

КАПСКИЙ Д. В., д-р техн наук, доцент,
заместитель Председателя ВАК¹
E-mail: d.kapsky@gmail.com

ВОЛЫНЕЦ А. С.,
аспирант²

¹Высшая аттестационная комиссия Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 21.07.2023

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ АВАРИЙНОСТИ НА КОНФЛИКТНЫХ ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ

Аварийность является одной из самых существенных потерь в дорожном движении, поскольку затрагивает каждого из участников движения. Поэтому для снижения ее уровня требуется разработка современного метода прогнозирования аварийности, который бы позволял точно оценивать количество аварий и тяжесть последствий не только по результатам экспериментальных данных и обследования, но и путем моделирования еще на стадии принятия решений. Таким методом является метод конфликтных ситуаций, однако на сегодняшний день он характеризуется низкой точностью прогноза, не применимой для практического использования, а также тяжестью получения (сбора и анализа) исходных данных и отсутствием автоматизации процесса принятия решения по выбору оптимального мероприятия методом конфликтных ситуаций. В статье выполнен анализ существующих методов прогнозирования аварийности, оценка их применимости на разных стадиях принятия решений, а также определены дальнейшие перспективы и направления совершенствования метода конфликтных ситуаций с целью его применимости в практике организации дорожного движения для целей оптимизации ее вариантов и режимов регулирования.

Ключевые слова: дорожно-транспортные аварии, аварийность, прогнозирование, оценка, потенциальная опасность, коэффициенты аварийности, коэффициенты безопасности, конфликтная точка, конфликтный участок, конфликтная зона, конфликтная ситуация.

Введение

Процесс бурной автомобилизации привел к увеличению объема движения в городах, что вызывает увеличение плотности движения особенно на конфликтных объектах транспортной сети, повышению выбросов вредных веществ и уровня шумового воздействия, а также дорожно-транспортной аварийности [1–2]. Как известно, в развитых странах ущерб от дорожно-транспортной аварийности достигает 2–3 % ВВП [3–4]. Причем более 75 % дорожно-транспортных аварий сконцентрировано в городских очагах аварийности, которыми являются конфликтные объекты транспортной сети – регулируемые и нерегулируемые перекрестки и пешеходные переходы. Поэтому в нашей стране и за рубежом проводятся разработки научно обоснованных планировочных и

инженерно-технических решений, направленных на снижение аварийности в городских условиях [5–6]. Это возможно только созданием современного адекватного метода прогнозирования и оценки дорожно-транспортной аварийности, который бы давал объективный прогноз уровня аварий и тяжести их последствий при различных вариантах организации дорожного движения, в том числе планировочных и управленческих решений, применении различных режимов светофорного регулирования и пр. [7–8].

Основная часть

С момента начала движения участие в огромном количестве дорожно-транспортных ситуаций (перестроение, начало движения, смена полосы, опережение и т. п.)

характеризуется незначительным риском – такие ситуации называют «неопасными или нормальными» [5]. Значительно ниже вероятность «потенциально опасных» дорожно-транспортных ситуаций, при которых совершается значительное количество маневров (рисунок 1). Эти маневры также выполняются с автоматизмом и очень уверенно, а уклончивые действия для избежания конфликтов (столкновений или наездов) осуществляются в «служебном» режиме (имеется определенный запас для ускорения/замедления маневра), но не все они заканчиваются благополучно. Ино-

гда время для «служебных» уклончивых действий бывает упущено и участникам приходится применять «экстренные» уклончивые действия (когда до момента столкновения или иной коллизии остается менее 1 с и усилить маневр уже невозможно). Такие ситуации называются *конфликтными* [7–8]. Они (условно) делятся на легкие («очень опасно»), средние («чудом пронесло») и тяжелые («чудом уцелел» или «почти авария» – имеет или почти имеет место контакт, но он не привел к каким-либо существенным повреждениям).

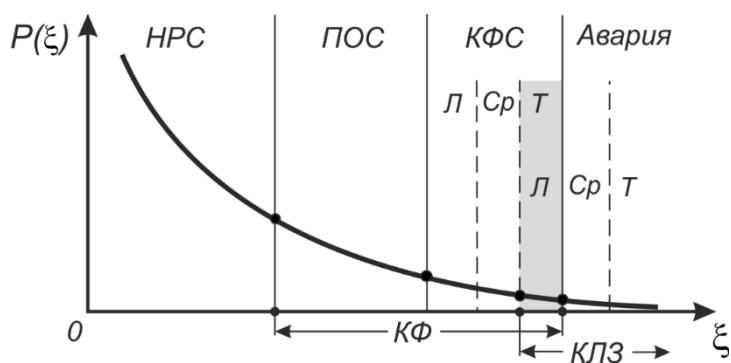


Рисунок 1 – классификация дорожно-транспортных ситуаций [3]:

