

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

БОГДАНОВИЧ С. В., канд. техн. наук, доц.,
зав. кафедрой «Транспортные системы и технологии»²
E-mail: bsw001@gmail.com

ЗАЙЦЕВА И. С.
инженер кафедры «Транспортные системы и технологии»²

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

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

Поступила в редакцию 12.07.2023

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЫКАНИЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

Целью статьи является исследование и улучшение безопасности дорожного движения и инфраструктуры дорог. В работе анализируются статистические данные о дорожно-транспортных происшествиях за последние годы, выявляются ключевые факторы, способствующие возникновению аварий. Среди них состояние дорожного покрытия, видимость, интенсивность движения, освещение, и другие. Авторы особое внимание уделяют применению систем инженерного управления и риск-менеджмента для повышения безопасности дорожного движения. В рамках исследования предлагается использование нечеткой логики и системы FisPro для анализа и прогнозирования дорожной ситуации. Применение этих методов позволяет учесть сложность и многомерность проблемы безопасности дорожного движения, учитывая множество взаимосвязанных параметров. В работе подчеркивается, что для эффективного улучшения безопасности дорожного движения необходим комплексный подход, включающий учет всех факторов, влияющих на дорожную ситуацию. Такой подход позволяет не только реагировать на возникающие проблемы, но и прогнозировать возможные риски, своевременно предпринимая меры для их устранения.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, примыкания дорог, опасные участки дорог, системы управления, нечеткая логика, система FisPro.

Введение

В Республике Беларусь более 10 лет наблюдается снижение количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с пострадавшими. Вместе с тем, начиная с 2017–2018 годов отмечается ухудшение показателей. Фиксируется рост общего количества ДТП, рост числа погибших, раненых, увеличение количества ДТП в отдельных видах, а также в преобладающих причинах их совершения. Основными видами ДТП в Республике Беларусь в течение ряда лет являются наезды на пешеходов, опрокидывания, столкновения транспортных средств, столкновения на пересечениях и поворотах дорог (рисунок 1), наезды на велосипедистов. В общей сложности на них приходится более 70 % всех происшествий и пострадавших в них.

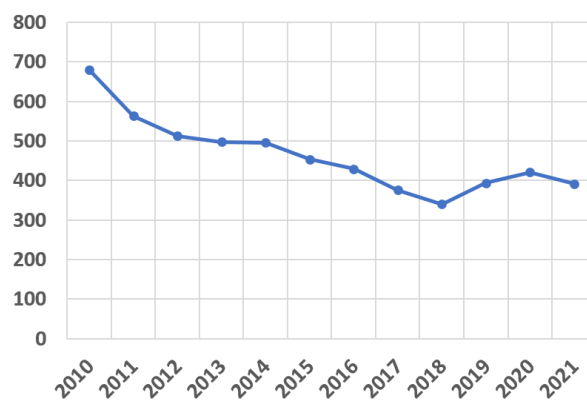


Рисунок 1 – Изменение количества ДТП с пострадавшими в результате столкновения на пересечении дорог или повороте

Дорожно-транспортный травматизм остается одной из острых социально-экономических

проблем в Республике Беларусь, требующей активизации усилий государства и общества в воздействии на ключевые факторы аварийности, оказывающие влияние на гибель людей в ДТП. Результаты анализа опыта экономически развитых государств свидетельствуют о том, что ДТП можно и следует предупреждать, а если все же происшествие случается, то максимально снижать его негативные последствия для жизни и здоровья граждан. Для Республики Беларусь, где автомобилизация в последние десятилетия развивалась ускоренными темпами это является одной из важнейших задач. Как показывают исследования и опыт, смертельные случаи и травматизм в дорожно-транспортных происшествиях можно сократить как минимум на 40–50 % [1; 2].

Для эффективного управления результатами безопасности на дорогах требуются систематические и плановые меры реагирования, а также укрепление всей системы управления безопасностью дорожного движения. Внедрять такие меры в настоящее время позволяет новая «Концепция обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь», которая принята постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 22 мая 2023 г. № 32.

В соответствии с Концепцией деятельность в сфере обеспечения БДД основывается на принципах безопасного системного подхода:

- безопасной дорожно-транспортной инфраструктуре;
- безопасной скорости;
- безопасных транспортных средствах;
- безопасных пользователях дорог;
- эффективного оказания помощи после ДТП [3].

