



2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

**МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПЕШЕХОДНОГО ПОТОКА ДЛЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ПЕШЕХОДНОГО ПЕРЕХОДА**

**PEDESTRIAN FLOW MANAGEMENT MODEL FOR A CONTROLLED PEDESTRIAN CROSSING**

**Кущенко Лилия Евгеньевна,**

д.т.н., профессор кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород.

**Kushchenko Liliya Evgenievna,**

doctor of technical sciences, professor department of operation and organization of motor transport, Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov, Belgorod.

**Дорохин Сергей Владимирович,**

д.т.н., профессор, декан автомобильного факультета, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

**Dorokhin Sergey Vladimirovich,**

doctor of technical sciences, professor, dean of the automobile faculty, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

✉<sup>1</sup> **Камбур Алина Сергеевна,**

старший преподаватель кафедры защиты в чрезвычайных ситуациях, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, e-mail: [bobeshko.alya@mail.ru](mailto:bobeshko.alya@mail.ru)

✉<sup>1</sup> **Kambur Alina Sergeevna,**

senior lecturer of the department of emergency protection, Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov, Belgorod, e-mail: [bobeshko.alya@mail.ru](mailto:bobeshko.alya@mail.ru)

**Аннотация.** Представлена математическая модель управления движением регулируемого пешеходного перехода, базирующаяся на основе свода правил нечеткой логики для минимизации вероятности возникновения наезда на пешехода, а также повышения безопасности дорожного движения на пешеходных переходах и снижения задержки транспортных средств, находящихся в пути перед регулируемым пешеходным переходом. Приведена расчетная часть сигналов управления движением пешеходного потока на основании нечеткого вывода. Определены характеристики правил нечеткого вывода. Представлена визуализация поверхности нечеткого вывода управления движением пешеходного потока.

**Annotation.** A mathematical model for pedestrian flow control at a controlled pedestrian crossing is presented. This model is based on a set of fuzzy logic rules to minimize the likelihood of pedestrian collisions, improve road safety at pedestrian crossings, and reduce delays for vehicles traveling in front of the controlled pedestrian crossing. The calculated portion of pedestrian flow control signals based on fuzzy inference is presented. The characteristics of fuzzy inference rules are determined. A visualization of the fuzzy inference surface for pedestrian flow control is presented.

**Ключевые слова:** ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЕ ПРОИСШЕСТВИЕ, ПЕШЕХОДНЫЙ ПЕРЕХОД, УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ, НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ ПЕРЕМЕННАЯ, СВЕТОФОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ.

**Keywords:** ROAD TRAFFIC ACCIDENT, PEDESTRIAN CROSSING, TRAFFIC CONTROL, FUZZY LOGIC, MATHEMATICAL MODEL, LINGUISTIC VARIABLE, TRAFFIC LIGHT CONTROL.

<sup>1</sup> Автор для ведения переписки

## 1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Повышение безопасности движения пешеходов обуславливается высокими показателями смертности вследствие возникновения дорожно-транспортного происшествия (ДТП) с вышеуказанными участниками движения.

Данный вопрос является приоритетным направлением государственной политики и важным фактором обеспечения устойчивого социально-экономического и демографического развития страны согласно прогнозу социально-экономического развития на период до 2030 года [1].

Тема «нулевой смертности» в результате ДТП соответствует установке Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г. с последующим прогнозом до 2035 г.

Актуальность работы определяется необходимостью повышения безопасности дорожного движения (БДД) и эффективности функционирования участков улично-дорожной сети, в частности пешеходных переходов (ПП) на основе комплекса мероприятий, способствующих минимизации вероятности возникновения ДТП, а, следовательно, снижения смертности на дорогах. Анализ наездов на пешеходов, происходящих на нерегулируемых и регулируемых пешеходных переходах, свидетельствует о высоком уровне аварийности.

Установлено, что наезд на пешехода занимает 2-е место по причинам аварийности после столкновения транспортных средств. Далее идут нарушения требований светофорного регулирования, правил проезда кольцевого движения, несоблюдение дистанции.

Показатели аварийности с участием водителей с признаками алкогольного опьянения снизились практически на 20 % в сравнении с предыдущим годом, это связано с ужесточением наказания и штрафов. Число погибших в данных происшествиях уменьшилось более чем на 30 % (785 чел.), раненых в них — на 19,2 % (5567 чел.).

Отмечено, что успешно достигнуты целевые показатели снижения аварийности нацпроекта «Безопасные качественные дороги». По итогам 2024 года удалось достичь значения транспортного риска ниже, чем планового значения – 2,47 против 2,57. Социальный риск равен плановому значению – 10,2.

