



2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

ВЛИЯНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ НА ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕШЕХОДОВ

Макарова Ирина Викторовна,

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

✉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

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

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

Аннотация. Проблема безопасности пешеходов остается одной из самых острых в мире. Согласно исследованиям ученых и экспертов в области безопасности дорожного движения зачастую риски на дорогах создают люди (как водители, так и пешеходы). Поэтому необходимо снизить влияние человеческого фактора. Для реализации такого подхода создаются все более интеллектуальные транспортные средства и дорожная инфраструктура, а также разрабатываются меры по защите пешеходов с помощью средств пассивной безопасности. Нами разработан классификатор пешеходов по разным признакам (возраст, паттерн поведения, усугубляющие факторы). Актуальность обозначенной проблемы возрастает по мере

THE IMPACT OF REGIONAL PECULIARITIES ON IMPROVING PEDESTRIAN SAFETY

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 **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

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

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

Annotation. Pedestrian safety remains one of the most pressing issues in the world. According to research by road safety scientists and experts, road hazards are often created by people (both drivers and pedestrians). Therefore, it is essential to reduce the impact of the human factor. To implement this approach, increasingly intelligent vehicles and road infrastructure are being developed, as are measures to protect pedestrians through passive safety. We have developed a pedestrian classifier based on various characteristics (age, behavior pattern, aggravating factors). The relevance of this problem is increasing with the advent of autonomous vehicles and smart cities. Therefore, we propose using a modified Haddon matrix to organize pedestrian safety measures.

появления автономных транспортных средств и умных городов. Поэтому для упорядочения мер по обеспечению безопасности пешеходов мы предлагаем использовать модифицированную матрицу Хэддона.

Ключевые слова: БЕЗОПАСНОСТЬ ПЕШЕХОДОВ, ТРАНСПОРТ, УМНЫЙ ГОРОД, МОДИФИЦИРОВАННАЯ МАТРИЦА ХЭДДОНА.

Keywords: PEDESTRIAN SAFETY, TRANSPORTATION, SMART CITY, MODIFIED HADDON MATRIX.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Учитывая переход к новой мобильности, который включает применение «здоровых» видов перемещений, таких как ходьба и применение средств индивидуальной мобильности (СИМ), а также развитие общественного транспорта, города становятся более человекоцентричными за счет снижения негативного влияния автомобилей на человека, в том числе с точки зрения безопасности. Для этого разрабатываются программы микромобильности (аренда самокатов и велосипедов), создаются условия для безопасного и комфортного передвижения всех участников дорожного движения, включая маломобильных граждан.

В то же время, ориентация на создание человекоцентричных систем в рамках перехода к индустрии 5.0 требует создания безопасных условий для наименее защищенных участников дорожного движения. Вызывает озабоченность высокий риск травмирования и гибели детей и молодых людей. Чтобы обеспечить безопасность городской среды стоит задача к 2030 году снизить смертность на дорогах на 50 %.

Применение различных методов решения задач безопасности на дорогах обусловлено разнообразием причин роста числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП), а также многочисленностью вариантов последствий, вызванных разным факторами. Методы можно разделить на технические решения (например, активная и пассивная безопасность), инфраструктурные проекты (светофорное регулирование, пешеходные надземные и подземные переходы). Кроме того, используют организационные методы (например, «умные» решения), сокращающие число конфликтов между участниками движения.

Концепция новой мобильности связана с переходом к более «здоровым» формам, таким как пешая ходьба или применение средств индивидуальной мобильности (СИМ) вместо личного автомобиля, что может привести к изменению процентного состава участников дорожного движения: росту доли пешеходов и велосипедистов, что, в свою очередь, обострит проблему их безопасности. В свою очередь, рост доли СИМ в транспортном потоке создает проблемы с безопасностью как для самих пассажиров СИМ (со стороны транспортных средств), так и для пешеходов, попадающих под колеса СИМ. Эта тенденция более характерна для больших городов и мегаполисов с более высоким темпом жизни, а также для южных городов.

В статье предлагаются меры рационального управления, способствующие повышению безопасности пешеходов и владельцев СИМ.

1.1 Состояние проблемы: влияние поведения пешеходов разных стран на риск аварий

Поскольку поведение пешеходов может зависеть от разных факторов и меняться в разных ситуациях, то необходимо понимание, какие из факторов могут повлиять на принятие решений и каким образом можно на это воздействовать [1]. В статье [2] авторами предложен

метод, который объединяет обнаружение и отслеживание пешеходов для извлечения информации о них в реальном времени для выявления ненормального поведения на дороге, такого как вторжение, падение и насилие.