Одной из мер, принимаемых в отношении дорожно-транспортной инфраструктуры в соответствии с Концепцией является оценки риска движения по автомобильным дорогам.

Цель исследования

Данные исследований показывают, что дорожная инфраструктура и дорожное окружение являются фактором, который способствует совершению аварии примерно в 30 % несчастных случаев, приводящих к гибели людей [4; 5].

Очевидно, что повышение безопасности автомобильных дорог может произойти только в результате дорожной деятельности – мероприятий по эксплуатации дорог, их ремонту или реконструкции. При этом, чтобы проводить такие мероприятия необходимо предварительно выявить опасные участки на сети дорог. Учитывая значительную протяженность сети дорог, такая деятельность должна осуществ-

ляться на регулярной основе, а определение опасности того или иного участка выполняться с использованием программного обеспечения.

В Республике Беларусь уже почти 30 лет осуществляется диагностика республиканских автомобильных дорог и назначение на ее основе необходимых ремонтных мероприятий. Однако в процессе диагностики определяется только транспортно-эксплуатационное состояние дорог, а выявление опасных участков не производится. Как следствие, ремонтные мероприятия направлены в первую очередь на дорожные покрытия. По этой причине методика и алгоритмы, позволяющие интегрировать данные о степени опасности участков автомобильных дорог в систему управления состоянием дорожных покрытий (СУСП) не разработаны. Между тем, в других странах исследования, направленные на включение данных об опасности участков автомобильных дорог в СУСП, ведутся достаточно давно [6; 7]. Здесь следует пояснить, что наша трактовка понятия «опасный участок» отличается от закрепленной в действующих технических нормативно-правовых актах. В ТКП 586-2016 «Автомобильные дороги. Порядок проведения работ по организации дорожного движения при содержании» приведено такое определение: «Опасный участок автомобильной дороги: участок, на котором уровень загрузки автомобильной дороги движением превышает расчетное значение и (или) на котором итоговый коэффициент аварийности превышает критические значения по уровню обеспечения безопасности дорожного движения». Поскольку Концепция опирается на безопасный системный подход, с учетом этого следует рассматривать и понятие опасности участков дорог. Опасный участок дороги в контексте безопасного системного подхода может быть определен как участок дорожной сети, где вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий высока и, в случае их возникновения, вероятность серьезных травм или смертельных исходов превышает приемлемые пределы. Важно отметить, что безопасный системный подход признает, что люди могут допускать ошибки, и поэтому стремится к созданию дорожной инфраструктуры, которая минимизирует последствия этих ошибок. Это включает в себя стратегии по улучшению дорожного покрытия, обзорности, безопасности перекрестков и т. д. В этом контексте, опасный участок дороги – это участок, который не отвечает этим критериям безопасности, и поэтому требует принятия мер по улучшению. То есть, опасным является участок

в первую очередь с точки зрения восприятия его водителем.

Целью настоящей статьи является рассмотрение возможного подхода к оценке опасности примыканий на автомобильных дорогах общего пользования Республики Беларусь категорий II и ниже для последующего использования полученных данных в СУСП.

Определение опасности примыканий

Если исходить из общих принципов разработки СУСП, то для оценки опасности примыканий на автомобильных дорогах в одном уровне необходимо выполнить следующие шаги:

1. Определить набор критериев, которые позволят оценить степень опасности примыкания. Критерии могут включать в себя геометрические характеристики, скорость движения транспортных средств, наличие пешеходных переходов, канализирование примыкания, видимость и т. д.

2. Необходимо собрать данные о выбранных критериях на каждом примыкании, которые будут использоваться для оценки степени опасности.

3. Произвести оценку каждого примыкания на основании набора критериев. Для этого, например, можно использовать метод взвешенной суммы критериев (МВСК), где каждый критерий имеет свой вес.

4. Провести ранжирование примыканий по уровню опасности, от самых опасных до наименее опасных. Это позволит сфокусировать внимание на наиболее критических участках при планировании мер по обеспечению безопасности дорожного движения.

5. Регулярно обновлять данные и повторять оценку уровня опасности. Это поможет отслеживать изменения уровня опасности и принимать соответствующие меры, чтобы снизить риск возникновения ДТП.

