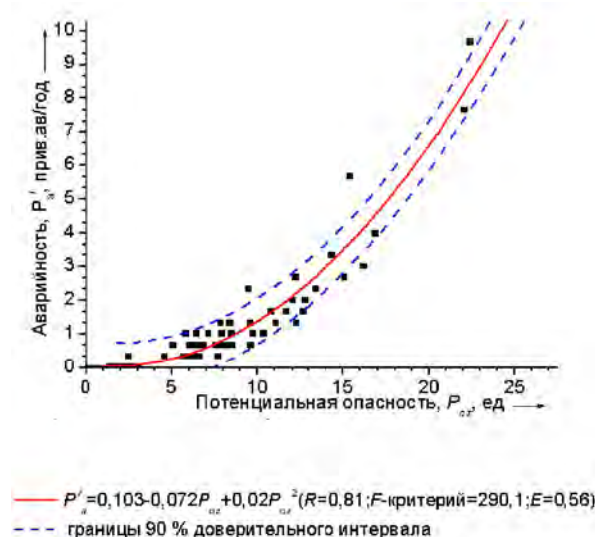


Рис. 3. Зависимость приведенной аварийности – столкновения с ударом сзади – от потенциальной опасности нерегулируемого режима

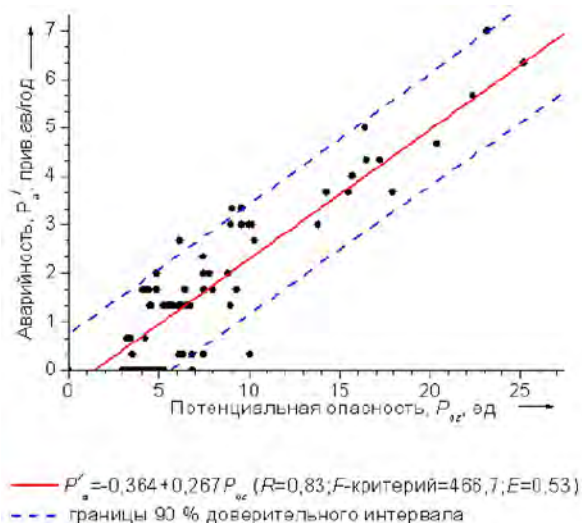


Рис. 4. Зависимость приведенной аварийности в конфликте «транзитный транспорт–пешеход» от потенциальной опасности нерегулируемого режима

На основе метода разработаны методики прогнозирования аварийности, включающие одиннадцать частных методик прогнозирования аварийности по методу «Конфликтных зон» в зависимости от типа и вида конфликта, объединенные в две индивидуальные методики – каждая для исследуемого типового объекта. Каждая индивидуальная методика учитывает особенности данного конфликтного объекта и включает несколько частных методик, учитывающих специфику конкретного вида конфликта на данном объекте. Индивидуальная методика прогнозирования аварийности на регулируемых перекрестках включает девять частных методик с учетом нерегулируемого, внутрифазного и межфазного режимов конфликтного движения, а также конфликтов «транспорт–транспорт» и «транспорт–пешеход»:

- в конфликте «транспорт–транспорт», столкновения боковые и поворотные – три частные методики, по одной для нерегулируемого, внутрифазного и межфазного режимов движения;
- в конфликте «транспорт–транспорт», столкновения с ударом сзади и попутные столкновения – две частные методики для нерегулируемого и регулируемого режимов движения;

- в конфликте «поворотный транспорт–пешеход» – две частные методики для нерегулируемого и регулируемого режимов движения;
- в конфликте «транзитный транспорт–пешеход» – две частные методики для нерегулируемого и регулируемого режимов движения.

Индивидуальная методика прогнозирования аварийности на искусственных неровностях включает две частные методики

- в конфликте «транспорт–транспорт», столкновения с ударом сзади и попутные на самой неровности;
- в конфликте «транзитный транспорт–пешеход».

