

УДК 656.13

# ПЕРВИЧНАЯ ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНО КОНФЛИКТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОГНОЗНОГО СБЛИЖЕНИЯ

А. Ч. Ахохов

Г. Э. Головашин

А. М. Меркович

Н. С. Пронякин

*ФГБОУ ВО Московский автомобильно-дорожный государственный  
технический университет (МАДИ)*

**Аннотация.** В статье рассматривается задача первичного выявления потенциально конфликтных взаимодействий транспортных средств на основе траекторных данных видеомониторинга. Обоснована необходимость перехода от анализа только зарегистрированных дорожно-транспортных происшествий к анализу параметров фактического взаимодействия участников движения. Предложен подход, основанный на сопоставлении минимального прогнозного расстояния между транспортными средствами с критическим расстоянием и безопасной дистанцией. Рассмотрены основные этапы формирования входных данных, расчета прогнозного сближения и классификации уровня потенциальной конфликтности.

**Ключевые слова:** транспортный поток, конфликтность, дорожный конфликт, видеомониторинг, траекторные данные, прогнозное сближение, оценка безопасности движения.

UDC 656.13

# PRELIMINARY ASSESSMENT OF POTENTIALLY CONFLICTING VEHICLE INTERACTIONS BASED ON PREDICTED PROXIMITY PARAMETERS

A. Ch. Akhohov

G. E. Golovashin

A. M. Merkovich

N. S. Pronyakin

*Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)*

**Abstract.** The paper addresses the problem of the preliminary identification of potentially conflicting vehicle interactions based on trajectory data from video monitoring. The need to move beyond the analysis of recorded road traffic accidents towards an examination of the actual interaction parameters of road users is substantiated. An approach is proposed based on a comparison of the minimum predicted distance between vehicles with a critical distance and a safe following distance. The main stages of input data formation predicted proximity calculation, and classification of the level of potential conflict are examined.

**Keywords:** traffic flow, conflict, road conflict, video monitoring, trajectory data, predicted proximity, road safety assessment.

## Введение

Оценка безопасности дорожного движения традиционно основывается на анализе дорожно-транспортных происшествий, их причин, условий возникновения и последствий. Такой подход позволяет выявлять аварийно-опасные участки улично-дорожной сети, определять повторяющиеся сценарии ДТП и формировать мероприятия по снижению аварийности. Вместе с тем дорожно-транспортное происшествие представляет собой уже реализовавшееся негативное событие, а его использование в качестве единственного источника информации о безопасности движения имеет ряд ограничений. Для получения статистически устойчивых выводов по отдельному участку дороги, типу маневра или виду взаимодействия участников движения может потребоваться длительный период наблюдения, поскольку ДТП, особенно в разрезе отдельных сценариев, являются сравнительно редкими событиями.

В работах Э. Хауэра безопасность дорожного объекта рассматривается через ожидаемое количество дорожно-транспортных происшествий определенного типа за заданный период времени [1]. Данный подход позволяет использовать аварийность как количественную меру безопасности, однако при практическом применении он сталкивается с проблемой накопления достаточного объема статистических данных. Это обстоятельство обусловило развитие подходов, ориентированных на анализ более часто наблюдаемых событий и состояний транспортного потока, которые могут указывать на наличие потенциально опасных условий движения.

Одним из таких направлений является изучение дорожных конфликтов. Использование дорожных конфликтов в качестве признаков аварийного потенциала транспортной ситуации обычно связывают с работами С. Перкинса и Дж. Харриса, посвященными характеристикам конфликтов и аварийному потенциалу на пересечениях [2]. В рамках данного подхода дорожный конфликт рассматривается как событие, предшествующее возможному ДТП и характеризующееся опасным взаимодействием участников движения. Принципиальное значение имеет то, что конфликтные ситуации возникают чаще, чем дорожно-транспортные происшествия, а, следовательно, могут использоваться для более оперативного анализа условий движения.

В общем виде конфликтное взаимодействие может быть определено как состояние, при котором сохранение текущих параметров движения без своевременного управляющего воздействия со стороны одного или нескольких участников

может привести к столкновению. В международном исследовании по калибровке методик оценки дорожных конфликтов Э. Асмуссен описывает конфликтную ситуацию через необходимость выполнения экстренного действия, например торможения или уклонения: если такое действие оказывается успешным, столкновение предотвращается; если действие отсутствует или оказывается недостаточным, ситуация может перейти в ДТП [3]. Такая трактовка позволяет рассматривать конфликт как промежуточное состояние между нормальным движением и аварийным событием.

Для оценки конфликтности важно различать сам факт потенциально опасного взаимодействия и степень его тяжести. Наличие двух или более транспортных средств в одной зоне наблюдения еще не означает возникновения конфликта. Участники движения могут находиться в поле зрения одной камеры, но двигаться по непересекающимся траекториям, расходиться во времени, сохранять достаточную дистанцию или не достигать параметров опасного сближения. Поэтому при анализе конфликтности необходимо учитывать не только факт совместного присутствия объектов в дорожной сцене, но и параметры их пространственно-временного взаимодействия: взаимное положение, направление движения, скорость, характер сближения, возможность пересечения траекторий и наличие запаса для выполнения управляющего воздействия.

