

systems and technologies of transportation : collection of scientific tr. Dnepropetr. national. University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. – Dnipro : DNUZHT, 2017. – Vol. 14. – pp. 86–94.

9. Directory of switch products for railways / Novosibirsk Switch Plant, 2007. – 172 p.

10. Filatov, E. A. The influence of s-shaped curves on the safety of shunting work /

E. A. Filatov // Tikhomirov readings: Engineering technology of the transportation process : materials of the International Scientific and Practical Conference / Moscow transp. and Communications Rep. Belarus, Belarus. state University transp. ; under the general editorship of A. A. Yerofeyev. Gomel : BelGUT, 2021. – pp. 387–391.

УДК 656.13.08

БОГДАНОВИЧ С. В., канд. техн. наук, доц.,
доцент кафедры «Транспортные системы и технологии»
E-mail: bsw001@gmail.com

ЗАЙЦЕВА И. С.
инженер кафедры «Транспортные системы и технологии»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 10.06.2024

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ОПАСНОСТЕЙ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Безопасность пересечений и примыканий загородных автомобильных дорог является значительной проблемой для инженеров и исследователей во всем мире. Несмотря на более низкую интенсивность движения по сравнению с городскими районами, на загородные дороги приходится непропорционально большое количество смертельных случаев и тяжелых травм. Это несоответствие может быть связано с различными факторами, включая более высокую скорость транспортных средств, ограниченную видимость, отсутствие в ряде случаев необходимых дорожных знаков и освещения, а также особенности поведения водителей на загородных дорогах. В Республике Беларусь количество только ДТП с пострадавшими на пересечениях и примыканиях автомобильных дорог составляет около 10 % от общего числа на протяжении длительного времени. Следовательно, оценка и смягчение опасностей, связанных с такими участками, являются критически важными направлениями действий владельцев дорог. Пересечения и примыкания автомобильных дорог представляют собой сложную среду, где сходятся транспортные средства, пешеходы, велосипедисты и даже животные, создавая потенциальные точки конфликта. Оценка рисков безопасности, связанных с этими пересечениями, является многогранной задачей, которая требует исчерпывающего понимания факторов, способствующих авариям, и развития эффективных противодействий. На протяжении многих лет исследователи и практики предложили различные подходы для оценки эффективности безопасности пересечений загородных дорог, начиная от традиционных методов, основанных на исторических данных о ДТП, до более продвинутых технологий. Задачей данной статьи является анализ некоторых существующих подходов к оценке опасностей пересечений автомобильных дорог. Изучение сильных сторон и ограничений каждого метода позволит определить передовые практики и предложить рекомендации по улучшению процесса оценки безопасности.

Ключевые слова: Безопасность дорожного движения; пересечения дорог; оценка опасности; статистика ДТП; современные методы; прощающие дороги.

Введение

Безопасность пересечений и примыканий загородных автомобильных дорог является значительной проблемой для инженеров и исследователей по всему миру. Несмотря на более низкую интенсивность движения по сравнению с городскими районами, на загородных дорогах приходится непропорционально большое количество смертельных случаев и тяжелых травм. Это несоответствие может быть связано с различными факторами, включая более высокую скорость транспортных средств, ограниченную видимость, отсутствие в ряде случаев необходимых дорожных знаков и освещения, а также особенности поведения водителей на загородных дорогах. В Республике Беларусь в течение уже длительного времени количество только ДТП с пострадавшими на пересечениях и примыканиях автомобильных дорог составляет около 10% от общего количества. Следовательно, оценка и смягчение опасностей, связанных с такими участками, являются критически важными направлениями действий владельцев дорог.

Пересечения и примыкания автомобильных дорог – это сложная среда, где сходятся транспортные средства, пешеходы, велосипедисты и даже животные, создавая потенциальные точки конфликта. Оценка рисков безопасности, связанных с этими пересечениями, является многогранной задачей, которая требует исчерпывающего понимания факторов, способствующих авариям, и развития эффективных противодействий. На протяжении многих лет исследователи и практики предложили различные подходы для оценки эффективности безопасности пересечений загородных дорог, начиная от традиционных методов, основанных на исторических данных о ДТП до более продвинутых технологий.

Нашей задачей является анализ некоторых существующих подходов к оценке опасностей пересечений автомобильных дорог. Изучение сильных сторон и ограничений каждого метода позволит определить передовые практики и предложить рекомендации по улучшению процесса оценки безопасности.

Оценка опасности пересечений: традиционные подходы на основе статистики ДТП

Традиционно, оценка опасности пересечений дорог основывалась на анализе исторических данных о ДТП. Этот подход предполагает, что будущая частота и тяжесть аварий будет соответ-

ствовать прошлым тенденциям, если условия на дороге останутся неизменными. В этом разделе мы рассмотрим основные методы, используемые в рамках традиционного подхода, а также их преимущества и ограничения.

Один из наиболее распространенных методов – это сравнение частоты ДТП на конкретном пересечении со средними показателями для подобных пересечений в регионе. Этот метод, известный как метод ранжирования, позволяет выявить наиболее опасные пересечения и наметить приоритетные меры по их улучшению [1].

Метод ранжирования является широко используемым подходом при оценке опасности дорожной инфраструктуры. Суть метода заключается в вычислении индекса опасности для каждого пересечения, который представляет собой отношение фактического количества ДТП к ожидаемому количеству, вычисленному на основе средних региональных показателей.

Для начала проводится классификация пересечений по типу (пересечение в одном уровне, круговое движение, развязка и т. д.), значению и категории дорог (автомагистраль, магистральная улица, местная дорога и т. д.) и уровню интенсивности движения. Затем, на основе статистики ДТП за определенный период (обычно 3–5 лет), вычисляется среднее количество ДТП для каждой группы пересечений.