Снижение аварийности и смертности установлено в ряде регионов РФ, например, в Орловской, Белгородской, Воронежской, Липецкой областях, а также в республиках Калмыкии, Мордовии, Татарстане и Карачаево-Черкессии [2].

Количество погибших растет и зафиксировано в 25 субъектах РФ. Каждое произошедшее ДТП анализируется, изучается и устанавливаются его причины и условия в момент совершения ДТП. Определяются очаги аварийности с помощью которых в дальнейшем определяется внедрение того или иного мероприятия для предотвращения вероятности возникновения ДТП.

Количество наездов на пешеходов в 2020 – 2024 гг. сократилось на 8,5 %, но тем не менее число погибших пешеходов возросло практически на 2 %, раненых – на 3 % (рис. 1).

Проведенный анализ статистических данных свидетельствует о том, что необходимо регулярно уделять особое внимание безопасности движения пешеходов. Несмотря на снижение количества ДТП с участием пешеходов виден рост числа погибших в данных дорожных происшествиях, что еще раз подтверждает актуальность темы исследования и свидетельствует о необходимости разработки моделей, методик и мероприятий, направленных на повышение безопасности движения пешеходов.

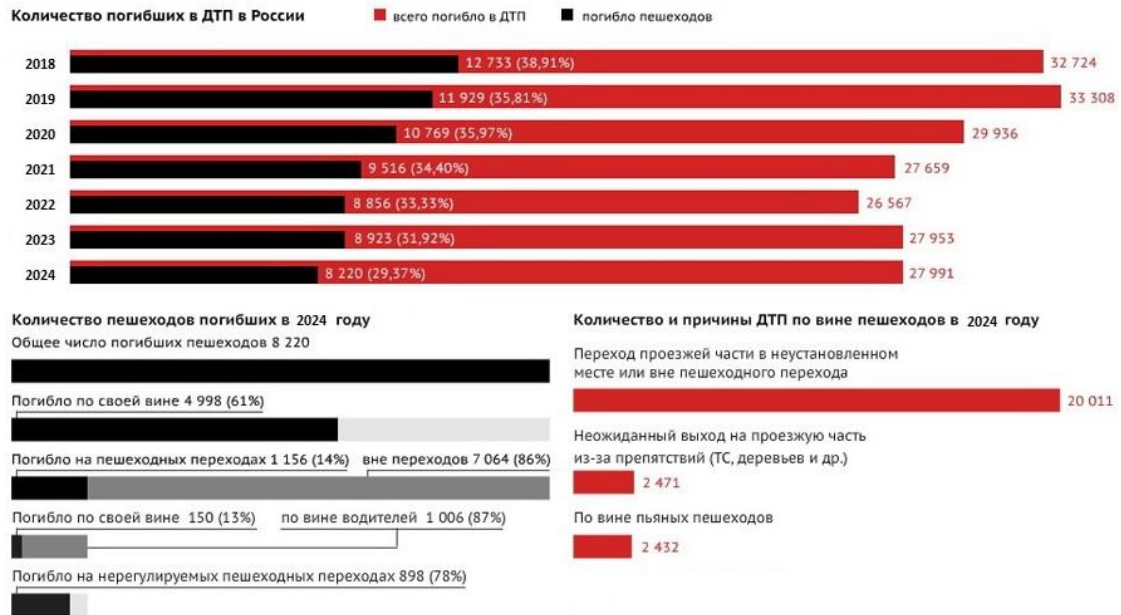


Рисунок 1 – Основные показатели аварийности из-за наездов на пешеходов за период 2018-2024 гг. в РФ

На территории Белгородской области происходят ДТП по различным причинам с различной степенью тяжести и последствий. Анализ проведен на основе официальных данных ГИБДД по Белгородской области за период 2020-2024 гг. На рис. 2 представлены основные показатели аварийности из-за наездов на пешеходов на территории Белгородской области за 2020-2024 гг., на рис. 3 – на территории Белгородской городской агломерации (БГА) [3-6].



Рисунок 2 – Основные показатели аварийности из-за наездов на пешеходов за период 2020-2024 гг. в регионе



Рисунок 3 – Основные показатели аварийности из-за наездов на пешеходов за период 2020-2024 гг. в Белгородской городской агломерации

Развитие практико-ориентированных методик и методов повышения БДД таких участников дорожного движения как пешеходы, а также разработка математических моделей и теории нечеткой логики требует постановки и решения научной задачи [6, 8].