В приведенном перечне шаг 3 является наиболее сложным. Разработчики СУСП чаще всего предпочитают использовать обобщенный показатель состояния вместо набора отдельных показателей. Этим значительно упрощаются алгоритмы расчетов СУСП. По этой причине свертывание множества критериев, характеризующих степень опасности примыкания в единственный критерий, является логичным шагом. МВСК хоть и является одним из наиболее известных и часто используемых методов свертывания, во-первых, не является единственным возможным, а, во-вторых, имеет ряд недостатков. Например, значение взвешенной

суммы критериев как правило не имеет содержательного смысла, использование постоянных коэффициентов значимости означает, что соотношение критериев по важности одно и то же при любых значениях критериев [8].

Исследования по выбору метода свертывания критериев, оценивающих опасность автомобильной дороги или ее отдельного участка, ни в Республике Беларусь, ни в странах бывшего СССР не ведутся.

В качестве одного из возможных методов, позволяющих оценить опасность примыкания, рассмотрим метод, основанный на использовании лингвистических переменных и нечеткой логики. В пользу использования метода может свидетельствовать то, что он максимально приближен к опыту человека, оценивающего участок, а также имеет следующие преимущества:

- позволяет учесть неопределенность и нечеткость во входных данных;
- позволяет формализовать и интегрировать экспертные знания в виде правил и функций принадлежности, что повышает достоверность и эффективность оценки опасности примыканий;
- позволяет учитывать множество частных критериев;
- разработанный алгоритм на основе нечеткой логики может быть достаточно просто автоматизирован и применен на практике.

Подробно останавливаться на теории вопроса нет необходимости, поскольку лингвистические переменные и нечеткая логика используются при решении задач в области безопасности дорожного движения, управления состоянием покрытий и им подобных достаточно давно [9; 10; 11; 12; 13].

Процесс расчета обобщенного показателя опасности примыкания состоит из пяти этапов:

1. Определение и интерпретация входных (измеряемых) переменных и их пределов.
2. Определение и интерпретация выходных (вычисляемых) переменных и их пределов.
3. Определение функции принадлежности для каждой входной и выходной переменной.
4. Составление базы правил, которая будет отвечать за управляющие операции.
5. Переход от нечеткости к конкретным числовым значениям.

Приведенные ниже примеры использования переменных и их пределов не являются окончательными, могут и должны корректироваться и уточняться и в основном иллюстрируют предлагаемый подход.

Для расчета нами использовано свободно распространяемое программное обеспечение

для проектирования, разработки и тестирования систем нечеткого вывода FisPro.

В качестве входных переменных были использованы интенсивность движения по участку дороги (авт/сут), боковая видимость пересечения с основной дороги (м), а также показатель, названный нами «распознаваемость» (м), под которым понимается возможность увидеть с места водителя поверхность покрытия примыкающей дороги или направляющие устройства, установленные на закруглении примыкающей дороги и понять, что это именно примы-

кание дорог. Так, на рисунке 2 определенная путем обработки видеосъемки распознаваемость примыкания составляет 175 м, на рисунке 3 – 70 м.

Для лингвистической переменной «интенсивность» зададим следующие термы в соответствии с таблицей 1. Термы для лингвистической переменной «видимость» представлены в таблице 2, а термы для лингвистической переменной «распознаваемость» – в таблице 3. В качестве выходной используется одна переменная «опасность примыкания» (таблица 4).

