

Научная статья
УДК 656.13(571.150)
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-6-952-965>
EDN: HFTKBZ



МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА УЧАСТКЕ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ

Д.А. Лазарев

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
г. Белгород, Россия
avtotech31@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Аварийность в Российской Федерации, не смотря на общее снижение данного показателя за последние годы, все еще находится на достаточно высоком уровне. Смертность в результате дорожно-транспортных происшествий в нашей стране находится также на достаточно высоком уровне. Между тем возникновение дорожно-транспортного происшествия (ДТП) как явления зависит от наличия фактора или совокупности факторов, которые в своем состоянии выходят за пределы нормы, иницируя тем самым опасную совокупность событий, приводящих к ДТП. В связи с этим оценка влияния различных факторов на аварийность, их выявление и профилактика является актуальной научной задачей.

Материалы и методы. В данной статье сформулированы основные положения по формированию интеллектуальной информационной системы, основанной на интегральном учете весов взаимосвязанного массива критериев и подкритериев, получаемого путем нормализованной экспертно-экспериментальной оценки основных конечных весовых элементов подсистем, образующих общую систему, на различных уровнях формирования общей оценки безопасности дорожного движения на отдельном участке улично-дорожной сети. В качестве объекта оценки выступает дорожно-транспортное происшествие как явление на участке улично-дорожной сети, сформированное из совокупности предикторов (конечных элементов) оценки, составляющих на разных уровнях оценки подкритерии, критерии и подсистемы общей системы оценки, один или несколько из которых имеет отклонение от нормального состояния, что приводит к аварийной ситуации и возникновению дорожно-транспортного происшествия как явления.

Выводы. В результате исследования сформирован многокритериальный метод оценки уровня безопасности дорожного движения на участке улично-дорожной сети с использованием конечных предикторов оценки отдельных подсистем в рамках системы «Водитель – Транспортное средство – Дорога – Окружающая среда (ВАДС)», ранжирование и взаимовлияние которых реализовано в виде программного продукта, включающего в себя расчетные методы на основе правил нечеткого вывода. Оценка предикторов состояния системы оценивается исключительно экспертно-экспериментальными методами мест концентрации дорожно-транспортных происшествий на участках улично-дорожной сети. Указанный метод универсален, имеет несколько уровней оценки различных факторов влияния, а также может быть дополнен при необходимости дополнительными предикторами оценки.

Рамки исследования/возможность последующего использования результатов научной работы. Предложенный метод может служить основой к формированию аналитической базы состояния транспортной среды в нашей стране на предмет ее безопасности, а также выступать в качестве основы для дальнейшего трансформирования системы ВАДС в более продвинутые системные формы.

Практическое значение. Результаты исследования могут использоваться при комплексной оценке безопасности дорожного движения с целью выявления факторов, влияющих на возникновение аварийной ситуации для проведения профилактических мероприятий по устранению данных факторов, как причины происшествий.

Оригинальность. Впервые к оценке безопасности дорожного движения на участке улично-дорожной сети применяется комплексный подход с использованием декомпозиции взаимодействующих подсистем системы ВАДС на предикторы оценки, состояние которых определяется не прогнозными или статистическими методами, а путем экспертно-экспериментального исследования с установлением критериев, выходящих за пределы нормы.

© Лазарев Д.А., 2025



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: интеллектуальная система, безопасность дорожного движения, нечеткая логика, критерии оценки, дорожно-транспортное происшествие, интегральная оценка

БЛАГОДАРНОСТИ: автор выражает благодарность редакции журнала «Вестник СиБАДИ» и рецензентам статьи.

Статья поступила в редакцию 17.09.2025; одобрена после рецензирования 09.12.2025; принята к публикации 15.12.2025.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Лазарев Д.А. Многокритериальный метод оценки уровня безопасности дорожного движения на участке улично-дорожной сети // Вестник СиБАДИ. 2025. Т. 22, № 6. С. 952-965. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-6-952-965>

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-6-952-965>

EDN: HFTKBZ

MULTICRITERIA METHOD FOR ASSESSING THE ROAD TRAFFIC SAFETY LEVEL ON A STREET NETWORK SECTION

Dmitriy A. Lazarev

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

Belgorod, Russia

avtotech31@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. Despite the general decrease in recent years, the accident rate in the Russian Federation remains at a sufficiently high level. Mortality as a result of road traffic accidents in our country is also at a fairly high level. Meanwhile, the occurrence of a Road Traffic Accident (RTA), as a phenomenon, depends on the presence of factor or on the combination of factors that exceed their normal state, thereby initiating a dangerous chain of events leading to an accident. In this regard, assessing the influence of various factors on the accident rate, their identification, and prevention is a relevant scientific task.

Materials and methods. This article outlines the main principles for the development of an Intelligent Informational System based on the integrated consideration of significance of an interconnected array of criteria and sub-criteria, obtained by normalized expert and experimental evaluation of the main final importance of subsystem elements that constitute the common system at various levels of forming a comprehensive assessment of road safety on a separate section of the street network. The object of assessment is a traffic accident as a phenomenon on a street network section, originated from a set of predictors (final elements) of the assessment, which at different evaluation levels make sub-criteria, criteria, and subsystems of the general assessment system, one or more of which has a deviation from the normal state, which leads to an emergency situation and the occurrence of a traffic accident as a phenomenon.

Conclusions. Multicriteria method for assessing road safety on a road network section using final predictors for evaluating individual subsystems within the Driver-Vehicle-Road-Environment (DVRE) system has been developed. The ranking and interinfluence of these predictors are implemented in the form of a software product that includes computational methods based on fuzzy inference rules. The assessment of the system state predictors is carried out exclusively by expert and experimental methods at locations of concentrated road traffic accidents on the street network section. The specified method is universal, employs several levels for evaluating various influencing factors, and can be supplemented with additional estimating predictors if necessary.

