

Д.В. Капский**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АВАРИЙНОСТИ
НА КОНФЛИКТНЫХ ОБЪЕКТАХ**

В Республике Беларусь ежегодно происходит свыше 100 000 аварий, в которых погибает около 1 700 человек и примерно 10 000 человек получают ранения. Суммарные потери от аварийности, включая социальную составляющую, достигают величины порядка 200 млн. долларов ежегодно. При этом с ростом уровня автомобилизации эти потери будут неуклонно возрастать.

Борьба за снижение аварийных потерь в значительной мере сдерживается отсутствием надежных методов прогнозирования аварийности. Существующие методы прогнозирования аварийности не пригодны для практических работ по оптимизации решений в области организации дорожного движения на стадии их разработки или проектирования объектов, что объясняется необходимо резко повысить точность прогнозирования, чтобы любое решение по организации дорожного движения можно было объективно оценить и оптимизировать по критерию безопасности еще на стадии разработки или проектирования. Это позволит существенно снизить аварийность, особенно на конфликтных объектах - перекрестках и пешеходных переходах. Такая работа ведется частично в БНТУ.

Существуют три основных метода прогнозирования аварийности - **статистический, конфликтных ситуаций** и **потенциальной опасности**.

Статистический метод использует накопленный опыт влияния различных мероприятий на аварийность, делает прогноз на основании статистики аварийности за прошедший период и обязательно требует наличия реального объекта. Этот метод применим, в основном, для предварительной оценки эффективности тех или иных мероприятий, внедряемых на реальных объектах улично-дорожной сети.

Метод конфликтных ситуаций заключается в переводе измеренного числа конфликтных (т.е. очень

опасных, видимых) ситуаций в вероятное число аварий и также требует наличия реального объекта, на котором производятся измерения. Метод позволяет быстро, в течение нескольких часов наблюдений выявить недостатки в организации движения, приводящие к авариям, и разработать соответствующие мероприятия по их устранению. Применяется, как правило, на вновь построенных или реконструированных объектах с целью своевременной корректировки решений по организации движения.

Метод потенциальной опасности не требует ни реального объекта, ни статистики аварийности и дает прогноз по совокупности факторов, влияющих на аварийность, которые можно либо измерить на реальном объекте, либо задать в любой комбинации при проектировании. Поэтому он применим для оптимизации решений как на реальном объекте, так и на стадии разработки или проектирования. К сожалению, на сегодняшний день этот метод, как, впрочем, и все остальные, отличается крайне невысокой точностью прогноза.

Потенциальная опасность - это невидимая, скрытая опасность, которая является некой сложной, закодированной функцией многих факторов и множества их комбинаций - интенсивность, скорость, регулирование, условия движения и т.д. Поскольку раскодировать эту функцию пока не удастся, то задача сводится к тому, чтобы подобрать такие упрощенные зависимости, которые давали бы приемлемый по точности прогноз. Существуют три модификации метода потенциальной опасности - *метод линейных графиков, метод конфликтных точек и метод замедлений.*

Метод линейных графиков, одним из основателей которого является проф. В. Ф. Бабков (Москва) [1], пригоден для прогнозирования аварийности на загородных дорогах и реализован в виде двух методик. *Методика линейных графиков коэффициентов аварийности* заключается в следующем. Исследуемая

дорога разбивается на однородные участки, для которых из специальных таблиц выбираются *частные коэффициенты аварийности*, характеризующие влияние на аварийность отдельных факторов - ширины полосы, радиуса поворота, скользкости и т.д. Перемножив эти коэффициентов, а их около 20, получают *итоговый коэффициент*, по которому и судят о вероятном числе аварий на исследуемом участке. В *методике линейных графиков коэффициентов безопасности* определяют места перепада скоростей от большей к меньшей - чем больше перепад, тем опаснее участок.