Целью работы является повышение безопасности движения пешеходов на регулируемых пешеходных переходах. Разработанная математическая модель применима как для Белгородской области, так и для других городов с численностью населения до 1 млн чел., что еще раз подтверждает актуальность исследования.

## 2 Материалы и методы

Нечеткая логика применяется в различных областях, где присутствуют неопределенность и неточность. Широко используется в медицинской диагностике для управления неопределенностью симптомов и повышения точности диагнозов. Системы помощи водителю, такие как антиблокировочные системы тормозов (ABS) и системы стабилизации автомобиля используют нечеткую логику для обработки неточной информации и обеспечения безопасного вождения, посредством тонкой реакции и оптимизации сцепления шин с дорогой.

Математическая теория нечетких множеств позволяет описывать нечеткие понятия и знания, а также оперировать этими знаниями и делать нечеткие выводы. Данная теория применима и в управлении дорожным движением для оптимизации транспортных потоков и уменьшения заторов в режиме реального времени, поскольку посредством нечеткой логики удастся расширить границу приложения систем автоматизации за пределы применимости классической теории автоматического управленческого решения [7].

При разработке математической модели управления движением пешеходного потока для регулируемого ПП, базирующейся на основе свода правил нечеткой логики, позволяющей эффективно управлять транспортными и пешеходными потоками перед регулируемым ПП, были определены лингвистические переменные, три из которых входные и одна – выходная [6, 9]:

$\alpha_1$  – количество людей, собирающихся в пешеходной зоне для осуществления перехода через пешеходный переход;

$\alpha_2$  – темп изменения количества людей, собирающихся на красный сигнал светофора для пешеходов, чел/с;

$\alpha_3$  – ширина проезжей части дороги, м;

$\alpha_4$  – время зеленого сигнала для пешеходного светофора, с.

Для каждой лингвистической переменной были определены термы и функции принадлежности (ФП). Для первой лингвистической переменной  $\alpha_1$  из статистических данных определен диапазон  $\Delta \alpha_1 = [0; 36]$ . Для описания переменной  $\alpha_1$  введено пять ФП, равномерно распределенных по всему диапазону изменения [6]:

- *VS (Very Small)* – «очень малое» [0; 0; 2; 9];
- *S (Small)* – «малое» [0; 9; 18];
- *M (Medium)* – «среднее» [9; 18; 27];
- *B (Big)* – «большое» [18; 27; 36];
- *VB (Very Big)* – «очень большое» [27; 34; 36; 36].

Для построения ФП для второй входной переменной  $\alpha_2$  проведен расчет количества пешеходов и изменения его темпа. Результаты измерений получены на основании анализа статистических данных [6, 10]. Темп изменения количества пешеходов определяется следующим образом:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{n_{\text{конеч}} - n_{\text{нач}}}{\Delta t}, \quad (1)$$

где  $n_{\text{конеч}}$  – количество пешеходов в конечный момент времени,  $n_{\text{нач}}$  – количество пешеходов в предыдущий момент времени,  $\Delta t = 1$  мин – период измерения количества пешеходов.

Область значений лингвистической переменной  $\Delta \alpha_2$  (темп изменения количества людей, собирающихся на красный сигнал светофора для пешеходов) разделена на пять диапазонов. Каждому из них присвоена качественная характеристика (терма) (рис. 4) [6, 11]:

- *NB (Negative Big)* – «отрицательное большое» [-20; -20; -16; -8];
- *NS (Negative Small)* – «отрицательное малое» [-16; -8; 0];
- *Z (Zero)* – «нулевое» [-8; 0; 8];
- *PS (Positive Small)* – «положительное малое» [0; 8; 16];
- *PB (Positive Big)* – «положительное большое» [8; 16; 20; 20].