Research scope/Potential for further use of the scientific work results. The proposed method can serve as a basis for developing an analytical database on the state of the transport environment in our country in terms of its safety, as well as act as a foundation for the further transformation of the Driver-Vehicle-Road-Environment (DVRE) complex into more advanced systemic forms.

© Lazarev Dmitriy A., 2025



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Practical significance. The research results can be used in a comprehensive assessment of road traffic safety to identify factors influencing the occurrence of dangerous situations, for conducting preventive measures to eliminate these factors as causes of accidents.

Originality. For the first time, a comprehensive approach has been applied to assess road traffic safety on the street network section. This approach uses the decomposition of the interacting subsystems of the Driver-Vehicle-Road-Environment (DVRE) system into evaluation predictors whose state is determined not by predictive or statistical methods, but by the expert and experimental research with the establishment of criteria that exceed the norm.

KEYWORDS: intelligent system, road safety, fuzzy logic, evaluation criteria, road traffic accident, integral assessment

ACKNOWLEDGMENTS. The author expresses gratitude to the Editorial Board of The Russian Automobile and Highway Industry Journal and to the Reviewers of the article.

The article was submitted: September 17, 2025; approved after reviewing: December 09, 2025; accepted for publication: December 15, 2025.

The author has read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the author has no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Lazarev D.A. Multicriteria method for assessing the road traffic safety level on a street network section. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2025; 22 (6): 952-965. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-6-952-965>

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом автомобилизация сфер деятельности в нашей стране растет. Транспорт становится неотъемлемой и очень важной частью экономики, оставаясь одним из основных ее драйверов. Однако увеличение количества транспортных средств на дорогах неизбежно приводит к формированию конфликтных ситуаций и росту количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП) [1, 2]. Даже несмотря на общее снижение смертности от ДТП, уровень аварийности на транспорте до сих пор достаточно велик, что приводит к потерям экономики и народного хозяйства, а также потенциала страны как в человеческом плане, так и в материальном. Причин возникновения аварийных ситуаций может быть множество, зависящих от отдельных факторов или проявляющихся в их совокупности. Нередко причины возникновения аварийности на отдельных участках улично-дорожной сети (УДС) носят системный характер [3]. Выявление влияющих на безопасность дорожного движения (БДД) факторов, которые выходят в своем состоянии за пределы нормы, позволит снизить их влияние на возникновение аварийных ситуаций и повысить уровень безопасности дорожного движения [4, 5].

Целью работы является формирование системы оценки уровня безопасности дорожного движения на участке УДС путем использования критериальных предикторов оценки, описывающих состояние отдельных элементов

системы «Водитель – Транспортное средство – Дорога – Окружающая среда».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для формирования методологии оценки безопасности дорожного движения на участке УДС была выбрана простая, понятная, а также устоявшаяся во времени система влияния «Водитель – Транспортное средство – Дорога – Окружающая среда» (система ВАДС), в которой известны основные предикторы (критерии) оценки. Однако для формирования оценки всей системы недостаточно использовать ее подсистемы, поскольку они достаточно сложны в своем формировании как подсистемы [2, 6]. Для этого система оценки БДД была декомпозирована на четыре уровня оценки вплоть до конечных элементов – подкритериев, которые могут быть оценены на предмет их нормальности относительно нормированного состояния с помощью экспертно-экспериментальных исследований. Сама оценка системы формируется на пяти уровнях (рисунок 1) [7, 8].

Это реализовано для упрощения вычислительных мощностей системы, поскольку сама система содержит значительное количество предикторов и одновременный расчет их взаимовлияния и взаимного учета может усложнить расчет интегральной оценки и увеличить время ее формирования. Например, подсистема «Окружающая среда» содержит пять критериев оценки и пятнадцать подкритериев, влияющих на них (рисунок 2) [7, 8].