Метод замедлений предназначен для прогнозирования попутных столкновений и основан на определении параметров, т.н. зоны дилеммы, в которой водители могут с равной вероятностью принимать два взаимоисключающих решения - либо продолжить движение, либо остановиться. Вероятность аварии зависит от размеров зоны дилеммы, расстояния от нее до возникшего препятствия, ожидаемости этого препятствия, скорости движения, плотности потока и т.д. Методика прогнозирования попутных столкновений на перекрестках разработана Врубелем Ю.А. в Белорусском национальном техническом университете.

Метод конфликтных точек впервые предложен Г. Раппопортом (ФРГ) и заключается в подсчете потенциальной опасности в каждой конфликтной точке с последующим суммированием в пределах перекрестка. Метод применим для прогнозирования аварийности на конфликтных объектах - перекрестках, пешеходных переходах и т.д. Первоначально, в первых методиках, подсчет потенциальной опасности проводился только по числу конфликтных точек и углу между траекториями движения конфликтующих участников. Затем в расчетную модель были введены интенсивность движения конфликтующих потоков и ее неравномерность (Лобанов Е.М., Москва). В БНТУ в расчетную модель определения потенциальной

опасности были введены другие факторы (их около 80), что повысило точность прогноза.

В БНТУ (Врубель Ю.А.) были разработаны базовые методики прогнозирования аварийности на конфликтных объектах: нерегулируемых и регулируемых перекрестках и пешеходных переходах. Они взяты за основу для постепенного их совершенствования.

Для проверки адекватности этих методик проведено сопоставление прогнозируемой и фактической аварийности для выборки конфликтных объектов, включающей перекрестки с двухфазным светофорным циклом и нерегулируемые перекрестки умеренной нагрузки. Оказалось, что зависимость аварийности от потенциальной опасности статистически значима, однако точность прогноза остается неприемлемо низкой - относительная ошибка составляет до $\pm 120\%$, что подтверждает необходимость совершенствования метода.

Для повышения точности прогноза в существующую модель автором был введен ряд изменений:

первое: уточнены некоторые *расчетные зависимости внутри групп факторов*, касающиеся, в основном, межфазного режима.

второе: в структурную формулу введен *коэффициент времени*, характеризующий продолжительность работы объекта в каждом из трех режимов движения.

третье: введено понятие *конфликтной зоны*, которая представляет собой группу компактно расположенных и взаимодействующих между собой конфликтных точек, границы которых пересекаются.

На конфликтном объекте всегда имеются пространственные точки на проезжей части, на которые претендуют несколько конфликтующих участников движения - т.н. *конфликтные точки*.

Различают конфликтные точки слияния, пересечения и отклонения.

Конфликтные точки отклонения приводят к попутным столкновениям (столкновения с ударом сзади).

На графиках конфликтные точки изображаются в виде безразмерных точек пересечения осей траекторий движения конфликтующих участников. На самом же деле «конфликтная точка» имеет свои границы и занимает некоторую площадь на проезжей части, определяемую размерами конфликтующих транспортных средств и отклонением траектории их движения от идеальной (по центру занимаемой полосы).

Размеры расчетных конфликтующих транспортных средств определяются исходя из размеров т.н. приведенного автомобиля с габаритами $L_a = 4,6 м$ и $B_a = 1,75 м$ с учетом динамического коэффициента приведения транспортного потока K_{nn} [2]. В результате, с учетом отклонения траектории движения конфликтующих участников от идеальной, расчетный конфликтующий автомобиль имеет размеры:

$$L_a = 5 \cdot K_{nn}, м; \quad (1)$$

$$B_a = 1,8 \cdot \sqrt{K_{nn}}, м. \quad (2)$$

Границы конфликтной точки пересечения определяются размерами расчетного конфликтующего автомобиля, расположенного в произвольном направлении так, что геометрический центр его площади проекции совпадает с конфликтной точкой. В этом случае границы конфликтной точки будут иметь вид круга, проведенного через конфликтную точку с радиусом:

$$r_a = 0,5 \cdot \sqrt{(L_a \cdot K_{nn})^2 + (B_a \cdot \sqrt{K_{nn}})^2} \approx 2,65 \cdot K_{nn}, м. \quad (3)$$

Границы конфликтной точки слияния также определяются размерами расчетного автомобиля, касающегося серединой передней части конфликтной точки и занимающего пространственный сектор 60° .