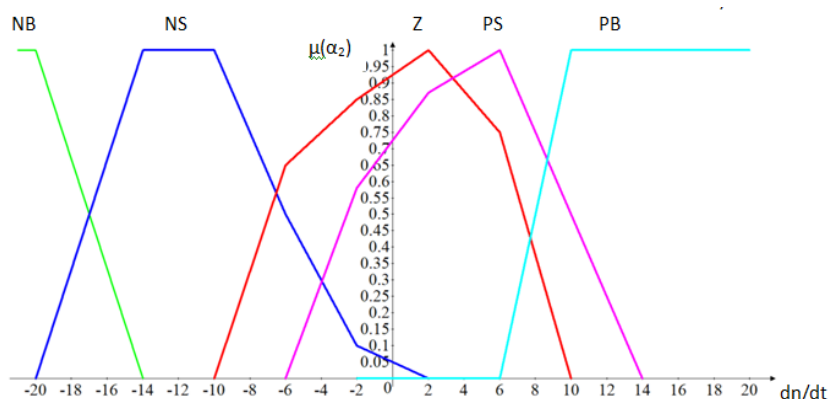


Рисунок 4 – ФП лингвистической переменной  $\alpha_2$

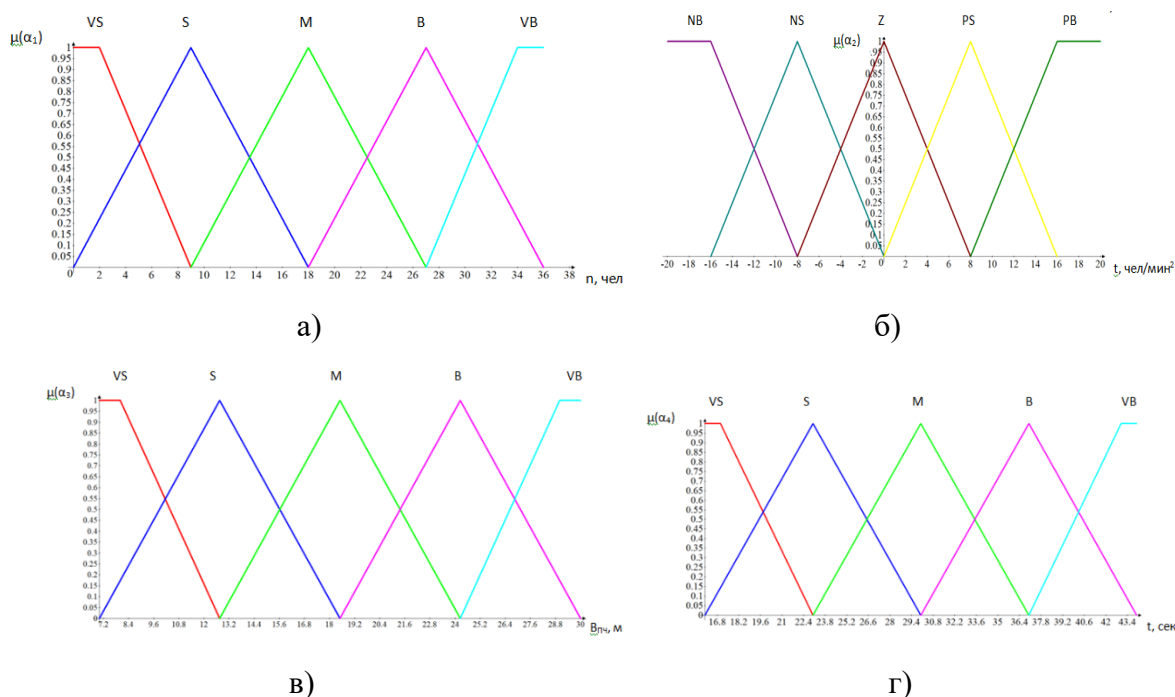
Для характеристики переменной  $\Delta \alpha_3$  (ширина проезжей части дороги, и одна выходная лингвистическая переменная) диапазон изменения показателя составляет от 7 до 30. С учетом этого область значений лингвистической переменной  $\alpha_3$  лежит в интервале [7; 30]. Для описания лингвистической переменной  $\alpha_3$  введены пять ФП, распределенных по всему диапазону значений переменной [6, 12-14]:

- *VS (Very Small)* – «очень малое» [7; 7; 8; 12,75];
- *S (Small)* – «малое» [7; 12,75; 18,5];
- *M (Medium)* – «среднее» [12,75; 18,5; 24,25];
- *B (Big)* – «большое» [18,5; 24,25; 30];
- *VB (Very Big)* – «очень большое» [24,25; 29; 30; 30].

Исходя из условий формирования управляющих сигналов светофорного объекта на основании статистических данных, принят диапазон значений выходной лингвистической переменной  $\Delta\alpha_4$  (время зеленого сигнала светофорного регулирования для пешеходов), составляющий от 16 до 44 секунд. Для описания переменной  $\alpha_4$  введены 5 ФП, равномерно распределенных по всему диапазону изменения [6]:

- *VS (Very Small)* – «очень малое» [16; 16; 17; 23];
- *S (Small)* – «малое» [16; 23; 30];
- *M (Medium)* – «среднее» [23; 30; 37];
- *B (Big)* – «большое» [30; 37; 44];
- *VB (Very Big)* – «очень большое» [37; 43; 44; 44].