ξ – опасность конфликтов или тяжесть последствий коллизий; $P(\xi)$ – вероятность вида конфликта; НРС – нормальная ситуация; ПОС – потенциально опасная ситуация; КФС – конфликтная ситуация; Л – легкая; Ср – средняя; Т – тяжелая; КФ – конфликт; КЛЗ – коллизия

Таким образом, методы прогнозирования и оценки аварийности, в зависимости от реализации и степени опасности дорожно-транспортной ситуации, можно разделить на следующие: статистический, экспертный, конфликтных ситуаций и потенциальной опасности (группа методов) [4]. Статистический метод дает прогноз на основе ретроспективных данных о статистике дорожно-транспортной аварийности; экспертный метод – на основе интуиции и познаний эксперта по всему спек-

тру дорожно-транспортных ситуаций; метод конфликтных ситуаций – на основе натурного исследования либо моделирования конфликтного взаимодействия участников дорожного движения (дорожно-транспортных ситуаций, перерастающих в конфликтные); методы потенциальной опасности – на основе исследования опосредованными методами потенциально опасных дорожно-транспортных ситуаций (рисунок 2).

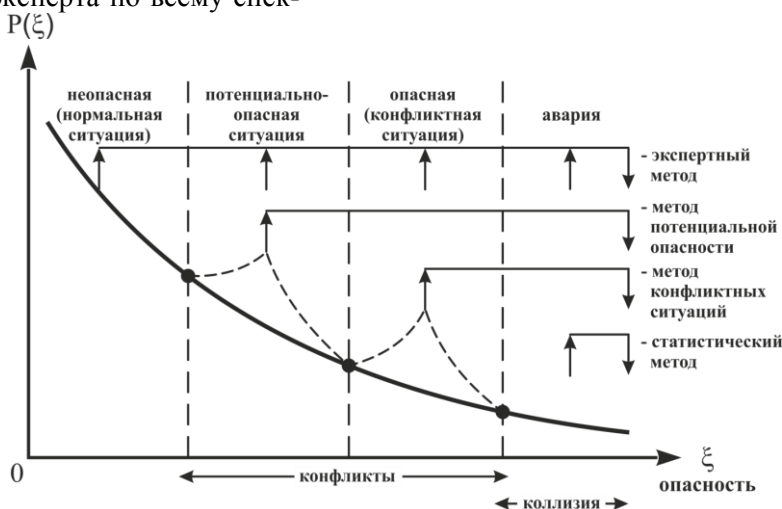


Рисунок 2 – Дорожно-транспортные ситуации, используемые для прогнозирования аварийности различными методами [4;5]

Рассмотрим методы прогнозирования дорожно-транспортной аварийности.

Статистический метод исследования аварийности оперирует данными о наличии/отсутствии (росте/снижении) количества аварий и тяжести их последствий до и после внедрения типовых мероприятий по повышению безопасности дорожного движения. Таким образом имеется получается информация о внедрении конкретного мероприятия, по которому можно оценить вероятное изменение аварийности на объекте внедрения. Прогнозируемое число аварий на исследуемом участке n_{a2} после внедрения одного мероприятия определяется по формуле [5]:

$$n_{a2} = n_{a1} \cdot (1 - \Delta A) \cdot \eta_Q \cdot \eta_t, \text{ ав./год}, \quad (1)$$

где n_{a1} – среднегодовое число аварий до внедрения, ав./год;

ΔA – снижение/увеличение числа аварий в долях единицы (по таблице 1). При этом изменение числа касается только тех аварий, которые непосредственно зависят от конкретного внедренного мероприятия;

η_Q – поправочный коэффициент, учитывающий возможное изменение интенсивности движения до (Q_1) и после (Q_2) внедрения мероприятия:

$$\eta_Q = \frac{Q_2}{Q_1}; \quad (2)$$

η_t – поправочный коэффициент, учитывающий время исследования аварийности на участке до (t_1) и после (t_2) внедрения мероприятия:

$$\eta_t = \frac{t_2}{t_1}. \quad (3)$$

Если на каком-либо участке внедрены два или более мероприятия, то коэффициент ΔA рассчитывают по формуле

$$\Delta A = 1 - (1 - \Delta A_1) \cdot (1 - \Delta A_2) \cdot \dots \cdot (1 - \Delta A_i), \quad (4)$$

где $\Delta A_{1, 2, \dots, i}$ – коэффициенты снижения аварийности для каждого мероприятия.

Основными недостатками статистического метода являются: его низкая точность, невозможность исключения взаимовлияния конкретного мероприятия на все аварии, происходящие на объекте, невозможность объективной корректировки по времени исследований, учету влияния нескольких мероприятий и объему конфликтного движения. Его применимость ограничена «прикидочной» оценкой разрабатываемых мероприятий на стадии предварительного анализа эффективности решений.

Таблица 1 – Статистическое прогнозирование аварийности [4; 5 и др.]