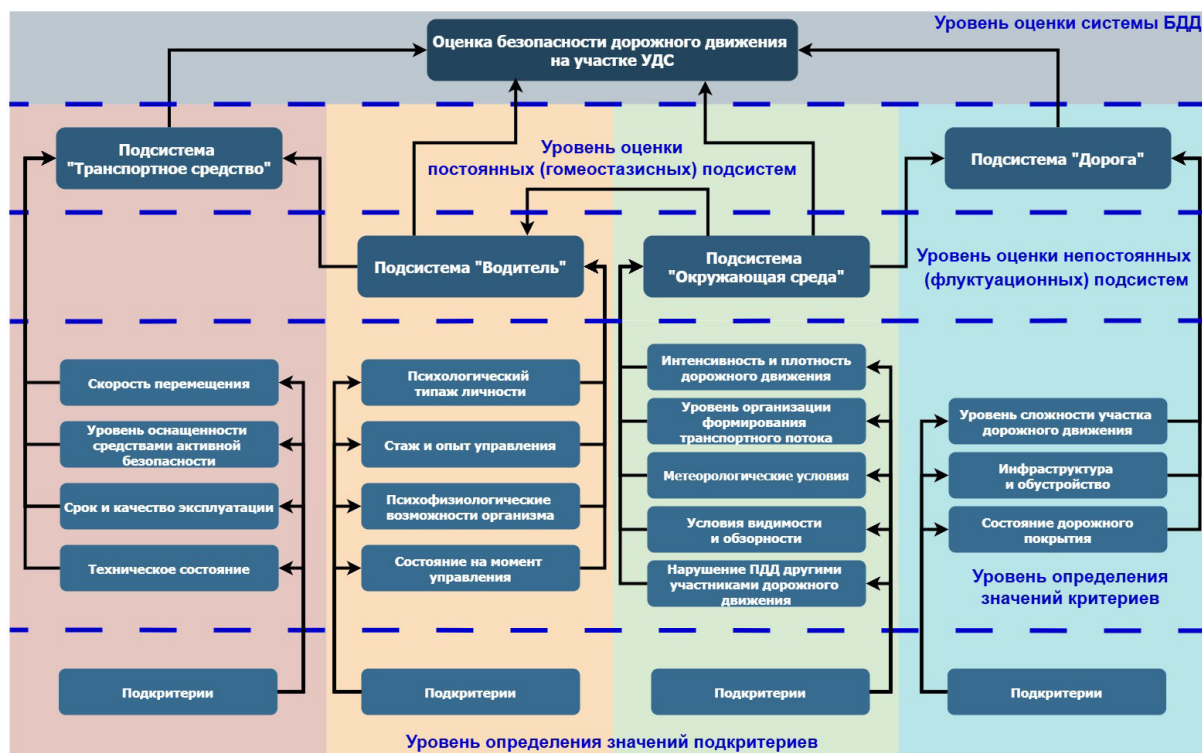


Рисунок 1 – Декомпозиция системы оценки безопасности дорожного движения на уровни оценки ее составных частей
Источник: составлено автором.

Figure 1 – Decomposition of the road safety assessment system into evaluation levels of its components
Source: compiled by the author.



Рисунок 2 – Карта декомпозиции подсистемы «Окружающая среда» на критерии и подкритерии оценки
Источник: составлено автором.

Figure 2 – Decomposition map of the "Environment" subsystem into evaluation criteria and sub-criteria
Source: compiled by the author.



Рисунок 3 – Карта декомпозиции подсистемы «Водитель» на критерии и подкритерии оценки
Источник: составлено автором.

Figure 3 – Decomposition map of the “Driver” subsystem into evaluation criteria and sub-criteria
Source: compiled by the author.

Карты декомпозиций других подсистем показаны на рисунках 3, 4, 5 [7, 8].

Подобный многоуровневый подход к формированию итоговой интегральной оценки позволяет разложить интегральные вычисления и снизить нагрузку на систему, а многокритериальный принцип позволит охватить большее число предикторов оценки. Однако для формирования самой оценки с таким количеством предикторов, как и для реализации их гибкого взаимодействия в рамках подсистем, необходим адекватный математический аппарат [9, 10]. Для формирования общей архитектуры многокритериальной информационной интеллектуальной системы оценки уровня безопасности дорожного движения (МИИС БДД) необходимо сформировать правила математического взаимодействия предикторов оценки и вывода интегральной оценки на различных уровнях.

Для формирования математической модели, ориентируясь на необходимые цели работы программы МИИС БДД, были проанализированы математические и алгоритмические инструменты обработки нечетких

данных. Установлено, что наиболее подходящими для принятой концепции обработки информации являются алгоритмы Мамдани и Сугено, в зависимости от задач на разных уровнях и типа обрабатываемых данных. При этом для разных предикторов возможно формирование правил на основе разных алгоритмов, которые имеют свои сильные стороны и недостатки для конкретных задач. Например, особенностями алгоритма Мамдани является возможность нечеткой импликации путем использования операции минимизации и выполнения связки «and», которые на стадии агрегирования позволяют определить максимум. Процедуры фаззификации, композиции базы правил, импликации, дефаззификации в комплексе являются алгоритмом Мамдани. Если при импликации выходным сигналом лингвистического решения является не лингвистическое решение в виде нечетких функций, а конкретное число или линейная функция, то такой алгоритм называется алгоритмом Такаги-Сугено, иногда называемый просто алгоритмом Сугено.



Рисунок 4 – Карта декомпозиции подсистемы «Транспортное средство» на критерии и подкритерии оценки
Источник: составлено автором.

Figure 4 – Decomposition map of the “Vehicle” subsystem into evaluation criteria and sub-criteria
Source: compiled by the author.



Рисунок 5 – Карта декомпозиции подсистемы «Дорога» на критерии и подкритерии оценки
Источник: составлено автором.

Figure 5 – Decomposition map of the “Road” subsystem into evaluation criteria and sub-criteria
Source: compiled by the author.

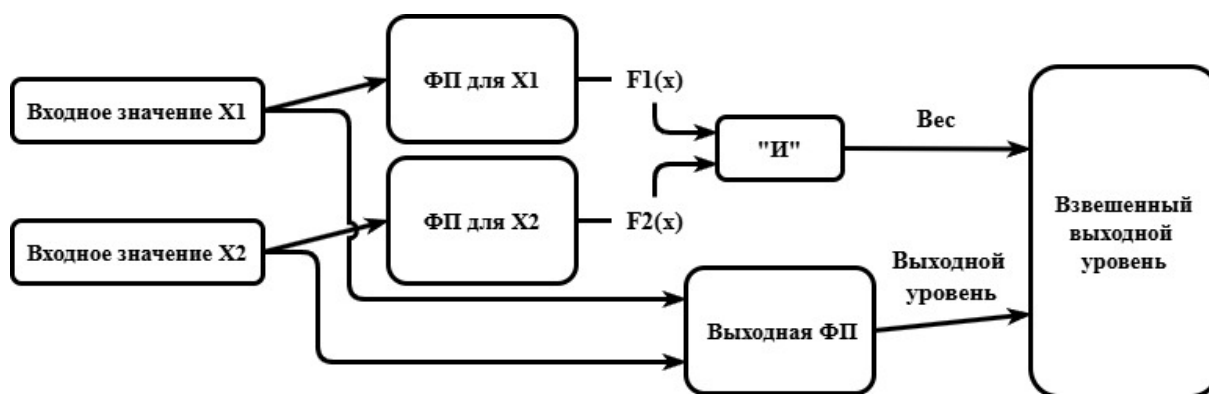


Рисунок 6 – Принципиальная схема формирования нечеткого вывода в алгоритме Сугено
Источник: составлено автором.

Figure 6 – Functional diagram of fuzzy inference generation in the Sugeno algorithm
Source: compiled by the author.