Полученные ФП для входных и выходной лингвистических переменных представлены на рис. 5.



а)  $\alpha_1$ ; б)  $\alpha_2$ ; в)  $\alpha_3$ ; г)  $\alpha_4$

Рисунок 5 – ФП для лингвистических переменных

### 3 Результаты исследований

В результате исследования для выработки управляющих сигналов светофорного регулирования составлены 80 правил нечеткой продукции на основе статистических данных, полученных в результате измерений и табличных значений о ширине проезжей части (ГОСТ-Р 52399-2022 «Автомобильные дороги общего пользования. Геометрические элементы. Геометрические требования», «СП 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89\*» [15-17].

Для наглядного примера приведены пять характерных правил нечеткого вывода:

1. ЕСЛИ  $\alpha_1 = VS$  И  $\alpha_2 = Z$  И  $\alpha_3 = PS$ , ТО  $\alpha_4 = S$ ;
2. ЕСЛИ  $\alpha_1 = PS$  И  $\alpha_2 = NB$  И  $\alpha_3 = PM$ , ТО  $\alpha_4 = S$ ;
3. ЕСЛИ  $\alpha_1 = PB$  И  $\alpha_2 = NB$  И  $\alpha_3 = B$ , ТО  $\alpha_4 = M$ ;
4. ЕСЛИ  $\alpha_1 = VB$  И  $\alpha_2 = PM$  И  $\alpha_3 = B$ , ТО  $\alpha_4 = B$ ;
5. ЕСЛИ  $\alpha_1 = VB$  И  $\alpha_2 = PB$  И  $\alpha_3 = PB$ , ТО  $\alpha_4 = NB$  [6].



Разработанная модель управления движением пешеходного потока базируется на алгоритме Мамдани. Для реализации системы нечеткого вывода применялся пакет *Fuzzy Logic Toolbox* программной среды *Matlab* [18].

Пример расчета полученного сигнала управления длительностью световорного цикла на основании нечеткого вывода выглядит следующим образом:  $\alpha_1 = 27$  – количество пешеходов;  $\alpha_2 = 16$  – темп изменения количества пешеходов, скапливающихся на запрещающий сигнал, свидетельствует о различном характере;  $\alpha_3 = 22,5$  – ширина проезжей части дороги. В результате процесса нечеткого вывода получено значение  $\alpha_4 = 37$  – время разрешающего сигнала световорного регулирования для пешеходного светофора [6, 19].

Визуализация поверхности нечеткого вывода управления движением пешеходного потока показана на рис. 6.

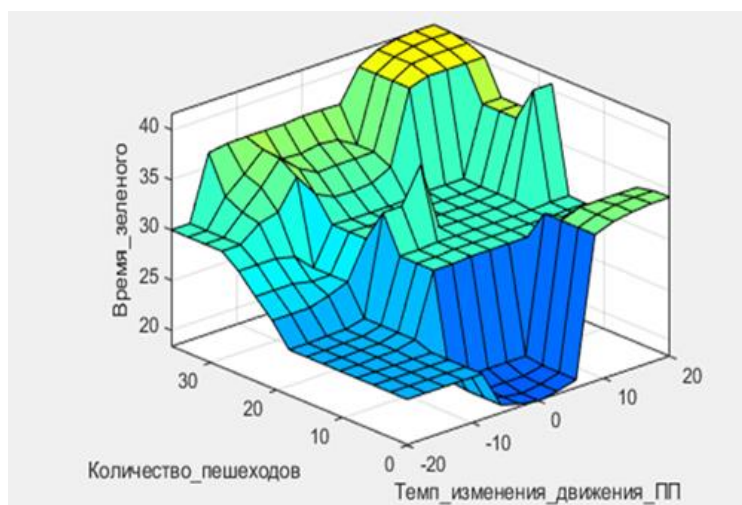


Рисунок 6 – Визуализация поверхности нечеткого вывода для разработанной модели управления светофором для пешеходного потока

Представленная на рис. 6 поверхность нечеткого вывода позволяет установить зависимость значения выходной переменной  $\alpha_4$  от значений входных переменных  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$  нечеткой модели управления движением пешеходного потока. На основании полученной зависимости имеется возможность программировать контроллер, а также реализовывать соответствующий нечеткий алгоритм управления световорным объектом для пешеходного потока [6, 20-22].

В ходе апробации данной модели установлено, что задержки транспортных средств в пути снизятся на 20,6 % и абсолютное значение количества снизится на 33,3 % [6].

Данные представлены на рис. 7.

