

DOI: 10.34220/2311-8873-2025-35-45



УДК 656.13; 656.14

UDC 656.13; 656.14

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕШЕХОДОВ

DEVELOPING COMPREHENSIVE SOLUTIONS TO IMPROVE PEDESTRIAN SAFETY

Макарова Ирина Викторовна,

д.т.н., профессор кафедры сервиса транспортных систем, ФГАОУ ВО «Набережночелнинский (институт) филиал КФУ», г. Набережные Челны.

Makarova Irina Viktorovna,

doctor of technical sciences, prof. of the department of transport systems service, Naberezhnye Chelny Institute (branch) Kazan (Volga Region) Federal University, Naberezhnye Chelny.

✉¹ **Габсалихова Лариса Мухаматзакиевна,** к.т.н., доцент кафедры сервиса транспортных систем, ФГАОУ ВО «Набережночелнинский (институт) филиал КФУ», г. Набережные Челны, e-mail: muhametdinoval@mail.ru

✉¹ **Gabsalikhova Larisa Mukhamatzakiyevna,** candidate of technical sciences, associate professor of the department of transport systems service, Naberezhnye Chelny Institute (branch) Kazan (Volga Region) Federal University, Naberezhnye Chelny, e-mail: muhametdinoval@mail.ru

Маврин Вадим Геннадьевич,

к.т.н., доцент кафедры сервиса транспортных систем, ФГАОУ ВО «Набережночелнинский (институт) филиал КФУ», г. Набережные Челны.

Mavrin Vadim Gennadievich,

candidate of technical sciences, associate professor of the department of transport systems service, Naberezhnye Chelny Institute (branch) Kazan (Volga Region) Federal University, Naberezhnye Chelny.

Имомназаров Сарвар Ковилжонович, доцент кафедры транспортной инженерии, Наманганский государственный технический университет, г. Наманган, Узбекистан.

Imomnazarov Sarvar Koviljonovich, associate professor, department of transport engineering, Namangan state technical university, Namangan, Uzbekistan.

Махмудов Авазбек Акрамжон Угли, преподаватель кафедры транспортной инженерии, Наманганский государственный технический университет, г. Наманган, Узбекистан.

Makhmudov Avazbek Akramzhon Ugli, lecturer of department of transport engineering, Namangan state technical university, Namangan, Uzbekistan.

Аннотация. Статья посвящена вопросам решения задач по обеспечению безопасности пешеходов. Проведено разделение групп пешеходов по разным признакам. Разработан алгоритм выбора рационального маршрута. Разработана модульная структура системы поддержки и принятия решений с методами поиска оптимальных решений для решения проблем безопасной дорожной среды.

Annotation. The article is devoted to the issues of solving problems of ensuring pedestrian safety. We divided pedestrian groups according to different criteria. We developed an algorithm for choosing a rational route. A modular structure of the decision support and decision-making system with methods for finding optimal solutions for solving problems of a safe road environment has been developed.

Ключевые слова: БЕЗОПАСНОСТЬ, ПЕШЕХОДЫ, СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, КЛАССИФИКАЦИЯ ПЕШЕХОДОВ, ОЦЕНКА РИСКОВ, ВЫБОР МАРШРУТА ДВИЖЕНИЯ.

Keywords: SAFETY, PEDESTRIANS, DESIGN SYSTEM, PEDESTRIAN CLASSIFICATION, RISK ASSESSMENT, ROUTE CHOICE.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Переход к экологичным транспортным решениям становится все более актуальным в современных городах. Использование экологически чистых средств передвижения, таких как велосипеды и электросамокаты, других средствах индивидуальной мобильности (СИМ) помогает сократить уровень загрязнения воздуха. Программы аренды велосипедов и самокатов делают эти виды транспорта доступными для широкого круга людей. Создание безопасных велодорожек, зон для пешеходов и парковок для СИМ способствует более комфортному и безопасному передвижению.

В отличие от водителей автомобилей, пешеходы и велосипедисты не имеют физической защиты, что делает их более подверженными травмам при столкновении. Более половины смертей на дорогах составляет именно эта группа участников дорожного движения. Ученые и специалисты в области организации дорожного движения активно исследуют и разрабатывают решения для повышения безопасности этой уязвимой группы участников дорожного движения.

Эффективное решение проблемы ДТП требует комплексного подхода, включающего технические, инфраструктурные и образовательные меры.

Мировые тренды по обеспечению дорожной безопасности при решении проблем мобильности в больших городах направлены на пропаганду использования экологичных решений, таких как отказ от личного автомобиля в пользу общественного транспорта, велосипеда и ходьбы, поэтому возникает вопрос об обеспечении безопасности самых незащищенных участников дорожного движения, таких как пешеходы и велосипедисты.

В последние годы ситуация усугубилась в связи с тем, что растет число средств индивидуальной мобильности, что создает проблемы с безопасностью пешеходов, прирост особенно ощутим в южных регионах и больших городах.