Для определения направления движения пешехода авторы [3] предлагают систему распознавания на основе сверточных нейронных сетей. Безопасность пешеходов зависит от множества факторов, включающих характеристики потока, скорость движения, условия окружающей среды и усугубляющих факторов [4], таких как использование мобильных телефонов, наушников, приводящих к несчастным случаям [5], при этом большее внимание уделялось использованию мобильного телефона водителями [6].

Чтобы обезопасить пешеходов, исследователи разных стран создают специальные предупреждающие приложения [7], напоминающие о необходимости следить за окружающей обстановкой при ходьбе, особенно при использовании мобильного телефона. Система на основе Bluetooth-маяка [8] визуальным и/или звуковым сигналом предупреждает пешеходов при приближении к потенциально опасному перекрестку.

Поскольку наиболее уязвимы на дорогах дети и пожилые пешеходы, то эти проблемы рассмотрены в разных исследованиях. Системы контроля детей взрослыми в разных странах различаются, то темы безопасности дорожного движения детей и школьников актуальны [9]. Исследование показало, что дети, которые контролируются взрослыми (родителями или воспитателями) ведут себя более адекватно.

В статье [10] создано приложение для помощи во время прогулок на улице людям с нарушениями зрения, число которых, например, в Японии растет. Авторами исследования предлагается использовать изображения, полученные с помощью MY VISION и глубокого обучения. Аналогичную проблему решали авторы [11]. Они предложили приложение для слабовидящих, которое помогает увидеть препятствия и свободные места, а также идентифицировать дорожные знаки и помочь при переходе дороги. Для потребителей с нарушениями зрения [12] создана носимая вспомогательная система на основе искусственного интеллекта (ИИ), для безопасного перехода обозначенных пешеходных переходов или переходов типа «зебра».

По мере роста парка автономных транспортных средств, обостряется вопрос о взаимодействии между транспортными средствами (следующим определенным алгоритмам движения) и пешеходами, которые могут вести себя непредсказуемо. В статье [13] авторы выделили такие группы пешеходов как: игнорирующие правила (рискованный тип), следующие правилам (стабильный тип) и строго следующие правилам (осторожный тип). Для этих целей применялся метод кластеризации k -средних.

2 Материалы и методы

В этом разделе мы опишем те методы, которые можно применить для повышения безопасности пешеходов, упорядочив их с помощью матрицы Хэддона, а затем в разделе 4 приведем основные положения по повышению безопасности пешеходов, применив модифицированную матрицу Хэддона, актуальную для современных условий. Как было указано выше, непредсказуемость поведения людей часто создает проблемы, особенно в тех случаях, когда нет четких запретов на те или иные действия. В некоторых исследованиях были выделены типы пешеходов, но поскольку эти классификации были ограниченными, на первом этапе классифицировали пешеходов по нескольким признакам, поскольку такая классификация дает возможность более точной настройки умного светофора, что актуально в современных условиях [14].

2.1 Характеристики групп пешеходов и влияние разных факторов на их поведение

Как показал анализ литературных исследований, наиболее уязвимы на дорогах дети и пожилые люди. При этом усугубляющими факторами как для водителей, так и для пешеходов является состояние алкогольного и наркотического опьянения. Практика показывает, что значительная доля пешеходов, пострадавших в ДТП, находились под воздействием алкоголя или

наркотических веществ. Превышение скорости транспортного средства также зачастую приводит к наездам на пешеходов с тяжкими последствиями (тяжелые травмы и смерть). Опасными факторами являются плохие погодные условия и темное время суток. Риск получения травм или гибели в результате ДТП наиболее вероятен для мужчин-пешеходов, особенно в возрасте 15-29 лет. Дети находятся в группе риска зачастую из-за незнания правил дорожного движения, отсутствия контроля со стороны взрослых и физиологических особенностей (низкий рост). Риски для пожилых людей связаны с нарушениями здоровья [15].