Далее, для каждого конкретного пересечения вычисляется индекс опасности (I_o). Этот показатель рассчитывается по следующей формуле:

$$I_o = A_{\phi} / A_o, \quad (1)$$

где A_{ϕ} – фактическое количество ДТП на пересечении за рассматриваемый период;

A_o – ожидаемое количество ДТП, вычисленное на основе средних региональных показателей для группы, к которой относится пересечение.

Полученные значения индекса опасности используются для ранжирования пересечений. Чем выше значение I_o , тем выше уровень опасности пересечения. Таким образом, метод ранжирования позволяет выявить наиболее опасные пересечения и определить приоритетные меры по их улучшению.

Одной из разновидностей метода ранжирования является метод АНР (процесс аналитической иерархии) [2, 3]. В нем методология ранжирования опасных мест безопасности дорожного движения включает в себя оценку опасных условий

безопасности на пересечениях как один из ключевых факторов. Оценка безопасности пересечения может включать анализ таких факторов, как объем трафика, скорость транспортных средств, геометрическая конструкция пересечения, наличие устройств управления движением (например, сигналы, знаки), условия видимости и исторические данные об аварии. Рассматривая эти факторы, эксперты могут оценить уровень опасности или риска, связанного с конкретным пересечением. Кроме того, метод можно использовать для определения относительной важности факторов безопасности на пересечениях и соответствующего назначения веса. Подход помогает количественно определить условия безопасности на пересечениях и может способствовать их ранжированию на основе их уровня опасности или опасности.

Еще одну разновидность метода ранжирования предложили в Чехии [4]. Здесь также предлагается дополнительный учет факторов, связанных с перекрестками, таких как наличие технических средств организации дорожного движения, способ доступа на дорогу и др. Оценивая эти факторы риска и назначая оценки тяжести риска, метод позволяет оценить опасность пересечений с точки зрения ДТП и тяжести аварий.

Несмотря на простоту и доступность метод ранжирования имеет определенные ограничения. Он не учитывает влияние отдельных факторов дорожной среды (например, освещение, ширина проезжей части, наличие пешеходных переходов и т. д.) на частоту ДТП. Кроме того, метод ранжирования может неточно оценивать уровень опасности пересечений с низким трафиком, так как в этом случае статистика ДТП может быть недостаточно представлена.

Метод оценки опасности пересечений автомобильных дорог на основе регрессионного анализа является одним из наиболее эффективных и известных инструментов в области безопасности дорожной инфраструктуры. Он позволяет оценить вклад отдельных факторов, таких как скорость движения, видимость, наличие освещения и т. д., в общую опасность пересечения [5, 6].

Регрессионный анализ является статистическим методом, который позволяет оценить взаимосвязь между зависимой переменной (в нашем случае - числом аварий на пересечении) и одним или несколькими факторами (независимыми переменными). В рамках данного метода строится регрессионная модель, которая описывает зависимость числа аварий от значений факторов.

Эмпирический Байесовский метод – это статистический метод, который можно использовать для оценки безопасности на пересечениях дорог [7]. Метод объединяет исторические данные об авариях на конкретном пересечении с данными с похожих пересечений, чтобы обеспечить более точную оценку безопасности пересечения. Учет таких факторов, как объем движения, конструкция пересечения, исторические данные об аварии может повысить точность оценки безопасности на пересечениях и помочь идентифицировать участки для потенциальных улучшений безопасности.

Одним из основных преимуществ регрессионного анализа является возможность оценить вклад каждого фактора в общую опасность пересечения. Это позволяет выявить наиболее значимые факторы и разработать наиболее эффективные меры по повышению безопасности дорожного движения.

При оценке опасности пересечений автомобильных дорог на основе регрессионного анализа используются следующие факторы:

1. Скорость движения. Чем выше скорость движения, тем выше риск возникновения аварий на пересечении.

2. Видимость. Недостаточная видимость может привести к тому, что водители не смогут вовремя заметить другие транспортные средства или пешеходов, что может привести к аварии.

3. Наличие освещения. Дорожное освещение позволяет улучшить видимость на пересечении в темное время суток, что снижает риск возникновения аварий.

4. Тип пересечения. Существует несколько типов пересечений (перекресток, Т-образное пересечение, круговое движение и т. д.), каждый из которых имеет свои особенности и риски.

5. Интенсивность движения. Чем выше интенсивность движения, тем выше риск возникновения аварий на пересечении.

Для оценки вклада каждого фактора в общую опасность пересечения строится регрессионная модель, в которой число аварий является зависимой переменной, а факторы – независимыми переменными. Значения коэффициентов регрессионной модели показывают, насколько сильно каждый фактор влияет на число аварий.

Например, в одном из исследований было показано, что увеличение скорости движения на 1 км/ч приводит к увеличению числа аварий на пересечении на 2 % [8]. Это говорит о том, что скорость движения является одним из наиболее значимых факторов, влияющих на безопасность пересечений.

Не менее значимым фактором является расстояние видимости, которое в случае пересечений и примыканий определяется по широко известной формуле:

$$S_1 = \frac{v \cdot t_p}{3,6} + \frac{K_3 \cdot v^2}{254 \cdot (\varphi_{пр} + i + f_v)} + l_0, \quad (2)$$

где t_p – время реакции водителя и включения тормозов;

v – расчетная скорость движения автомобиля, принимаемая в зависимости от категории пересекающихся или примыкающих дорог, км/ч;

K_3 – коэффициент, учитывающий эффективность срабатывания тормозов ($K_3 = 1,2$ – для легковых автомобилей; $K_3 = 1,3-1,4$ – для грузовых автомобилей, автопоездов и автобусов);

$\varphi_{пр}$ – коэффициент продольного сцепления, который зависит от состояния покрытия;

i – продольный уклон дороги;

f_v – коэффициент сопротивления качению;

l_0 – зазор безопасности, позволяющий остановиться не вплотную к препятствию, $l_0 = 5-10$ м.

