

© И. А. Улинец, аспирант

© Л. Е. Кущенко, д-р техн. наук, доцент

© С. В. Кущенко, канд. техн. наук, доцент

© Л. А. Королёва, аспирант

(Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, Белгород, Россия)

E-mail: ulinetz.iosif@yandex.ru, lily-041288@mail.ru,

serega_ku@mail.ru, koroleva_liliy@mail.ru

© I. A. Ulinets, post-graduate student

© L. E. Kushchenko, Dr. Sci. Tech., Associate Professor

© S. V. Kushchenko, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© L. A. Koroleva, post-graduate student

(Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russia)

E-mail: ulinetz.iosif@yandex.ru, lily-041288@mail.ru,

serega_ku@mail.ru, koroleva_liliy@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ПУТЕМ ДЕТЕКЦИИ ТС И ЛИЦ УЧАСТНИКОВ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

IMPROVING ROAD SAFETY BY DETECTING VEHICLES AND ROAD TRAFFIC PARTICIPANTS

Рассматривается комплексный подход к повышению безопасности дорожного движения на основе систем автоматизированного контроля. Проанализированы задачи детекции транспортных средств и лиц участников дорожного движения (водителей, пешеходов) как ключевого элемента для предупреждения аварийных ситуаций. В работе описаны применяемые алгоритмы компьютерного зрения (включая YOLO), методика интеграции с системами помощи водителю (ADAS), а также механизмы формирования доказательного медиапотока и аналитики для последующего анализа ДТП. Представлены результаты тестирования, архитектура программно-аппаратного прототипа и практические рекомендации по внедрению системы. Особое внимание уделено оценке потенциальной эффективности решения для снижения аварийности и учету реальных ограничений при эксплуатации.

Ключевые слова: транспортное средство, дорожно-транспортное происшествие, безопасность дорожного движения, детекция лиц, правила дорожного движения, интеллектуальные транспортные системы, искусственный интеллект.

The paper considers an integrated approach to improving road safety based on automated control systems. The tasks of detecting vehicles and faces of road traffic participants (drivers, pedestrians) as a key element for emergency prevention are analyzed. The applied computer vision algorithms (including YOLO), the methodology of integration with driver assistance systems (ADAS), as well as the mechanisms for generating evidence-based media stream and analytics for subsequent analysis of accidents are described. The results of testing, the architecture of the software and hardware prototype and practical recommendations for the implementation of the system are presented. Special attention is paid to assessing the potential effectiveness of the solution for reducing accidents and taking into account the real limitations during operation.

Keywords: vehicle, road traffic accident, road traffic safety, face detecting, traffic rules, intelligent transport systems, artificial intelligence.

Введение

В современных системах обеспечения безопасности дорожного движения (БДД) все шире применяют методы компьютерного зрения для автоматического обнаружения объектов на дороге. Одними из ключевых задач являются детекция транспортных средств (ТС) и детекция лиц. Автоматическое распознавание ТС на видеопотоке по-

зволяет, с одной стороны, улучшить управление дорожным движением и предотвратить вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП), а с другой — повысить эффективность контроля за соблюдением правил дорожного движения (ПДД). В то же время детекция лиц водителей и пешеходов обеспечивает новые возможности для предотвращения ДТП, поз-

воля выявлять признаки усталости или невнимательности водителя, а также идентифицировать нарушителей ПДД.

Под безопасностью дорожного движения в рамках статьи понимается совокупность условий и факторов, связанных с ДТП и инцидентами, которые приводят или потенциально могут привести к гибели либо тяжелым травмам участников дорожного движения. Уровень БДД корректно характеризовать итоговыми показателями аварийности и тяжести последствий, например числом погибших и тяжело раненых, а также относительными показателями риска (на 100 тыс. населения, на пробег, на парк транспортных средств). В работе технологии компьютерного зрения рассматриваются не как самостоятельная причина повышения уровня БДД, а как инструмент измерения и раннего выявления опасных ситуаций и состояний водителя, который способен влиять на конечные показатели БДД только через контуры воздействия: предупреждение водителя, автоматизированное вмешательство (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS), диспетчерское реагирование и профилактику нарушений.