В ряде методик тяжесть дорожного конфликта связывается с моментом начала маневра уклонения и динамическими параметрами движения. В частности, в шведской методике оценки дорожных конфликтов, описанной в руководстве А. Лорешина и А. Вархели, используются такие показатели, как «время до столкновения» и «конфликтная скорость» [4]. Под «временем до столкновения» понимается время, оставшееся до потенциального столкновения в момент, когда участник дорожного движения начинает маневр уклонения. «Конфликтная скорость» характеризует скорость соответствующего участника в этот же момент и отражает как сложность выполнения маневра, так и возможную тяжесть последствий при столкновении.

Использование данных показателей демонстрирует, что конфликтность транспортного потока не может быть описана только фактом малого расстояния между транспортными средствами. Для ее оценки необходимо учитывать динамику развития дорожной ситуации. Например, два транспортных средства могут находиться на малой дистанции, но при этом расходиться или двигаться устойчиво

без дальнейшего опасного сближения. И наоборот, при большем начальном расстоянии взаимодействие может иметь потенциально опасный характер, если траектории участников сходятся, а доступный запас времени и пространства недостаточен для безопасного разъезда.

Традиционные методы оценки дорожных конфликтов, основанные на визуальном наблюдении, имеют ряд ограничений. При таком подходе значительная часть измерений и интерпретаций зависит от подготовленности наблюдателя, его внимания и способности корректно оценивать динамические параметры дорожной ситуации. Например, определение момента начала маневра уклонения, времени до столкновения или скорости участника движения при визуальном наблюдении может сопровождаться субъективной погрешностью. Это создает сложности как при сопоставлении результатов разных исследований, так и при использовании таких данных для количественной оценки безопасности движения.

Дальнейшее развитие методик оценки дорожных конфликтов связано с уточнением их связи с фактической аварийностью. В работе О. Свенсона, посвященной развитию и валидации шведской методики оценки дорожных конфликтов, рассматривается вопрос сопоставления серьезных конфликтов с зарегистрированными дорожно-транспортными происшествиями [5]. Для этой работы принципиально важно, что конфликтные взаимодействия могут рассматриваться не только как отдельные наблюдаемые события, но и как расчетные признаки потенциально опасных состояний транспортного потока, требующие формального описания и последующей интерпретации.

Современное развитие средств видеомониторинга, алгоритмов компьютерного зрения и методов автоматизированного сопровождения объектов создает условия для перехода к более формализованной оценке конфликтных взаимодействий. Видеоданные позволяют фиксировать траектории транспортных средств, определять их взаимное расположение, рассчитывать скорости и анализировать изменение параметров движения во времени. Современные исследования показывают, что данные видеомониторинга могут использоваться не только для фиксации траекторий транспортных средств, но и для выявления

пространственно-временных зон концентрации конфликтных взаимодействий, включая конфликты рода «автомобиль — автомобиль» и «автомобиль — пешеход» [6].

При этом автоматизированная обработка данных не устраняет полностью методологические проблемы оценки конфликтности. Необходимо определить, какие именно сочетания транспортных средств должны рассматриваться как потенциально конфликтные, а какие являются обычными взаимодействиями в транспортном потоке. Иными словами, требуется «первичный расчетный» этап, позволяющий перейти от общего факта нахождения объектов в одной дорожной сцене к формализованной проверке потенциально опасного сближения конкретной пары транспортных средств.

Для решения этой задачи конфликтность транспортного потока рассматривается как характеристика потенциально опасных взаимодействий транспортных средств, выявляемых на основе анализа их траекторных параметров. В рамках этой работы основной акцент делается не на итоговой оценке всей дорожной сцены, а на первичном этапе — определении того, имеет ли конкретная пара транспортных средств признаки потенциально опасного сближения. Этот этап необходим для исключения нерелевантных сочетаний объектов и формирования набора взаимодействий, которые могут быть переданы на более детальный анализ.

Таким образом, анализ конфликтности транспортного потока требует перехода от общего факта нахождения транспортных средств в одной зоне наблюдения к оценке конкретных пространственно-временных параметров их взаимодействия. В качестве таких параметров в дальнейшем предлагается использовать минимальное прогнозируемое расстояние между транспортными средствами, критическое расстояние, определяемое их габаритными параметрами, и безопасную дистанцию, учитывающую параметры движения. Сопоставление этих величин позволяет формализовать первичную проверку потенциальной конфликтности пары транспортных средств и отделить опасные сближения от обычных взаимодействий в транспортном потоке.

