

УДК 656.13.05

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АВАРИЙНОСТИ ПО ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ:
НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ***канд. техн. наук, доц. Д.В. КАПСКИЙ**(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

Приводятся результаты исследований по разработке нового метода «Конфликтных зон» прогнозирования аварийности по потенциальной опасности и созданию комплекса методик прогнозирования аварийности по данному методу для различных видов конфликтов, имеющих место на регулируемых перекрестках и искусственных неровностях. 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.

По данным литературных источников, за шесть лет в Республике Беларусь произошло 554 521 аварий, в том числе с пострадавшими – 41 914 аварии, в которых ранены 44 621 и погибли 8 509 человек. Статистические данные указывают на то, что в авариях ежедневно гибнут около 4 человек и около 18 получают ранения [1 – 4]. Динамика аварийности в Республике Беларусь за 2006 – 2011 годы проиллюстрирована рисунком 1.

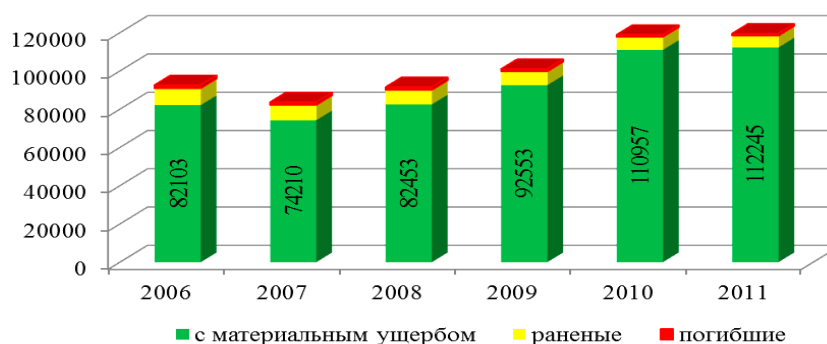


Рис. 1. Динамика аварийности в Республике Беларусь (2006 – 2011 гг.)

Зависимость аварийности от различных факторов в условиях Республики Беларусь, однако, не установлена, что вынуждает пользоваться западноевропейскими, американскими или японскими данными, которые не учитывают особенности нашей страны. 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* [5 – 8]. Анализ позволяет выделить следующие показатели:

- абсолютное число аварий (суммарно или для каждой тяжести последствий);
- относительное (на 1 млн·авт·км) число аварий;
- коэффициент тяжести (отношение числа погибших к числу пострадавших);
- материальный ущерб от аварий.

Оценка безопасности на *введенных в эксплуатацию (вновь построенных)* объектах проводится по результатам *прогнозирования* аварийности. В Российской Федерации и в других странах используются следующие методы (рекомендованы действующими техническими нормативными правовыми актами Российской Федерации):

- **статистический метод** [6 – 8], 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 [9]), основанный на построении и анализе эпюры условной опасности на каждом типовом участке дороги. Эта опасность, выражаемая итоговым коэффициентом аварийности $K_{ит}$, определяется как произведение частных коэффициентов аварийности $K_{а}$, характеризующих условную опасность

отдельных факторов. В результате на эпюре итоговых коэффициентов для всей дороги четко видны участки с повышенной условной опасностью;

- **метод линейных графиков коэффициентов безопасности** (разработан В.Ф. Бабковым [9; 10]), 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** [11] (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 в основном осуществляется по сумме произведений числа конфликтных точек на степень их опасности;

- **метод конфликтных ситуаций** [12 – 15] (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 на число аварий посредством соответствующих коэффициентов приведения.

Однако эти методы не учитывают деталей особенностей конфликтных объектов, поэтому имеют неприемлемо низкую точность прогноза. К тому же методы линейных графиков относятся в основном к линейным участкам загородных дорог; 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.

Для оценки работоспособности метода конфликтных участков проводился расчет потенциальной опасности по методике прогнозирования аварийности на регулируемых перекрестках с локальным регулированием, по выборке из 36 регулируемых перекрестков, 2411 конфликтных точек, 908 аварий (для моделирования использовалась статистика аварий за три года).