Научная новизна работы состоит в систематизации сценариев применения детекции ТС и детекции лиц в задачах обеспечения БДД с явным выделением контуров воздействия «обнаружение–предупреждение/реакция», что позволяет корректно связывать результаты компьютерного зрения с измеряемыми показателями риска ДТП и тяжести последствий. Практическая значимость заключается в предложенной архитектуре программно-аппаратного прототипа и подходе к формированию доказательного медиапотока для последующего анализа инцидентов, а также в рекомендациях по интеграции детекции с функциями ADAS и элементами городской интеллектуальной транспортной инфраструктуры.

Детекция автомобилей: методы и применение

Исторически первые подходы к автоматическому обнаружению ТС на изображениях

базировались на алгоритмах с ручным выделением признаков. Традиционные методы включали вычитание фона, метод разностного кадра и оптический поток. Для классификации и локализации объектов применялись алгоритмы вроде каскадов Хаара и детекторы с использованием гистограммы направленных градиентов и метода опорных векторов (HOG+SVM, Histogram of Oriented Gradients + Support Vector Machine) или Deformable Part Models (DPM). Однако классические алгоритмы чувствительны к изменению условий среды, например освещения, ракурса, поэтому в реальных дорожных условиях присутствовала недостаточная точность и надежность.

С середины 2010-х гг. наблюдается переход к методам глубокого обучения, которые обеспечили качественный скачок в точности и скорости детекции объектов. На смену ручному проектированию признаков пришли сверточные нейросети (convolutional neural network, CNN), автоматически извлекающие информативные признаки из данных. Появились две основные парадигмы: двухстадийные детекторы (семейство R-CNN (Region-based CNN)) и одностадийные детекторы (SSD (single-shot detector), YOLO (You Only Look Once) и др.) (рис. 1).

В двухстадийных алгоритмах, например Faster R-CNN, изначально генерируются области-кандидаты, которые затем классифицируются нейросетью. Одностадийные подходы сразу предсказывают координаты и классы объектов по всему изображению, что дает преимущество в скорости. Ярким примером стала модель YOLO, впервые представленная в 2015 г. Она достигла скорости порядка 45 кадров/с (облегченная версия — до 155 кадров/с) при высокой точности, ознаменовав новый этап развития систем реального времени. В последующие годы одностадийные алгоритмы (YOLO v3/v4/v5 и др.) доминируют в задачах детекции транспорта благодаря сочетанию быстродействия и до-



Рис. 1. Архитектура CNN-детекторов

статочной точности. Например, новейшие версии YOLO позволяют обнаруживать сразу несколько классов объектов (ТС, людей, дорожные знаки и др.) на видео в режиме реального времени, что особенно важно для транспортных систем помощи водителю и автономного вождения.

Повышение БДД с помощью обнаружения ТС

Автоматическая детекция ТС открывает широкие возможности для предотвращения ДТП и улучшения дорожной обстановки. Во-первых, камеры наблюдения, оснащенные алгоритмами компьютерного зрения, способны в режиме реального времени выявлять опасные ситуации на дорогах (резкое торможение, остановку транспорта на проезжей части, движение во встречном направлении и пр.). Система видеомониторинга фиксирует появление нештатных ситуаций и мгновенно передает сигнал диспетчерам или напрямую водителям через информационные табло. Такой подход позволяет оперативно реагировать на возникновение заторов, ДТП или нарушения ПДД без необходимости постоянного наблюдения оператором. Во-вторых, детекция автомобилей с классификацией их типов и траекторий используется для интеллектуального управления дорожным движением. Анализ транспортных потоков и их скоростей движения дает возможность адаптивно управлять циклами светофорного объекта, перенаправлять транспортные потоки и тем самым снижать

вероятность аварийно опасных скоплений ТС. Согласно [1–3], по данным платформы Viso, современные модели глубокого обучения успешно выделяют и классифицируют разные типы ТС на видео, определяют зоны повышенной опасности (выезды с автомагистралей, обочины) и автоматически фиксируют аномалии, такие как остановившееся на дороге ТС. В-третьих, алгоритмы детекции позволяют фиксировать нарушения ПДД, а именно, проезд на красный сигнал светофорного регулирования, выезд на встречную полосу движения, превышение скоростного режима с последующей идентификацией нарушителей (через регистрационный номер или даже по лицу водителя ТС). Это служит средством профилактики: по данным технической энциклопедии Tencent [4–6], внедрение камер с распознаванием лиц и регистрационных номеров ТС на перекрестках позволило в одном из городов автоматически выявлять злостных нарушителей ПДД и снизить количество нарушений примерно на 30 %. Также детектирование ТС используется в расширенных системах помощи водителю (ADAS), например для функций предупреждения столкновений и автоматического торможения (рис. 2).