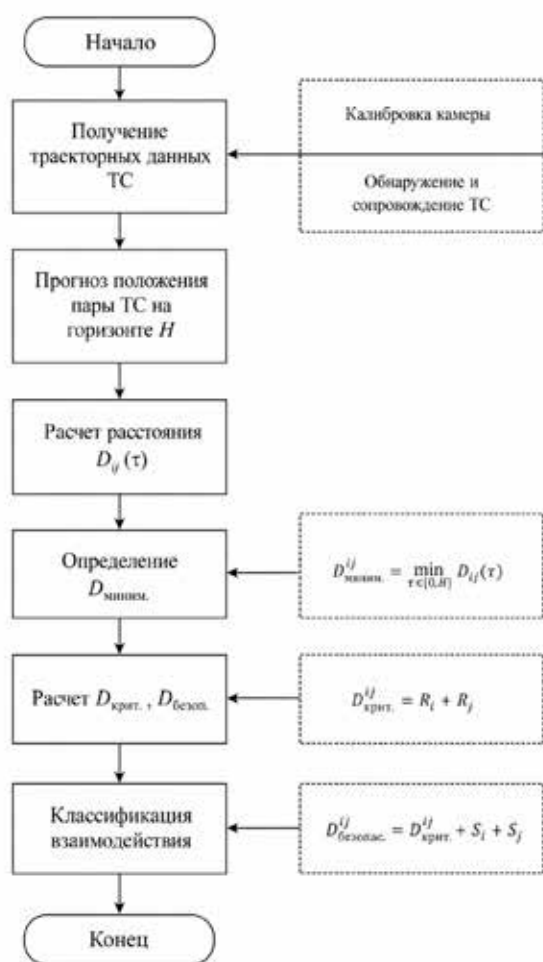
## Методы

### *Исходные данные и методика проверки потенциально конфликтного взаимодействия транспортных средств*

Проверка потенциально конфликтного взаимодействия транспортных средств предполагает

переход от видеоданных или иных средств наблюдения к формализованному описанию параметров

движения участников транспортного потока. На первом этапе задача заключается не столько в оценке конфликтности взаимодействия транспортных средств, сколько в определении того, имеет ли конкретная пара транспортных средств признаки потенциально опасного сближения. Для этого необходимо сформировать набор траекторных данных, позволяющий описать положение, скорость, направление движения и габаритные характеристики каждого транспортного средства в границах анализируемого участка. Общий алгоритм работы метода приведен на рисунке 1.



**Рис. 1. Алгоритм работы метода проверки потенциально конфликтного взаимодействия пары транспортных средств.**

*Источник: авторы исследования*

В качестве исходной информации могут использоваться данные видеомониторинга, получаемые с камер, установленных на элементах транспортной инфраструктуры. Видеопоток разбивается на последовательность кадров, в каждом из которых выполняется обнаружение транспортных средств и последующее сопровождение объектов во времени. Предполагается, что в качестве возможных инструментов применимы современные алгоритмы детекции и трекинга

объектов, включая архитектуры семейства YOLO и совместимые с ними методы сопровождения транспортных средств между кадрами, обеспечивающие получение траекторных параметров транспортных средств [7, 8].

В результате обработки видеопотока для каждого транспортного средства  $i$  в момент времени  $t_k$  должны быть определены следующие параметры транспортного положения  $x_i(t_k)$ , скорость транспортного средства  $v_i(t_k)$ . Дополнительно можно собрать данные по ускорению  $a_i(t_k)$  и приведенный габаритный размер  $R_i$ . Указанные величины формируют состояние транспортного средства, используемое при последующей проверке потенциального сближения с другими участниками движения.

Необходимым условием использования видеоданных в расчетных процедурах является переход от координат изображения к координатам дорожной сцены. Положения транспортных средств, получаемые на кадрах видеопотока, изначально задаются в пиксельной системе координат и не позволяют напрямую рассчитывать физически интерпретируемые расстояния, скорости и ускорения. Для перехода к метрическим координатам применяются процедуры калибровки камеры, позволяющие установить связь между координатами изображения и координатами реальной сцены. В современных исследованиях для этого используются различные подходы: определение внутренних и внешних параметров камеры, преобразование координат на плоскость дороги, использование известных геометрических размеров элементов сцены, а также автоматизированная калибровка по наблюдаемым транспортным средствам или характерным точкам объектов [9].

Полученные траектории могут содержать шумы, обусловленные ошибками детекции, нестабильностью сопровождения объекта между кадрами, оптическими искажениями, погрешностями калибровки, изменением освещенности, частичным перекрытием транспортных средств или дрожанием камеры. Поэтому перед расчетом параметров сближения целесообразно выполнять предварительную обработку траекторий. В зависимости от качества исходных данных и требований к вычислительной эффективности могут применяться различные методы фильтрации, включая скользящее среднее, медианную фильтрацию, фильтр Калмана и их комбинации. В частности, в работах по обработке данных компьютерного зрения и сенсорных измерений медианная фильтрация рассматривается как средство удаления импульсного шума, а фильтр Калмана — как рекурсивный метод прогнозирования состояния



динамической системы по предыдущим измерениям [10].