В данной модели основной особенностью является то, что для итоговой функции принадлежности (далее ФП) проводится расчет средневзвешенного значения ряда данных, в то время как в алгоритме Мамдани вычисляется центр тяжести двумерной области, что на стадии дефазификации более предпочтительно с точки зрения точности вычислений. В случае двух входных предикторов схема алгоритма Сугено будет иметь вид, показанный на рисунке 6 [11, 12, 13, 14].

Для формирования правил нечеткого вывода используются два принципиальных значения:

- линейная функция $z_i = a_i x_1 + b_i x_2 + c_i$ с двумя входными переменными и константами a_i , b_i и c_i тождественная значению выхода каждого отдельного правила;
- весовое значение каждого правила w_i , формируемое импликацией функций принадлежности для двух входных переменных – $F_1(x)$ и $F_2(x)$.

Формирование нечеткого вывода значений оценки состояния системы реализуется поэтапно и последовательно. На первом этапе происходит введение нечеткости или процедура фазификации, которая устанавливает значения ФП для нечетких множеств (термов), используя четкие предикторы оценки. На вто-

ром этапе происходит нечеткий вывод, который объединяет функции принадлежности, лингвистические переменные (далее ЛП) или нечеткие логические операции в нечеткие заключения. Далее следует этап композиции, формирующий совокупность нечетких подмножеств для каждой переменной вывода. А завершающим этапом служит преобразование нечеткого вывода в числовую переменную или этап дефазификации, преобразующий ФП выходной ЛП в четкое (числовое) значение.

Этот процесс в математическом плане описан, известен и формируется с учетом следующих функций [11, 14]:

- функции принадлежности $\mu_{j_p}(x_i)$ входного нечеткого термина a_{i,j_p} , определяемого по форму-

$$a_{i,j_p} = \int_{x_i}^{\bar{x}_i} \mu_{j_p}(x_i) / x_i dx, \quad x_i \in [x_i, \bar{x}_i];$$

ле,

- функции принадлежности $\mu_{d_j}(y)$ выходного нечеткого термина d_j , определяемого по форму-

$$d_j = \int_{y}^{\bar{y}} \mu_{d_j}(y) / y dy.$$

ле,

Входной вектор $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ выходного термина d_j имеет степень принадлежности, которая определяется логическим операционным алгоритмом «ИЛИ (И)» из s-нормы (t-нормы) базы знаний:



Рисунок 7 – Принципиальная схема декомпозиции процесса наполнения МИИС БДД с формированием этапов оценки на различных уровнях системы
Источник: составлено автором.

Figure 7 – Functional decomposition diagram of the filling process of Multicriteria Information Intelligent System for assessing Road Traffic Safety, with the development of estimation stages at various system levels
Source: compiled by the author.

$$\mu_{dj}(X^*) = V_{p=1, K_j} w_{jp} \cdot \Lambda_{i=1, n} [\mu_{jp}(X_i^*)]. \quad (1)$$

В результате чего формируется выходное нечеткое множество y , тождественное входному вектору x^* [11, 14]:

$$y = \frac{\mu_{d_1}(x^*)}{d_1} + \frac{\mu_{d_2}(x^*)}{d_2} + \dots + \frac{\mu_{d_m}(x^*)}{d_m}. \quad (2)$$

Сам процесс формирования логического нечеткого вывода на основе нечеткого термина второго порядка будет выглядеть так [10, 13]:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left(\bigcap_{i=1}^n x_i = a_{i,jp} \text{ с весом } w_{jp} \right) \rightarrow y = d_j. \quad (3)$$

При этом вначале четкое числовое множество формируется из нечетких множеств $\{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ срезанием ФП $\mu_{dj}(y)$ на уровне $\mu_{dj}(x^*)$, после чего происходит агрегация полученных нечетких множеств по следующей формуле [11, 14]:

$$\tilde{y} = \text{agg}_{j=1, m} \left(\int_{\underline{y}}^{\bar{y}} \min(\mu_{dj}(X^*), \mu_{dj}(y)) dy \right). \quad (4)$$

Функция «agg» предполагает определение максимума нечетких множеств, а четкое значение выхода y формируется с использованием метода определения центра тяжести путем дефазификации нечеткого множества \tilde{y} [11, 14]:

$$y = \frac{\int_y^{\bar{y}} y \cdot \mu y(y) dy}{\int_y^{\bar{y}} \mu \bar{y}(y) dy}. \quad (5)$$

Предлагаемый математический метод позволит универсализировать подход к оценке безопасности дорожного движения введением единой шкалы оценивания для всех критериев-предикторов, в том числе и тех, которые имеют нечисловые значения (значения лингвистических переменных без физически определенной базовой переменной).

Поскольку формирование оценки происходит на пяти уровнях (см. рисунок 1), то последовательное заполнение этих уровней исходной информацией имеет принципиальное значение, при этом ключевым уровнем следует считать сбор информации на участке УДС на первом подкритериальном уровне, который подчинен двум основным идеям [15]:

1. Оценка системы БДД происходит путем определения паттернов поведения участников дорожного движения или изменяемых, но прогнозируемых и измеряемых, параметров во флуктуационных подсистемах («Водитель», «Окружающая среда»).

2. Оценка системы БДД происходит путем определения устойчивых эксплуатационных, конструктивных или организационных особенностей дорожного движения на предмет их соответствия нормированным параметрам в гомеостатических системах («Транспортное средство», «Дорога»).

При этом основным источником определения нормальности является экспертиза дорожно-транспортного происшествия как явления, которое содержит в себе код причины возникновения аварийной дорожно-транспортной ситуации, выраженный в ненормированном состоянии предиктора оценки – в данном случае одного подкритерия или совокупности подкритериев. При этом значительная часть значений подкритериев возможно определить на стадии первичного осмотра места происшествия, когда собирается основной массив информации о дорожно-транспортном происшествии, его участниках, транспортных средствах, участке улично-дорожной сети, где произошло проис-

шествие, его свойствах и характеристиках, а также о метеорологических и прочих окружающих условиях. Иные данные для формирования базы данных под оценку подкритериев и критериев возможно установить только путем проведения различных экспертиз и исследований. Полная декомпозиция процесса наполнения МИИС БДД показана на рисунке 7.