Как показывает практика работы организаций по управлению движением и спасательных служб, аварии с участием пешеходов можно предотвращать. На это направлены усилия как ученых, так и специалистов, отвечающих за безопасность на дорогах. Поскольку риски для пешеходов связаны не только с человеческим фактором, но и с техническими решениями, то и меры предотвращения несчастных случаев можно разделить на организационные и технические. К первой группе относятся различные мероприятия, связанные с обучением правилам поведения на дорогах, создание систем помощи пешеходам, а также введение системы штрафов для нарушителей. Для обеспечения максимальной безопасности пешеходов разрабатывают специальные документы, регламентирующие взаимодействие участников дорожного движения. Кроме того, создаются службы экстренной помощи для спасения жизней пешеходов в случае аварий. Разработка специальных программных средств как для пешеходов, так и для управления транспортными средствами и инфраструктурой с использованием современных методов также способствует безопасности на дорогах.

2.2 Разработка системы для управления безопасностью

Как следует из анализа особенностей организации и безопасности движения, транспортная система характеризуется значительным числом параметров и находится под воздействием большого числа внешних воздействий. Поэтому при анализе ее состояния и разработке мер по управлению необходим многофакторный анализ. В основе такого анализа для того, чтобы он был корректным, лежит мониторинг состояния дорожного движения, позволяющий получить реальные данные о системе. Для того, чтобы выбрать наиболее рациональное и адекватное решение, необходимо упорядочить современные методы статистического анализа и применяемые решения, а затем выработать рекомендации и оценить их эффективность с тем, чтобы при необходимости выполнять корректировку на основе обратной связи. Новизна предлагаемого нами подхода состоит в том, что мы предлагаем модифицированную матрицу Хэддона для упорядочения мероприятий по исключению человеческого фактора, а затем использовать методы и средства интеллектуального анализа данных [16] для поиска оптимальных решений и их применения в аналогичных ситуациях.

При этом мы учитывали тот факт, что существует множество хорошо зарекомендовавших себя решений отдельных проблем в области безопасности движения, которые при совместном использовании могут привести к синергетическому эффекту, поэтому их можно было бы обобщить в единой системе. Кроме того, использование общей информационной базы позволит оценить выбранный вариант как с точки зрения безопасности, экологичности и экономичности, так и с точки зрения влияния на социум. Такой подход является наиболее рациональным.

3 Результаты исследований

3.1 Классификация и интеллектуальный анализ поведения пешеходов

Поскольку травмы и гибель пешеходов на дорогах являются проблемой во всем мире, несмотря на многочисленные меры и усилия, необходима не только разработка локальных решений, но и многосторонний анализ проблемы, чтобы выработать комплексное решение, опираясь на глубокую аналитику с учетом региональных особенностей в области организации и безопасности движения.

Как видно из многочисленных исследований, самым непредсказуемым является человеческий фактор, поэтому первым шагом стала разработка классификатора пешеходов (см. рис.1).