В исследуемом методе необходимо проводить определение потенциальной опасности трех различных режимов движения – внутрифазного, межфазного и нерегулируемого, при этом потенциальная опасность каждый раз суммируется в пределах всего перекрестка. Поэтому при исследовании адекватности метода необходимо рассмотреть три варианта построения зависимости аварийности от потенциальной опасности. Проверка значимости модели осуществлялась с помощью F -критерия. Построение регрессионной модели осуществлялось с помощью стандартных математических пакетов. Вид зависимости выбирался, исходя из физического смысла рассматриваемого параметра потенциальной опасности.

Обработка полученных расчетных значений при исследовании зависимости между аварийностью и потенциальной опасностью показала, что для межфазного (рис. 1, а) и нерегулируемого (рис. 1, б) режима движения существует статистически значимая функциональная связь. Зависимость аварийности от потенциальной опасности внутрифазного режима движения (рис. 1, в) статистически мало значима (критерий Фишера равен 2,1, что меньше табличного значения критерия Фишера для данных объемов выборки и уровня значимости $\gamma = 0,05$) и имеет коэффициент корреляции 0,27.

Поскольку зависимости имеют недостаточную сходимость (коэффициент линейной ошибки аппроксимации E не ниже 1,2), то исследуемый метод конфликтных участков нуждается в коренном совершенствовании.

В процессе исследований был 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 данного метода разработан комплекс методик прогнозирования аварийности на регулируемых перекрестках и на искусственных неровностях в различных видах конфликтов «транспорт – транспорт» и «транспорт – пешеход» (рис. 2).

В расчетную модель определения потенциальной опасности, взятую из базового метода, последовательно вводились изменения, после чего находились наилучшие зависимости между аварийностью и потенциальной опасностью для измененной модели. Затем в модель поэтапно вводились очередные изменения, учитывающие новые факторы, влияющие на аварийность, и вновь подбирались наилучшие зависимости, причем перебор вариантов производился и для всех предыдущих изменений. На основе статистических (ретроспективных) данных по аварийности, соответствующих некоторой выборке конфликтных объектов, делается уточнение зависимости аварийности от потенциальной опасности. При этом каждый вновь вводимый фактор оценивается с точки зрения его значимости для модели.

Метод последовательного введения факторов достаточно хорошо известен. Например, аналогичный подход применяется в многошаговых задачах принятия решения в условиях неопределенности. В рассматриваемой модели этот подход представляется нам наиболее приемлемым, поскольку позволяет учитывать большее количество факторов, сделав при этом процесс введения факторов вычислительно эффективным и наглядным. Кроме того, при этом не только уточняется способ определения

входного параметра (потенциальной опасности), но и проводится оптимизация параметров соответствующей