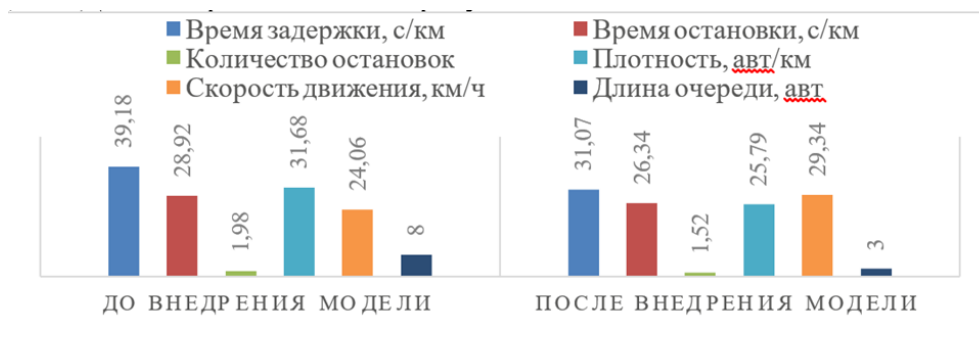


Рисунок 7 – Графическое изображение изменения характеристик транспортного потока до и после внедрения модели

Таким образом, использование математической модели управления движением пешеходного потока по регулируемому пешеходному переходу, базирующуюся на основе свода правил нечеткой логики позволяет повысить эффективность управления движением на регулируемом ПП, что положительно влияет на уровень БДД за счет снижения количества ДТП с участием пешеходов. Кроме того, обеспечивается уменьшение экономических расходов и потерь за счет экономии топлива от снижения задержек транспортных средств и пассажиров в пути.

#### 4 Обсуждение и заключение

Результаты работ обсуждались на Международных научно-практических конференциях и форумах таких как: «Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орёл, 2020-2025 гг.), «Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок и безопасности движения» (Саратов, 2020-2022 гг.); MATEC Web of Conferences The VII International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Management of Transport Systems», (ITMTS 2021); «Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте» (Вологда, 2021 г.); «Современные автомобильные материалы и технологии» (Курск, 2021- 2023 гг.); «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте» (Липецк, 2022 г.); «Актуальные проблемы развития транспортно-промышленного комплекса: инфраструктурный, управленческий и образовательный аспекты» (Донецк, 2022 г.); «Транспортные и транспортно- технологические системы» (Тюмень, 2022-2024 гг.); «Молодежь и транспорт. Настоящее и будущее» (Орёл, 2023 г., 2024 г.); «Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования» (Орёл, 2024 г.); «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (Санкт-Петербург 2024 г.), а также опубликованы в изданиях, включенных в зарубежные аналитические базы данных Web of Science и Scopus.

##### *Заключение*

1. Разработана математическая модель управления движением пешеходного потока по регулируемому пешеходному переходу, базирующаяся на нечеткой логике и позволяющая управлять длительностью разрешающего сигнала светофорного регулирования как для пешеходных, так и транспортных потоков.

2. Приняты три входных лингвистических переменных: «количество людей, собирающихся в пешеходной зоне для осуществления перехода через пешеходный переход», диапазон которой находится в пределах  $\Delta\alpha_1 = [0; 36]$ ; «темп изменения количества людей, собирающихся на красный сигнал светофора для пешеходов» –  $\Delta\alpha_2 = [-20; 20]$ ; «ширина проезжей части дороги» –  $\Delta\alpha_3 = [7; 30]$ , а также одна выходная лингвистическая переменная «время зеленого сигнала для пешеходного светофора» с диапазоном  $\Delta\alpha_4 = [16; 44]$ .

3. Результат расчета одного из сигналов управления движением пешеходного потока на основании нечеткого вывода выглядит следующим образом:  $\alpha_1 = 27$  – количество людей, собирающихся в пешеходной зоне для осуществления перехода через ПП, чел;  $\alpha_2 = 16$  – темп изменения количества людей, собирающихся на красный сигнал светофора для пешеходов;  $\alpha_3 = 22,5$  – ширина проезжей части дороги, м. В результате процесса нечеткого вывода получили, что  $\alpha_4 = 37$  – время зеленого сигнала для пешеходного светофора, с.

4. В ходе апробации данной модели установлено, что задержки нахождения транспортных средств в пути снизятся на 20,6 % и абсолютное значение количества ДТП снизится на 33,3 %.