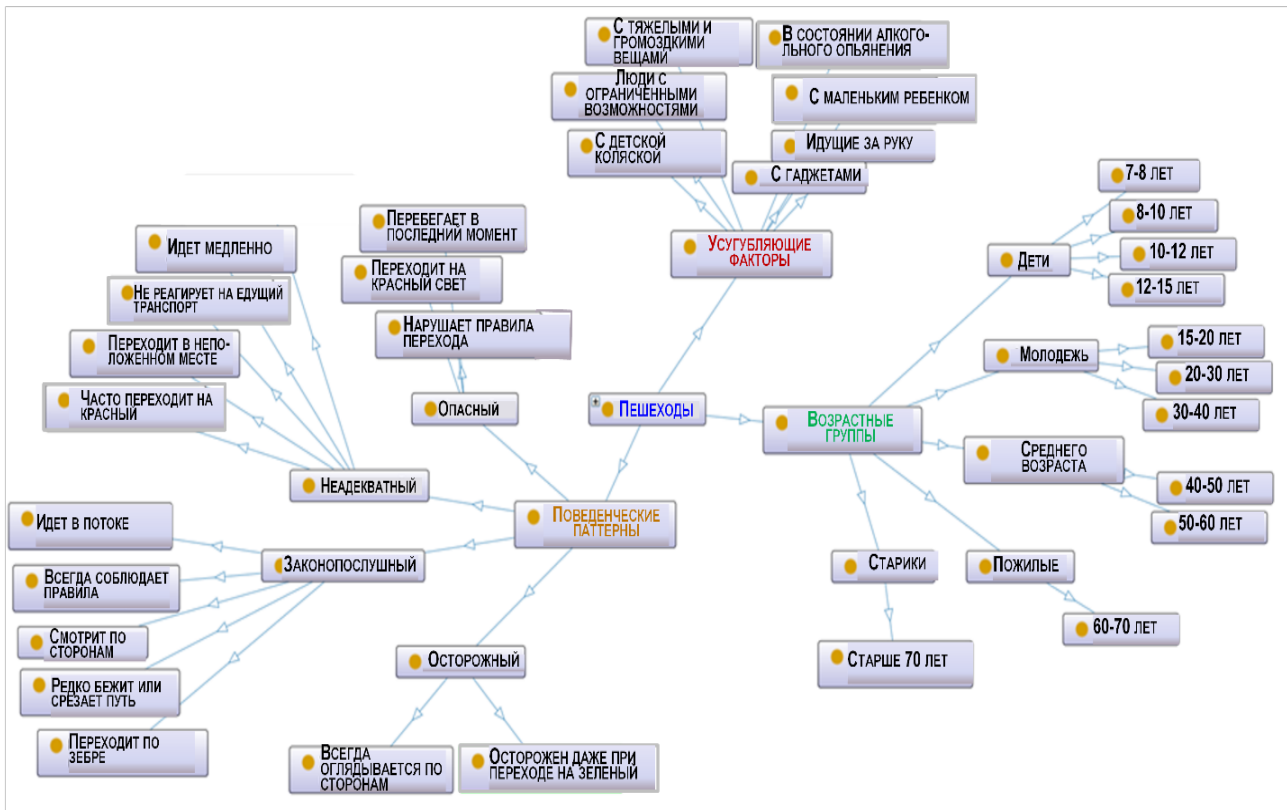


Рисунок 1 – Классификация пешеходов

Как видно из предыдущего обзора, практически все авторы отмечают такой признак, как возраст, непосредственно влияющий на скорость движения через дорогу. Человеческий фактор также сильно влияет на вероятность аварийной ситуации, то есть риск ДТП часто определяют паттерны поведения. Помимо этого, мы выделили усугубляющие факторы, которые могут повлиять как на вероятность ДТП, так и на тяжесть последствий.

Повысить время перехода дороги могут усугубляющие факторы (как объективные, так и субъективные), поэтому несмотря на то, что есть специальные регламенты, в которых скорость перехода указана в зависимости от возраста пешехода, при вычислении продолжительности пешеходной фазы светофора обычно вводят поправочный коэффициент.

Кроме того, время, необходимое для перехода дороги, зависит от числа пешеходов, которые стоят у светофора и собираются перейти дорогу. Таким образом, параметры пешеходного потока определяют длительность зеленой фазы для безопасного перехода. Для разработки классификатора мы использовали Protégé – бесплатную платформу с открытым исходным кодом, которая предоставляет набор инструментов для создания моделей на основе знаний с онтологиями.

Как известно, во многих случаях изменение инфраструктуры приводит к улучшению дорожной ситуации. Однако зачастую это не дает должного эффекта, особенно в случае пожилых людей и пешеходов-детей. И если в учебное время года многие страны предпринимают меры по управлению безопасностью детей во время пути в школу и из школы (безопасный школьный маршрут), то во время школьных каникул ситуация обостряется, поскольку дети часто оказываются на улице без присмотра взрослых. Пожилые люди также нуждаются в пристальном внимании, в особенности, вблизи медицинских центров, поскольку состояние их здоровья может негативно сказаться во время движения.

3.2 Модифицированная матрица Хэддона

Чтобы создать эффективную систему обеспечения безопасности пешеходов, необходимо выявить по имеющимся реальным данным наиболее значимые факторы, упорядочить их и затем выработать мероприятия, которые помогут избежать рискованных ситуаций, реализовать их и проводить мониторинг для определения эффективности с тем, чтобы в случае необходимости принять корректирующие решения.