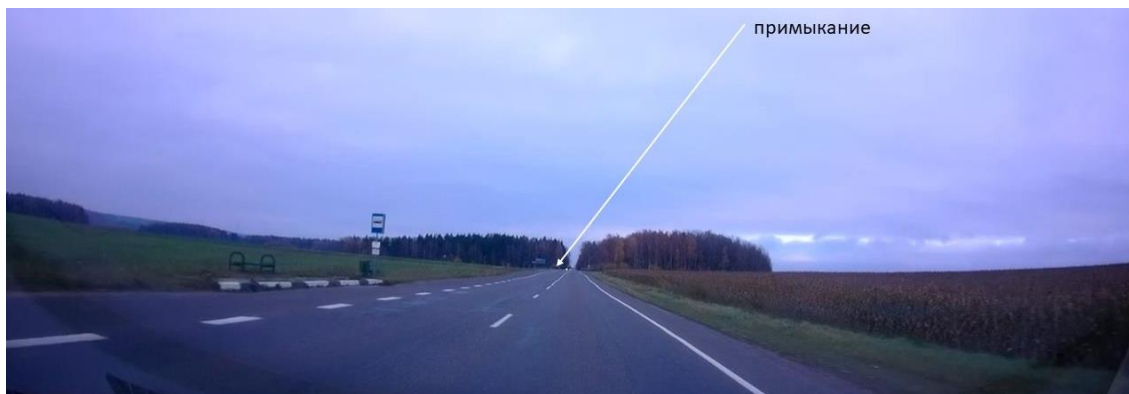


Рисунок 2 – Примыкание слева по ходу движения, распознаваемость 175 м

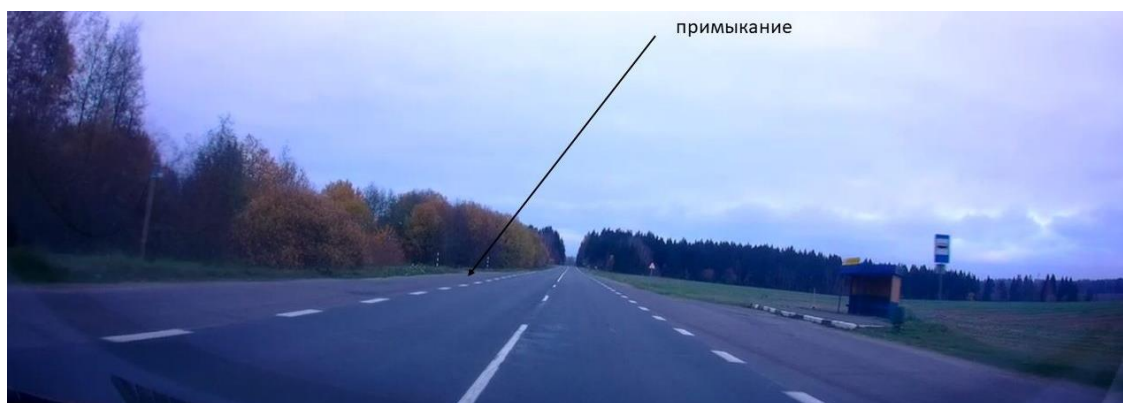


Рисунок 3 – Примыкание слева по ходу движения, распознаваемость 70 м

Таблица 1 – Термы лингвистической переменной «интенсивность»

Название терма	Тип функции принадлежности	Диапазон изменения
Низкая	Трапецидальная	[50, 500, 800, 1500]
Средняя	Трапецидальная	[1000, 2000, 5000, 7000]
Высокая	Трапецидальная	[4000, 6000, 8000, 10000]

Таблица 2 – Термы лингвистической переменной «видимость»

Название терма	Тип функции принадлежности	Диапазон изменения
Плохая	Треугольная	[10, 80, 120]
Средняя	Треугольная	[80, 120, 220]
Хорошая	Треугольная	[180, 260, 350]

Таблица 3 – Термы лингвистической переменной «распознаваемость»

Название терма	Тип функции принадлежности	Диапазон изменения
Плохая	Треугольная	[10, 50, 70]
Средняя	Треугольная	[60, 90, 120]
Хорошая	Треугольная	[10, 150, 220]

Таблица 4 – Термы выходной лингвистической переменной «распознаваемость»

Название термина	Тип функции принадлежности	Диапазон изменения
Низкая	Треугольная	[0, 0,1, 0,3]
Средняя	Треугольная	[0,2, 0,5, 0,7]
Высокая	Треугольная	[0,5, 0,8, 1,0]

Следует отметить, что с увеличением числа входных переменных увеличивается количество управляющих правил. Для трех входных и одной выходной переменной с минимальным

количеством термов для каждой переменной окно редактора базы знаний в программе FisPro выглядит следующим образом (рисунок 4).