Интенсивность движения также немаловажна при оценке опасности пересечения. Однако использование этого показателя в регрессионном анализе в условиях низкой интенсивности движения, что характерно для значительной части автомобильных дорог Республики Беларусь, может исказить результат. При низкой интенсивности движения при оценке опасности начинают играть роль психологические факторы.

Таким образом, метод оценки опасности пересечений автомобильных дорог на основе регрессионного анализа позволяет выявить наиболее значимые факторы и разработать наиболее эффективные меры по повышению безопасности дорожного движения.

Результаты регрессионного анализа могут быть использованы для разработки моделей предсказания риска ДТП, которые, в свою очередь, могут помочь транспортным инженерам и планировщикам принимать более обоснованные решения о необходимости внедрения мер по повышению безопасности.

Одним из широко распространенных методов анализа опасности пересечений является так называемый систематический подход [9]. Анализ при использовании этого подхода основывается на исследовании «типовых» аварий и проверенных контрмер, выбранных на основе этих «типовых» аварий. При использовании этого метода из общего количества ДТП

выбираются типовые аварии. Места, где происходят эти виды ДТП и места с аналогичными геометрическими характеристиками систематически улучшаются с помощью низкочастотных инженерных мероприятий.

Другое применение систематического подхода начинается с определения недорогостоящих и эффективных контрмер, улучшающих безопасность дорожного движения. После того, как базовый набор контрмер определен, анализируются данные о ДТП для выбора мест, где контрмеры могут быть внедрены экономически эффективно. Оценки последствий внедрения могут быть сделаны с точки зрения затрат на применение мероприятий и выгод за счет снижения аварийности.

К преимуществам системного подхода относятся:

1. Широкий эффект. Систематический подход может повлиять на проблемы безопасности в большом количестве мест на всей дорожной сети.

2. Предотвращение типовых ДТП. С использованием метода возможно повысить безопасность в тех местах, где аварии еще не произошли, но их характеристики схожи с местами с уже произошедшими ДТП (например, геометрические характеристики, интенсивность движения).

3. Экономичность. Внедрение недорогих решений в рамках всей сети дорог может быть более экономически оправданным подходом к повышению безопасности движения.

4. Снижение потребности в данных. Систематический подход может использоваться без подробной статистики ДТП для конкретных мест.

К недостаткам систематического подхода относится то, что оправдать предлагаемые мероприятия может быть сложно. Поскольку этот подход не всегда учитывает статистику ДТП, может быть сложно оправдать улучшения в тех местах, где ничего не произошло. В связи с этим, специалисты по безопасности дорожного движения должны будут обосновывать свои предложения для лиц, принимающих решение о выделении финансирования.

Не менее распространенным является анализ местоположения ДТП и выявление участков их концентрации [9]. Этот подход основывается исключительно на анализе статистики дорожно-транспортных происшествий. Поскольку на некоторых участках сети дорог количество ДТП может быть значительно выше, чем в большинстве других, важно выявить эти места и проанализировать их соответствующим образом.

К преимуществу подхода по выявлению участков концентрации ДТП относится то, что он сосредоточен непосредственно на местах с произошедшими ДТП и улучшает такие места.

К недостаткам подхода относятся:

- предположение, что прошлое равно будущему. Этот подход предполагает, что места концентрации ДТП по-прежнему иметь одинаковое количество и тип аварий в будущем;

- минимальная общая выгода. Этот подход часто фокусируется на конкретных местах, и из-за этого трудно оказать значительное влияние на всю сеть дорог.

Еще одним методом анализа опасности пересечений является комплексный подход [9]. Этот подход вводит концепцию 4Е: Engineering, Enforcement, Education, Emergency Medical Services (Инженерия, правоприменение, образование, скорая медицинская помощь). При таком подходе признается, что не во всех местах можно решить проблему исключительно за счет улучшения инфраструктуры и для заметного улучшения безопасности пересечения часто требуется использование дополнительных методов. Например, могут быть выявлены некоторые перекрестки, на которых имеют место частые нарушения правил дорожного движения, для которых соответствующей контрмерой будет являться целенаправленное правоприменение. Так, наиболее распространенными нарушениями на перекрестках являются превышение скорости, нарушение очередности проезда, агрессивное вождение, неисполнение ремней безопасности. При выявлении мест, в которых имеются такие нарушения целесообразно привлечение правоохранительных органов и введение соответствующих мер (например установка дорожных знаков и камер фотофиксации), чтобы уменьшить вероятность будущих нарушений правил дорожного движения и связанных с ними аварий. Усилия в области образования и информационно-разъяснительной работы должны дополнять усилия по обеспечению соблюдения ПДД, с тем чтобы повысить эффективность каждой из мер.

Новозеландские исследователи предлагают количественно оценивать опасность пересечений и примыканий с использованием индекса безопасности [10]. Метод является одним из инструментов новозеландской системы RISA (Road Infrastructure Safety Assessment) – (Оценка безопасности дорожной инфраструктуры). При использовании метода вводится понятие базового перекрестка, который имеет следующие характеристики:

- скорость 85 %-ной обеспеченности на главной дороге составляет 95 км/ч;

- установлены все необходимые знаки приоритета;

- расстояния видимости во всех направлениях соответствует нормативным требованиям или превосходят их;

- расположен на прямом участке дороги или участке с радиусом более 600 м;

- не находится на вершине кривой и не имеет подходов с уклонами более 6%;

- переходно-скоростные полосы отсутствуют;

- пересечение не канализировано;

- в случае Т-образного примыкания установлен знак «Направление поворота» (аналог 1.31.3 в Республике Беларусь);

- состояние дорожного покрытия отличное, дорожная разметка в хорошем состоянии;

- серьезных опасностей нет в радиусе 15 м от перекрестка во всех направлениях;

- искусственное освещение отсутствует.