#### Список литературы

- 1 Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог. В 2 т.: учебник для студ. высших учеб. заведений / А.П. Васильев. - М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 320 с.
- 2 Власов В.М. Интеллектуальные транспортные системы в автомобильно-дорожном комплексе / В.М. Власов, В.М. Приходько, С.В. Жанказиев, А.М. Иванов. М.: МАДИ. – М.: ООО «МЭЙЛЕР», 2011. – 487 с.
- 3 Гай Л.Е. Заторовые явления. Возможности предупреждения] / Л.Е. Гай, А.И. Шутов, П.А., Воля, С.В. Кущенко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. –2013. – №3. – С.166-168.



- 4 Жанказиев С.В. Разработка проектов интеллектуальных транспортных систем: учеб. пособие / С.В. Жанказиев. – М.: МАДИ, 2016. – 22 с.
- 5 Кущенко Л.Е., Камбур А.С., Пехов А.А. Совершенствование организации дорожного движения посредством применения интеллектуальных транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. Орел 2021. – № 3(74). – С. 83-91.
- 6 Камбур А.С. Повышение безопасности дорожного движения на пешеходных переходах в городских агломерациях: диссерт. на соискание учен. степени кандидата технич. наук/А.С. Камбур. Орел: 2025; – 12 – 118 с.
- 7 Kambur A., Kushchenko L., Novikov I. Improving traffic management through the use of intelligent transport systems // The VII International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Management of Transport Systems" (ITMTS 2021), MATEC Web Conf. Volume 341, 2021.
- 8 Зырянов В.В., Кочерга В.Г., Поздняков М.Н. (2011) Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения //Транспорт Российской Федерации. СПб. – № 1. – 2011. – С. 28-33
- 9 Новиков И.А., Кущенко Л.Е., Новописный Е.А., Камбур А.С. Использование интеллектуальных транспортных систем для повышения качества организации дорожного движения // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 3-4 (78). – С. 42-49.
- 10 Новиков А.Н., Кущенко Л.Е., Новописный Е.А., Камбур А.С. Статистический анализ вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий на основе данных интеллектуальных транспортных систем Белгородской агломерации // Вестник гражданских инженеров. –2022. – № 5 (94). – С. 116-122.
- 11 Жанказиев С.В. Интеллектуальные транспортные системы: учеб. пособие / С.В. Жанказиев. – М.: МАДИ, 2016. – 14 с.
- 12 Жанказиев С.В. Имитационное моделирование в объектах ИТС: учеб. пособие / С.В. Жанказиев. – М.: МАДИ, 2016. – 40 с.
- 13 Кущенко Л.Е., Кущенко С.В., Камбур А.С., Улинец И.А. Разработка методики определения рационального выбора длительности разрешающего сигнала светофорного регулирования на основании нейронной сети // Мир транспорта и технологических машин. 2023. – № 4-1 (83). – С. 99-107.
- 14 Кущенко Л.Е., Камбур А.С., Кущенко С.В. Повышение безопасности дорожного движения на нерегулируемых пешеходных переходах // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – №3-1(86). – С. 75-83.
- 15 Daniel T., Lepers B. Automatic incident detection: a key tool for intelligent traffic management. "Traffic technology international". Annual Review. 1996, p.p. 158-162.
- 16 Jaffe R.S. The US National ITS Architecture. Part 2 Application. "Traffic technology international". Aug/Sept, 1996, p.p. 71-75.
- 17 Larson R., Korsak A. A dynamic programming successive technique with convergence proofs. Automatica, vol. 6, 1970, p.p. 245-260.
- 18 Kulmala R., Noukka M. Raiting the objectives. Finland's ITS strategy to 2010. "Traffic technology international". Feb/Mar., 1998, p.p. 62-66.
- 19 Nuttal I. Hunting out the budgets. An informal look at who's spending what ITS. "Traffic technology international". April/May, 1998, p.p. 21-22.
- 20 Nuttal I. Will the tigers roar ITS market potential in ASEAN region. Traffic Technology International. Dec. / Jan. 1998, p.p. 60-64.
- 21 L. Kushchenko, S. Kushchenko, A. Kambur, A. Novikov. The analyzing of personal and public transport traffic flows in Belgorod agglomeration / L. Kushchenko, S. Kushchenko, A. Kambur, A. Novikov // Journal of Applied Engineering Science 2022, vol. 20 (3), pp. 700-706.
- 22 L. Kushchenko, S. Kushchenko, A. Novikov, A. Kambur. The use of information technology "Auto-Intellect" to improve the quality of traffic management // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021.