Высокий уровень ДТП с наездами на пешеходов в темное время суток подчеркивает важность повышения безопасности на дорогах. Использование светоотражающих элементов на одежде может существенно повысить видимость пешеходов в темное время суток. Необходимы информационные кампании, направленные на повышение осведомленности пешеходов о важности использования светоотражающих аксессуаров. Это может помочь снизить количество ДТП. Проблема остается острой, несмотря на предпринимаемые меры, а также мероприятия в рамках реализуемых стратегий и мероприятий транспортных ведомств.

Чтобы достичь снижения показателя смертности на дорогах, необходимы комплексные решения, которые сочетают в себе как технические и инфраструктурные мероприятия, так и повышение сознательности граждан и обеспечение ответственного поведения на дорогах.

1.1 Безопасная и удобная городская среда для пешеходов

Одно из направлений исследований мер по обеспечению безопасности пешеходов связано с реализацией инфраструктурных решений. Поскольку безопасность пешеходов является критической проблемой во всем мире, авторы исследования [1] анализируют изменения показателей безопасности («до и после») на пешеходных переходах, где была установлена дополнительная система освещения. Результаты исследования показали, что элементы формирования дорожной инфраструктуры оказали значительное влияние на риск дорожно-транспортных происшествий [2].

В настоящее время растет интерес к ходьбе и улучшению качества уличной среды. Статья [3] рассматривает факторы, определяющие пешеходную активность. В исследовании [4] также анализируется значимость маршрута и восприятия привлекательности, безопасности, которые влияют на предпочтения пешеходов при выборе маршрута. Результаты показывают, что стратегия городского дизайна, использующая увеличение земли и деревьев, повышают экологическую привлекательность, безопасность и защищенность пешеходов [5].

Авторы статьи [6] рассматривают проблемы и потребности инфраструктуры умного города для повышения безопасности детей на дорогах как пешеходов и велосипедистов. Авторы выделяют ключевые факторы, влияющие на уровень безопасности дорожного движения на основе мнений респондентов. В исследовании [7] анализируется восприятие безопасности родителей и их готовность отпускать своих детей в школу пешком. Наличие тротуара, буферной полосы, деревьев влияло на решение родителей.

Инфраструктурные решения становятся все более интеллектуальными, что отражено в многочисленных научных статьях. Поскольку важную роль в улучшении видимости, распознавания и времени реакции водителей играют хорошо освещенные пешеходные переходы, снижая риск аварий и повышая общую безопасность пешеходов, в статье [8] предлагается интеллектуальная система дополнительного освещения пешеходных переходов. Это удобное решение на основе вмонтированных в землю круглых светодиодов которое можно применить на любых существующих пешеходных переходах. В исследовании [9] представлено новое инновационное решение для интеллектуальных пешеходных переходов, основанное на сигналах тревоги, генерируемых сигналами датчиков. В сильный туман или дождь интенсивный световой сигнал становится заметен гораздо раньше, чем пешеходный переход.

Авторы статьи [10] предлагают решения для совершенствования светофоров с временной базой и кнопочных светофоров, поскольку считают, что несмотря на некоторые преимущества они неэффективны. Авторы предлагают использовать технологии обработки изображений для обнаружения пешеходов для улучшения традиционной системы светофоров, чтобы она могла принимать решения, учитывая количество пешеходов на переходе и время их ожидания. Авторы исследования [11] установили, что методы глубокого обучения могут быть эффективными инструментами для совершенствования интеллектуальных светофоров.

В статье [12] предложена схема построения интеллектуальных пешеходных переходов «зебра» на основе конвергенции облака и сети, которая активируется при обнаружении пешеходов, пересекающих пешеходный переход. Свет в сочетании со звуковым предупреждением может предупреждать как водителей, так и пешеходов, чтобы сократить количество дорожно-транспортных происшествий. Исследование [13] представляет собой интеллектуальный пешеходный переход, использующий методы слияния датчиков и машинного обучения для различения присутствия пешеходов и водителей. Система интегрирует данные с датчиков радиобнаружения и определения дальности и датчика магнитного поля, используя иерархический классификатор.

Пешеходы, как один из интерактивных агентов, демонстрируют разное поведение на переходах дорог, которое не следует единому шаблону и может меняться в зависимости от ситуации. В статье [14] исследование направлено на понимание эффективных методов коммуникации, а также факторов, влияющих на процесс переговоров и принятия решений пешеходами. Исследование [15] отслеживает ненормальное поведение пешеходов в реальном времени. В статье [16] представлена система, которая с помощью сверточных нейронных сетей распознает пешехода, движущегося в определенном направлении. В исследовании [17] изучаются факторы, влияющие на скорость ходьбы пешеходов, и они классифицируются по характеристикам потока пешеходов, атрибутам пешеходов, конфигурации макета, условиям окружающей среды и моделям поведения пешеходов.