Rule	Active	IF Видимость	AND Интенсивность	AND Распознаваемость	THEN Опасность
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Плохая	Высокая	Плохая	Высокая
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Плохая	Средняя	Плохая	Высокая
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Плохая	Низкая	Плохая	Средняя
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Средняя	Высокая	Плохая	Средняя
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Средняя	Средняя	Плохая	Средняя
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Средняя	Низкая	Плохая	Низкая
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Хорошая	Высокая	Плохая	Средняя
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Хорошая	Средняя	Плохая	Низкая
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Хорошая	Низкая	Плохая	Низкая
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Плохая	Высокая	Средняя	Высокая
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Плохая	Средняя	Средняя	Высокая
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Плохая	Низкая	Средняя	Низкая
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Средняя	Высокая	Плохая	Средняя
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Средняя	Средняя	Средняя	Низкая
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Средняя	Низкая	Плохая	Низкая
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Хорошая	Высокая	Плохая	Низкая
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Плохая	Высокая	Хорошая	Высокая
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Плохая	Средняя	Хорошая	Средняя
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Плохая	Низкая	Хорошая	Низкая
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Средняя	Высокая	Хорошая	Средняя
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Средняя	Средняя	Хорошая	Низкая
22	<input checked="" type="checkbox"/>	Средняя	Низкая	Хорошая	Низкая
23	<input checked="" type="checkbox"/>	Хорошая	Высокая	Хорошая	Низкая
24	<input checked="" type="checkbox"/>	Хорошая	Средняя	Хорошая	Низкая
25	<input checked="" type="checkbox"/>	Хорошая	Низкая	Хорошая	Низкая

Рисунок 4 – Окно редактора базы знаний

Далее можно переходить к этапу логического вывода. В качестве примера рассмотрим два примыкания на республиканской автомобильной дороге Р-65 Заславль – Дзержинск – Озеро.

Для первого примыкания справа на рисунке 5 определенная обработкой видеосъемки видимость составляет 60 м, а распознаваемость – 40 м.



Рисунок 5 – Примыкание справа, видимость 60 м, распознаваемость 40 м

Для второго примыкания слева на рисунке 6 видимость составляет 110 м, распознаваемость 66 м.

Понятно, что в общем случае опасность примыкания при движении в прямом и обрат-

ном направлении может различаться, и обследование необходимо проводить для каждого направления в отдельности. Кроме этого, диапазон изменения термов «видимость» и «распознаваемость» зависит от скорости движения,

которая, в свою очередь, зависит от состояния покрытия, а в конечном итоге от его ровности. Также опасность примыканий будет различной в светлое и темное время суток, а также в зимний и летний период. Это означает, что опасность примыканий меняется во времени, как и транспортно-эксплуатационные характеристики дороги и для определения опасности необходимо выполнять регулярное обследование, как минимум с той же частотой, что и диагно-

стику дорог. На рисунке 6 показана в первом приближении связь между переменными для определения опасности примыкания. Появление среди показателей сцепления объясняется его влиянием на расстояние для остановки транспортного средства [14], что, в свою очередь, влияет на диапазон изменения термов для переменных «видимость» и «распознаваемость».



Рисунок 5 – Примыкание слева, видимость 110 м, распознаваемость 66 м

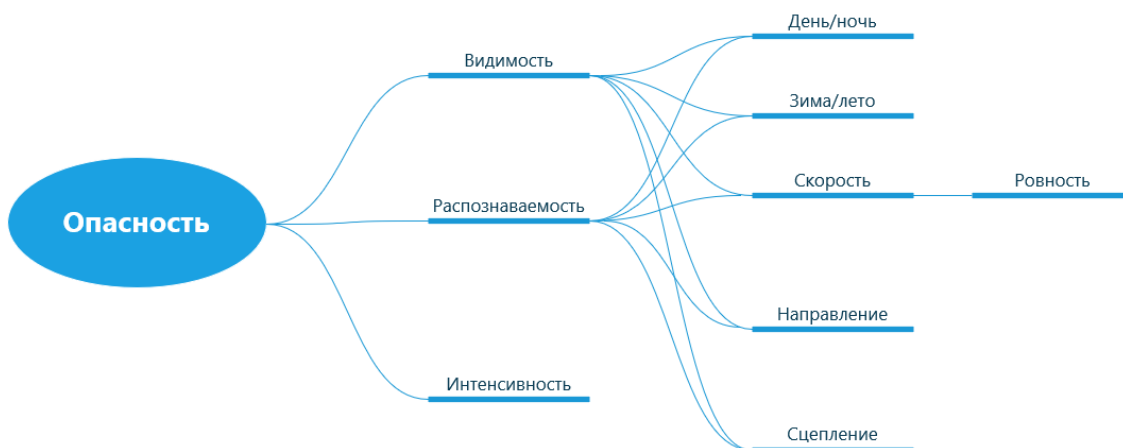


Рисунок 6 – Переменные для определения опасности примыкания

Форма выходной кривой для примыканий при фиксированных значениях видимости и распознаваемости представлены на рисунках 7 и 8.