В этом смысле методика, реализованная с помощью Матрицы Хэддона, является примером системного подхода, позволяющего выявить факторы риска и разработать мероприятия по предотвращению и снижению вредных последствий дорожно-транспортного травматизма для создания эффективной системы управления на основе обратной связи. Работа Уильяма Хэддона [17], опубликованная в 1972 г., представляет возможность моделировать динамическую систему с помощью матрицы, названной впоследствии именем ученого, при этом такой подход применяется в разных областях от здравоохранения до промышленных систем (то есть в сферах, связанных с возможностью травматизма). В сфере транспортной безопасности предложенный Хэддоном подход применяется для лучшего понимания факторов, связанных с характеристиками водителя, транспортного средства и дорожной инфраструктуры, влияющих на вероятность ДТП и тяжесть их последствий для участников. Подход оказался весьма плодотворным аналитическим инструментом и стал широко применяться в здравоохранении [18]. Этот метод имеет преимущества перед другими методами в том плане, что он наиболее эффективен и целесообразен для организации профилактической работы, то есть предотвращения ДТП, именно поэтому на его основе были разработаны стратегии по сокращению частоты несчастных случаев [19] во многих странах, в том числе в России [20]. Дорожно-транспортный травматизм рассматривается с разных точек зрения, предлагаются разные методы и модели, однако нет единой теории, поэтому требуется тщательное изучение всех факторов, которые влияют на вероятность ДТП. Исходя из этого, можно считать матрицу Хэддона надёжным инструментом в исследованиях и профилактике дорожно-транспортного травматизма, поскольку позволяет упорядочить не только причины ДТП, но и выработать мероприятия по смягчению их последствий.

Исследования У. Хэддона, проанализировавшего три основных этапа «до» аварии, «во время» аварии и «после» аварии, то есть во время ликвидации последствий, предлагают модель для анализа основных факторов, влияющих на безопасность и здоровье людей, участвующих в дорожном движении. Поскольку большинство аварий происходит с участием транспортных средств, то и значительная часть проводимых исследований рассматривалась с точки зрения вины водителя автомобиля. Однако, как показывают исследования роли пешехода, как участника дорожного движения, зачастую именно неадекватное поведение пешехода может стать причиной ДТП. Однако, законодательствами разных стран не предусмотрено наказание пешехода в случае нарушения им правил дорожного движения. Мы полагаем, что в ближайшее время положение может усугубиться в связи с появлением на дорогах городов автономных транспортных средств. Поэтому разрабатываются специальные средства «умной инфраструктуры», как и приложения для пешеходов, чтобы обезопасить последних и сделать коммуникацию между ними и автономными автомобилями более комфортной. Так, например, в статье [21] описывается опыт Таиланда в направлении методологии обеспечения безопасности дорожного движения (БДД) с использованием системы POLIS (Police Information System), на основе которой формируются статистические сводки, выявляются места концентрации ДТП, выполняется пространственный анализ с помощью геоинформационных технологий. Кроме того, осмотр мест происшествия выполняется с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), поэтому цифровые методы фиксации и моделирования не только расширяют арсенал технических средств полиции, но и позволяют построить модель ДТП в динамике, выводя причинно-следственные связи на новый уровень. Поскольку подобные разработки связаны с применением информационных технологий (ИТ-решения) и искусственного интеллекта (ИИ), они могут быть подвергнуты специфическим рискам, поэтому к ним должны применяться особые меры во время тех же трех фаз, как и ко всем компонентам системы дорожного движения.

Для реализации этого нами была предложена модифицированная матрица Хэддона, включающая новый фактор, обозначенный как информационные технологии (ИТ) / искусственный интеллект (ИИ) (рис. 2).