Тема использования мобильных устройств и наушников на пешеходных переходах изучена гораздо меньше по сравнению с использованием мобильного телефона во время вожде-

ния. Целью статьи [18] является привлечение внимания к этой проблеме. В целом, исследование доказало, что в будние дни каждые 2 минуты кто-то пользовался переходом, не полностью сосредоточившись на безопасном переходе дороги.

Использование мобильного телефона во время ходьбы становится все более опасной проблемой для дорожного движения и приводит к повышенному риску несчастных случаев. Целью эксперимента [19] было выяснить, влияет ли использование мобильного телефона во время ходьбы на скорость ходьбы, а также на ритм, ширину и длину шага у молодых людей. Показано, что изменения в параметрах походки могут привести к повышенному риску несчастных случаев на пешеходных переходах и спотыкания во время ходьбы.

Для отвлечения пешеходов от мобильных устройств используются мигающие огни в земле, нарисованные пешеходные переходы и системы оповещения на основе приложений для мобильных телефонов [20]. По результатам исследования [21] текстовые сообщения, как правило, оказывали наиболее пагубное влияние на множественные поведенческие показатели.

Исследование [22] направлено на смягчение проблемы отвлечения при ходьбе, особенно при использовании мобильного телефона, путем внедрения мобильного приложения, которое может определять движение и напоминать пользователям о необходимости следить за окружающей обстановкой во время ходьбы, чтобы предотвратить дорожно-транспортные происшествия с участием пешеходов. В статье [23] рассматриваются темы безопасности дорожного движения детей и школьников. Авторы установили значительное изменение поведения детей под присмотром родителей или взрослых и без него.

В статье предлагаются решения, которые будут способствовать повышению уровня безопасности пешеходов. Представлены как технические мероприятия по регулированию дорожного движения, так и решения, способствующие выбору более безопасного маршрута.

2 Материалы и методы

Для повышения безопасности пешеходов необходимо выявить модели поведения пешеходов и влияние внешних факторов, способствующих возникновению опасных ситуаций. Необходима классификация рисков факторов внешней среды для разработки стратегии.

Если рассматривать проблемы безопасности смешанного движения, то в зоне повышенного риска находятся: дети, пожилые люди, водители и пешеходы, находящиеся в состоянии алкогольного опьянения. Кроме того, усугубляющим фактором является превышение скорости транспортного средства, что повышает вероятность наезда автомобиля на пешехода, а также тяжесть травм. Значительная доля смертей пешеходов происходит на придомовых территориях, особенно в темное время суток. Риск получения травм или гибели в результате ДТП наиболее вероятен для мужчин-пешеходов, особенно в возрасте 15-29 лет, тем не менее уровень смертности растет с возрастом. Кроме того, порядка трети пешеходов, погибших в ДТП, находились в состоянии алкогольного опьянения. Еще большему риску получения травм или смерти в результате ДТП подвергаются дети-пешеходы [24], что обусловлено их низким ростом, неспособностью к оценке расстояния и скорости, а также отсутствия знаний правил дорожного движения.

ДТП с участием пешеходов можно предотвращать, и оценка вероятности их возникновения является ключевым аспектом в разработке эффективных мер безопасности. Высокая скорость значительно увеличивает вероятность ДТП и тяжесть последствий. Чем быстрее движется транспортное средство, тем меньше времени у водителя для реакции на появление пешехода. Алкоголь и наркотики влияют на реакцию и внимание водителей, что увеличивает риск аварий. Если рассматривать с точки зрения инфраструктурных решений, то в местах, где нет пешеходных дорожек, пешеходы вынуждены двигаться по проезжей части, что увеличивает риск столкновений с автомобилями. Пешеходные переходы, которые плохо освещены или не обозначены, могут не заметить водители, особенно в темное время суток. Приподнятые пешеходные переходы, разделительные полосы и другие меры могут значительно повысить

безопасность пешеходов. Если рассматривать конструктивные решения автомобилей, то современные автомобили могут быть оснащены технологиями, которые уменьшают тяжесть травм пешеходов при столкновении, например, мягкие капоты и специальные конструкции бамперов.

Поиск эффективных решений в области безопасности дорожного движения, в том числе в части обеспечения безопасности пешеходов связан с многофакторным анализом. При этом надо учитывать, что в основе такого анализа лежит мониторинг состояния дорожного движения, обработка и анализ больших данных с последующим выбором наиболее благоприятного варианта из числа возможных. Развитие техники и технологий разработка алгоритмов и методов интеллектуального анализа позволяют, суммируя полученные модели в одну интеллектуальную систему поддержки принятия решений, автоматизировать управление реальными процессами, минимизируя вероятность инцидентов и снизив риски несчастных случаев. Новизна предлагаемого подхода заключается в разработке и внедрении такой интеллектуальной системы поддержки принятия решений (СППР), интеллектуальное ядро [25] которой обобщит применяемые расчетные модели с методами поиска оптимальных решений, а также алгоритмами многофакторного интеллектуального анализа данных, в результате чего будет накоплена база оптимальных решений для каждой конкретной ситуации.