Индекс безопасности, разработанный для загородных перекрестков, включает в себя так называемый показатель воздействия и показатель меры риска. Индекс безопасности в данном случае напрямую связан с риском ДТП. Показатель воздействия учитывает как интенсивность движения, так и скорость движения через перекресток. Мера риска называется индексом риска и это множитель, который применяется к прогнозу аварийности базовой модели для получения значения индекса безопасности. Индекс риска состоит из ряда факторов риска, которые учитывают различные особенности перекрестка, такие как видимость. Эти факторы используются только тогда, когда характеристики перекрестка отличаются от характеристик базового перекрестка, в противном случае они равны нулю.

Несмотря на широкое распространение и относительную простоту использования, традиционные подходы к оценке опасности пересечений на основе исторических данных о ДТП имеют ряд ограничений. Во-первых, они реагируют на аварии, а не предотвращают их, то есть меры по улучшению безопасности принимаются только после того, как произошло определенное количество ДТП. Во-вторых, эти подходы не учитывают конфликтное взаимодействие промахи и другие инциденты, которые не привели к аварии, но могли бы свидетельствовать об опасности пересечения. В-третьих, они не всегда адекватно отражают реальную ситуацию, так как исторические данные о ДТП могут быть неполными или искаженными.

Подходы на основе косвенных показателей

Косвенные показатели – это индикаторы, которые косвенно отражают риск ДТП, но не требуют наличия фактических аварий для их измерения. Они могут включать в себя такие показатели, как конфликтное взаимодействие, критические события, скорость движения, временные и пространственные зазоры между транспортными средствами и другие факторы.

Д. В. Капский методы прогнозирования и оценки аварийности, в зависимости от реализации и степени опасности дорожно-транспортной ситуации разделяет на статистические, экспертные, конфликтных ситуаций и потенциальной опасности (группа методов) [11, 12, 13].

Одной из разновидностей косвенных методов оценки риска возникновения ДТП является подход, учитывающий наличие конфликтных точек. Такой подход в свое время был отражен в ВСН 25-86, а с его отменой закреплен практически без изменений в российском ОДМ 218.4.005-2010. В соответствии с этими документами, на пересечениях в одном уровне безопасность движения зависит от направления и интенсивности пересекающихся потоков, числа точек пересечения, разветвлений и слияния потоков движения - конфликтных точек, а также от расстояния между этими точками. Чем больше автомобилей проходит через конфликтную точку, тем больше вероятность возникновения в ней дорожно-транспортного происшествия.

Один из наиболее распространенных методов – это анализ видеозаписей с пересечений для выявления конфликтных зон и критических событий [14].

Этот метод позволяет оценить частоту и характер потенциально опасных ситуаций, которые могут привести к ДТП, и идентифицировать факторы, способствующие их возникновению. Однако он требует значительных ресурсов для сбора и обработки видеоданных, а также может быть чувствителен к субъективности экспертов, проводящих анализ.

Другой метод, основанный на косвенных мерах безопасности, это использование данных с датчиков и систем мониторинга трафика, таких как радары, лидары и камеры. Эти данные могут быть использованы для оценки скорости движения, временных и пространственных зазоров между транспортными средствами, а также других параметров, характеризующих безопасность пересечения. Преимуществом этого метода является объективность и высокая точность измерений, однако он также требует значительных инвестиций в оборудование и инфраструктуру.

Наконец, существует гибридный подход, сочетающий использование видеоданных и данных с датчиков для комплексной оценки опасности пе-

ресечений. Этот подход позволяет преодолеть некоторые ограничения отдельных методов, однако он требует более сложной системы сбора и обработки данных.

Подходы на основе косвенных показателей могут давать достаточно хорошие результаты в условиях городов с большой интенсивностью движения на пересечениях и примыканиях. Однако на загородных дорогах при низкой интенсивности движения, что характерно для Республики Беларусь, особенно для дорог категорий II и ниже, большинство косвенных показателей не будут эффективными. Исключение составляет, разве что, экспертный метод, который, впрочем, можно адаптировать для любых условий и ситуаций.

Перспективы развития подходов к оценке опасности пересечений автомобильных дорог

Развитие передовых технологий и искусственного интеллекта открывает новые возможности для улучшения безопасности пересечений автомобильных дорог.

Одно из таких направлений - использование систем V2X, которые позволяют обмениваться информацией между транспортными средствами, инфраструктурой и другими участниками дорожного движения. Эти системы могут предоставлять водителям предупреждения о потенциально опасных ситуациях, а также способствовать оптимизации управления трафиком на пересечениях [15].

Коммуникации V2X имеют большой потенциал для повышения безопасности дорожного движения и пассажиров и рассматриваются как важная часть наиболее продвинутых интеллектуальных транспортных систем (ИТС). В настоящее время имеется уже несколько научно-исследовательских проектов по всему миру, которые изучали и изучают различные аспекты связи V2X. Некоторые из этих проектов посвящены конкретным вопросам использования связи V2X для обеспечения безопасности на перекрестках (безопасность на перекрестках на основе связи), поскольку перекрестки являются наиболее сложными условиями движения, где часто происходят аварии с травмами и смертельным исходом.