Как видно из схемы наполняемости МИИС, подсистемы и элементы их образующие не находятся в состоянии изолированности и взаимодействуют между собой, оказывая влияние на состояние того или иного предиктора. Например, менее опытный водитель будет воспринимать дорожную обстановку и принимать решения менее уверенно, чем опытный, в то время как наличие систем активной безопасности на одном транспортном средстве снижает риск возникновения ДТП в неблагоприятных дорожных условиях в отличие от транспортного средства, их не имеющего. Систематизация подобных закономерностей позволила объединить эти взаимосвязи в принципиальную схему взаимовлияния подсистем и критериев в когнитивную карту (рисунок 8) [16].

Такой подход к формированию оценки уровня БДД, несмотря на сложность в структуре формирования, позволяет упростить и расширить вычислительные возможности при формировании интегральной оценки и учесть значительное количество предикторов в совокупности путем научного подхода, исключая типовые или формализованные методы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для реализации программного аппарата МИИС БДД использовался высокоуровневый язык программирования Python, особенность которого, применительно к нашим задачам, состоит в том, что на его базе реализована строгая динамическая типизация и автоматический контроль памяти. На рисунке 9 продемонстрирован конечный результат формирования информационной рабочей панели с визуализацией вывода результатов расчета итоговой оценки на основе входных предикторов оценки. На рисунке 10 продемонстрировано динамическое интегральное смещение ФП подсистем при изменении состояния одной из подсистем [16, 17].

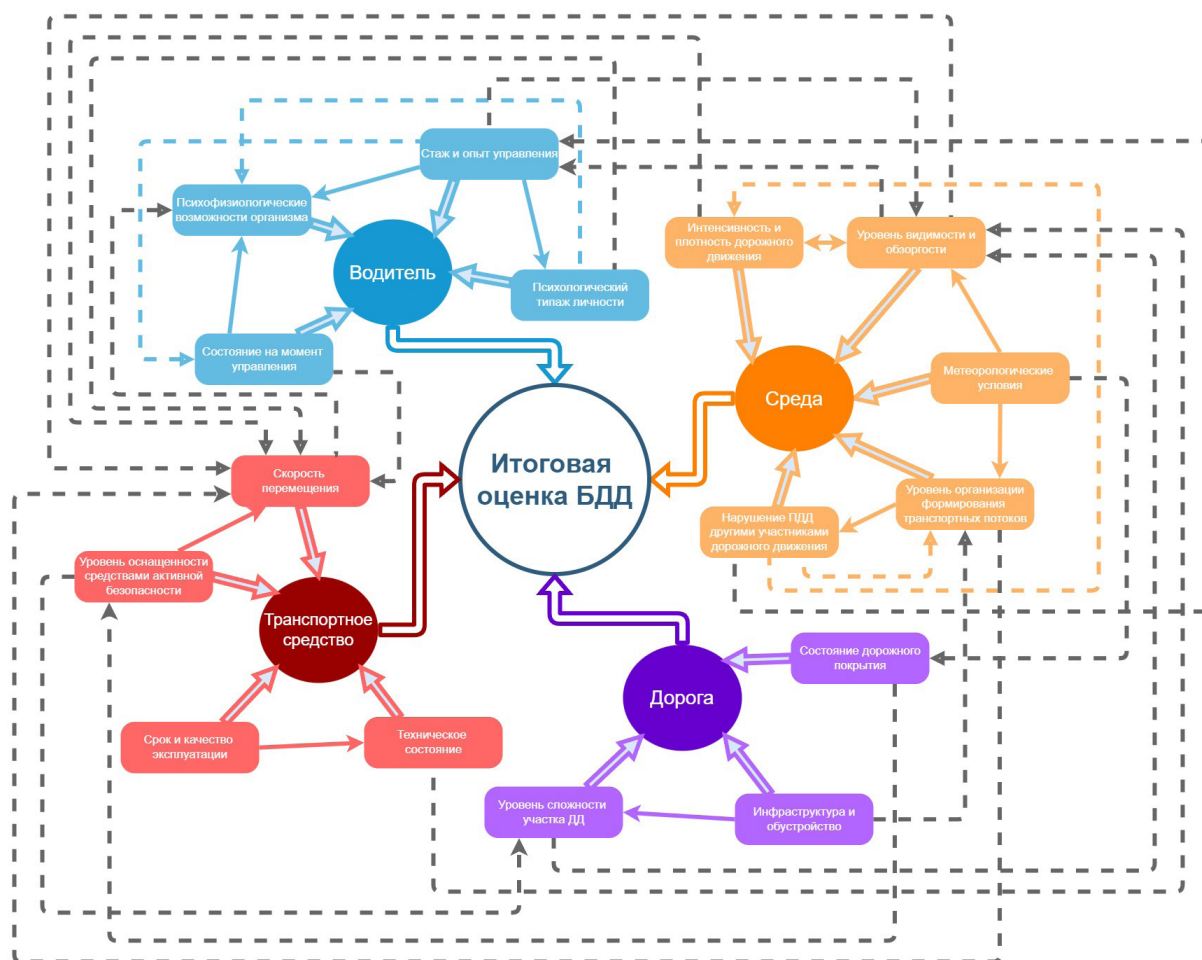


Рисунок 8 – Когнитивная карта взаимовлияния подсистем и критериев на различных уровнях взаимодействия в МИИС
Источник: составлено автором.

Figure 8 – Cognitive map of the mutual influence of subsystems and criteria at various levels of interaction within the Multicriteria Information Intelligent System
Source: compiled by the author.