Мероприятие	Город (Г), загород (З)	Число полос	Снижение числа аварий		
			Все виды	С пострадав-	С матер.
Линейные участки					
Запрещение стоянок	Г	> 2	0,32	0,03	–
Выделение разделительной полосы	Г	> 2	0,12	–	–
Установка пешеходных ограждений (100–1800 м)	Г, З	≥ 2	0,87	0,68	0,98
Нанесение горизонтальной разметки	Г, З	≥ 2	0,17	0,44	0,54
Перекрестки					
Замена стандартного перекрестка кольцевым	Г	≥ 2	0,51	0,76	0,93
Установка транспортного светофора	Г	2	0,87	0,96	0,99
Установка светофоров с желтым мигающим сигналом	Г, З	≥ 2	0,77	0,85	0,70
Запрещение поворотов	Г	> 2	0,40	0,39	–
Организация полосы для левых поворотов	Г	> 2	0,27	0,01	0,07
Дополнительная секция левого поворота	Г	> 2	0,46	0,76	–

Экспертный метод основан на использовании специалистом собственного накопленного опыта в области безопасности дорожного движения [4; 5]. Основан на сопоставлении ранее известных эксперту вариантов с предлагаемыми ко внедрению решениями и экспертном анализе вероятных сценариев при реализации комплекса или отдельных мероприятий по повышению безопасности движения. Прогноз дается, как правило, качественным обра-

зом. Также основной недостаток экспертного метода, как и предыдущего, является обычно низкая точность прогноза, даже при наличии нескольких экспертов («групповое заблуждение»), а также нехватка высококвалифицированных специалистов, что делает пригодным данный метод только для грубой, прикидочной оценки мероприятий, как направления дальнейших, более детальных исследований.

Группа методов оценки и прогнозирования аварийности по потенциальной опасности

Эти методы не требуют наличия реального объекта – могут использовать данные, полученные экспериментальным путем, либо путем моделирования при проектировании транспортной системы, что позволяет корректировать по критерию безопасности мероприятия по организации и регулированию движения на существующем перекрестке, либо оптимизировать принимаемые решения организационного и планировочного характера на стадии их разработки (проектирования).

Известны пять типовых методов прогнозирования аварийности по потенциальной опасности: «Линейных графиков коэффициентов аварийности» и «Линейных графиков коэффициентов безопасности» (автор – профессор В. Ф. Бабков, МАДИ) – применяются

на линейных объектах; «Конфликтных точек», «Конфликтных участков» и «Конфликтных зон» – используются для прогнозирования аварийности на конфликтных объектах [6].

Метод линейных графиков коэффициентов аварийности [6] позволяет достаточно просто выявлять на реальных дорогах и в проектах дорог опасные участки, нуждающиеся в улучшении.

Дорогу разбивают на элементарные участки, для каждого из которых определяют частные коэффициенты аварийности K_1-K_{17} (таблица 2). Путем перемножения частных коэффициентов получают итоговый коэффициент аварийности $K_{итог}$, по значению которому производится качественная оценка опасности исследуемого участка.

Таблица 2 – Значения частных коэффициентов аварийности [3–6]

Интенсивность движения (10^3 , авт./сут)	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	7,0	9,0	11	13	15	20
K_1	0,4	0,5	0,6	0,75	1,0	1,3	1,7	1,8	1,5	1,0	0,6
(для дорог с разделительной полосой ИД – в одном направлении)											
Ширина проезжей части, м	4,5	5,5	6,0	7,5	9,0	10,5					
K_2 при укрепленной обочине	2,2	1,5	1,35	1,0	0,8	0,7					
K_2 при неукрепленной обочине	4,0	2,75	2,5	1,5	1,0	0,9					
Ширина обочины, м	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0					
K_3	2,2	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0					
Продольный уклон, %	2,0	3,0	5,0	7,0	8,0						
K_{11}		1,0	1,1	1,65	2,5	10,0					
Число полос на ПЧ	2	3	3	4	4	4					
	Без разметки		С разметкой	Без разделительной полосы		С разделительной полосой					
K_{12}	1,0	1,5	0,9	0,8		0,65					
Расстояние от застройки до ПЧ, м	15–20		5–10		< 5	< 5					
	Имеются полосы местного движения		Имеются тротуары		С тротуарами	Без тротуаров					
K_{15}							2,0	1,5	1,2		
Характеристика покрытия	скользкое грязное		скользкое		чистое сухое		шероховатое		очень шероховатое		
Коэффициент сцепления	0,2–0,3		0,4		0,6		0,7		0,75		
K_{16}	2,5		2,0		1,3		1,0		0,75		
Ширина разделительной полосы, м						1	2	3	5	10	15
K_{17}						2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,4

Линейный график коэффициентов аварийности представляет собой результат визуализации опасных участков дороги – нанесения итоговых коэффициентов аварийности с указанием мест свершения дорожно-транспортных аварий (точки – на существующих объектах) (рисунок 3). Метод имеет модификации. Например, разработана система частных

коэффициентов для магистралей, система по учету ровности дорожных покрытий, предложена подобная зависимость для участков дорог на подходах к мостам, имеются уточняющие коэффициенты по тяжести последствий, времени совершения аварий, категории дороги, погодных особенностей и т. д.