Во многих странах V2X сейчас зрелой, недорогой и широкодоступной технологией. Используя коммуникации V2X транспортное средство может общаться с другими транспортными средствами по соседству, чтобы поддержать приложения для безопасности, такие, например, как предупреждение о возможном столкновении. Для безопасности пересечения коммуникация V2X может использоваться в качестве технологии, способствующей комбинированию системы светофоров, датчиков в транспортных средствах и датчиков на основе инфраструктуры [16].

Другое перспективное направление – применение искусственного интеллекта и машинного обучения для анализа больших объемов данных, связанных с безопасностью пересечений. Эти технологии могут помочь выявить скрытые закономерности и факторы риска, а также разработать более эффективные стратегии по повышению безопасности [17].

Наконец, развитие систем автономного управления транспортными средствами может значительно изменить подходы к оценке опасности пересечений. Автономные транспортные средства могут более эффективно взаимодействовать друг с другом и с инфраструктурой, что позволит снизить риск ДТП на пересечениях.

Особенности учета расстояния видимости пересечения в условиях «прощающих» дорог

Выше мы уже отметили, что расстояние видимости является одним из важнейших факторов, влияющих на безопасность пересечений.

Дорожные службы должны стремиться к тому, чтобы обеспечивать в районе пересечений и примыканий видимость не хуже определенной по (2). Если невозможно обеспечить такое расстояние видимости, необходимо приложить все усилия для обеспечения видимости на расстоянии остановочного пути, определяемого следующим образом:

$$S_0 = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot V_A + \frac{V_A^2}{2j}, \text{ м}, \quad (3)$$

где t_1 – нормативное время реакции водителя, с;
 t_2 – время запаздывания тормозного привода, с;
 t_3 – время нарастания замедления, с;
 V_A – скорость автомобиля, м/с;
 j – установившееся замедление автомобиля при торможении, м/с².

Следует отметить, что во многих зарубежных странах формула для вычисления расстояния видимости несколько отличается от (2). Чаще всего можно она выглядит следующим образом:

$$SSD = \frac{R_T}{3,6} + \frac{V^2}{254 \cdot (d + 0,01 \cdot \alpha)}, \quad (4)$$

где SSD – расстояние видимости для остановки, м (от Stopping Sight Distances);

R_T – время реакции водителя, с;

V – скорость движения, км/ч;

d – коэффициент замедления, зависит от величины коэффициент продольного сцепления;

α – продольный уклон участка дороги, %.

Существуют различные подходы к выбору времени реакции водителя. В Республике Беларусь оно принимается дифференцированно в зависимости от общей характеристики дорожно-транспортной ситуации с типичными вариантами [18] и может изменяться от 0,6 до 1,4 с в дневное время.

В Северной Америке, Австралии, Новой Зеландии время реакции в (4) чаще всего принимается равным 2,5 с, PIARC использует значение 1,8 с.

Если при изменении скорости от 60 км/ч до 120 км/ч провести расчеты по (2), (3) с учетом рекомендуемых в нашей стране значений констант, а также по (4), приняв в этой формуле время реакции 1,8 с, то для горизонтального сухого участка, для легкового автомобиля получим следующие значения видимости (рис. 1).



Рисунок 1 – Сравнение расстояний видимости для остановки на пересечении

Из рис.1 видно, что остановочный путь и SSD отличаются незначительно, тогда как расстояние видимости заметно больше.

Если принять во внимание, что конкретное значение видимости на пересечении будет влиять на оценку безопасности с использованием нечеткой логики, о чем говорилось нами ранее [19], возникает вопрос о том, на какое конкретно расстояние следует ориентироваться при назначении диапазонов изменения термов лингвистических переменных [19].

В последнее время в условиях широкого распространения в мире современных концепций управления безопасностью дорожного движения, таких как «Безопасная система» начинает распространяться также подход «дорога, прощающая ошибки», или просто «прощающая» дорога. В связи с этим пересматривается также и подход к оценке видимости.

В соответствии с исследованиями, проведенными PIARC, вместо долей секунды (простой стимул – реакция) среднестатистическому водителю требуется не менее 4–6 секунд, чтобы адаптироваться к новым условиям во-

ждения при внезапном изменении дорожной ситуации (восприятие – время принятия решения) [20, 21].

При движении со скоростью 100 км/ч за это время (с учетом времени торможения) водители преодолевают расстояние до 300 м. «Прощающая» дорога даст водителям необходимое время для адаптации к новым и неожиданным ситуациям и позволит безопасно реорганизовать свои программы вождения. Именно поэтому недостаточно предоставить водителю участок, обеспечивающий время реакции 2–3 с (расстояние остановки с участком реагирования и маневра торможения).

На дороге также должен быть обеспечены участки упреждения и реагирования продолжительностью минимум 2–3 секунды каждый для выявления неожиданной или необычной ситуации, требующей более сложных решений. В более сложных ситуациях или в ситуациях, связанных с более высокими скоростями, рекомендуется также предусмотреть участок предварительного предупреждения с соответствующими знаками [22]. Таким образом, например, к расстоянию, определенному по (3) или (4) при скорости 100 км/ч необходимо добавить 2 участ-

ка по 56–84 м (2–3 с со скоростью 28 м/с). Назовем полученные расстояния соответственно «прощающее» расстояние для остановки и «прощающий» SSD. Графически это представлено на рис. 2 и 3. На рисунках также представлено расстояние видимости, определенное по (2).