Данный этап особенно важен при оценке скорости и ускорения, поскольку эти параметры являются производными от координат и чувствительны к случайным колебаниям положения объекта на последовательных кадрах. Следовательно, качество первичных траекторных данных, точность калибровки камеры и устойчивость сопровождения транспортных средств во времени напрямую влияют на корректность последующего расчета прогнозного сближения, безопасной дистанции и классификации потенциально конфликтного взаимодействия.

После формирования траекторных данных выполняется проверка потенциально конфликтного взаимодействия для пары транспортных средств  $i$  и  $j$ . В базовом виде движение каждого транспортного средства на коротком прогнозируемом горизонте может быть описано моделью равномерного движения:

$$x_i(t_k + \tau) = x_i(t_k) + v_i(t_k)\tau$$

где  $x_i(t_k + \tau)$  — прогнозируемое положение транспортного средства  $i$  через промежуток времени  $\tau$ ;

$x_i(t_k)$  — положение транспортного средства в текущий момент времени;

$v_i(t_k)$  — скорость транспортного средства;

$\tau$  — переменная прогнозного времени;

$\tau \in [0, H]$ , где  $H$  — горизонт прогнозирования.

При наличии устойчивых оценок ускорения модель может быть расширена до равноускоренного движения:

$$x_i(t_k + \tau) = x_i(t_k) + v_i(t_k)\tau + (a_i / 2)(t_k)\tau^2$$

Однако в условиях обработки видеоданных ускорение может оцениваться с повышенной погрешностью, поэтому в базовой методике целесообразно использовать модель равномерного движения, а равноускоренную модель рассматривать как возможное уточнение при достаточном качестве исходных траекторий.

Расстояние между транспортными средствами  $i$  и  $j$  в пределах прогнозного горизонта определяется как евклидова норма разности их прогнозных положений:

$$D_{ij}(\tau) = \|x_i(t_k + \tau) - x_j(t_k + \tau)\|_2$$

Данная величина позволяет учитывать не только продольное, но и поперечное расположение транспортных средств. Это особенно важно при анализе перестроений, поворотов, выездов с прилегающих территорий и иных маневров, при которых опасное сближение может формироваться не только вдоль направления движения, но и в поперечной плоскости дорожной сцены. Использование двумерной модели позволяет учитывать маневры, перестроения и повороты,

а также динамику изменения поперечной координаты транспортного средства, что может быть проблематично при классических подходах к анализу конфликтности посредством показателей «Времени до столкновения» или «конфликтной скорости» [4].

Расстояние  $D_{ij}(\tau)$  является функцией прогнозного времени, поскольку взаимное положение транспортных средств изменяется в процессе движения. Поэтому для оценки потенциальной конфликтности недостаточно рассматривать только текущее расстояние между транспортными средствами в момент  $t$ .

Два транспортных средства могут находиться на сравнительно большой дистанции в текущий момент времени, но при сходящихся траекториях достигнуть опасного сближения через несколько секунд. В обратной ситуации транспортные средства могут находиться близко друг к другу, но уже расходиться, не формируя развивающегося конфликта.

В связи с этим на первом этапе оценки необходимо определить наименьшее расстояние, которое может быть достигнуто между транспортными средствами в пределах заданного горизонта прогнозирования. Такая величина характеризует наиболее опасный с точки зрения пространственного сближения момент взаимодействия пары транспортных средств и позволяет перейти от анализа текущего положения к анализу развития дорожной ситуации во времени.

Минимальное прогнозируемое расстояние между транспортными средствами  $i$  и  $j$  определяется выражением:

$$D_{\text{миним.}}^{ij} = D_{ij}(\tau)$$

Момент времени, в который достигается минимальное прогнозируемое расстояние, определяется как:

$$\tau^* = \arg \min_{\tau \in [0, H]} D_{ij}(\tau)$$

Величина  $D_{\text{миним.}}^{ij}$  используется как основной показатель пространственного сближения пары транспортных средств в пределах прогнозного горизонта. Дальнейшая интерпретация этого показателя выполняется путем сопоставления с критическим расстоянием  $D_{\text{крит.}}^{ij}$ , отражающим габаритные параметры транспортных средств, и безопасной дистанцией  $D_{\text{безопас.}}^{ij}$ , учитывающей динамические параметры движения.

При дискретной обработке видеоданных поиск  $D_{\text{миним.}}^{ij}$  может выполняться численно. Для этого временной интервал  $[0, H]$  разбивается

на шаги  $\Delta t$ , после чего расстояние  $D_{ij}(\tau)$  рассчитывается для каждого момента прогнозного времени, а минимальное значение выбирается из полученного набора. Такой подход удобен для

практической реализации и не требует аналитического решения задачи минимизации. Принцип расчета минимального прогнозного расстояния между ТС отображен на рисунке 2.