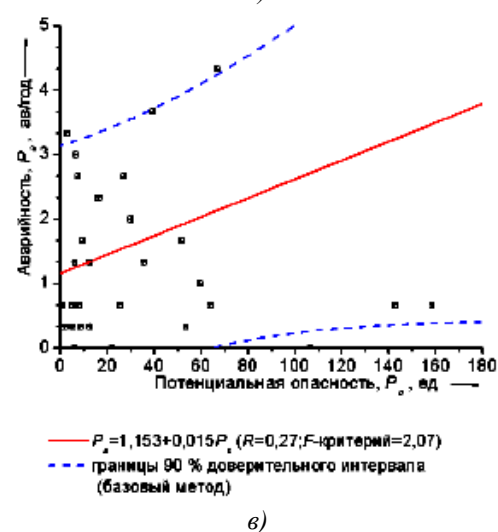
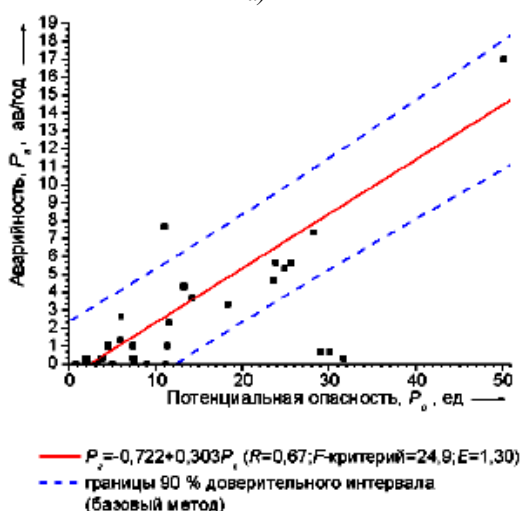
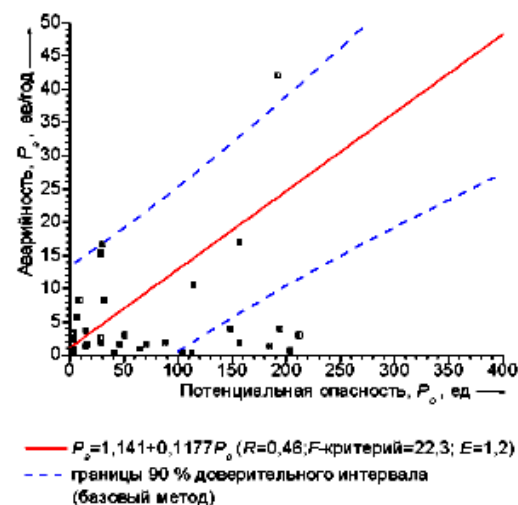


Рис. 1. Зависимость аварийности на перекрестке от потенциальной опасности:

а – межфазного режима; б – нерегулируемого режима; в – внутрифазного режима

регрессионной зависимости аварийности от потенциальной опасности. Выборка конфликтных объектов, на которой проводится уточнение модели, носит характер обучающей для указанной уточненной регрессии. Для того чтобы сделать процесс введения новых факторов более упорядоченным, предлагается (на основе статистических данных) ввести на множестве факторов иерархическую структуру, т.е. произвести их априорное ранжирование. И так до тех пор, пока в расчетную модель не были введены все запланированные изменения. Полученные зависимости обеспечили точность прогноза, приемлемую для выполнения практических задач при оптимизации решений по повышению безопасности движения и, таким образом, цель исследований была достигнута.

Предложена модифицированная структурная формула расчета потенциальной опасности:

$$P_o = P_{on}^a \cdot K_x^a \cdot K_b^a \cdot K_c^a \cdot K_n^a \cdot K_y^a \cdot K_t, \text{ ед.}, \quad (1)$$

где $a_1 - a_6$ – показатели степени, для их получения организован машинный эксперимент.

Проведены расчетные исследования по определению численных значений показателей степени $a_1 - a_6$, позволяющих более адекватно описать зависимость аварийности от потенциальной опасности различных режимов. В результате исследований получены различные показатели степени $a_1 - a_6$ для различных видов конфликтов, режимов движения для каждого объекта исследований (таблица).

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

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

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.

В результате компьютерного поиска наилучших зависимостей между аварийностью и потенциальной опасностью получены значения показателей степени m и n , приведенные в таблице для каждого вида конфликтов, режимов движения по каждому объекту.

Известно, что многие конфликтные объекты работают безаварийно в течение довольно длительного времени. Детальный очаговый анализ аварийности на исследуемых объектах показал, что в значительной части конфликтных точек аварии также отсутствуют. Это позволило выдвинуть гипотезу, что потенциальная опасность, не превышающая некоторого критического (*порогового*) значения, не вызывает очаговой аварийности. Физический смысл этого явления, по-видимому, заключается в том, что система ВАДС (водитель – автомобиль – дорога – среда движения) способна самостоятельно (автоматически) разрешать кон-

фликты

малой опасности. При этом постоянное совершенствование конструкции автомобилей в области активной и пассивной безопасности, рост профессионального уровня водителей, общение людей с автомобильной техникой с раннего возраста и другие факторы привели к тому, что минимальный уровень опасности, который разрешается автоматически в системе ВАДС, или так называемый «*порог чувствительности*» потенциальной опасности, постоянно повышается. Поэтому потенциальная опасность конфликтных точек, которая меньше порога чувствительности, не должна суммироваться при определении потенциальной опасности конфликтных зон. Это позволит получить более значимые зависимости и повысить точность прогноза. Машинным экспериментом по определению порога чувствительности установлены значения $P_{0\ min}$ для всех трех режимов движения для всех видов конфликтов, имеющих на исследуемых объектах.