Камеры в автомобилях, анализирующие дорогу впереди, распознают присутствие попутных и встречных автомобилей, а также препятствий. При угрозе столкновения такие системы подают сигнал водителю или автоматически притормаживают автомо-

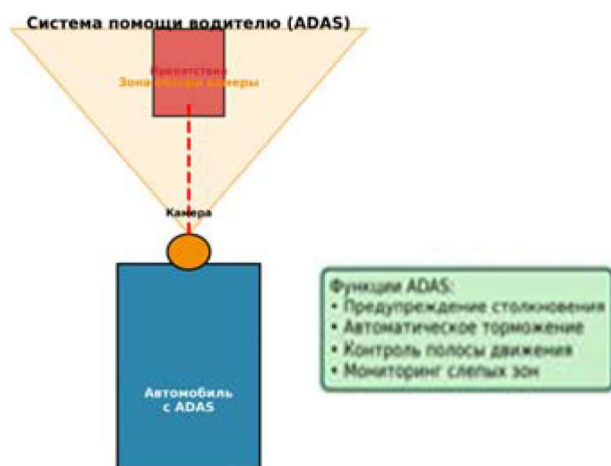


Рис. 2. Система помощи водителю ADAS

биль, предотвращая вероятность возникновения ДТП. Исследования показывают, что реализация автоматического обнаружения ТС и последующих функций ADAS (предупреждение/автоторможение) способна снижать риск столкновений и, как следствие, уменьшать тяжесть последствий ДТП, измеряемую, например, числом погибших на 100 пострадавших.

Таким образом, детекция ТС стала неотъемлемым элементом интеллектуальных транспортных систем (ИТС), заметно влияющим на БДД.

Технологии обнаружения лиц

Автоматическая детекция человеческих лиц на изображениях также прошла путь от классических алгоритмов к нейросетям. Одним из первых прорывов стал алгоритм Виолы–Джонса, предложенный в 2001 г., который позволил в реальном времени выделять область лица на фотографии [7–9]. Метод Виолы–Джонса использовал каскады простых признаков, так называемых признаков Хаара, и адаптивный бустинг для быстрого нахождения лиц в потоке изображений. Он нашел широкое применение от цифровых фотокамер до систем видеонаблюдения. Однако данный метод имел ограничения по точности, особенно при нетиповых ракурсах и освещении. С середины 2010-х гг.

с развитием глубинного обучения точность детекции лиц значительно возросла. Появились специальные нейросетевые детекторы лиц, например MTCNN (Multitask Cascaded Convolutional Networks), RetinaFace и другие, которые обучены на больших датасетах с миллионами лицевых изображений. Эти модели способны надежно находить лица при различных поворотах головы, мимике и условиях освещения, менее чувствительны к шуму, чем классические алгоритмы [10–12]. Современные системы обычно интегрируют детектор лиц на основе CNN как первый этап обработки: нейросеть выдает координаты прямоугольников, обрамляющих лица на изображении. Далее по этим регионам могут выполняться дополнительные анализы: распознавание личности, определение взглядов, состояний и т. д. Примечательно, что в ряде приложений вместо специальных «face-only» моделей применяются универсальные детекторы объектов, например версии YOLO или SSD, обученные распознавать класс «лицо» наряду с другими объектами. Такой подход унифицирует задачу детекции, позволяя одной сети одновременно отслеживать и ТС, и людей. В целом, по состоянию исследований на 2025 г. точность обнаружения лиц алгоритмами глубокого обучения в контролируемых условиях близка к человеческой, а скорость обработки на специализированных устройствах (GPU (graphics processing unit), VPU (vision processing unit)) позволяет работать в реальном времени [13–15].

Применение детекции лиц для мониторинга состояния водителя и профилактики ДТП

Обнаружение человеческих лиц играет важную роль в ряде задач повышения БДД. В первую очередь, это мониторинг состояния водителя. Камера, направленная на лицо водителя, способна в реальном времени отслеживать его мимику и признаки усталости — частоту морганий, степень открытия глаз, направление взгляда, зевоту и т. п.