3 Результаты исследований

3.1. Структура СППР

Объединение усилий различных направлений и создание единой системы управления безопасностью пешеходов позволит не только повысить эффективность существующих мер, но и обеспечить устойчивое развитие безопасной городской среды. Такой подход может значительно снизить риски для пешеходов и улучшить общее состояние безопасности на дорогах.

Мы предлагаем классификацию мер по обеспечению безопасности пешеходов, которая позволит не только систематизировать информацию, но и выявить наиболее эффективные подходы, которые могут быть адаптированы и внедрены в различных условиях. Это создаст основу для разработки комплексной стратегии по повышению безопасности пешеходов. Нами разработана концепция и структура модулей такой системы (рис. 1).

Преимущество заключается в возможности дорабатывать и расширять состав системы по мере возникновения новых проблем, ввиду ее модульной архитектуры. При этом система дает возможность прогноза потенциальных рисков еще на стадии проектирования инфраструктуры, оценивать эффективность мероприятий, и соответствующим образом корректировать их, а также по мере появления новых технологий и методов расчета, дополнять состав расчётных моделей, хранящихся в системе. Это позволит избежать как нерациональных решений, так и предотвратить риски как экономического, так и экологического и социального плана.

3.2 Классификация пешеходов

Несмотря на предпринимаемые меры, пешеходы продолжают получать травмы и гибнуть в ДТП. Чтобы разобраться в причинах таких ситуаций, необходимо рассмотреть не только субъективные причины («человеческий фактор»), но и объективные (то, что усугубляет ситуацию и не зависит от пешехода).



Рисунок 1 – Предлагаемая интеллектуальная система

В первую очередь, мы выделили группы пешеходов по разным признакам (рис. 2).

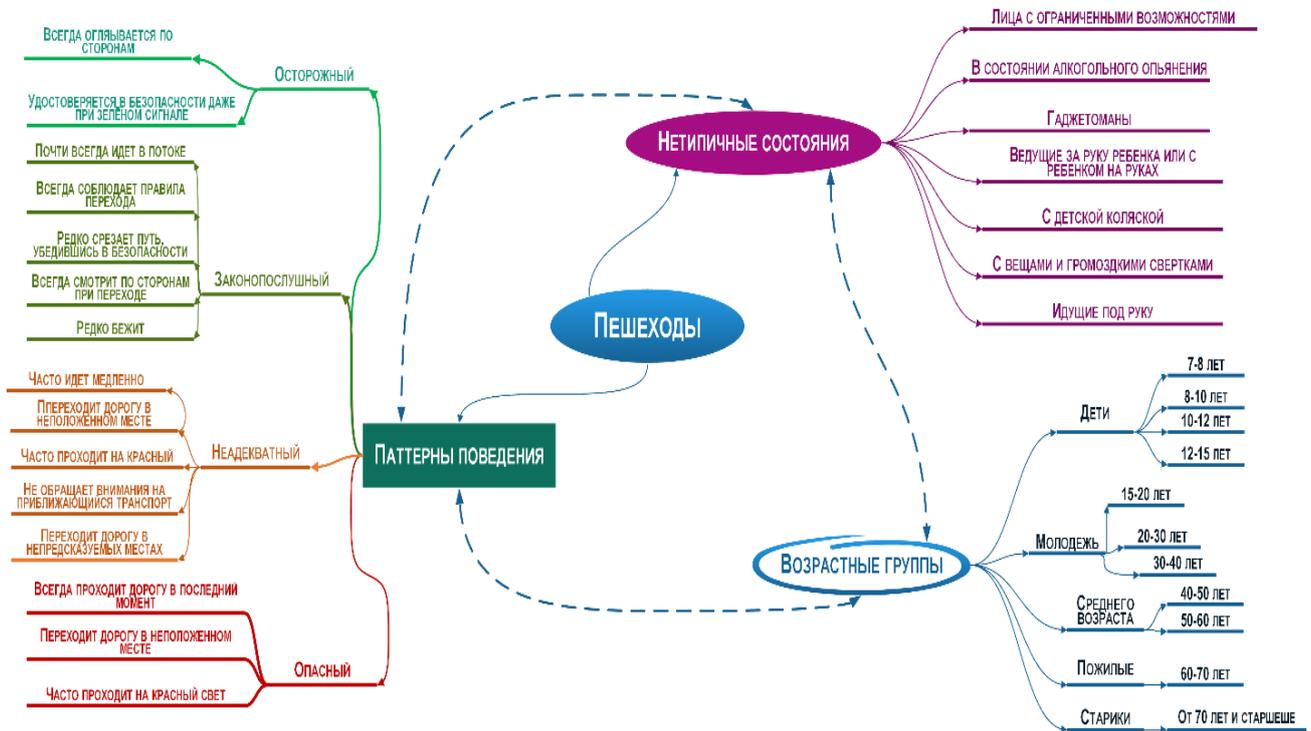


Рисунок 2 – Классификация пешеходов

Главной целью являлось определение кластеров по разным признакам. В нашем случае это были возрастные группы (влияние на скорость перехода дороги), модели поведения пешеходов (влияние на вероятность риска создания аварийной ситуации), а также усугубляющие факторы (то, что многократно повышает риск ДТП).