При среднегодовой среднесуточной интенсивности движения 5726 авт/сут, имеющей места на данном участке дороги, опасность пересечений составит 0,8 и 0,6 соответственно

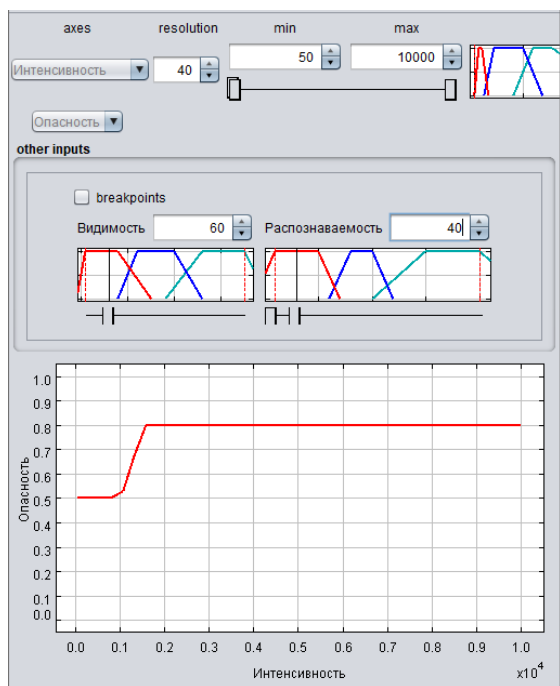


Рисунок 7 – Выходная кривая для первого примыкания

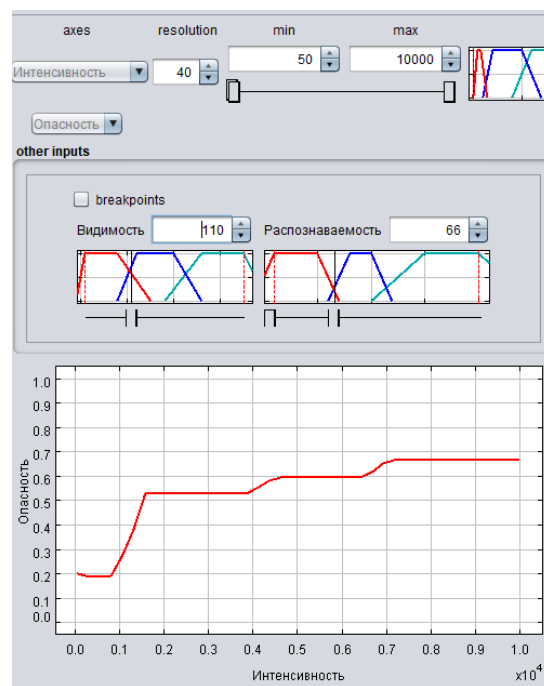


Рисунок 8 – Выходная кривая для второго примыкания

Заключение

Использование нечеткой логики для определения обобщенного показателя опасности примыкания является одним из возможных методов свертывания множества критериев, характеризующих степень опасности примыкания в единственный критерий. Метод обладает рядом преимуществ, однако утверждать, что он является наилучшим будет неверно. Для выбора наилучшего показателя необходимо проводить отдельные исследования. В то же время полученный показатель опасности примыкания может быть без проблем интегрирован в систему управления состоянием покрытий или инфраструктуры, а использование пакета FisPro значительно упрощает процесс нечеткого вывода.

Задачами, требующими дальнейшего решения, является уточнение диапазонов изменения термов лингвистических переменных и, возможно, расширение количества самих термов, тестирование влияния на конечный результат различных видов функций принадлежности. Также целесообразно рассмотреть возможность применения метода для случая пересечений дорог.

Литература

1. Wegman, F. Sustainable solutions to improve road safety in the Netherlands. / F. Wegman F, P. Elsenaar // Leidschendam, Institute for Road Safety Research, 1997.
2. Всемирный доклад о предупреждении дорожно-транспортного травматизма: резюме/ редакция Margie Peden ... [et al.]. [Electronic re-

source]. – Mode of access: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42925/9241591315_rus.pdf?sequence=5&isAllowed=y. – Date of access: 07.07.2023.