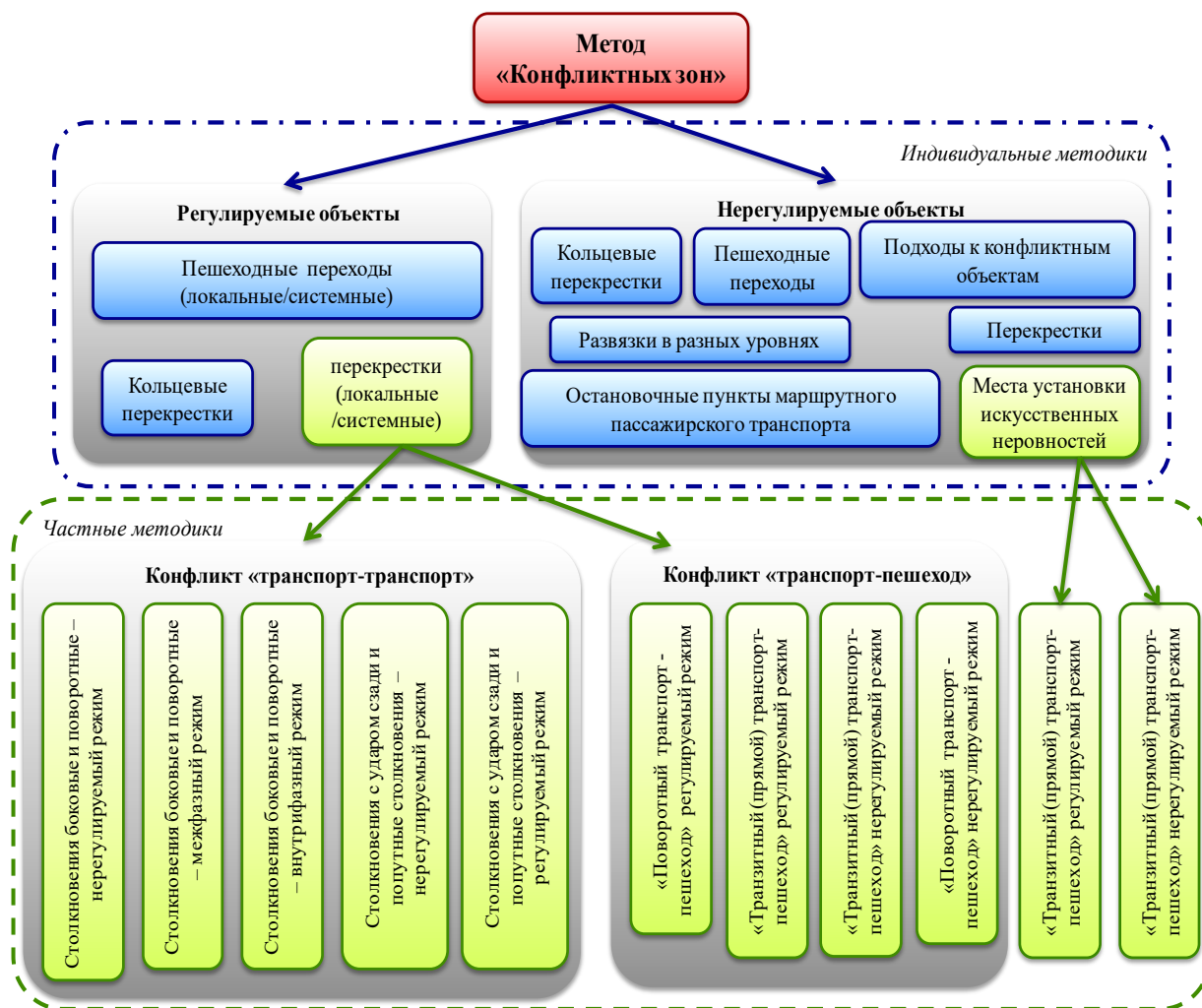


Рис. 2. Структура метода «Конфликтных зон»

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

Как следует из таблицы, 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.