Анализ полученных результатов позволяет заключить следующее. Определенное по зарубежным методикам расстояние SSD с добавлением двух участков по 3 с (упреждения и реагирования) вплотную приближается к значению расстояния видимости, определенному по формуле (2). Это говорит о хорошем соответствии определенного таким способом расстояния подходу «дорога, прощающая ошибки». Остановочный путь, рассчитанный по (3) не обеспечивает возможности безопасно остановиться, если ориентироваться на концепцию «прощающей» дороги. Минимальный безопасный остановочный путь в этом случае будет определяться по (3) с добавлением 2 участков по 2 с. Пример представлен на рис. 4. Пересечение справа не видно на расстоянии 83 м, что было определено анализом видеоизображения и подтверждено измерениями в программе Google Earth.

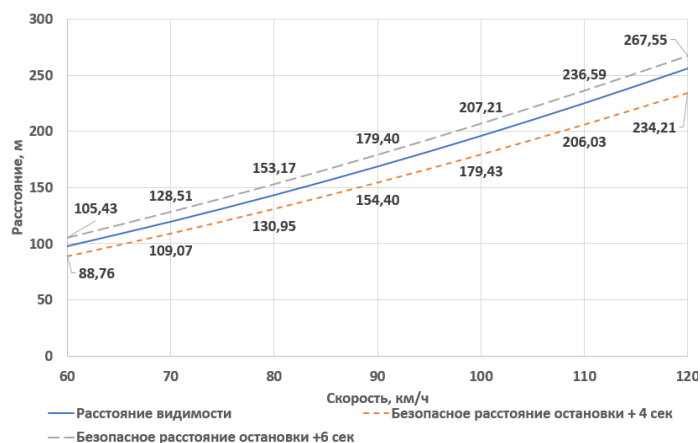


Рисунок 2 – Сравнение расстояния видимости и «прощающего» расстояния для остановки

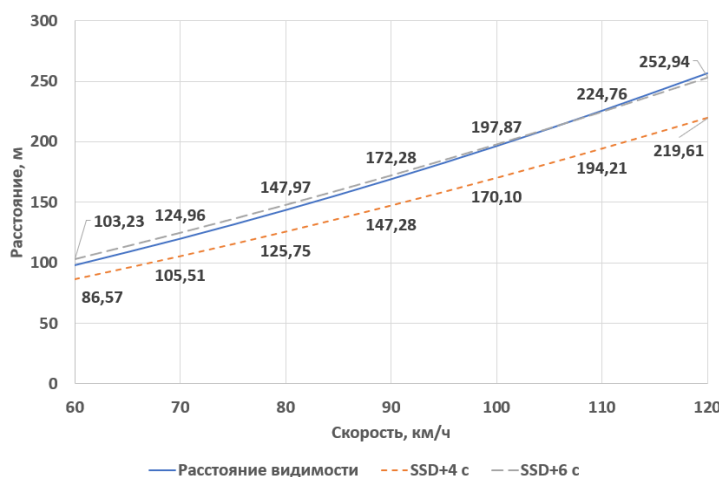


Рисунок 3 – Сравнение расстояния видимости и «прощающего» SSD



Рисунок 4 – Примыкание не видно в 83 метрах. Неожиданное торможение и высокая скорость вызовут наезд сзади

При скорости движения 78 км/ч, как у автомобиля на рис. 4, остановочный путь составит 83,11 м, что не позволит безопасно остановиться в случае появления препятствия на пересечении.

Заключение

На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Традиционные подходы к оценке опасности пересечений имеют ряд ограничений, связанных с реактивным подходом к реагированию на ДТП, неполнотой данных и отсутствием учета конфликтного взаимодействия и других потенциально опасных ситуаций.

2. Подходы, основанные на косвенных показателях, позволяют преодолеть некоторые из этих ограничений, однако они требуют значительных ресурсов для сбора и обработки данных, не все из них подходят для условий низкой интенсивности движения.

3. Перспективные технологии, такие как системы V2X, искусственный интеллект и автономные транспортные средства, открывают новые возможности для улучшения безопасности пересечений дорог.

4. Учитывая современные подходы к обеспечению безопасности дорожного движения при оценке опасности пересечений автомобильных дорог следует ориентироваться на концепцию «прощающей» дороги. В связи с этим особое внимание необходимо уделять обеспечению необходимого расстояния видимости.

С учетом изложенного выше можно сформулировать следующие перспективные направления исследований в области безопасности дорожного движения:

1. Сочетать использование традиционных и косвенных мер для комплексной оценки опасности пересечений.

2. Инвестировать в развитие и внедрение передовых технологий, таких как системы V2X, искусственный интеллект и автономные транспортные средства, для улучшения безопасности пересечений автомобильных дорог.

3. Проводить дальнейшие исследования в области разработки и применения новых методов и технологий для оценки и повышения безопасности пересечений автомобильных дорог.

Таким образом, комплексный подход, включающий использование различных методов и технологий, позволит более эффективно оценивать и улучшать безопасность пересечений загородных автомобильных дорог, снижая риск ДТП и сохраняя жизни и здоровье участников дорожного движения.

Литература

1. Intersection Safety: A Manual for Local Rural Road Owners : [website]. – URL: https://safety.fhwa.dot.gov/local_rural/training/fhwasaa1108/ch3.cfm/ (date of access: 24.04.2024).

2. Agarwal, Pradeep Kumar; Patil, Premit Kumar; Mehar, Rakesh (2013). A Methodology for Ranking Road Safety Hazardous Locations Using Analytical Hierarchy Process. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 104(), 1030–1037.