## References

- 1 Vasiliev A.P. Operation of highways. In 2 volumes: textbook for students of higher educational institutions / A.P. Vasiliev. - M.: Publishing center "Academy", 2010. - 320 p.
- 2 Vlasov V.M. Intelligent transport systems in the automobile and road complex / V.M. Vlasov, V.M. Prikhodko, S.V. Zhankaziev, A.M. Ivanov. Moscow: MADI. - M.: ООО "MAILER", 2011. - 487 p.
- 3 Gai L.E. Traffic jams. Prevention possibilities] / L.E. Gai, A.I. Shutov, P.A., Volya, S.V. Kushchenko // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. -2013. – No. 3. – P. 166-168.

- 4 Zhankaziev S.V. Development of intelligent transport systems projects: textbook / S.V. Zhankaziev. – M.: MADI, 2016. – 22 p.
- 5 Kushchenko L.E., Kambur A.S., Pekhov A.A. Improving traffic organization through the use of intelligent transport systems // The World of Transport and Technological Machines. Orel 2021. – No. 3 (74). – P. 83-91.
- 6 Kambur A.S. Improving road safety at pedestrian crossings in urban agglomerations: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / A.S. Kambur. Orel: 2025; – 12 – 118 p.
- 7 Kambur A., Kushchenko L., Novikov I. Improving traffic management through the use of intelligent transport systems // The VII International Scientific and Practical Conference “Information Technologies and Management of Transport Systems” (ITMTS 2021), MATEC Web Conf. Volume 341, 2021.
- 8 Zyryanov V.V., Kocherga V.G., Pozdnyakov M.N. (2011) Modern approaches to the development of integrated traffic management schemes // Transport of the Russian Federation. St. Petersburg. - No. 1. - 2011. - P. 28-33
- 9 Novikov I.A., Kushchenko L.E., Novopisny E.A., Kambur A.S. Using intelligent transport systems to improve the quality of traffic management // World of Transport and Technological Machines. – 2022. – No. 3-4 (78). – P. 42-49.
- 10 Novikov A.N., Kushchenko L.E., Novopisny E.A., Kambur A.S. Statistical analysis of the probability of road accidents based on the data of intelligent transport systems of the Belgorod agglomeration // Bulletin of civil engineers. –2022. – No. 5 (94). – P. 116-122.
- 11 Zhankaziev S.V. Intelligent transport systems: textbook / S.V. Zhankaziev. – Moscow: MADI, 2016. – 14 p.
- 12 Zhankaziev S.V. Simulation modeling in ITS objects: textbook / S.V. Zhankaziev. – M.: MADI, 2016. – 40 p.
- 13 Kushchenko L.E., Kushchenko S.V., Kambur A.S., Ulinets I.A. Development of a methodology for determining a rational choice of the duration of the permissive signal of traffic light regulation based on a neural network // World of Transport and Technological Machines. 2023. – No. 4-1 (83). – P. 99-107.
- 14 Kushchenko L.E., Kambur A.S., Kushchenko S.V. Improving road safety at unregulated pedestrian crossings // World of Transport and Technological Machines. – 2024. – No. 3-1 (86). – P. 75-83.
- 15 Daniel T., Lepers B. Automatic incident detection: a key tool for intelligent traffic management. "Traffic technology international". Annual Review. 1996, p.p. 158-162.
- 16 Jaffe R.S. The US National ITS Architecture. Part 2 Application. "Traffic technology international". Aug/Sept, 1996, p.p. 71-75.
- 17 Larson R., Korsak A. A dynamic programming successive technique with convergence proofs. Automatica, vol. 6, 1970, p.p. 245-260.
- 18 Kulmala R., Noukka M. Rating the objectives. Finland's ITS strategy to 2010. "Traffic technology international". Feb/Mar., 1998, p.p. 62-66.
- 19 Nuttal I. Hunting out the budgets. An informal look at who's spending what ITS. "Traffic technology international". April/May, 1998, pp. 21-22.
- 20 Nuttal I. Will the tigers roar ITS market potential in ASEAN region. Traffic Technology International. Dec. / Jan. 1998, pp. 60-64.
- 21 L. Kushchenko, S. Kushchenko, A. Kambur, A. Novikov. The analyzing of personal and public transport traffic flows in Belgorod agglomeration / L. Kushchenko, S. Kushchenko, A. Kambur, A. Novikov // Journal of Applied Engineering Science 2022, vol. 20 (3), pp. 700-706.
- 22 L. Kushchenko, S. Kushchenko, A. Novikov, A. Kambur. The use of information technology "Auto-Intellect" to improve the quality of traffic management // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021.

© Кущенко Л. Е., Дорохин С. В., Камбур А. С., 2025