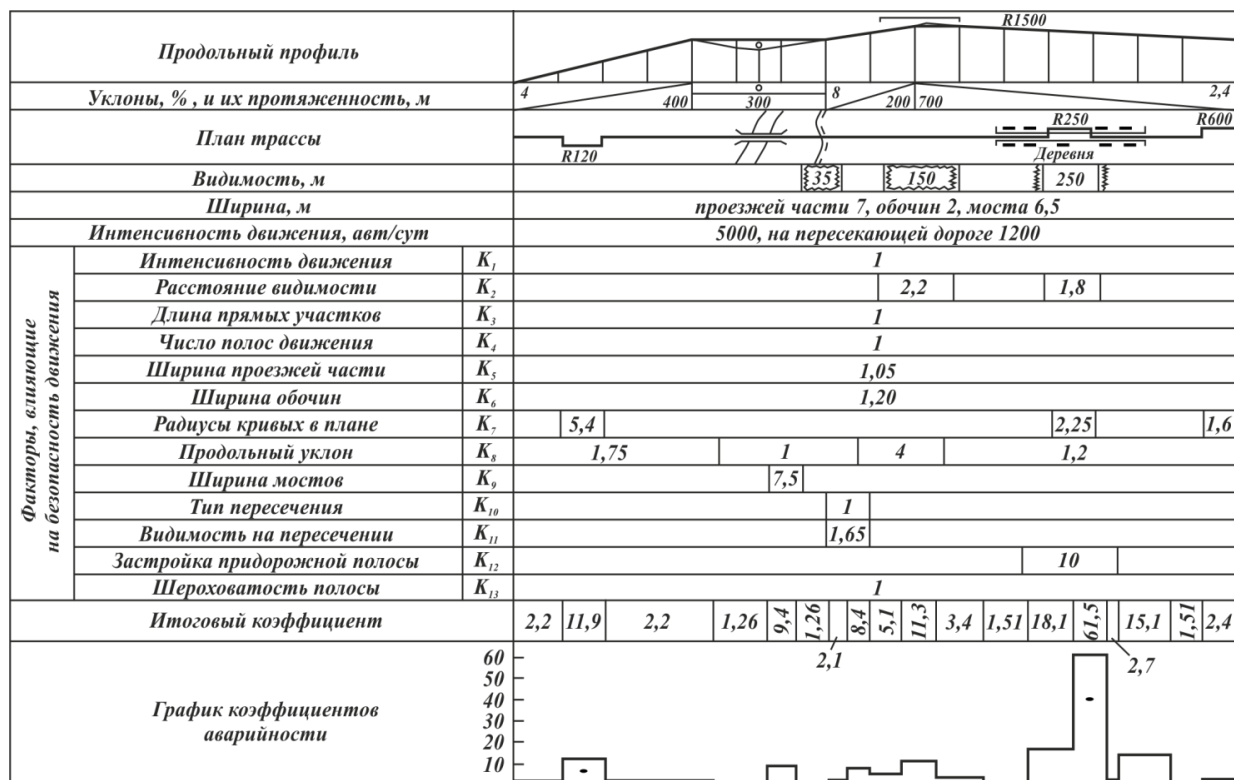


Рисунок 3 – Линейный график коэффициентов аварийности [4] (точками обозначены места зарегистрированных аварий)

В «Указания по учету требований защиты окружающей среды и землепользования при реконструкции автомобильных дорог в условиях Молдавской ССР: ВСН 9-79. – Кишинев : Минавтодор МССР, 1980. – 149 с.» разработаны коэффициенты аварийности для городских условий и очагов аварийности, однако развития данная модификация не получила, поскольку трудно учесть одновременное влияния значительного количества факторов на дорожно-транспортную аварийность в городских условиях для построения адекватного, пусть и качественного, прогноза. Главный недостаток метода – наличие только качественной оценки и невозможность проведения точного количественного прогноза.

Метод линейных графиков коэффициентов безопасности заключается в построении эпюры отношения скоростей движения (графика коэффициентов безопасности, K_6) (рисунок 4) на смежных участках дороги [5; 6]:

$$K_6 = \frac{V_i}{V_{i-1}}, \quad (4)$$

где V_i – скорость движения расчетного автомобиля на исследуемом участке, км/ч;

V_{i-1} – скорость движения на предыдущем участке, км/ч.

На рисунке 4 видно, что в ряде мест имеются значительные перепады расчетных скоростей. Именно в местах перепада скоростей возникает повышенная опасность возникновения дорожно-транспортных аварий. И чем больше этот перепад, тем больше опасность. По его величине оценивают вероятную аварийность на исследуемом участке.

Разработана классификация участков дорог по степени опасности в зависимости от скорости вхождения в опасный участок, величины замедления и состояния водителя, а также классификация степени опасности участка в зависимости от комплекса факторов, согласно которой участки делятся на неопасные, малоопасные, опасные и очень опасные. К недостаткам предлагаемого способа оценки опасности участка относятся сильное влияние индивидуальности испытуемого водителя, трудности проезда и случайности результатов испытаний в городе, необходимости корректировки разработанной классификации при изменении заданной скорости, а также невозможность количественной оценки числа аварий.