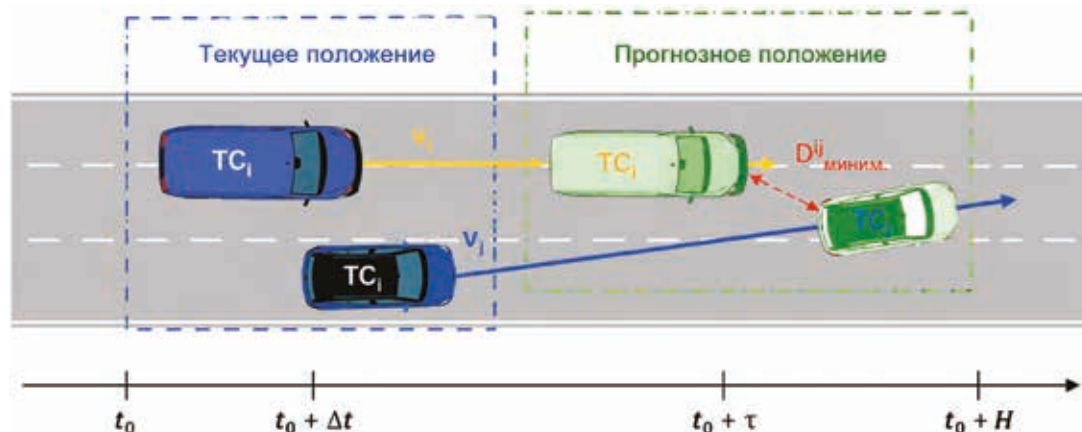


Рис. 2. Определение минимального прогнозного расстояния между парой транспортных средств. Источник: авторы исследования

### Классификация результата проверки потенциально конфликтного взаимодействия

После определения минимального прогнозного расстояния между транспортными средствами необходимо выполнить интерпретацию полученного значения с точки зрения потенциальной опасности взаимодействия. Само по себе значение  $D_{\text{миним.}}^{ij}$  показывает только наименьшую дистанцию, которая может быть достигнута между транспортными средствами  $i$  и  $j$  в пределах заданного горизонта прогнозирования. Для оценки конфликтности этого недостаточно, поскольку одно и то же расстояние может иметь различный смысл в зависимости от габаритов транспортных средств, их скоростей, условий движения и доступного пространства для выполнения управляющего воздействия.

В связи с этим результат первичной проверки предлагается определять на основе сопоставления минимального прогнозного расстояния с двумя расчетными границами: критическим расстоянием  $D_{\text{крит.}}^{ij}$  и безопасной дистанцией  $D_{\text{безопас.}}^{ij}$ .

Критическое расстояние  $D_{\text{крит.}}^{ij}$  задает нижнюю границу пространственного взаимодействия, связанную с габаритами транспортных средств. При использовании упрощенной модели оно может быть представлено как сумма приведенных габаритных параметров транспортных средств:

$$D_{\text{крит.}}^{ij} = R_i + R_j$$

где  $R_i$ ,  $R_j$  — приведенные габаритные параметры транспортных средств  $i$  и  $j$ .

Если минимальное прогнозное расстояние оказывается меньше или равно критическому

расстоянию, это означает, что в пределах горизонта прогнозирования транспортные средства достигают зоны критического сближения. В упрощенной геометрической модели такая ситуация соответствует прогнозируемому пересечению или касанию габаритных зон транспортных средств.

Поэтому условие  $D_{\text{миним.}}^{ij} < D_{\text{крит.}}^{ij}$  может использоваться для выделения критического взаимодействия. Важно отметить, что данное условие не следует автоматически трактовать как фактически неизбежное ДТП, поскольку расчет выполняется на основе прогноза движения и принятой модели габаритов. Более корректно говорить о достижении критической зоны взаимодействия при сохранении принятых параметров движения.

Безопасная дистанция  $D_{\text{безопас.}}^{ij}$  задает верхнюю границу зоны потенциально опасного сближения. В отличие от критического расстояния, она учитывает не только геометрические размеры транспортных средств, но и динамические параметры движения. В общем виде безопасная дистанция может быть задана выражением:

$$D_{\text{безопас.}}^{ij} = D_{\text{крит.}}^{ij} + S_i + S_j$$

где  $S_i$ ,  $S_j$  — расчетные составляющие безопасного интервала для транспортных средств  $i$  и  $j$ . Для отдельного транспортного средства такая составляющая может определяться как сумма пути, пройденного за время реакции, и тормозного пути:

$$S_i = v_i T_r + \frac{v_i^2}{2b_i}$$

где  $\nu_i$  — модуль скорости транспортного средства,  $T_r$  — расчетное время реакции;  $b_i$  — расчетное замедление.

Таким образом, безопасная дистанция формирует область, в которой габаритного пересечения еще не происходит, но пространственный запас между транспортными средствами уже может быть недостаточным для безопасного разъезда или выполнения управляющего воздействия.