ФАЗА →	До ДТП	Во время ДТП	После ДТП
ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ (ВОДИТЕЛИ, ВЕЛОСИПЕДИСТЫ, ПЕШЕХОДЫ И Т.П.)	<input type="checkbox"/> РАБОТА С НАРУШИТЕЛЯМИ; <input type="checkbox"/> УЧЕТ ПРЕДЫДУЩЕГО ОПЫТА; <input type="checkbox"/> УЖЕСТОЧЕНИЕ ШТРАФОВ; <input type="checkbox"/> КОНТРОЛЬ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПРАВОНАРУШЕНИЙ	<input type="checkbox"/> СИСТЕМЫ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ (ОГРАЖДЕНИЯ, "ОСТРОВКИ БЕЗОПАСНОСТИ" И ТРОТУАРЫ)	<input type="checkbox"/> ЭКСТРЕННОЕ РЕАГИРОВАНИЕ; <input type="checkbox"/> КОНТРОЛЬ ПОВЕДЕНИЯ ВИНОВНИКА ДТП <input type="checkbox"/> ВЫЯВЛЕНИЕ «ЗЛОСТНЫХ» НАРУШИТЕЛЕЙ И РАБОТА С НИМИ;
ТРАНСПОРТНЫЙ	ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ: <input type="checkbox"/> КОНТРОЛЬ УСТАЛОСТИ ВОДИТЕЛЯ; <input type="checkbox"/> ADAS; <input type="checkbox"/> КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТС	<input type="checkbox"/> ЗАЩИТА ОТ УДАРА (АКТИВНЫЙ КАПОТ, ВНЕШНИЕ ПОДУШКИ БЕЗОПАСНОСТИ, МЯГКИЕ БАМПЕРЫ И ПОКАТЫЕ ФОРМЫ КУЗОВА)	<input type="checkbox"/> СРЕДСТВА ПЕРВОЙ ПОМОЩИ; <input type="checkbox"/> КНОПКА ОПОВЕЩЕНИЯ О ДТП (ЭРА-ГЛОНАСС);
ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА (ИНФРАСТРУКТУРА И Т.П.)	<input type="checkbox"/> ГЕОМЕТРИЯ ДОРОГИ, СОСТОЯНИЕ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА; <input type="checkbox"/> ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВИДИМОСТИ; <input type="checkbox"/> ПЕШЕХОДНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА; <input type="checkbox"/> ПЕШЕХОДНЫЕ ПЕРЕХОДЫ	<input type="checkbox"/> СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И ОПОВЕЩЕНИЯ ПЕШЕХОДА; <input type="checkbox"/> СИСТЕМЫ ПОДСВЕТКИ И ЗВУКОВОГО ОПОВЕЩЕНИЯ	<input type="checkbox"/> РЕКОНСТРУКЦИЯ ДТП; <input type="checkbox"/> ОПОВЕЩЕНИЕ УЧАСТНИКОВ ДВИЖЕНИЯ О ДТП; <input type="checkbox"/> ВЫЯВЛЕНИЕ МЕСТ КОНЦЕНТРАЦИИ ДТП
ИТ И КОММУНИКАЦИИ	<input type="checkbox"/> ВЫЯВЛЕНИЕ ИТ-УГРОЗ <input type="checkbox"/> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ <input type="checkbox"/> РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ УСИЛЕНИЯ ЗАЩИТЫ ОТ КИБЕРАТАК	<input type="checkbox"/> ИДЕНТИФИКАЦИЯ РИСКОВ И ИТ-УГРОЗ <input type="checkbox"/> БЛОКИРОВКА ИТ-УГРОЗ <input type="checkbox"/> ОТРАЖЕНИЕ КИБЕРАТАК	<input type="checkbox"/> УСТРАНЕНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ И ПОСЛЕДСТВИЙ ВМЕШАТЕЛЬСТВ <input type="checkbox"/> ЛЕЧЕНИЕ ОТ ВИРУСОВ <input type="checkbox"/> УСТРАНЕНИЕ ИТ-УГРОЗ
ФАКТОРЫ	ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ДТП	СНИЖЕНИЕ ТЯЖЕСТИ ПОСЛЕДСТВИЙ ДТП	ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ДТП

Рисунок 2 – Модифицированная Матрица Хэддона

Помимо этого, мы делаем акцент на роли пешеходов как участников дорожного движения. После реализации мероприятий, записанных в матрице, необходим повторный анализ статистических данных, затем сравнение их значений с предыдущим периодом, после этого, оценка эффективности предложенных решений, и, при необходимости, их корректировка в матрице Хэддона.

Преимущество такой системы в возможности прогнозирования потенциальных рисков, что позволяет не только избежать неадекватных решений, но и предотвратить рискованные ситуации в соответствии с разными измерениями: экологическими, социальными, управленческими и экономическими.

4 Обсуждение и заключение

В условиях перехода к человекоцентричным системам забота о безопасности пешеходов выходит на первый план. Ситуация станет более критичной, когда мы будем жить в умных городах с умными транспортными средствами и умной инфраструктурой, где роль человеческого фактора в силу непредсказуемости поведения может привести к серьезным сбоям и даже техногенным катастрофам. В настоящее время есть целый ряд направлений исследований по созданию более безопасной и устойчивой транспортной системы городов, в том числе для комфорта пешеходов, как участников дорожного движения. Применение описанных в статье мер может стать первым шагом к созданию безопасной городской среды.

Сбалансированный подход, учитывающий как технологические возможности, так и человеческое поведение, действительно может стать основой для создания безопасных, устойчивых и комфортных городов будущего.