На рис. 1 показана схема образования конфликтных точек, их границы и занимаемая ими площадь на проезжей части.

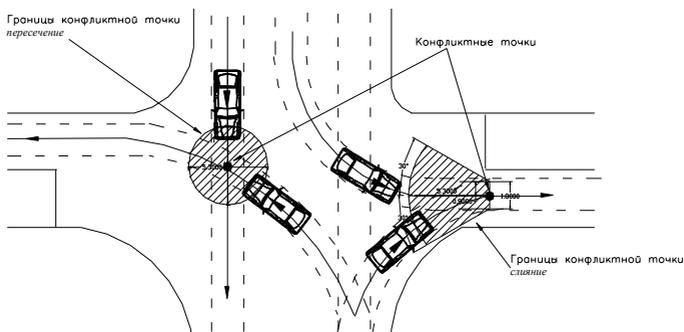


Рисунок 1 - Границы конфликтной точки

При компактном расположении конфликтных точек они каким-то образом взаимодействуют между собой. В результате этого взаимодействия на перекрестке образуется несколько относительно самостоятельных очагов опасности. Потенциальная опасность каждого такого очага не есть простая сумма опасностей всех входящих в него конфликтных точек. Следовательно, суммарная опасность перекрестка есть не сумма опасностей входящих в него конфликтных точек, а сумма опасностей входящих в него конфликтных зон. На основании изложенного принято допущение, что единичным, неделимым очагом опасности на перекрестке является не конфликтная точка, а конфликтная зона, состоящая из компактно расположенных и взаимодействующих между собой конфликтных точек. Отсюда вытекает необходимость четкого определения границ конфликтной зоны. На рис. 2 показана схема образования конфликтной зоны.

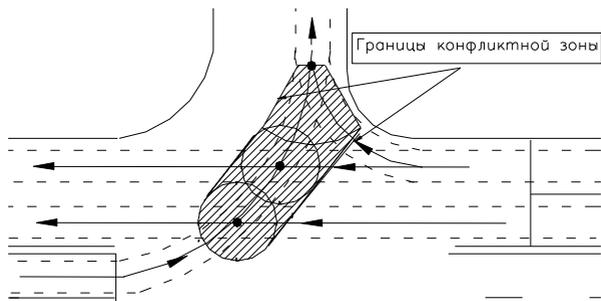


Рисунок 2 - Схема образования конфликтной зоны

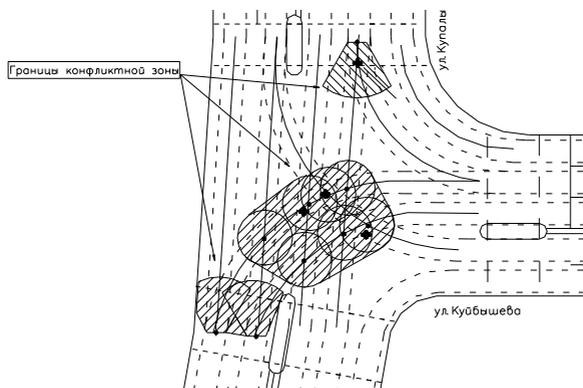
Необходимо рассматривать конфликтные зоны для каждого режима конфликтного движения. На перекрестке с двухфазным циклом регулирования таких режимов три: нерегулируемый, внутрифазный и межфазный.

Нерегулируемый режим на регулируемом перекрестке имеет место тогда, когда интенсивность движения конфликтующих транспортных потоков падает настолько, что уже не удовлетворяет нормативным требованиям по введению светофорного регулирования. Это бывает поздно вечером, ночью и ранним утром, либо в выходные или праздничные дни. В это время поцикловое регулирование на перекрестке уступает место режиму желтого мигания, т.е. нерегулируемому.