В этом смысле величина  $D_{\text{безопас.}}^{ij}$  позволяет отделить обычное сближение транспортных средств от потенциально конфликтного взаимодействия.

Если минимальное прогнозное расстояние  $D_{\text{миним.}}^{ij} \geq D_{\text{безопас.}}^{ij}$  превышает безопасную дистанцию, то взаимодействие пары транспортных средств может быть отнесено к неконфликтному. В данном случае даже в момент наибольшего прогнозного сближения транспортные средства сохраняют дистанцию, превышающую расчетную безопасную границу. Такая пара может быть исключена из дальнейшего анализа конфликтности дорожной сцены либо сохранена только в качестве фонового взаимодействия.

## Результаты и обсуждение

В результате проведенного анализа предложен подход к первичной проверке потенциально конфликтного взаимодействия транспортных средств на основе параметров прогнозного сближения. В отличие от оценки безопасности движения только по факту зарегистрированных дорожно-транспортных происшествий, данный подход ориентирован на анализ предшествующих состояний транспортного потока, в которых между участниками движения формируются признаки опасного пространственно-временного взаимодействия [11, 12].

В качестве основных расчетных характеристик предложено использовать минимальное прогнозное расстояние между транспортными средствами  $D_{\text{миним.}}^{ij}$ , критическое расстояние  $D_{\text{крит.}}^{ij}$ , определяемое их габаритными параметрами, и безопасную дистанцию  $D_{\text{безопас.}}^{ij}$ , учитывающую параметры движения. Сопоставление указанных величин позволяет выполнить первичную классификацию взаимодействия пары транспортных средств и отнести его к одному из трех состояний: неконфликтному, потенциально конфликтному или критическому.

Предложенная проверка не является итоговой оценкой безопасности дорожной сцены и не учи-

Если минимальное прогнозное расстояние находится между критическим расстоянием и безопасной дистанцией  $D_{\text{крит.}}^{ij} \leq D_{\text{миним.}}^{ij} \leq D_{\text{безопас.}}^{ij}$ , то взаимодействие может быть отнесено к потенциально конфликтному. В данной ситуации прогнозируемое сближение не приводит к достижению критической габаритной зоны, однако безопасная дистанция оказывается нарушенной. Такое состояние указывает на недостаточность пространственного запаса и может требовать дальнейшего анализа с учетом направления движения, скорости сближения, типа маневра и устойчивости ситуации во времени.

Если минимальное прогнозное расстояние оказывается меньше или равно критическому расстоянию  $D_{\text{миним.}}^{ij} \leq D_{\text{крит.}}^{ij}$ , то взаимодействие относится к критическому. Это означает, что при сохранении принятых параметров движения прогнозируется достижение зоны геометрического пересечения или предельно малого расстояния между транспортными средствами. Такое взаимодействие должно рассматриваться как наиболее значимое для дальнейшей оценки конфликтности.

Всегда весь комплекс факторов, влияющих на развитие конфликтной ситуации. Вместе с тем она позволяет решить важную предварительную задачу — отделить пары транспортных средств, не достигающие опасных параметров сближения, от тех взаимодействий, которые требуют дальнейшего анализа. Это особенно важно при автоматизированной обработке видеоданных, когда в зоне наблюдения одновременно присутствует значительное количество участников движения, но только часть сочетаний между ними имеет потенциально конфликтный характер.

Практическое применение предложенного подхода возможно в составе систем видеомониторинга и автоматизированного анализа транспортного потока. На основе первичной проверки могут формироваться перечни потенциально опасных взаимодействий, определяться временные интервалы с повышенной концентрацией конфликтных ситуаций, а также выделяться участки улично-дорожной сети, требующие дополнительного обследования. При обработке архивных видеоданных такой подход может использоваться для ретроспективного анализа условий движения и оценки изменений после реализации мероприятий по организации дорожного движения.

## Заключение

В дальнейших исследованиях предложенный этап целесообразно развивать в нескольких направлениях. Во-первых, требуется уточнение параметров безопасной дистанции с учетом категории транспортного средства, скорости движения, состояния дорожного покрытия, видимости и иных условий движения. Во-вторых, необходимо рассмотреть устойчивость конфликтного взаимодействия во времени, поскольку кратковременное достижение порогового значения и длительное опасное сближение могут иметь различную практическую значимость. В-третьих, перспективным является переход от анализа отдельных пар транспортных средств к оценке

групповых конфликтных ситуаций, возникающих в пределах дорожной сцены.

Таким образом, предложенная методика первичной проверки потенциально конфликтного взаимодействия транспортных средств может рассматриваться как базовый расчетный этап в более общей системе оценки конфликтности транспортного потока. Ее применение позволяет перейти от общего наблюдения транспортной сцены к формализованному выделению взаимодействий, требующих последующего анализа, что создает основу для дальнейшего развития методов автоматизированной оценки безопасности движения.