3.3 Анализ маршрута

При выборе маршрута с использованием обычных навигаторов, придерживаются следующего алгоритма (рис. 3). Это упрощенный алгоритм, поскольку в нем предусматривается, в основном, поиск по критериям «расстояние – время в пути». Можно оценить безопасность маршрута, если есть отметки о местах концентрации ДТП, железнодорожные переезды и другие места повышенной опасности.

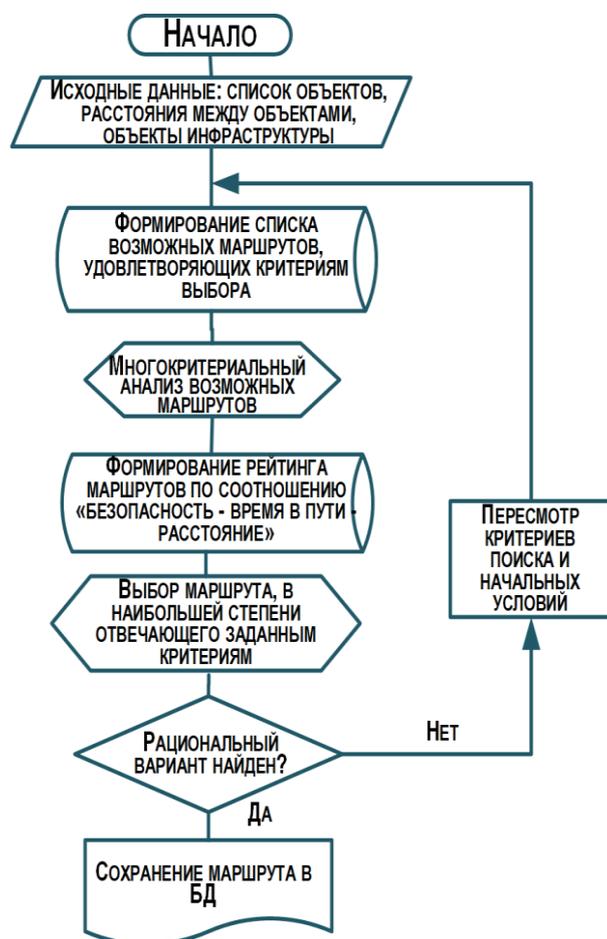


Рисунок 3 – Алгоритм выбора рационального маршрута

При выборе маршрута для более подробного анализа необходимы сведения об особенностях каждого участка пути, для чего предлагается создать базу данных с характеристиками участков (наличием данных рельефа местности: спуски-подъемы, наличием надземных и подземных пешеходных переходов и т.п.). Кроме того, алгоритм, приведенный на рис. 4, позволяет учесть погодные условия и при проведении многокритериального анализа выбрать с учетом этих особенностей наиболее безопасный маршрут как для пешеходов, так и для велосипедистов и лиц, использующих СИМ.