В результате проведенных исследований для регулируемых перекрестков и искусственных неровностей для каждого вида конфликта установлены закономерности формирования конфликтных зон, значения порога чувствительности по потенциальной опасности, значения коэффициентов динамического приведения аварий различной тяжести последствий, а также нелинейные зависимости аварий от потенциальной опасности, учитывающие физическую сущность рассматриваемых конфликтов. Полученные зависимости аварийности от потенциальной опасности являются статистически значимыми и имеют точность, достаточную для практических работ по повышению безопасности дорожного движения.

Таким образом, метод «Конфликтных зон» более детально учитывает специфические особенности исследуемого объекта – около 110 параметров, дает относительно высокую (более чем в пять раз по сравнению с существующими методами) точность прогноза (F -критерий ≥ 200 ; $R \geq 0,74$; $E \leq 0,68$), пригодную для практического использования в области повышения безопасности дорожного движения, что впервые позволяет прогнозировать аварийность не только на существующих объектах, но и на проектируемых или реконструируемых еще на стадии принятия решений. На сегодняшний день метод является прогрессивным, позволяющим дать точную оценку аварийности.

Это открывает широкие возможности для резкого снижения очаговой аварийности вплоть до ликвидации большинства очагов.

Список литературы

1. Сведения о состоянии дорожно-транспортной аварийности в Республике Беларусь в 2010 году: аналитический сб. / сост.: В.В. Бульбенков, О.Г. Ливанский; под общ. ред. Е.Е. Полудня. – Минск: МВД Респ. Беларусь, 2011. – 89 с.
2. Клиновштейн, Г.И. Организация дорожного движения: учебник для вузов / Г.И. Клиновштейн, М.Б. Афанасьев. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с.
3. ОДМ 218.4.004-2009. Руководство по устранению и профилактике возникновения участков концентрации ДТП при эксплуатации автомобильных дорог. – Введ. 01.08.09. – М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2009. – 118 с.
4. Бабков, В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учебник для вузов / В.Ф. Бабков. – М.: Транспорт, 1993. – 271 с.
5. Rappoport, H.A. Die Ausbildung plangeicher Knotenpunkte im Landstrassennetz / H.A. Rappoport // Strassen und Tiefbau. – 1955. – № 8. – S. 499–510.
6. 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
7. 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 and Prevention. – 2010. – Vol. 42, Issue 6. – P. 1637–1646.

References

1. Svedenija o sostojanii dorozhno-transportnoj avarijnosti v Respublike Belarus' v 2010 godu, sbornik (Data on a condition of road and transport accident rate in Republic of Belarus in 2010, analytical collection), Minsk, MVD Respubliki Belarus', 2011, 89 p.
2. Klinkovshstejn G.I., Afanas'ev M.B. Organizacija dorozhnogo dvizhenija (Organization of traffic), Moscow, Transport, 2001, 247 p.
3. Rukovodstvo po ustraneniu i profilaktike vozniknovenija uchastkov koncentracii DTP pri jekspluatacii avtomobil'nyh dorog, ODM 218.4.004-2009 (The guide to elimination and prevention of emergence of sites of concentration of road accident at operation of highways, ODM 218.4.004-2009), Moscow, Rosavtodor, 118 p.
4. Babkov V.F. Dorozhnye uslovija i bezopasnost' dvizhenija (Road conditions and traffic safety), Moscow, Transport, 1993, 271 p.
5. Rappoport H.A. Die Ausbildung plangeicher Knotenpunkte im Landstrassennetz, Strassen und Tiefbau, 1955, no. 8, ss. 499–510.
6. The Swedish Traffic Conflict Technique, available at: http://www.tft.lth.se/fileadmin/tft/dok/Brochure_ConflictTechnique.pdf
7. Laureshyn A., Svensson Å., Hydén C. Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation, Accident Analysis and Prevention, 2010, vol. 42, issue 6, pp. 1637–1646.

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

Статья поступила 22.09.2015