3. Chowi, S. S., Shahi, P. B. Thapa, S. Identification and Ranking of Road Safety Hazardous Locations: Case Study of Kotre–Aabhukhareni Section of Prithvi Highway : [website]. – URL: <https://www.nepjol.info/index.php/injet/article/view/60934/45597> / (date of access: 24.04.2024).
4. Ambros, Jiří; Havránek, Pavel; Valentová, Veronika; Křivánková, Zuzana; Striegler, Radim (2016). Identification of Hazardous Locations in Regional Road Network – Comparison of Reactive and Proactive Approaches. *Transportation Research Procedia*, 14, 4209–4217.
5. Roshandeh, Arash M.; Agbelie, Bismark R.D.K.; Lee, Yongdoo (2016). Statistical modeling of total crash frequency at highway intersections. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 3(2), 166–171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.03.003>.
6. Poch, Mark; Mannering, Fred (1996). Negative Binomial Analysis of Intersection-Accident Frequencies. *Journal of Transportation Engineering*, 122(2), 105–113.
7. Hauer, Ezra; Harwood, Douglas; Council, Forrest; Griffith, Michael (2002). Estimating Safety by the Empirical Bayes Method: A Tutorial. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1784(), 126–131.
8. Speed and Speed Management 2018 : [website]. – URL: <https://road-safety.transport.ec.europa.eu/system/files/2021-07/ersosynthesis2018-speed-speedmanagement.pdf> (date of access: 24.04.2024).
9. Golembiewski, G.A. and Chandler, B. Intersection Safety: A Manual for Local Rural Road Owners : [website]. – URL: <https://highways.dot.gov/sites/fhwa.dot.gov/files/2022-06/fhwas1108.pdf>. (date of access: 24.04.2024).
10. Turner, Shane & Gardener, Robyn. Rural Intersection Risk Assessment Tool : [website]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/335277470_Rural_Intersection_Risk_Assessment_Tool / (date of access: 24.04.2024).
11. Капский, Д. В. Метод конфликтных зон прогнозирование дорожно-транспортной аварийности по потенциальной опасности: монография / Д. В. Капский. – Москва: Новое знание, 2015. – 372 с.
12. Капский, Д. В. Методология повышения качества дорожного движения/ Д. В. Капский. – Минск : БНТУ, 2018. – 372 с.
13. Капский, Д. В., Волынец А.С. Анализ применимости методов прогнозирования и оценки аварийности на конфликтных объектах транспортной сети и перспективы их развития / Д. В. Капский, А. С. Волынец // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии. Сборник научных статей. – Минск: БНТУ, 2023. – С. 38–48.
14. Юнгханс, М. Возможности оценки риска безопасности дорожного движения на перекрестках с помощью новых методов// Транспорт Российской Федерации. – 2014. – № (53). – С. 37–42.
15. Minguez J. J., Копурин Goldstein L. Sice automatic danger warning system at secondary road intersections: в 2 т. / Автомобильные дороги: безопасность и надежность: сборник докладов междунар. юбилейной науч.-техн. конф. – Минск : БелдорНИИ, 2018. – Т.1. – С. 206–213.
16. Le, L., Festag, A., Baldessari, R., & Zhang, W. (2009). V2X Communication and Intersection Safety. *Advanced Microsystems for Automotive Applications 2009*, 97–107.
17. Artificial Intelligence in Proactive Road Infrastructure Safety Management. Summary and Conclusions : [website]. – URL: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/artificial-intelligence-road-infrastructure-safety-management.pdf> / (date of access: 24.04.2024).
18. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учеб. пособие/ С. В. Скирковский, Д. В. Капский; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. Ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2018. – 173 с.
19. Капский, Д. В., Богданович С. В., Зайцева И. С. К вопросу оценки безопасности примыканий на автомобильных дорогах / Д. В. Капский, С. В. Богданович, И. С. Зайцева// Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии. Сборник научных статей. – Минск : БНТУ, 2023. – С. 100–108.
20. ААСТНО, 2004. A Policy on Geometric Design of Highway and Streets Austroroads Incorporated, 2008. Guide to Traffic Management Part 8: Local area Traffic Management. Austroroads: Sydney, Australia.
21. Human factors guidelines for a safer man-road interface : [website]: PIARC Technical Committee 3.2 Risk management for roads. – URL: <https://www.piarc.org/ressources/publications/8/25385,2016R20EN.pdf> (date of access: 24.04.2024).
22. Human factors in road design. Review of design standards in nine countries : [website]: PIARC Technical Committee C.1 – Safer road infrastructure. – URL: <https://www.piarc.org/ressources/publications/7/19938,2012R36-EN.pdf> (date of access: 24.04.2024).

BOGDANOVICH Sergey V., Ph. D. in Eng., Ass. prof.,
ass. prof. of the department «Transport systems and technologies»
email: bsw001@gmail.com

ZAJCEVA Inga S.,
engineer of the department «Transport systems and technologies»

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 10 Juny 2024

ANALYSIS OF APPROACHES TO ASSESSING THE HAZARDS OF INTERSECTIONS OF RURAL ROADS

The safety of intersections and junctions on rural roads is a significant problem for engineers and researchers around the world. Despite lower traffic volumes compared to urban areas, rural roads account for a disproportionately large number of fatalities and serious injuries. This discrepancy may be linked to various factors, including higher vehicle speeds, limited visibility, lack of necessary road signs and lighting in some cases, as well as peculiarities of driver behavior on rural roads. In the Republic of Belarus, the number of only accidents with casualties at intersections and junctions of roads has been around 10% of the total for a long time. Consequently, assessing and mitigating the hazards associated with such areas are critically important areas of action for road owners. Intersections and junctions of roads represent a complex environment where vehicles, pedestrians, cyclists and even animals converge, creating potential conflict points. Assessing the safety risks associated with these intersections is a multifaceted task that requires a comprehensive understanding of the factors contributing to accidents and the development of effective countermeasures. Over many years, researchers and practitioners have proposed various approaches to assessing the safety performance of rural road intersections, ranging from traditional methods based on historical accident data to more advanced technologies.