3. Towards Safe System Infrastructure A Compendium of Current Knowledge. Research Report AP-R560-18 [Electronic resource]. – Mode of access: https://austroads.com.au/publications/road-safety/ap-r560-18/media/AP-R560-18-Towards_Safe_System_Infrastructure_A_Compendium_of_Current_Knowledge.pdf. – Date of access: 07.07.2023.

4. Богданович, С. В. Управление безопасностью дорожной инфраструктуры в Республике Беларусь. Направления развития / С. В. Богданович // Научно-технический журнал «Автомобильные дороги и мосты». № (23). – Минск, 2019. с. 37–43.

5. Danish Road Traffic Accident Investigation Board (2014), Why do road traffic accidents happen?, 66 p. [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.hvu.dk/SiteCollectionDocuments/HVUdec14_UK_HvorforSkerUlykkerne.pdf. – Date of access: 07.07.2023.

6. Alberti, S., Integrating Risk Assessment into Pavement Management Systems / S. Alberti, F. Fiori // Journal of Infrastructure Systems, 25(1), 05019001, 2019.

7. Tighe, S.. Incorporating Road Safety into Pavement Management / Susan Tighe, Ningyuan Li, Lynne Falls, Ralph Haas // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1699, 2000. – P. 1–10.

8. Подиновский, В. В. Метод взвешенной суммы критериев в анализе многокритериаль-

ных решений / В. В. Подиновский, М. А. Потапов // Бизнес-информатика. – № 3(25). – 2013. – с. 41–48.

9. Gaber, M. Traffic accidents prediction model using fuzzy logic: aswan desert road case study / M. Gaber, A. M. Wahaballa, A. M. Othman, A. Diab // Journal of Engineering Sciences Assiut University/ – Vol. 45. – №. 1 (2017) – pp. 28–44.

10. Leonowicz I., Bohdanowicz S. Utrzymanie nawierzchni. Nowe zasady opracowania systemów zarządzania ich stanem. / I. Leonowicz, S. Bohdanowicz // Magazyn Autostrady, № 12. – 2007. – Р. 36–41/

11. Богданович, С. В. Расчет обобщенного показателя состояния дорожного покрытия с использованием лингвистических переменных / Т. В. Богданович // Научно-технический журнал «Автомобильные дороги и мосты». – № 1. – Минск, 2008. – С. 113–119.

12. D’Andrea, A. Application of Fuzzy Techniques for Determining the Operating Speed Based on Road Geometry / A. D’Andrea, O. Pellegrino // Promet-Traffic&Transportation, 24(3), pp. 203–214.

13. Driss, M. K. Traffic safety prediction model for identifying spatial degrees of exposure to the risk of road accidents based on fuzzy logic approach / M. Driss, K. Benabdeli, T. Saint-Gerand, M. A. Hamadouche, Geocarto International, 30:3, 2013. – pp. 243–257.

14. Скирковский, С. В. 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.

KAPSKI Denis V., P., D. Sc. in Eng., Associate Professor, ice-chairman НАС¹
E-mail: d.kapsky@gmail.com

BOGDANOVICH Sergey V., Ph. D. in Engineering, Associate Professor, head of the department «Transport systems and technologies»²
E-mail: oapdd@bntu.by

ZAJCEVA Inga S.
engineer of the department «Transport systems and technologies»²
E-mail: oapdd@bntu.by

¹Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus

²Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 12 July 2023

ON THE ISSUE OF ASSESSING THE SAFETY OF ADJUNCTION ON ROADS

The principal aim of this article is to meticulously investigate and enhance the standards of highway safety and the accompanying infrastructural elements. The article scrutinizes data pertaining to vehicular mishaps over the preceding years, pinpointing crucial elements that precipitate the incidents. Among these contributing factors are the condition of the paved roadway, the clarity of view, the magnitude of vehicular flow, illumination, amongst others.

The authors devote considerable attention to the utilization of engineering management strategies, alongside risk management systems, to bolster the safety measures on highways. The discourse proposes the implementation of fuzzy logic allied with the FisPro system, as means to dissect and prognosticate traffic scenarios. The employment of these methodologies enables the consideration of the intricate and multidimensional nature of the issue of highway safety, taking into account the myriad of intertwined parameters.

The article underscores the necessity for a holistic approach to effectively amplify the safety standards of highways, encompassing all factors that exert influence on the prevailing traffic conditions. Such a comprehensive methodology permits not merely the response to budding issues, but also the anticipation