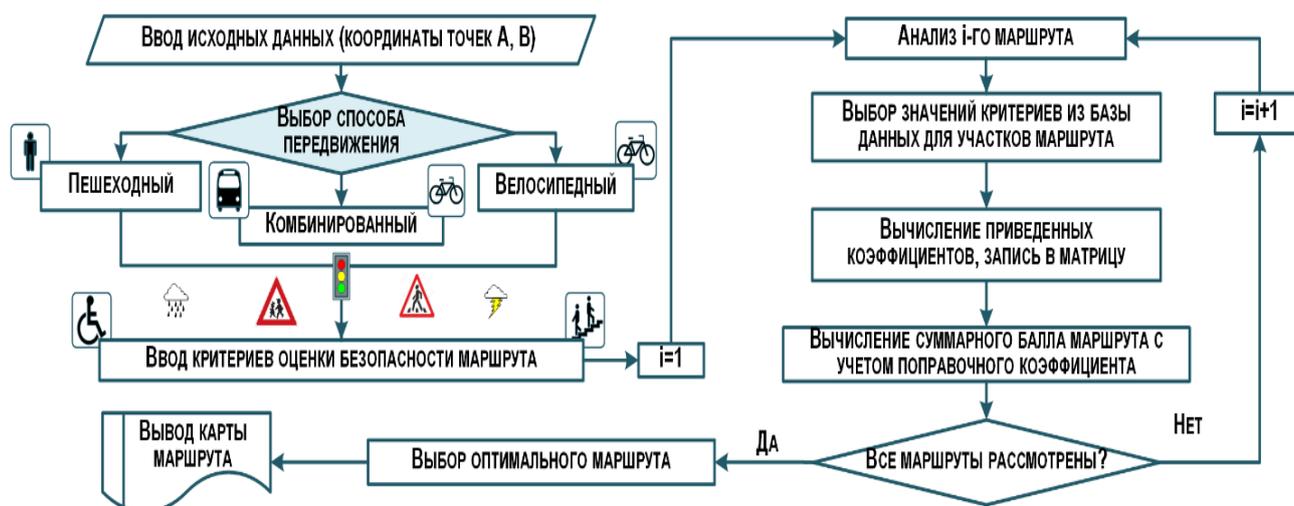


Рисунок 4 – Алгоритм многокритериального анализа маршрута

4 Обсуждение и заключение

Пешеходы и велосипедисты остаются наиболее уязвимыми участниками дорожного движения, несмотря на усилия по улучшению безопасности. В связи с тем, что как транспортные средства, так и инфраструктура становятся все более интеллектуальными, необходимо работать в направлении исключения человеческого фактора, как создающего неоправданные риски на дорогах городов.

Анализ научных работ показал, что имеющиеся исследования проводятся в разных направлениях, начиная от мер, которые призваны защитить пешехода путем разработки средств пассивной безопасности, заканчивая созданием систем, которые по мониторингу пешеходов могут предупреждать водителя об опасном поведении и риске ДТП.

Комплексный подход к повышению безопасности пешеходов и велосипедистов, основанный на интеллектуальных системах и модулях, может значительно снизить риск ДТП. Только совместные усилия позволят создать безопасную и комфортную городскую среду для всех участников дорожного движения. Предложенные комплексные решения для обеспечения задач безопасности дорожной среды и структура СППР, включающая отдельные модули, в которых реализованы как успешно применяемые, так и разрабатываемые на основе новых методов и моделей средства, позволяют повысить безопасность пешеходов.

Список литературы

- 1 Ziółkowski R., Pérez-Acebo H., Gonzalo-Orden H., Linares-Unamunzaga A. Changes in Safety Performance on Single-Carriageway Roads After Installation of Additional Lighting at Pedestrian Crossing // Land – 2024 – 13– 2134.
- 2 Pembuain A., Priyanto S., Suparma L. The Effect of Road Infrastructure on Traffic Accidents // Proceedings of the 11th Asia Pacific Transportation and the Environment Conference (APTE 2018) –2018 – Advances in Engineering Research – vol. 186. – P. 147-153.
- 3 Gerike R., Koszowski C., Schröter B., Buehler R., Schepers P., Weber J., Wittwer R. . Jones P. // Sustainability – 2021. – 13(16) –9362.
- 4 Basu N., Oviedo-Trespalacios O., King M. Kamruzzaman Md., Mazharul Haque Md. // What do pedestrians consider when choosing a route? The role of safety, security, and attractiveness perceptions and the built environment during day and night walking // Cities. –2023– Vol.143. –104551.
- 5 Basu N., Oviedo-Trespalacios O., King M. Kamruzzaman Md., Mazharul Haque Md. The influence of the built environment on pedestrians’ perceptions of attractiveness, safety and security // Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour – 2022. – Vol. 87. –Pp. 203-218.