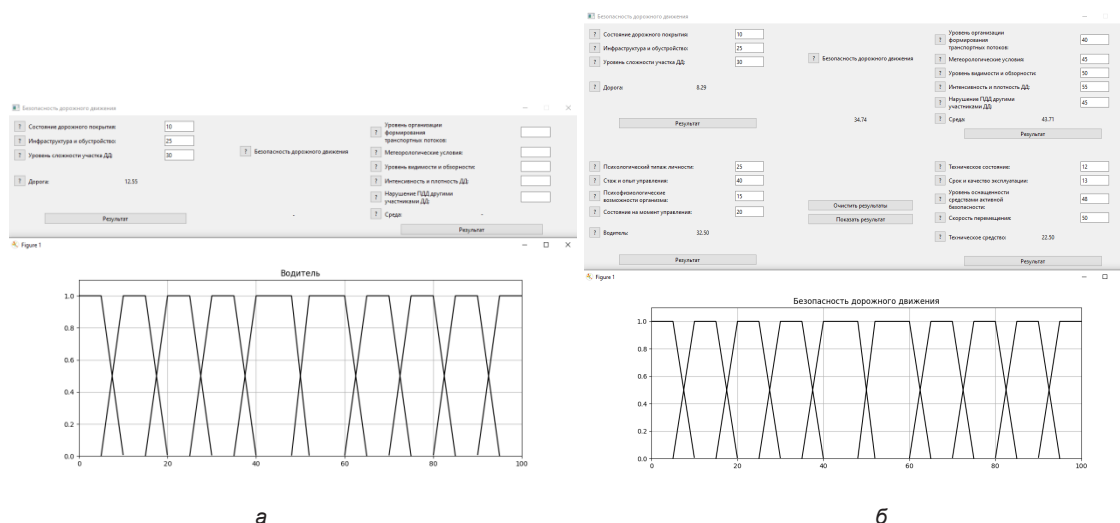


Рисунок 9 – Примеры вывода интегральной оценки уровня БДД на базе аппаратной реализации МИИС:
а – отдельная оценка состояния подсистемы;
б – результат итоговой оценки БДД с учетом состояния всех подсистем
Источник: составлено автором.

Figure 9 – Examples of deriving the integral assessment of the Road Traffic Safety Level based on the hardware implementation of the Multicriteria Information Intelligent System:
a) individual assessment of the subsystem state;
b) final road traffic safety assessment result considering the state of all subsystems
Source: compiled by the author.

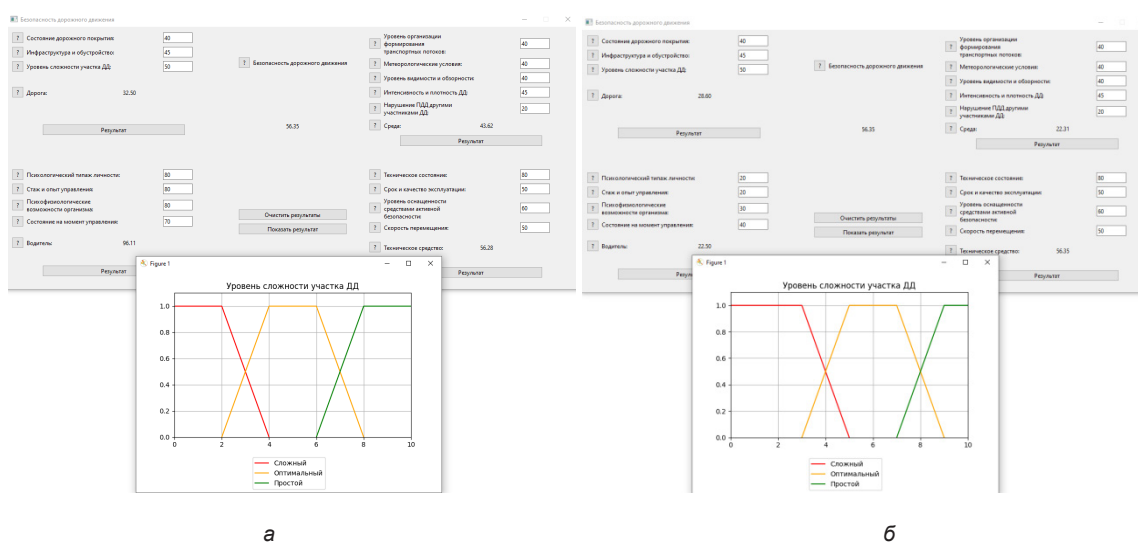


Рисунок 10 – Результат смещения ФП подсистемы при изменении состояния:
а – оценка штатного состояния подсистемы;
б – оценка изменения подсистемы при изменении состояния подсистемы «Водитель»
Источник: составлено автором.

Figure 10 – The result of the subsystem membership function shift when the state changes:
a) assessment of the subsystem's normal state;
b) assessment of the subsystem modification when the state of the "Driver" subsystem changes
Source: compiled by the author.

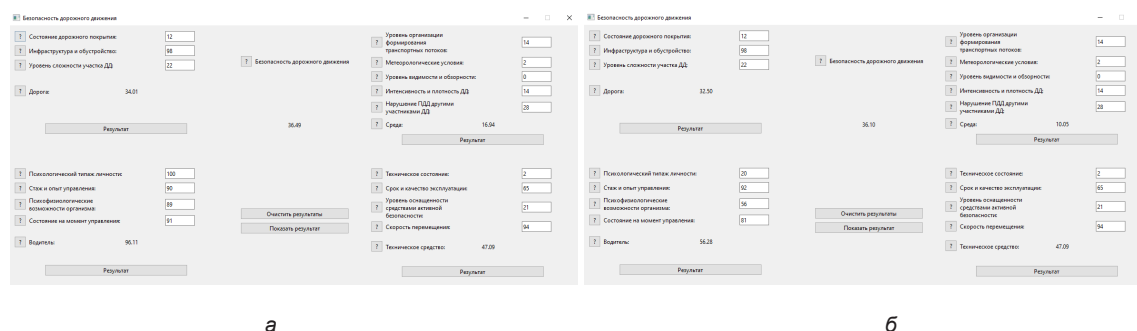


Рисунок 11 – Проверка учета влияния состояния подсистемы «Водитель» на общие оценки подсистем и на общую интегральную оценку БДД:
 а – оценка подсистем без учета влияния общей оценки подсистемы «Водитель»;
 б – оценка подсистем с учетом влияния общей оценки подсистемы «Водитель»
 Источник: составлено автором.