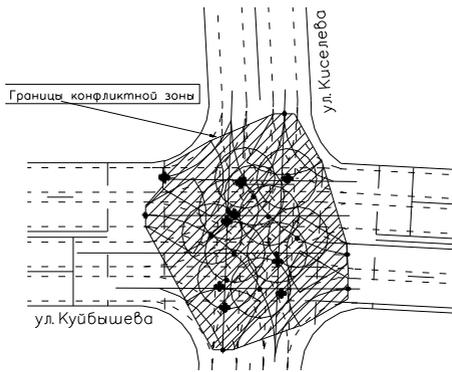
Внутрифазный режим движения имеет место тогда, когда в рамках одной фазы, т.е. постоянного горения определенной комбинации сигналов светофора, разрешено конфликтное движение двух потоков. В частности, это может быть пересечение левоповоротного и транзитного встречного потоков, либо слияние в одну полосу левоповоротного и правоповоротного потоков, либо слияние правоповоротного и попутного транзитного потока при горении зеленой стрелки на дополнительной секции светофора.

Межфазный режим имеет место при смене фаз регулирования, когда транспортные средства предыдущего направления еще заканчивают через конфликтную точку, а транспортные средства последующего направления уже начали движение через эту же конфликтную точку. Этот режим движения очень кратковременный, часто очень скоростной и зависит, в основном, от правильного выбора так называемых *переходных интервалов*, т.е. времени между выключением зеленого сигнала в предыдущем направлении и включением зеленого сигнала в последующем направлении. В каждом светофорном цикле имеются два межфазных режима движения - в первом из них второй поток движется после первого, а во втором - первый поток движется после второго. Поскольку при светофорном регулировании принято, что главным является предыдущее направление, а второстепенным - последующее, то каждый из потоков в межфазном режиме выступает один раз как главный, а второй раз - как второстепенный.

На рис. 3 показаны конфликтные зоны на реальных перекрестках для различных режимов конфликтного движения.



а)



б)

*Рисунок 3 - Характер и расположение конфликтных зон:
 а - в межфазном режиме движения на перекрестке улиц Куйбышева-
 Купалы; б - в нерегулируемом режиме движения на перекрестке
 Куйбышева-Киселева*

Очевидно, что все три режима конфликтного движения существенно отличаются друг от друга по числу конфликтных точек, количеству и характеристикам конфликтных зон, продолжительности существования, скорости движения, транспортной нагрузке и т.д. Поэтому определение потенциальной опасности и перевод ее в число аварий должно производиться отдельно для каждого режима конфликтного движения.

Видно, что в некоторых случаях конфликтные зоны могут быть образованы двумя-тремя конфликтными точками, а в отдельных случаях - одной конфликтной точкой. В то же время, на небольших по площади перекрестках в нерегулируемом режиме конфликтная зона может включать все конфликтные точки, принадлежащие данному перекрестку.

Отличительным признаком конфликтной зоны является компактное расположение конфликтных точек и их *взаимодействие* между собой. Характер этого взаимодействия до конца не ясен, но можно

предположить, что он лежит в области психофизиологии человека (водителя). Для того, чтобы пояснить сущность этого взаимодействия напомним, что различают три вида опасности: объективная, субъективная и результирующая или реальная. Объективная опасность заключается в несоответствии условий движения режимам движения, как правило, скорости или направления. Субъективная опасность заключается в восприятии водителем объективной опасности и ее субъективной оценке. Поскольку оценка водителем опасности, какой бы субъективной она ни была, есть реальное, вполне объективное действие, результатом которого последует принятие и реализация решения, то оказалось, что субъективная оценка объективной опасности сильнейшим образом влияет на результирующую, реальную опасность. Если субъективная опасность несколько выше объективной (незначительная переоценка опасности), то будет иметь место некоторый запас безопасности и вероятность аварии очень невелика. Если субъективная опасность меньше объективной (недооценка опасности), то вероятность аварии велика. Заметим, что большие различия между субъективной и объективной опасностью в любую сторону неприемлемы, поскольку они приводят либо к явной недооценке опасности и наверняка к аварии, либо к такой перестраховке, которая не может быть принята другими участниками и провоцирует их на опасные нарушения.