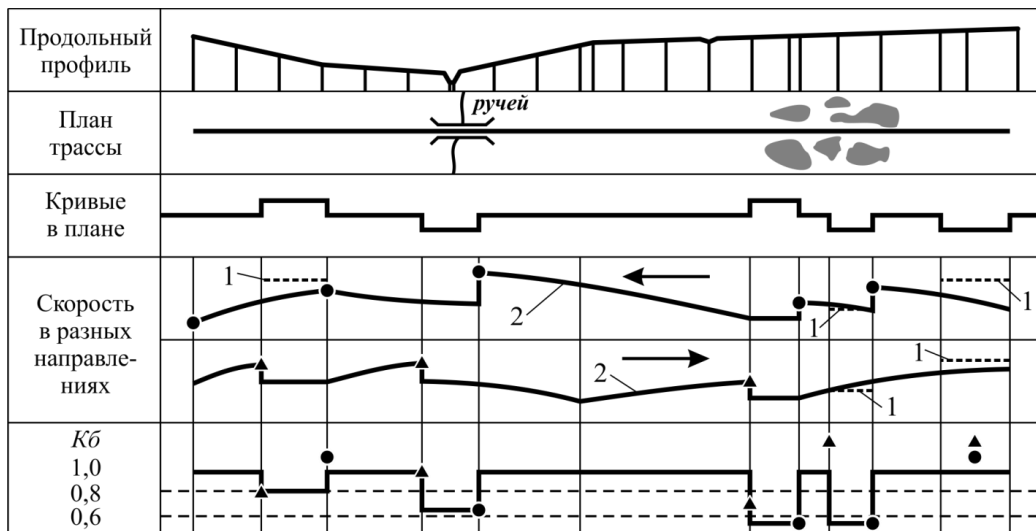


Рисунок 4 – Линейный график коэффициентов безопасности [4; 6]:
 1 – допустимая скорость на опасных участках; 2 – фактическая скорость движения;
 ▲ и ● – места перепада скорости движения в обоих направлениях

Метод конфликтных точек заключается в подсчете числа конфликтных точек (мест пересечения, слияния и отклонения траекторий дви-

жения конфликтующих участников дорожного движения) в пределах конфликтного объекта [7] (автор – Г. Раппопорт, ФРГ) (рисунок 5).

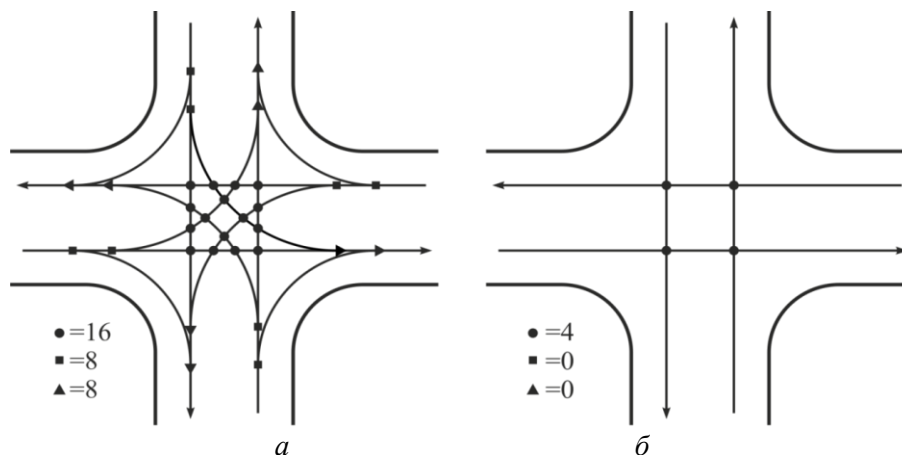


Рисунок 5 – Конфликтные точки на четырехстороннем перекрестке:
 а – с разрешенными поворотами; б – с запрещенными поворотами;
 ▲, ■ и ● – конфликтные точки соответственно «слияние», «отклонение» и «пересечение»

Имеется ряд модификаций метода, где конфликтные точки различаются между собой по степени опасности (например, степень самой опасной конфликтной точки «пересечение» равна в базовом случае 5 баллам ($\delta_i = 5$); степень опасности конфликтной точки «слияние» – 3 балла ($\delta_i = 3$), а конфликтной точки «отклонение» – 1 балл ($\delta_i = 1$) [7].

Опасность перекрестка m_a определяется по формуле

$$m_a = \sum_{i=1}^M (n_i \cdot \delta_i), \quad (5)$$

где n_i – число конфликтных точек данного вида;

δ_i – степень опасности конфликтной точки данного вида, балл;

M – число видов конфликтов на исследуемом объекте.