Список литературы

- 1 Ezzati Amini, R.; Katrakazas, C.; Antoniou, C. Negotiation and Decision-Making for a Pedestrian Roadway Crossing: A Literature Review. *Sustainability* 2019, 11, 6713.
- 2 Kim, D.; Kim, H.; Mok, Y.; Paik, J. Real-Time Surveillance System for Analyzing Abnormal Behavior of Pedestrians. *Appl. Sci.* 2021, 11, 6153.
- 3 S. Deokar and S. Khandekar, "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.
- 4 Giannoulaki, M.; Christoforou, Z. Pedestrian Walking Speed Analysis: A Systematic Review. *Sustainability* 2024, 16, 4813.
- 5 Sajewicz, J.; Dziuba-Słonina, A. Texting on a Smartphone While Walking Affects Gait Parameters. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2023, 20, 4590.
- 6 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.
- 7 A. Marrapu, "Utilizing Technology to Prevent Distracted Walking," 2024 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC), Princeton, NJ, USA, 2024, pp. 1-7.
- 8 R. Hasan, M. A. Hoque, Y. Karim, R. Griffin, D. C. Schwebel and R. Hasan, "Someone to Watch Over You: Using Bluetooth Beacons for Alerting Distracted Pedestrians," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 22, pp. 23017-23030, 15 Nov.15, 2022.
- 9 M. Gogola and J. Ondruš, "Road safety perspective of small children," 2020 XII International Science-Technical Conference AUTOMOTIVE SAFETY, Kielce, Poland, 2020, pp. 1-5.
- 10 Y. Koike and Y. Tanjo, "Development of a Navigation System Using MY VISION for Visually Impaired People – A Method to Guide the Direction of Travel," 2024 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), Kuching, Malaysia, 2024, pp. 3275-3280.
- 11 S. Caldera, V. Madushika, S. Herath, S. Alwis, S. Thelijjagoda and J. Krishara, "VisionPal: Visual Assistant System for the Visually Impaired People," 2023 International Conference on Innovative Computing, Intelligent Communication and Smart Electrical Systems (ICES), Chennai, India, 2023, pp. 1-8.
- 12 W. -J. Chang, L. -B. Chen, C. -Y. Sie and C. -H. Yang, "An Artificial Intelligence Edge Computing-Based Assistive System for Visually Impaired Pedestrian Safety at Zebra Crossings," in *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 67, no. 1, pp. 3-11, Feb. 2021.
- 13 Y. Li, H. Zhou, S. Fu and W. Wang, "Risky Behavior of Pedestrians Crossing the Street in front of New Energy Vehicles," 2023 7th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS), Xi'an, China, 2023, pp. 1230-1235.
- 14 Simulation modeling in improving pedestrians' safety at non-signalized crosswalks / I. Makarova, R. Khabibullin, V. Mavrin, E. Belyaev // *Transport Problems*. – 2016. – Vol. 11, No. 4. – P. 139-150.
- 15 Makarova, I. V. Children's safety on roads: Development of the method to choose the school route / I. V. Makarova, K. A. Shubenkova, G. A. Parsin // *Proceedings of the International Forum KAZAN DIGITAL WEEK - 2020*.
- 16 Improving safety on the crosswalks with the use of fuzzy logic / I. Makarova, K. Shubenkova, V. Mavrin, P. Buyvol // *Transport Problems*. – 2018. – Vol. 13, No. 1. – P. 97-109.
- 17 Haddon J. W. The changing approach to the epidemiology, prevention and amelioration of trauma: the transition to approaches etiologically rather than descriptively. *America J. of Public Health*. 1968; 58:1431-1438.
- 18 Фаттахов Тимур Асфанович Дорожно-транспортный травматизм в России и его факторы // Социальные аспекты здоровья населения. – 2015. – №4. – С. 1-17 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dorozhno-transportnyu-travmatizm-v-rossii-i-ego-factory> (дата обращения: 13.12.2025).
- 19 Черкесов В.В., Ганенко С.Р. Использование матрицы Хеддона при оказании первой помощи при ДТП Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2021. – № 2 (9). – С. 379-383.
- 20 К вопросу о методологии обеспечения безопасности дорожного движения в Российской // Федерации Сборник «Дороги и мосты». – Вып. 36-2/2016. – С.193-221
- 21 Васюков В.Ф., Дамирчиев Э.И. Расследование преступлений в сфере дорожного движения: криминалистические подходы и аналитические инструменты (на примере Таиланда) // *Безопасность дорожного движения*. – 2025. – № 3. – С. 54–62.