Figure 11 – Verification of the accounting the impact of the “Driver” subsystem state on the general assessments of the subsystems and on the overall integral assessment of Road Traffic Safety (RTS):
 a) subsystem assessment without considering the influence of the overall “Driver” subsystem estimation;
 b) subsystem assessment considering the influence of the overall “Driver” subsystem estimation.
 Source: compiled by the author.

Как следствие изменения состояния одной из подсистем (в рассматриваемом случае подсистемы «Водитель»), итоговая оценка БДД также интегрально изменяется (рисунок 11), что позволяет проводить анализ системы в целом и выявлять влияющие на снижение уровня безопасности предикторы.

Снижение оценок других подсистем в результате взаимовлияния изменения состояния одной из подсистем приводит к снижению общей интегральной оценки БДД, что позволит выявить ненормированные предикторы влияния и понять, какие мероприятия необходимо провести для устранения причин возникновения одиночного дорожно-транспортного происшествия как явления, на участке УДС или системности их возникновения по причине наличия отклонения от нормальности одного или совокупности факторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный метод позволяет получать интегральную оценку состояния системы безопасности дорожного движения на участке улично-дорожной сети, который отличается выходом из нормального состояния и характеризуется повышенной аварийностью, путем оценки отдельных предикторов влияния экспертно-экспериментальными способами (дорожно-транспортной, психофизиологической, дорожной экспертизами, экспериментальными замерами, диагностикой и т.д.) составных

частей системы «Водитель – Транспортное средство – Дорога – Окружающая среда». Это позволит выявить критические факторы, влияющие на возникновение дорожно-транспортной ситуации, которая приводит к аварийному событию, с целью устранения их, как выходящие за пределы нормального состояния, путем проведения профилактических, реконструкционных или иных мероприятий. Отличительной особенностью предложенной модели является большое количество предустановленных предикторов оценки, многоуровневый поэтапный интегральный расчет их взаимодействия и взаимовлияния, что позволяет снизить нагрузку на расчетные технические мощности программного обеспечения и повысить охват учитываемых переменных. В конечном итоге предлагаемый метод позволит обеспечить скорость анализа аварийных участков путем увеличения скорости обработки информации, а также повысить безопасность дорожного движения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Рубцова М.В. Безопасность дорожного движения в России: проблемы и пути их решения // Безопасность дорожного движения. 2021. № 3. 4–7 с.
2. Пирогов Я.Е., Евтюков С.С., Терентьев А.В. Концепция информационно-аналитической платформы в дорожно-транспортной системе мегаполиса // Вестник гражданских инженеров. 2022. №5 (94). С. 123–129.

3. Новиков А.Н., Еремин С.В., Ломакин Д.О. Оценка уровня безопасности дорожного движения на региональном уровне // Мир транспорта и технологических машин. 2020. № 3 (70). С. 72–79. <https://doi.org/10.33979/2073-7432-2020-70-3-72-79>
4. Лопарев Е.А., Сергунова А.С. Влияние внешних факторов на уровень дорожно-транспортных происшествий, связанных с наездами на пешеходов // Безопасность дорожного движения. 2022. № 1. 28–34 с.
5. Петров А.И., Евтюков С.А. Специфика использования информационно-энтропийного подхода при организации и управлении городскими системами обеспечения безопасности дорожного движения // Вестник гражданских инженеров. 2022. № 4 (105): 80–88.
6. Подопригра Н.В. Структура и функционирование системы «Водитель – Автомобиль – Дорога – Внешняя среда» // Вестник гражданских инженеров. 2022. № 2 (91): 154–159.
7. Новиков И.А., Лазарев Д.А., Зиборова Е.И., Жихарев А.Г. Совершенствование дорожно-транспортной экспертизы в сфере безопасности дорожного движения путем внедрения методологии комплексного определения составляющих механизма дорожно-транспортных происшествий // Мир транспорта и технологических машин. 2024. № 1-3 (84): 71–81. [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2024-1-3\(84\)-71-81](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2024-1-3(84)-71-81)
8. Зеликов В.А., Шаталов Е.В., Еркнапешян Е.Н. [и др.]. Управление безопасностью движения в сфере автотранспортного обслуживания населения // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 8 (39).
9. Евтюков С.С., Васильев Я.В., Голубев Д.С. Модель прогнозирования аварийности на основе адаптивного нейро-нечеткого вывода // Мир транспорта и технологических машин. 2025. № 2-2 (89): 126–133. [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2025-2-2\(89\)-126-133](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2025-2-2(89)-126-133)
10. Гавриленко А.А. О перспективах использования нейросетей в аналитике безопасности дорожного движения // Современная наука. 2024. № 4: 8–11.
11. Аникеев Е.А. Применение нечёткой логики для управления дорожным движением // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Том 2, № 4, ч. 3: 315–318.
12. Ключин А.Ю., Кузнецов В.Н., Кучерявых В.В. Задачи построения интеллектуальной информационной системы управления безопасностью дорожного движения // Программные продукты и системы. 2010. № 4.
13. Мосин К.К. Использование методов автоматизированного машинного обучения для классификации дорожно-транспортных происшествий // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2023. № 2.
14. Xueqiu, Wang. BL-YOLOv8: An Improved Road Defect Detection Model Based on YOLOv8 / Xueqiu Wang, Huanbing Gao, Zemeng Jia, Zijian Li // Sensors 2023, 23, 8361. <https://doi.org/10.3390/s23208361>
15. Лазарев Д.А., Гринякин Р.В., Стрекалов Д.П., Шаталов Е.В. Применение цифровых алгоритмов при оптимизации процесса расследования дорожно-транспортных происшествий // Воронежский научно-технический вестник. № 4(46) декабрь 2023 г. <https://doi.org/10.34220/2311-8873-2023-107-119>
16. Лазарев Д.А., Иващук О.Д., Бекетов Я.М., Новиков И.А. Интеллектуальная система оценки уровня безопасности дорожного движения на участке улично-дорожной сети // Грузовик. 2025. № 8. С. 44–53. <https://doi.org/10.36652/1684-1298-2025-8-44-53>
17. Иващук О.Д., Бекетов Я.М., Новиков И.А., Лазарев Д.А. Интеллектуальная система оценки уровня безопасности дорожного движения на участке улично-дорожной сети: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2025660188 // правообладатель ФГАОУ ВО БелГНИУ; дата гос. рег.: 22.04.2025 г.