Необходимо отметить, что полученные расчетные значения критерия Фишера больше табличных для пороговых объемов выборки и уровня значимости $\gamma = 0,05$ (выборка для регулируемых перекрестков составила 2445 аварий за три года, совершенных на 142 перекрестках и 137 пешеходных переходах, находящихся в зоне влияния перекрестков. В исследуемых конфликтах, совершаемых на искусственных

неровностях, выборка за три года составила 449 аварий, произошедших в зоне 80 нерегулируемых пешеходных переходов). Следовательно, полученные математические модели для определения аварийности по потенциальной опасности адекватно отражают функционирование системы ВАДС и происходящих в ней процессов на исследуемых конфликтных объектах.

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	0,27
	Конфликт «транспорт – пешеход»	0,94	0,98	1,04	0,90	1,02	1,20	0,7	0,8	0,91

На рисунках 3 и 4 показаны некоторые зависимости для приведенной аварийности от потенциальной опасности.

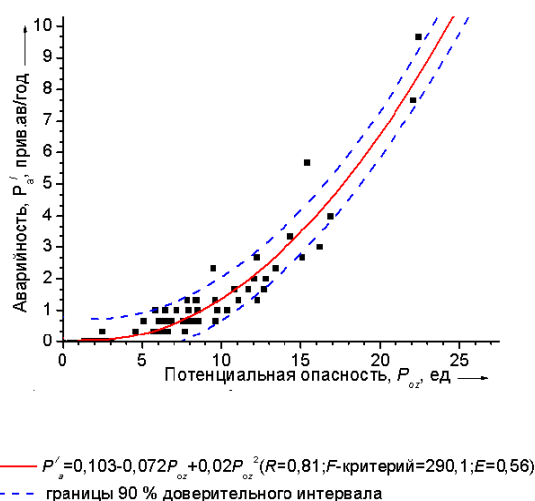


Рис. 3. Зависимость приведенной аварийности – столкновения с ударом сзади – от потенциальной опасности нерегулируемого режима

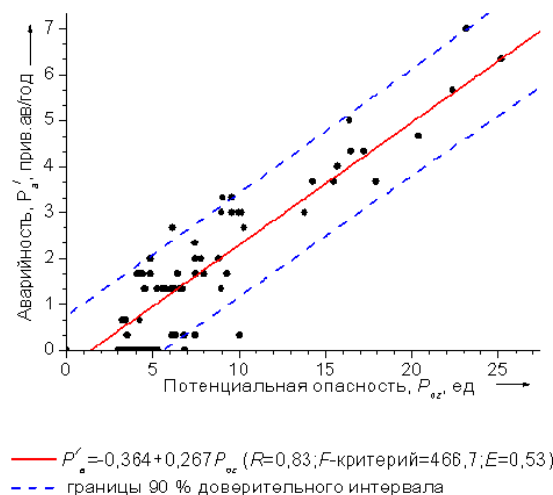


Рис. 4. Зависимость приведенной аварийности в конфликте «транзитный транспорт – пешеход» от потенциальной опасности нерегулируемого режима

Заключение. Разработана совокупность методик, позволяющая реализовать комплекс работ по оценке аварийной эффективности принимаемых решений на регулируемых перекрестках и искусствен-

ных неровностях. Эта совокупность включает 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:

- 1) в конфликте «транспорт – транспорт», столкновения с ударом сзади и попутные на самой неровности;
- 2) 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;
- 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.