The task of this article is to analyze some of the existing approaches to assessing the hazards of road intersections. Studying the strengths and limitations of each method will allow us to identify best practices and propose recommendations for improving the safety assessment process.

Keywords: Road safety; road intersections; hazard assessment; accident statistics; modern methods; forgiving roads.

References

1. Intersection Safety: A Manual for Local Rural Road Owners : [website]. – URL: https://safety.fhwa.dot.gov/local_rural/training/fhwsa1108/ch3.cfm/ (date of access: 24.04.2024).
2. Agarwal, Pradeep Kumar; Patil, Premit Kumar; Mehar, Rakesh (2013). A Methodology for Ranking Road Safety Hazardous Locations Using Analytical Hierarchy Process. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 104(), 1030–1037.
3. Chowi, S. S., Shahi, P. B. Thapa, S. Identification and Ranking of Road Safety Hazardous Locations: Case Study of Kotre–Aabhukhaireni Section of Prithvi Highway : [website]. – URL: <https://www.nepjol.info/index.php/injet/article/view/60934/45597> / (date of access: 24.04.2024).
4. Ambros, Jiří; Havránek, Pavel; Valentová, Veronika; Křivánková, Zuzana; Striegler, Radim (2016). Identification of Hazardous Locations in Regional Road Network – Comparison of Reactive and Proactive Approaches. *Transportation Research Procedia*, 14, 4209–4217.
5. Roshandeh, Arash M.; Agbelie, Bismark R.D.K.; Lee, Yongdoo (2016). Statistical modeling of total crash frequency at highway intersections. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 3(2), 166–171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.03.003>.
6. Poch, Mark; Mannering, Fred (1996). Negative Binomial Analysis of Intersection-Accident Frequencies. *Journal of Transportation Engineering*, 122(2), 105–113.
7. Hauer, Ezra; Harwood, Douglas; Council, Forrest; Griffith, Michael (2002). Estimating Safety by the Empirical Bayes Method: A Tutorial. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1784(), 126–131.

8. Speed and Speed Management 2018 : [website]. – URL: <https://road-safety.transport.ec.europa.eu/system/files/2021-07/ersosynthesis2018-speed-speedmanagement.pdf> (date of access: 24.04.2024).
9. Golembiewski, G.A. and Chandler, B. Intersection Safety: A Manual for Local Rural Road Owners : [website]. – URL: <https://highways.dot.gov/sites/fhwa.dot.gov/files/2022-06/fhwasa1108.pdf>. (date of access: 24.04.2024).
10. Turner, Shane & Gardener, Robyn. Rural Intersection Risk Assessment Tool : [website]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/335277470_Rural_Intersection_Risk_Assessment_Tool / (date of access: 24.04.2024).
11. Kapsky, D. V. Method of conflict zones Forecasting of road transport in potential danger: monograph / D. V. Kapsky. – Moscow: New Knowledge, 2015. – 372 p. (in Russian)
12. Kapsky, D. V. Methodology for improving the quality of the road / D. V. Kapsky. – Minsk : BNTU, 2018. – 372 p. (in Russian)
13. Kapsky, D. V. Analysis of the applicability of methods for predicting and evaluating the accident rate in conflict facilities of the transport network and the prospects for their development / D. V. Kapsky, A. S. Volynets // Transport and transport systems: design, operation, technology. Collection of scientific articles. – Minsk : BNTU, 2023. – p. 38–48. (in Russian)
14. Junghans, M. Possibility to assess the risk of road safety at the intersections using new methods / M. Junghans // Transport of the Russian Federation. – 2014. – № (53). – pp. 37–42. (in Russian).
15. Minguez J. J., Копырин Goldstein L. Sice automatic danger warning system at secondary road intersections: в 2 т. / Автомобильные дороги: безопасность и надежность: сборник докладов междунар. юбилейной науч.-техн. конф. – Минск : БелдорНИИ, 2018. – Т.1. – С. 206–213.
16. Le, L., Festag, A., Baldessari, R., & Zhang, W. (2009). V2X Communication and Intersection Safety. *Advanced Microsystems for Automotive Applications 2009*, 97–107.
17. Artificial Intelligence in Proactive Road Infrastructure Safety Management. Summary and Conclusions : [website]. – URL: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/artificial-intelligence-road-infrastructure-safety-management.pdf> / (date of access: 24.04.2024).
18. Examination of traffic accidents: textbook. Personal / S. V. Skirkovsky, D. V. Kapsky; Mr. Transp. and communications rep. Belarus, Belarusian. state. University transp. – Gomel: BelGUT, 2018. – 173 p. (in Russian)
19. Kapsky, D. V. On the issue of assessing the safety of adjacency on roads / D. V. Kapsky, S. V. Bogdanovich, I. S. Zaitseva // Transport and transport systems: design, operation, technology. Collection of scientific articles. – Minsk : BNTU, 2023. – p. 100–108. (in Russian)
20. AASTHO, 2004. A Policy on Geometric Design of Highway and Streets Austroroads Incorporated, 2008. Guide to Traffic Management Part 8: Local area Traffic Management. Austroroads: Sydney, Australia.
21. Human factors guidelines for a safer man-road interface : [website]: PIARC Technical Committee 3.2 Risk management for roads. –URL: <https://www.piarc.org/ressources/publications/8/25385,2016R20EN.pdf> (date of access: 24.04.2024).
22. Human factors in road design. Review of design standards in nine countries : [website]: PIARC Technical Committee C.1 – Safer road infrastructure. – URL: <https://www.piarc.org/ressources/publications/7/19938,2012R36-EN.pdf> (date of access: 24.04.2024).