- 6 Cieśla M. Modern Urban Transport Infrastructure Solutions to Improve the Safety of Children as Pedestrians and Cyclists // *Infrastructures* – 2021. – 6. – 102.
- 7 Byoung-Suk Kweon, Jody Rosenblatt-Naderi, Christopher D. Ellis, Woo-Hwa Shin, Blair H. Danies. The Effects of Pedestrian Environments on Walking Behaviors and Perception of Pedestrian Safety // *Sustainability* – 2021. – 13(16) – 8728.
- 8 Mátyás E., Szabó L. Intelligent Illumination of Crosswalks for Increasing Pedestrian Safety // 2024 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR), Cluj-Napoca, Romania – 2024 – pp. 1-6.
- 9 Pogatsnik M., Fischer D., Nagy L., S. Dora. Autonomous pedestrian crossing in smart city environment // 2020 IEEE 24th International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES), Reykjavík, Iceland – 2020 – pp. 37-42.
- 10 Wickramasinghe K. S., Ganegoda G. U. Pedestrian Detection, Tracking, Counting, Waiting Time Calculation and Trajectory Detection for Pedestrian Crossings Traffic light systems // 2020 20th International Conference on Advances in ICT for Emerging Regions (ICTer), Colombo, Sri Lanka – 2020 – pp. – 172-177.
- 11 Deshmukh S., Parwekar A., Danej B., Chavhan N. A., Agrawal R., Dhule C. Machine Learning Algorithm Comparison for Traffic Signal: A Design Approach // 2023 8th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES), Coimbatore, India – 2023 – pp. 1107-1114.
- 12 Gao L. Design of Intelligent Zebra Crossing System Based on Cloud-network Convergence // 2022 7th International Conference on Intelligent Computing and Signal Processing (ICSP), Xi'an, China – 2022 – pp. 1332-1335.
- 13 Lozano Domínguez J.M., Redondo González M.J., Davila Martin J.M., Mateo Sanguino T.d.J. Using Sensor Fusion and Machine Learning to Distinguish Pedestrians in Artificial Intelligence-Enhanced Crosswalks // *Electronics* – 2023 – 12 – 4718.
- 14 Ezzati Amini R., Katrakazas C., Antoniou C. Negotiation. Decision-Making for a Pedestrian Roadway Crossing: A Literature Review // *Sustainability* – 2019 – 11 – 6713.
- 15 Kim D., Kim H.; Mok Y., Paik J. Real-Time Surveillance System for Analyzing Abnormal Behavior of Pedestrians // *Appl. Sci* – 2021 – 11 – 6153.
- 16 Deokar S., Khandekar S. Identification Of Pedestrian Movement And Classification Using Deep Learning For Advanced Driver Assistance System // 2022 International Conference on Augmented Intelligence and Sustainable Systems (ICAISS), Trichy, India – 2022 – pp. 374-381.
- 17 Giannoulaki M., Christoforou Z. Pedestrian Walking Speed Analysis: A Systematic Review // *Sustainability* – 2024 – 16 – 4813.
- 18 Mikusova M., Wachnicka J., Zukowska J. Research on the Use of Mobile Devices and Headphones on Pedestrian Crossings—Pilot Case Study from Slovakia – *Safety* 2021 – 7 – 17.
- 19 Sajewicz J., Dziuba-Słonina A. Texting on a Smartphone While Walking Affects Gait Parameters // *Int. J. Environ. Res. Public Health* – 2023 – 20 – 4590.
- 20 Md Eaysir Arafat, Grégoire S. Larue, Sepehr Ghasemi Dehkordi. Effectiveness of interventions for mobile phone distracted pedestrians: A systematic review // *Journal of Safety Research* – 2023, – volume 84, p.p 330-346.
- 21 Simmons SM, Caird JK, Ta A, et al. Plight of the distracted pedestrian: a research synthesis and meta-analysis of mobile phone use on crossing behavior // *Injury Prevention* – 2020 – 26 – p.p. 170-176.
- 22 Marrapu A., Utilizing Technology to Prevent Distracted Walking. 2024 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC), Princeton, NJ, USA – 2024 – pp. 1-7.
- 23 Gogola M., J. Ondruš. Road safety perspective of small children // 2020 XII International Science-Technical Conference AUTOMOTIVE SAFETY, Kielce, Poland – 2020 – pp. 1-5.
- 24 Makarova I. V. Children's safety on roads: Development of the method to choose the school route // *Proceedings of the International Forum KAZAN DIGITAL WEEK - 2020: Сборник материалов международного форума, Казань, 21–24 сентября 2020 года / Академия наук Республики Татарстан.*
- 25 Makarova I., Shubenkova K., Mavrin V., Buyvol P. Improving safety on the crosswalks with the use of fuzzy logic // *Transport Problems.* – 2018. – Vol. 13, No. 1. – P. 97-109.

References

- 1 Ziółkowski R., Pérez-Acebo H., Gonzalo-Orden H., Linares-Unamunzaga A. Changes in Safety Performance on Single-Carriageway Roads After Installation of Additional Lighting at Pedestrian Crossing // *Land* – 2024 – 13– 2134.