Предложенный метод на сегодняшний день является прогрессивным, позволяет дать точную оценку аварийности, используется многими научно-исследовательскими и проектными учреждениями в Республике Беларусь, а также в Российской Федерации, Украине и Латвии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочно-информационные материалы «Состояние безопасности дорожного движения в Республике Беларусь в 1999 – 2006 годах и наметившиеся тенденции»: аналит. сб. / под общ. ред. В.Л. Филистовича. – Минск: Полиграф. центр МВД Респ. Беларусь, 2007. – 124 с.
2. Аналитический сборник по аварийности. – Минск: Полиграф. центр МВД Респ. Беларусь, 2008. – 81 с.
3. Состояние безопасности дорожного движения в Республике Беларусь в 1999 – 2008 годах и наметившиеся тенденции: аналит. сб. / сост.: В.В. Бульбенков, А.А. Сушко, О.Г. Ливанский; под общ. ред. А.Н. Кулешова. – Минск: Полиграф. центр МВД Респ. Беларусь, 2009. – 144 с.
4. Сведения о состоянии дорожно-транспортной аварийности в Республике Беларусь в 2010 году: аналит. сб. / сост.: В.В. Бульбенков, О.Г. Ливанский; под общ. ред. Е.Е. Полудня. – Минск: МВД Респ. Беларусь, 2011. – 89 с.
5. Новиков, А.В. Оценка мероприятий по управлению и безопасности движения на многополосных дорогах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / А.В. Новиков; МАДИ (ГТУ). – М., 2005. – 23 с.

6. Клинковштейн, Г.И. Организация дорожного движения: учебник для вузов / Г.И. Клинковштейн, М.Б. Афанасьев. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с.
7. Бондар, Т.В. Ступені небезпечності дорожніх умов на ділянках концентрації ДТП, визначених з урахуванням аварійності з постраждалими та матеріальним збитком / Т.В. Бондар // Дороги і мости: збірник наукових праць / ДерждорНДІ. – Київ, 2008. – Вип. 10. – С. 43 – 50.
8. Руководство по устранению и профилактике возникновения участков концентрации ДТП при эксплуатации автомобильных дорог: ОДМ 218.4.004-2009. – Введ. 01.08.09. – М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2009. – 118 с.
9. Бабков, В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учебник для вузов / В.Ф. Бабков. – М.: Транспорт, 1993. – 271 с.
10. Білятинський, О.А. Діапазон підсумкових коефіцієнтів аварійності, при яких доцільно виводити транзитні автомобілі з ввідних на обхідні дороги / О.А. Білятинський, В.П. Старовойда // Безпека дорожнього руху України. – 1999. – № 4(5). – С. 30 – 35.
11. Rappoport, H.A. Die Ausbildung plangeicher Knotenpunkte im Landstrassennetz / H.A. Rappoport // Strassen und Tiefbau. – 1955. – № 8. – S. 499 – 510.
12. Laureshyn, A. Application of automated video analysis to road user behaviour: doctoral thesis / A. Laureshyn. – Lund, 2010. – 202 p.
13. The Swedish Traffic Conflict Technique // Department of Technology and Society Lund University in Sweden [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.tft.lth.se/fileadmin/tft/dok/Brochure_ConflictTechnique.pdf. – Date of access: 09.03.2005.
14. Archer, J. Traffic Conflict Technique: Historical to current State-of-the-Art / J. Archer // Institutionen för Infrastruktur KTH [Electronic resource]. – Stockholm, 2001. – Mode of access: http://www.ctr.kth.se/publications/ctr2001_05.pdf. – Date of access: 12.07.2005.
15. Hydén, C. Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation / C. Hydén, A. Laureshyn, Å. Svensson // Elsevier, Accident Analysis and Prevention [Electronic resource]. – 2010. – Mode of access: http://www.tft.lth.se/fileadmin/tft/video_in_traffic/Publications/Laureshyn_Svensson_Hyden_2010.pdf. – Date of access: 30.03.2010.

Поступила 01.06.2012

PREDICTING FAILURE RATE OF THE POTENTIAL DANGER: AREAS FOR IMPROVEMENT

D. KAPSKY

The paper presents the results of research to develop a new method of “conflict zones” on the prediction of the potential danger of road accidents and the creation of complex road accident prediction methods on this method for different types of conflicts taking place in the controlled junctions and road humps.