В зависимости от суммы баллов объекты качественно оцениваются как опасный, менее опасный и пр., причем во многих модификациях дополнительно вводятся еще и объемны движения, наличие и количество маневров и пр. Но из-за оперативности и наглядности самой распространенной является по-прежнему модификация метода, где подсчет осуществляется по суммарному числу конфликтных точек на конфликтном объекте. Именно поэтому метод используют для предварительной оценки вариантов, как правило, планировочных решений транспортных объектов. Он также не поз-

воляет количественно оценить и спрогнозировать аварийность на конфликтных объектах.

Метод конфликтных участков (автор – Ю. А. Врубель, БНТУ) заключается в определении потенциальной опасности конфликтной точки, которое осуществляется путем перемножения шести коэффициентов, представляющих группы различных факторов, влияющие на аварийность (скорость, интенсивность, видимость, условия движения, дорожные условия и время конфликтного взаимодействия) [3]. Прогнозируемое количество аварий на транспортном объекте оценивается суммой вероятного количества аварий в каждой конфликтной точке на этом объекте, рассчитываемого для всех режимов конфликтного движения (нерегулируемого и регулируемого (межфазного и внутрифазного)). Поскольку очевидно, что учет конфликтного взаимодействия участников движения в конфликтных точках сложен и зависит от их взаимного расположения, условий изменения и динамики развития дорожно-транспортной ситуации, способности саморазрешения конфликта и многих особенностей реализации конфликта, то был разработан метод конфликтных зон (автор – Д. В. Капский, БНТУ), который учитывает при определении начальной вероятности конфликта группирование конфликтных точек в конфликтную зону (в зависимости от динамических габаритов и условий конфликтного взаимодействия), порог чувствительности конфликта, ранжирование конфликтных точек в рамках конфликтной зоны, а также конфликтных зон по числу входящих в них конфликтных точек и степени их опасности, и коэффициентов, представляющих различные группы факторов, влияющих на аварийность, а также выполнено динамическое приведение аварий различной степени тяжести последствий по величине их потенциальной опасности и т. д. [5].

Однако методы конфликтных участков и конфликтных зон являются очень наукоемкими и оперируют значительным объемом средневзвешенных данных, что не в полной мере характеризует реальный транспортный поток на участках уличной сети, на которых проводится прогнозирование, требуют настройки моделей в течение 3–5 лет, поскольку данные устаревают в связи со значительным изменением условий движения. Существенным недостатком является то, что данные методы требуют многих частных методик прогнозирования аварийности по потенциальной опасности для различных режимов регулирования, раз-

ных участков уличной сети и транспортных объектов (линейных объектов, с радиусом закруглений, кольцевых развязок, развязок в разных уровнях, регулируемых и нерегулируемых пешеходных переходов, и перекрестков стандартного и нестандартного типов и пр.), что сдерживает применение данного метода на практике.

Метод конфликтных ситуаций (автор – К. Хайден, Швеция) – самый современный метод прогнозирования аварийности. Он основан на пересчете количества конфликтных ситуаций, $n_{\text{кфс}}$, в аварийность за год P_a в отдельно взятом конфликте на каждом конфликтном объекте (участке улицы) путем перемножения на коэффициент приведения $\eta_{\text{кфс}}$ по тяжести конфликта (см. таблицу 3) [8]:

$$P_a = n_{\text{кфс}} \eta_{\text{кфс}}, \quad (6)$$

где P_a – прогнозируемое число аварий, ав./год;

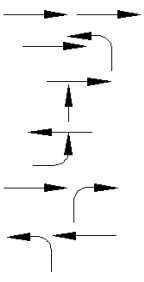
$n_{\text{кфс}}$ – число конфликтных ситуаций, кфс/год;

$\eta_{\text{кфс}}$ – коэффициент приведения конфликтных ситуаций к авариям, отличающийся для каждого вида конфликта.

Конфликтная ситуация – это такая дорожно-транспортная ситуация, при которой в течение последующего времени (до 1 с – Time-to-Collision (TTC)) произойдет столкновение или иная коллизия, если хотя бы один из участников не предпримет экстренные уклончивые действия [5; 8].

Метод позволяет не ждать длительного периода, когда накопится достаточный статистический материал по аварийности, чтобы выполнить корректировку решений по организации дорожного движения. После внедрения мероприятия проводится исследование конфликтных ситуаций, определяются опасные места, рассчитывается вероятное количество аварий и принимаются соответствующие решения. Однако полученный таким образом прогноз не всегда отличается высокой точностью, поскольку он не учитывает ряд факторов, связанных с аварийностью. Ряд проблем успешно решается при помощи видеопаратуры, которая осуществляет постоянное слежение, а в случае превышения предкритического замедления – съемку исследуемого объекта и запись изображения. Отдельно проведены исследования конфликтного взаимодействия с велосипедистами.