## Список литературы

1. Hauer E. Traffic conflicts and exposure // *Accident Analysis & Prevention*. — 1982. — Vol. 14, No. 5. — P. 359–364. — URL: [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(82\)90014-8](https://doi.org/10.1016/0001-4575(82)90014-8).
2. Perkins S.R., Harris J.L. Traffic conflict characteristics—accident potential at intersections // *Highway Research Record*. — 1968. — No. 225. — P. 35–43. — URL: <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrr/1968/225/225-004.pdf>.
3. Asmussen E. Joint International Study for the Calibration of Traffic Conflicts Techniques // *International Calibration Study of Traffic Conflict Techniques* / ed. by E. Asmussen. — Berlin; Heidelberg: Springer, 1984. — NATO ASI Series. — Vol. 5. — URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-82109-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-82109-7_1).
4. Laureshyn A., Varhelyi A. The Swedish Traffic Conflict Technique: Observer's Manual. — Lund: Lund University, Faculty of Engineering, Department of Technology and Society, Traffic and Roads, 2018. — URL: [https://lucris.lub.lu.se/ws/files/51195704/TCT\\_Manual\\_2018.pdf](https://lucris.lub.lu.se/ws/files/51195704/TCT_Manual_2018.pdf).
5. Svensson Å. Further development and validation of the Swedish Traffic Conflict Technique. — Lund: Lund University, Institute of Technology, Department of Traffic Planning and Engineering, 1992.
6. Mishra A., Chen K., Poddar S., Posadas E., Rangarajan A., Ranka S. Using Video Analytics to Improve Traffic Intersection Safety and Performance // *Vehicles*. — 2022. — Vol. 4, No. 4. — P. 1288–1313. — URL: <https://doi.org/10.3390/vehicles4040068>.
7. Liu J., Zhao H., Zheng G., Chen Z., Li X. LLTrack: Parallel Association Framework for 2-D Multi-Object Tracking // *IEEE Access*. — 2026. — Vol. 14. — P. 75849–75864. — DOI: 10.1109/ACCESS.2026.3692961. — URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/11516625>.
8. Roy S., Abdelhadi A., Gaweesh S.M. Video-Based Surrogate Safety Analysis for Conflict Detection at Intersections Using CCTV Footage and Extreme Value Theory. — 2025. — URL: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7894809/v1>.
9. Li S., Yoon H. — S. Vehicle Localization in 3D World Coordinates Using Single Camera at Traffic Intersection // *Sensors*. — 2023. — Vol. 23, No. 7. — Article 3661. — URL: <https://doi.org/10.3390/s23073661>.
10. Kalita D., Lyakhov P. Moving Object Detection Based on a Combination of Kalman Filter and Median Filtering // *Big Data and Cognitive Computing*. — 2022. — Vol. 6, No. 4. — P. 142. — DOI: 10.3390/bdcc6040142. — EDN QZOXJI.
11. Жанказиев С. В., Дронсейко В. В., Донец Н. А. Категоризация участков скоростных автомобильных дорог для моделирования конфликтности // *Автомобиль. Дорога. Инфраструктура*. — 2025. — № 2(44). — EDN PDKOZC.
12. Предикативный подход к анализу конфликтности в транспортном потоке / В. В. Дронсейко, А. М. Меркович, А. В. Замыцких, О. И. Максимычев // *Мир транспорта и технологических машин*. — 2023. — № 3–1(82). — С. 86–92. — DOI: 10.33979/2073-7432-2023-3-1(82)-86-92. — EDN VUPKVF.