REFERENCES

1. Rubtsova M.V. Road safety in Russia: problems and ways to solve them. Road safety. 2021; 3: 4-7. (in Russ.)
2. Pirogov Ya.E., Evtyukov S.S., Terentyev A.V. The concept of an information and analytical platform in the road transport system of a metropolis. *Bulletin of Civil Engineers*. 2022; 5 (94): 123-129. (in Russ.)
3. Novikov A.N., Eremin S.V., Lomakin D.O. Assessment of the level of road safety at the regional level. *World of transport and technological machines*. 2020; 3 (70): 72-79. (in Russ.) <https://doi.org/10.33979/2073-7432-2020-70-3-72-79>
4. Loparev E.A. , Sergunova A.S. Influence of external factors on the level of road accidents associated with pedestrian collisions. *Road safety*. 2022; 1. 28-34 s. (in Russ.)
5. Petrov A.I. , Evtyukov S.A. Specificity of the use of an information-entropy approach in the organization and management of urban road safety systems. *Bulletin of Civil Engineers*. 2022; 4 (105): 80-88. (in Russ.)
6. Podoprighora N.V. Structure and functioning of the Driver-Car-Road-External Environment system. *Bulletin of Civil Engineers*. 2022; №2 (91): 154-159. (in Russ.)
7. Novikov I.A., Lazarev D.A., Ziborova E.I. Zhikharev A.G. Improvement of road transport expertise in the field of road safety by introducing a methodology for the integrated determination of the components of the mechanism of road accidents. *World of transport and technological machines*. 2024; 1-3 (84): 71-81. (in Russ.) [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2024-1-3\(84\)-71-81](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2024-1-3(84)-71-81)
8. Zelikov V.A., Shatalov E.V., Yernapes-hyan E.N. [et al.] Traffic Safety Management in the field of motor transport services for the population. *International Research Journal*. 2015; 8 (39). (in Russ.)
9. Evtyukov S.S., Vasiliev Ya.V., Golubev D.S. Accident prediction model based on adaptive neuro-fuzzy inference. *World of transport and technolog-*

ical machines. 2025; № 2-2 (89): 126-133. (in Russ.) [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2025-2-2\(89\)-126-133](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2025-2-2(89)-126-133)

10. Gavrilenko A.A. On the prospects for using neural networks in road safety analytics. *Modern science*. 2024; № 4. S. 8-11. (in Russ.)

11. Anikeev E.A. Application of fuzzy logic for traffic control. Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. 2014; Volume 2 No. 4 h. 3: 315-318. (in Russ.)

12. Klyushin A.Yu., Kuznetsov V.N., Kucheryavikh V.V. Tasks of building an intelligent information system for road safety management. *Software products and systems*. 2010; 4. (in Russ.)

13. Mosin K.K. Using automated machine learning techniques to classify road accidents/Intelligent technologies in transport. 2023; 2. (in Russ.)

14. Xueqiu, Wang., Huanbing Gao, Zemeng Jia, Zijian Li BL-YOLOv8: An Improved Road Defect Detection Model Based on YOLOv8. *Sensors* 2023, 23, 8361. <https://doi.org/10.3390/s23208361>

15. Lazarev D.A., Grinyakin R.V., Strekalov D.P., Shatalov E.V. Application of digital algorithms in optimizing the road accident investigation process. *Voronezh Scientific and Technical Bulletin* No. 4 (46) December 2023; (in Russ.) <https://doi.org/10.34220/2311-8873-2023-107-119>

16. Lazarev D.A., Ivashchuk O.D., Beketov Ya.M., Novikov I.A. Intelligent system for assessing the level of road safety on a section of the road network. *Truck*. 2025; 8: 44-53. (in Russ.) <https://doi.org/10.36652/1684-1298-2025-8-44-53>

17. Ivashchuk O.D., Beketov Ya.M., Novikov I.A., Lazarev D.A. Intelligent system for assessing the level of road safety on the road network section: certificate of state registration of the computer program No. 2025660188; right holder FSAEI HE BelGNIU; State registration date: 22.04.2025. (in Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Лазарев Дмитрий Александрович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8516-4780>,

SPIN-код: 3911-7952,

Scopus Author ID: 57191902510,

Researcher ID: OGN-1332-2025,

e-mail: avtotech31@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Lazarev Dmitriy A. – Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, "Automobile Transport Operation and Traffic Management" Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (46, Kostyukov Street, Belgorod, 308012).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8516-4780>,

SPIN-код: 3911-7952,

Scopus Author ID: 57191902510,

Researcher ID: OGN-1332-2025,

e-mail: avtotech31@mail.ru