Таблица 3 – Значения коэффициента приведения $\eta_{\text{кфс}}$ [5; 6; 8; 9; 10] (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	–	60	Олдер, Спейсер, США
Нерегулируемый перекресток	T–T		10,4	Х. Эрке, Германия
			20,8	
			19,2	
			16,2	
			12,7	
7,1				
–	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	

Среди всех автоматических обнаружений (43 ситуации), которые выглядели как потенциально опасны конфликты на дорогах с участием велосипедистов, ни один из них не был классифицирован как серьезный (в соответствии с определением, используемым в шведской методике транспортных конфликтов (Hydén, 1987)). Также был проведен небольшой тест на то, насколько хорошо потенциальные конфликты могут быть обнаружены автоматически по данным видеофиксации. Зона, выбранная для теста, имела относительно большое количество потенциальных конфликтов, сконцентрированных в течение четырех 0,5-часовых периодов (т. е. всего 2 часа видео). Траектории и профили скорости были извлечены для всех участников дорожного движения в строго установленных видеопоследовательностях специальным алгоритмом. Поскольку было известно, что положение оценивается с систематической ошибкой (из-за допущения о «ровных» участниках дороги) и что серьезных конфликтов не обнаружено, четко были установлены критерии конфликта. Необходимо учитывать различия типов участников дорожного движения и точности оценки их местоположения. Последнее особенно важно для детального изучения взаимодействия участников дорожного движения и расчета показателей безопасности. Когда будет достигнута соответствующая точность, автоматизированная система предоставит уникальную возможность для проверки теорий, связывающих поведение во время индивидуальных взаимодействий с общим уровнем безопасности, и исследования отношений основных качеств (безопасность, эффективность, комфорт и т. д.)

в системах дорожного движения. Дальнейшая работа по усовершенствованию системы видеофиксации конфликтных ситуаций включает упрощение сбора видеоданных (например, использование видеозаписи, записанной в местах с плохим обзором, использование существующих камер, установленных ранее для видеофиксации, например, правил парковок, проезда на запрещающий сигнал и пр.) и увеличение размера области, изучаемой системой [11–12]. Очень важным будущим применением автоматизированной системы исследования конфликтной ситуации является дальнейшая проверка методов управления дорожными конфликтами и других теорий, которые связывают поведение участников движения на микроуровне с характеристиками системы дорожного движения. Есть предложения по учету торможения (по загоранию сигналов торможения). Проводятся исследования видеофиксации условий взаимодействия между участниками дорожного движения, приводящих к конфликту. Выполняется использование видеоданных для калибровки моделей поведения участников движения на микроуровне, а Ervin et al., 2000 создает базу данных множества траекторий движения механических транспортных средств на различных транспортных объектах, которые представляют собой естественную среду вождения и могут использоваться, например, для оценки потенциального воздействия новой системы помощи водителю (помощник водителю). Есть много других факторов, которые определяют возможность использования технологии видеонализа в качестве инструмента измерения конфликтных ситуаций и сбора данных об условиях движе-

ния. Принимая во внимание возможные применения такого инструмента, ожидания исследователя трафика от «идеальной» системы видеоанализа могут быть сформулированы следующим образом: система видеоанализа должна давать подробные описания движений. Сложна идентификация конфликтных ситуаций. Оценка ситуации при непосредственном наблюдении является делом индивидуальным и весьма субъективным. Одни и те же ситуации различными наблюдателями могут оцениваться по-разному. Более того, один и тот же наблюдатель в разное время и в разном состоянии может давать разные оценки совершенно идентичным ситуациям. Отсутствие общепринятых эталонов приводит к тому, что дисперсия оценок конфликтных ситуаций очень велика. Однако и здесь имеется прогресс, можно моделировать число конфликтных ситуаций, основываясь на решении двумерных уравнений движения пары конфликтующих автомобилей, проезжающих через перекресток. Поэтому это направление – совершенствование метода конфликтных ситуаций – активно развивается в мире, постоянно модифицируется метод и можно ожидать значительного улучшения качества прогноза и повышения его точности.

Выводы

Необходимо понимать, что аварии являются результатом серии неудачных реализаций множества малых вероятностей разрешения дорожно-транспортных ситуаций; дорожно-транспортные аварии являются редкими событиями, поэтому анализ безопасности дорожного движения на отдельных участках затруднен только на основе факта наличия происшествий; не обо всех дорожно-транспортных происшествиях сообщается, а степень занижения данных зависит от серьезности происшествия и типов участников дорожного движения (особенно с участием страховых компаний). Методы разрешения конфликтов – это методы оценки безопасности дорожного движения, основанные на наблюдении за реальными событиями – дорожно-транспортными ситуациями и вариантами их разрешения. Именно такие методы исследования позволяют четко и точно определить степень опасности конфликта и спрогнозировать вероятную аварийность, в том числе и с учетом моделирования поведения участников движения. Метод конфликтных ситуаций является наиболее приемлемым методом оценки и прогнозирования аварийности как на реальных, так и на проектируемых объектах, что делает перспективным его дальнейшее исследование и совершенствование.