На основе этих данных системы контроля усталости (Driver Monitoring Systems, DMS) выявляют признаки сонливости или отвлеченности и предупреждают водителя, а при необходимости — инициируют защитные меры. К примеру, по нормативным требованиям ЕС начиная с 2022 г. для новых типов транспортных средств введены требования к системам предупреждения сонливости и невнимательности водителя [16–18], такие системы направлены на снижение риска ДТП, связанных с человеческим фактором, за счет раннего выявления опасных состояний и предупреждения водителя. Такая DMS анализирует состояние водителя и обнаруживает опасные ситуации, связанные с засыпанием, алкогольным опьянением или утратой внимания. Производители уже внедряют эти решения: компания Magna разработала интегрированную систему наблюдения за водителем, размещенную в корпусе салонного зеркала, которая с помощью камеры отслеживает положение головы и глаз и способна активно предупреждать об отвлечении, при этом фильтруя обычные действия вроде проверки слепых зон. Denso также представила камеру Driver Status Monitor¹, фиксирующую лицо инфракрасным излучением и анализирующую открытие век, позу головы и другие признаки; система различает состояние усталости или невнимательности и подает сигнал об опасности (рис. 3).

Важной особенностью таких систем является адаптация к разным условиям: инфракрасная подсветка позволяет «видеть» лицо в темноте, алгоритмы выдерживают наличие очков или частичное закрытие лица. В результате применение детекции лиц в салоне автомобиля позволяет существенно снизить риск возникновения аварий, вызванных человеческим фактором. По оценкам экспертов, установка камеры, следящей за состоянием водителя, может предотвращать

тысячи ДТП ежегодно, особенно связанных с засыпанием за рулем на длительных маршрутах. Уже сегодня такие системы способны автоматически притормозить автомобиль, если водитель не реагирует (функция Driver Drowsiness Detection), либо включить вибросигнал на руле, чтобы разбудить задремавшего водителя².

Другая сфера применения детекции лиц — это обеспечение правопорядка на дорогах. Камеры дорожного наблюдения, оснащенные алгоритмами распознавания лиц, позволяют идентифицировать водителей, нарушающих ПДД. Например, при проезде на красный сигнал светофорного регулирования система может не только зафиксировать регистрационный номер ТС, но и за доли секунды обнаружить лицо водителя в кадре и сверить его с базой данных нарушителей или лиц, лишенных водительского удостоверения. В некоторых городах внедряются комплексы, распознающие лица для выявления злостных неплательщиков

² Road safety thematic report — Driver distraction. European Road Safety Observatory. Brussels, European Commission, Directorate General for Transport, 2022.

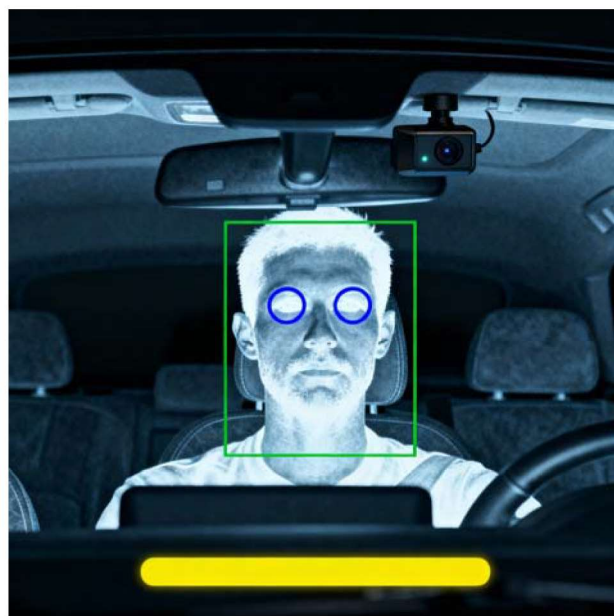


Рис. 3. Детекция лица и положения глаз водителя

¹ Denso Corporation. Driver Status Monitor: Product Description and Specifications. Nagoya, 2023.

штрафов или угонщиков за рулем: если лицо совпадает с профилем нарушителя, то система автоматически отправляет сигнал полиции. Подобные технологии пока вызывают дискуссии о приватности, но очевидно их большое профилактическое значение. Кроме того, распознавание лиц может помочь в розыске преступников или пропавших людей на транспорте — камеры в метро и на вокзалах уже умеют сравнивать лица пассажиров с ориентировками в режиме реального времени. Наконец, детекция лиц используется и для повышения безопасности передвижения пешеходов (рис. 4).