Очевидно, в конфликтной зоне второстепенный конфликтующий участник безостановочно преодолевает несколько последовательно расположенных конфликтных точек, из которых одна, самая «тяжелая» (опасная) является для него «главной». Опасность в этой «главной» конфликтной точке является для него именно той объективной опасностью, которую он субъективно оценивает, на которую он психологически настраивается и по которой он соизмеряет свои действия. Поэтому более «легкие» конфликтные точки, встречающиеся до или после «главной» конфликтной

точки, преодолеваются им элементарно, с запасом. В результате значимость (весомость) «легких» конфликтных точек в пределах конфликтной зоны снижается, а весомость «тяжелых» конфликтных точек из-за возможной недооценки опасности - наоборот, возрастает. В этой связи можно допустить, что чем больше в конфликтной зоне конфликтных точек, тем меньше весомость каждой конфликтной точки. Если же водитель преодолевает несколько совершенно независимых конфликтных зон или отдельных конфликтных точек, то в каждой из них он должен оценивать наибольшую опасность и принимать соответствующие решения.

Это обстоятельство должно соответствующим образом отображаться при суммировании потенциальной опасности конфликтных точек в пределах конфликтной зоны. В качестве базовой предложена следующая расчетная зависимость:

$$P_{oz} = \left[\sum_{i=1}^N (P_{oi}^m) \right]^n, \quad (4)$$

где N - количество конфликтных точек в конфликтной зоне;

m, n - показатели степени (отличающиеся для различных режимов конфликтного движения).

четвертое: введено ранжирование конфликтных зон в пределах перекрестка, поскольку малые конфликтные зоны также преодолеваются водителем значительно легче.

пятое: введено понятие порог чувствительности потенциальной опасности в конфликтной точке, ниже которого она не вызывает аварий и поэтому не суммируется. Пороги чувствительности оказались различными для разных режимов движения.

шестое: выполнено приведение тяжести последствий аварий по потенциальной опасности. Поскольку при определении потенциальной опасности

участвуют факторы, которые влияют и на вероятность возникновения аварий, и на тяжесть последствий, например, скорость, то очевидно, что одинаковая потенциальная опасность может вызвать либо большее число аварий с «легкими» последствиями, либо меньшее число аварий с «тяжелыми» последствиями. Установлено, что одна авария с ранением условно равна 2 авариям с материальным ущербом при внутрифазном режиме, 3 авариям - при нерегулируемом режиме и 4 авариям - при межфазном режиме. Таким образом, возможно прогнозировать не простое число аварий, а приведенное число аварий, т.е. аварий с материальным ущербом

Совершенствование расчетной модели приводило к положительным результатам. Точность прогноза повысилась для всех трех режимов конфликтного движения и стала приемлемой для практических работ по оптимизации решений по организации дорожного движения.

Выводы

На основании проведенных исследований усовершенствована методика прогнозирования аварийности по методу потенциальной опасности в конфликте «транспорт-транспорт» на регулируемых перекрестках, пригодная для практического применения.

Разработана компьютерная программа, позволяющая находить наилучшие статистические зависимости между аварийностью и потенциальной опасностью, определяемой по любой изменяемой расчетной модели для исследуемой выборки объектов.

Для совершенствования методики прогнозирования аварийности по методу потенциальной опасности необходимо продолжить дальнейшее исследование таких конфликтных объектов как пешеходные

переходы, светофорные объекты, включенные в координированное управление, нерегулируемые перекрестки и т.д.

Литература

1. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. М.: Транспорт, 1993.- 271 с.

2. Врубель Ю.А. Потери в дорожном движении. - Мн.: БНТУ, 2003. - 306с.