References

- 1 Ezzati Amini, R.; Katrakazas, C.; Antoniou, C. Negotiation and Decision-Making for a Pedestrian Roadway Crossing: A Literature Review. *Sustainability* 2019, 11, 6713.
- 2 Kim, D.; Kim, H.; Mok, Y.; Paik, J. Real-Time Surveillance System for Analyzing Ab-normal Behavior of Pedestrians. *Appl. Sci.* 2021, 11, 6153.
- 3 S. Deokar and S. Khandekar, "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.
- 4 Giannoulaki, M.; Christoforou, Z. Pedestrian Walking Speed Analysis: A Systematic Re-view. *Sustainability* 2024, 16, 4813.
- 5 Sajewicz, J.; Dziuba-Słonina, A. Texting on a Smartphone While Walking Affects Gait Parameters. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2023, 20, 4590.
- 6 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.
- 7 A. Marrapu, "Utilizing Technology to Prevent Distracted Walking," 2024 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC), Princeton, NJ, USA, 2024, pp. 1-7.
- 8 R. Hasan, M. A. Hoque, Y. Karim, R. Griffin, D. C. Schwebel and R. Hasan, "Someone to Watch Over You: Using Bluetooth Beacons for Alerting Distracted Pedestrians," in *IEEE Inter-net of Things Journal*, vol. 9, no. 22, pp. 23017-23030, 15 Nov.15, 2022.
- 9 M. Gogola and J. Ondruš, "Road safety perspective of small children," 2020 XII International Science-Technical Conference AUTOMOTIVE SAFETY, Kielce, Poland, 2020, pp. 1-5.
- 10 Y. Koike and Y. Tanjo, "Development of a Navigation System Using MY VISION for Visually Impaired People – A Method to Guide the Direction of Travel," 2024 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), Kuching, Malaysia, 2024, pp. 3275-3280.
- 11 S. Caldera, V. Madushika, S. Herath, S. Alwis, S. Thelijjagoda and J. Krishara, "Vision-Pal: Visual Assistant System for the Visually Impaired People," 2023 International Conference on Innovative Computing, Intelligent Communication and Smart Electrical Systems (ICSSES), Chennai, India, 2023, pp. 1-8.
- 12 W. -J. Chang, L. -B. Chen, C. -Y. Sie and C. -H. Yang, "An Artificial Intelligence Edge Computing-Based Assistive System for Visually Impaired Pedestrian Safety at Zebra Crossings," in *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 67, no. 1, pp. 3-11, Feb. 2021.
- 13 Y. Li, H. Zhou, S. Fu and W. Wang, "Risky Behavior of Pedestrians Crossing the Street in front of New Energy Vehicles," 2023 7th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS), Xi'an, China, 2023, pp. 1230-1235.
- 14 Simulation modeling in improving pedestrians' safety at non-signalized crosswalks / I. Makarova, R. Khabibullin, V. Mavrin, E. Belyaev // *Transport Problems*. – 2016. – Vol. 11, No. 4. – P. 139-150.
- 15 Makarova, I. V. Children's safety on roads: Development of the method to choose the school route / I. V. Makarova, K. A. Shubenkova, G. A. Parsin // *Proceedings of the International Forum KAZAN DIGITAL WEEK - 2020*.
- 16 Improving safety on the crosswalks with the use of fuzzy logic / I. Makarova, K. Shu-benkova, V. Mavrin, P. Buyvol // *Transport Problems*. – 2018. – Vol. 13, No. 1. – P. 97-109.
- 17 Haddon J. W. The changing approach to the epidemiology, prevention and amelioration of trauma: the transition to approaches etiologically rather than descriptively. *America J. of Public Health*. 1968; 58:1431–1438.
- 18 Fattakhov Timur Asfanovich Road traffic injuries in Russia and its factors // *Social aspects of population health*. - 2015. - No. 4. - Pp. 1-17 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dorozhno-transportnyy-travmatizm-v-rossii-i-ego-factory> (date of access: 13.12.2025).
- 19 Cherkesov V.V., Ganenko S.R. Using the Haddon matrix in providing first aid in case of an accident Fire and technosphere safety: problems and ways of improvement. - 2021. - No. 2 (9). - Pp. 379-383.
- 20 On the methodology of ensuring road safety in the Russian // *Federation Collection "Roads and Bridges"*. – Issue 36-2/2016. – P.193-221
- 21 Vasyukov V.F., Damirchiev E.I. Investigation of crimes in the field of road traffic: forensic approaches and analytical tools (on the example of Thailand) // *Road Safety*. – 2025. – No. 3. – P. 54–62.