Необходимо усовершенствовать метод прогнозирования аварийности по конфликтным ситуациям. Учитывая изложенное, для развития метода необходимо:

- устранить недостатки, известных на сегодняшний день, методов прогнозирования, и проводить прогнозирование на стадии разработки решений или проектирования;

- оптимизировать любое решение в сфере организации дорожного движения и реализовывать метод конфликтных ситуаций по средствам ЭВМ, что значительно сокращает организационные и финансовые затраты;

- провести анализ статистических закономерностей процесса взаимодействия конфликтующих транспортных потоков на пересечении в конфликтных точках и классифицировать их (разбить на конфликтные зоны регулируемые перекрестки и иные объекты и типизировать их);

- выполнить детальную классификацию конфликтов по видам и провести экспериментальные исследования конфликтных ситуаций по видам и типам конфликта по достаточной выборке для построения статистически значимых зависимостей и регрессионных моделей;

- установить возможность определения вероятности возникновения аварий по статистическим закономерностям изменения характеристик конфликтующих потоков, условий движения и дорожных условий;

- разработать новую модель прогнозирования аварийности на регулируемом пересечении по конфликту транспорт-транспорт, позволяющую максимально учитывать новые факторы, влияющие на количество аварий:

- а) скорость движения и конфликтные зоны;

- б) опасность (вероятность конфликтного) взаимодействия конфликтующих потоков;

- в) классификацию типов поведения участников движения, а также их уязвимость, угол взаимодействия, порог чувствительности конфликта (для учета разных вероятностей столкновения/наезда;

- разработать алгоритм, включающий обнаружение участников дорожного движения и их прогнозируемых траекторий; оценку скорости участников дорожного движения как дифференцированного их местоположения, а также программное обеспечение для автоматизации принятия решений по оценке эффективности мер по повышению безопасности дорожного движения на конфликтных объектах (на примере регулируемого или нерегулируемого перекрестка, или пешеходного перехода стандартного типа).

Литература

1. Elvik, R. Cost-benefit analysis of road safety measures: applicability and controversies / R. Elvik // *Accident Analysis and Prevention*. – 2001. – Vol. 33. – P. 9–17.
2. *The Handbook of road safety measures* / R. Elvik [et al.]. – Second edition. – Bingley : Emerald Group Published Limited, 2009. – 1124 p.
3. Капский, Д. В. Прогнозирование аварийности в дорожном движении : монография / Д. В. Капский // Минск : БНТУ, 2008. – 243 с.
4. Капский, Д. В. Метод конфликтных зон прогнозирование дорожно-транспортной аварийности по потенциальной опасности: монография / Д. В. Капский // М. : Новое знание, 2015. – 372 с.
5. Капский, Д. В. Методология повышения качества дорожного движения/ Д. В. Капский // Минск : БНТУ, 2018. – 372 с.
6. Бабков, В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учебник для вузов / В. Ф. Бабков // М.: Транспорт, 1993. – 272 с.
7. Rappoport, H. A. Die Ausbildung plangeicher Knotenpunkte im Landstrassennetz / H. A. Rappoport. – *Strassen und Tiefbau*, 1955. – № 8. – S. 499–510.
8. Hydén, C., A. Várhelyi (2000). The effects on safety, time consumption and environment of large scale use of roundabouts in an urban area: a case study. *Accident Analysis and Prevention* 32, pp. 11–23.
9. Möller, E., G. Grieszbach, B. Schack, H. Witte, P. Maurizio (2000). Statistical properties and control algorithms of recursive quantile estimators. *Biometrical journal* 42, pp. 729–746.
10. 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 : 07.07.2023.
11. Laureshyn, A. *Application of automated video analysis to road user behaviour : doctoral thesis* / A. Laureshyn. – Lund, 2010. – 202 p.
12. Räsänen, M., H. Summala (1998). Attention and expectation problems in bicycle-car collisions: an in-depth study. *Accident Analysis and Prevention* 5, pp. 657–666.

UDK 656.13.08

KAPSKI Denis V., P., D. Sc. in Eng.,
vice-chairman HAC¹
d.kapsky@gmail.com

VOLYNETS Alexandra S.,
graduate student²

¹Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus

²Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 12 July 2023

ANALYSIS OF THE APPLICABILITY OF METHODS FOR PREDICTING AND ASSESSING ACCIDENTS AT CONFLICT SITES IN THE TRANSPORTATION NETWORK AND PROSPECTS FOR THEIR DEVELOPMENT

Accident rate is one of the most significant losses in road traffic, as it affects each of the road users. Therefore, in order to reduce its level, it is necessary to develop a modern method of accident prediction, which would allow to accurately estimate the number of accidents and the severity of consequences not only by experimental data and survey results, but also by modelling at the decision-making stage. Such a method is the method of conflict situations, but to date it is characterized by low accuracy of prediction, not applicable for practical use, as well as the severity of obtaining (collection and analysis) of raw data and lack of automation of the decision-making process to select the optimal measure by the method of conflict situations. In the article the analysis of existing methods of accident forecasting, as-