- 2 Pembuain A., Priyanto S., Suparma L. The Effect of Road Infrastructure on Traffic Accidents // Proceedings of the 11th Asia Pacific Transportation and the Environment Conference (APTE 2018) –2018 – Advances in Engineering Research – vol. 186. – P. 147-153.
- 3 Gerike R., Koszowski C., Schröter B., Buehler R., Schepers P., Weber J., Wittwer R. . Jones P. // Sustainability – 2021. – 13(16) –9362.
- 4 Basu N., Oviedo-Trespalacios O., King M. Kamruzzaman Md., Mazharul Haque Md. // What do pedestrians consider when choosing a route? The role of safety, security, and attractiveness perceptions and the built environment during day and night walking // Cities. –2023– Vol.143. –104551.
- 5 Basu N., Oviedo-Trespalacios O., King M. Kamruzzaman Md., Mazharul Haque Md. The influence of the built environment on pedestrians’ perceptions of attractiveness, safety and security // Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour – 2022. – Vol. 87. –Pp. 203-218.
- 6 Cieśla M. Modern Urban Transport Infrastructure Solutions to Improve the Safety of Children as Pedestrians and Cyclists // Infrastructures – 2021. – 6. – 102.
- 7 Byoung-Suk Kweon, Jody Rosenblatt-Naderi ,Christopher D. Ellis ,Woo-Hwa Shin, Blair H. Danies. The Effects of Pedestrian Environments on Walking Behaviors and Perception of Pedestrian Safety // Sustainability – 2021. – 13(16) – 8728.
- 8 Mátyás E., Szabó L. Intelligent Illumination of Crosswalks for Increasing Pedestrian Safety // 2024 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR), Cluj-Napoca, Romania – 2024 – pp. 1-6.
- 9 Pogatsnik M., Fischer D., Nagy L., S. Dora. Autonomous pedestrian crossing in smart city environment // 2020 IEEE 24th International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES), Reykjavík, Iceland – 2020 – pp. 37-42.
- 10 Wickramasinghe K. S., Ganegoda G. U. Pedestrian Detection, Tracking, Counting, Waiting Time Calculation and Trajectory Detection for Pedestrian Crossings Traffic light systems // 2020 20th International Conference on Advances in ICT for Emerging Regions (ICTer), Colombo, Sri Lanka – 2020 – pp. – 172-177.
- 11 Deshmukh S., Parwekar A., Danej B., Chavhan N. A., Agrawal R., Dhule C. Machine Learning Algorithm Comparison for Traffic Signal: A Design Approach // 2023 8th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICES), Coimbatore, India – 2023 – pp. 1107-1114.
- 12 Gao L. Design of Intelligent Zebra Crossing System Based on Cloud-network Convergence // 2022 7th International Conference on Intelligent Computing and Signal Processing (ICSP), Xi'an, China – 2022 – pp. 1332-1335.
- 13 Lozano Domínguez J.M., Redondo González M.J., Davila Martin J.M., Mateo Sanguino T.d.J. Using Sensor Fusion and Machine Learning to Distinguish Pedestrians in Artificial Intelligence-Enhanced Crosswalks // Electronics – 2023 – 12 – 4718.
- 14 Ezzati Amini R., Katrakazas C., Antoniou C. Negotiation. Decision-Making for a Pedestrian Roadway Crossing: A Literature Review // Sustainability – 2019 – 11 – 6713.
- 15 Kim D., Kim H.; Mok Y., Paik J. Real-Time Surveillance System for Analyzing Abnormal Behavior of Pedestrians // Appl. Sci –2021 – 11 – 6153.
- 16 Deokar S., Khandekar S. Identification Of Pedestrian Movement And Classification Using Deep Learning For Advanced Driver Assistance System // 2022 International Conference on Augmented Intelligence and Sustainable Systems (ICAISS), Trichy, India – 2022 – pp. 374-381.
- 17 Giannoulaki M., Christoforou Z. Pedestrian Walking Speed Analysis: A Systematic Review // Sustainability –2024 –16 – 4813.
- 18 Mikusova M., Wachnicka J., Zukowska J. Research on the Use of Mobile Devices and Headphones on Pedestrian Crossings—Pilot Case Study from Slovakia – Safety 2021 – 7 – 17.
- 19 Sajewicz J., Dziuba-Słonina A. Texting on a Smartphone While Walking Affects Gait Parameters // Int. J. Environ. Res. Public Health –2023 –20 – 4590.
- 20 Md Eaysir Arafat, Grégoire S. Larue, Sepehr Ghasemi Dehkordi. Effectiveness of interventions for mobile phone distracted pedestrians: A systematic review // Journal of Safety Research – 2023,– volume 84, p.p 330-346.
- 21 Simmons SM, Caird JK, Ta A, et al. Plight of the distracted pedestrian: a research synthesis and meta-analysis of mobile phone use on crossing behavior // Injury Prevention – 2020 –26 – p.p. 170-176.
- 22 Marrapu A., Utilizing Technology to Prevent Distracted Walking. 2024 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC), Princeton, NJ, USA – 2024 – pp. 1-7.

23 Gogola M., J. Ondruš. Road safety perspective of small children // 2020 XII International Science-Technical Conference AUTOMOTIVE SAFETY, Kielce, Poland – 2020 – pp. 1-5.

24 Makarova I. V. Children's safety on roads: Development of the method to choose the school route // Proceedings of the International Forum KAZAN DIGITAL WEEK - 2020: Collection of materials of the international forum, Kazan, September 21-24, 2020 / Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan.

25 Makarova I., Shubenkova K., Mavrin V., Buyvol P. Improving safety on the crosswalks with the use of fuzzy logic // Transport Problems. – 2018. – Vol. 13, No. 1. – P. 97-109.

© Макарова И. В., Габсалихова Л. М., Маврин В. Г.,
Имомназаров С. К., Махмудов А. А., 2025