## References

1. Hauer E. Traffic conflicts and exposure. *Accident Analysis & Prevention*, 1982, vol. 14, no. 5, pp. 359–364. Available at: [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(82\)90014-8](https://doi.org/10.1016/0001-4575(82)90014-8).
2. Perkins S. R., Harris J. L. Traffic conflict characteristics—accident potential at intersections. *Highway Research Record*, 1968, no. 225, pp. 35–43. Available at: <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrr/1968/225/225-004.pdf>.
3. Asmussen E. Joint International Study for the Calibration of Traffic Conflicts Techniques. In: Asmussen E. (ed.) *International Calibration Study of Traffic Conflict Techniques*. Berlin; Heidelberg, Springer, 1984. NATO ASI Series, vol. 5. Available at: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-82109-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-82109-7_1).
4. Laureshyn A., Varhelyi A. *The Swedish Traffic Conflict Technique: Observer's Manual*. Lund, Lund University, Faculty of Engineering, Department of Technology and Society, Traffic and Roads, 2018. Available at: [https://lucris.lub.lu.se/ws/files/51195704/TCT\\_Manual\\_2018.pdf](https://lucris.lub.lu.se/ws/files/51195704/TCT_Manual_2018.pdf).
5. Svensson Å. *Further development and validation of the Swedish Traffic Conflict Technique*. Lund, Lund University, Institute of Technology, Department of Traffic Planning and Engineering, 1992.
6. Mishra A., Chen K., Poddar S., Posadas E., Rangarajan A., Ranka S. Using Video Analytics to Improve Traffic Intersection Safety and Performance. *Vehicles*, 2022, vol. 4, no. 4, pp. 1288–1313. Available at: <https://doi.org/10.3390/vehicles4040068>.
7. Liu J., Zhao H., Zheng G., Chen Z., Li X. LLTrack: Parallel Association Framework for 2-D Multi-Object Tracking. *IEEE Access*, 2026, vol. 14, pp. 75849–75864. DOI: 10.1109/AC-CESS.2026.3692961. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/11516625>.
8. Roy S., Abdelhadi A., Gaweesh S. M. Video-Based Surrogate Safety Analysis for Conflict Detection at Intersections Using CCTV Footage and Extreme Value Theory, 2025. Available at: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7894809/v1>.
9. Li S., Yoon H.—S. Vehicle Localization in 3D World Coordinates Using Single Camera at Traffic Intersection. *Sensors*, 2023, vol. 23, no. 7, article 3661. Available at: <https://doi.org/10.3390/s23073661>.
10. Kalita D., Lyakhov P. Moving Object Detection Based on a Combination of Kalman Filter and Median Filtering. *Big Data and Cognitive Computing*, 2022, vol. 6, no. 4, p. 142. DOI: 10.3390/bdcc6040142. EDN QZOXJL.
11. Zhankaziev S. V., Dronsejko V. V., Donets N. A. Kategorizatsiya uchastkov skorostnykh avtomobilnykh dorog dlya modelirovaniya konfliktnosti [Categorisation of motorway sections for traffic conflict modelling]. *Avtomobil. Doroga. Infrastruktura* [Automobile. Road. Infrastructure], 2025, no. 2(44). EDN PDKOZC. (In Russ.)
12. Dronsejko V. V., Merkovich A. M., Zamytskikh A. V., Maksimychiev O. I. Predikativnyj podkhod k analizu konfliktnosti v transportnom potoke [A predictive approach to conflict analysis in traffic flow]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin* [World of Transport and Technological Machines], 2023, no. 3–1(82), pp. 86–92. DOI: 10.33979/2073-7432-2023-3-1(82)-86-92. EDN VUPKVF. (In Russ.)

| Сведения об авторах                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Information about the authors                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Ахохов Асланбек Челиматович</b><br/> доктор технических наук, профессор кафедры «Логистика»<br/> ФГБОУ ВО Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)<br/> Адрес: 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64<br/> ORCID: 0009-0009-8632-4367<br/> E-mail: logistika@madi.ru</p>                                                            | <p><b>Akhohov Aslanbek Chelimatovich</b><br/> Doctor of Technical Sciences, Professor,<br/> Department of Logistics, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)<br/> Address: 125319, Russia<br/> ORCID: 0009-0009-8632-4367<br/> E-mail: logistika@madi.ru</p>                                    |
| <p><b>Головашин Георгий Эдуардович</b><br/> старший преподаватель кафедры «Организация и безопасность движения, интеллектуальные транспортные системы» ФГБОУ ВО Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)<br/> Адрес: 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64<br/> ORCID: 0009-0001-1900-3397<br/> E-mail: georgii.golovashin@yandex.ru</p> | <p><b>Golovashin Georgiy Eduardovich</b><br/> Senior Lecturer, Department of Traffic Organisation and Safety, Intelligent Transport Systems, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)<br/> Address: 125319, Russia<br/> ORCID: 0009-0001-1900-3397<br/> E-mail: georgii.golovashin@yandex.ru</p> |
| <p><b>Меркович Александр Михайлович</b><br/> ассистент кафедры «Организация и безопасность движения, интеллектуальные транспортные системы» ФГБОУ ВО Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)<br/> Адрес: 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64<br/> ORCID: 0009-0001-7266-5787<br/> E-mail: amerkovich@hotmail.com</p>                  | <p><b>Merkovich Alexander Mikhailovich</b><br/> Teaching Assistant, Department of Traffic Organisation and Safety, Intelligent Transport Systems, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)<br/> Address: 125319, Russia<br/> ORCID: 0009-0001-7266-5787<br/> E-mail: amerkovich@hotmail.com</p>  |
| <p><b>Пронякин Никита Сергеевич</b><br/> аспирант Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)<br/> Адрес: 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64<br/> ORCID: 0009-0007-9283-7930<br/> E-mail: nikitapronyakin@simetrargroup.ru</p>                                                                                                           | <p><b>Pronyakin Nikita Sergeevich</b><br/> Postgraduate Student, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)<br/> Address: 125319, Russia<br/> ORCID: 0009-0007-9283-7930<br/> E-mail: nikitapronyakin@simetrargroup.ru</p>                                                                         |

Статья получена 06.04.2026 | статья опубликована 25.06.2026

Article received 06.04.2026 | Article published 25.06.2026