Некоторые продвинутые системы распознают не только силуэты людей, но и их лица, чтобы лучше отслеживать поведение пешеходов, например определяя, смотрит ли человек в сторону приближающегося ТС. Хотя основная задача предотвращения наезда решается детекцией самого человека как объекта, анализ лица может дать дополнительную информацию о внимании пешехода, то есть отвлечен ли он на смартфон и т. д. В целом, комбинация технологий детекции лиц и ТС позволяет выстроить комплексную систему мониторинга дорожной обстановки и состояния водителя, в которой результаты

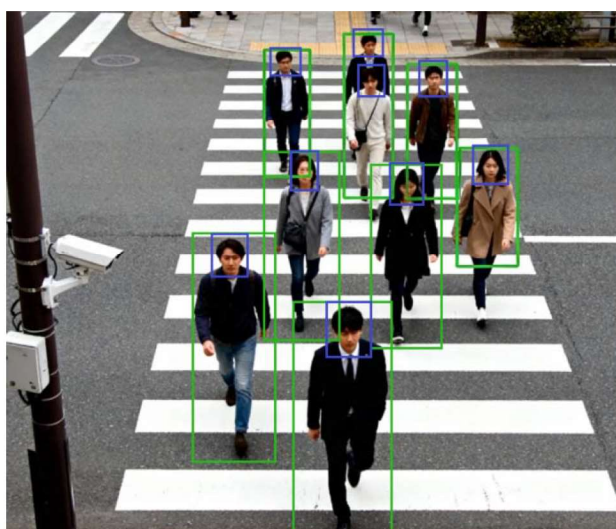


Рис. 4. Фото распознавания лиц пешеходов

детекции используются для предупреждения, контроля и управленческих решений. По мере совершенствования алгоритмов и регламентов эксплуатации ожидается снижение аварийного риска и тяжести последствий, однако величина эффекта определяется качеством контуров реагирования и условиями внедрения.

Выводы

В результате проведенного анализа и обобщения материалов статьи установлено, что технологии компьютерного зрения в задачах детекции транспортных средств и лиц создают количественно измеримую основу для снижения аварийных рисков при наличии контура воздействия «обнаружение–предупреждение/реакция». Показано, что современные одностадийные детекторы семейства YOLO обеспечивают обработку видеопотока в реальном времени на уровне десятков кадров в секунду (порядка 45 кадров/с, а для облегченных конфигураций — до 155 кадров/с), что делает возможным непрерывный мониторинг дорожной сцены и фиксацию событий без существенной задержки. Для инфраструктурных сценариев, где детекция транспорта используется в составе контроля скорости и нарушений, в научных обзорах и метаанализах сообщается статистически значимое снижение аварийности в зоне применения: типичный диапазон уменьшения общего числа ДТП около мест установки средств контроля составляет примерно 14–25 %, а для отдельных схем контроля фиксируются более высокие эффекты. Для бортовых сценариев, связанных с предупреждением столкновений и автоматическим экстренным торможением, приводятся показатели снижения наездов сзади более чем на 40 %, что демонстрирует измеримый вклад детекции объектов при автоматизированном воздействии на управление. Детекцию лиц в составе мониторинга состояния водителя следует трактовать как инструмент раннего выявления отвлечения

и сонливости, способный снижать риск ДТП за счет уменьшения времени реакции и частоты опасных состояний, а не как самостоятельный фактор повышения БДД.

Таким образом, дальнейшее развитие рассматриваемого направления целесообразно связывать с повышением устойчивости детекции в сложных условиях наблюдения, интеграцией мультисенсорных данных (видеокамеры, радары, лидары) и построением предиктивных моделей, позволяющих оценивать вероятность развития опасной дорожной ситуации до наступления критической фазы. Практический эффект от внедрения детекции транспортных средств и мониторинга состояния водителя определяется качеством контуров реагирования и организацией эксплуатации (предупреждение, автоматизированное вмешательство, диспетчерское реагирование, контроль нарушений), поскольку именно эти механизмы переводят результаты наблюдения в снижение риска ДТП и тяжести последствий. Следовательно, интеграция модулей детекции автомобилей и лиц в состав интеллектуальной транспортной системы может рассматриваться как технологически обоснованная мера профилактики аварийности, требующая последующей опытной эксплуатации и оценки по показателям аварийности и тяжести последствий на конкретных участках дорожной сети.

Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

Библиографический список

1. Кущенко Л. Е., Кущенко С. В., Новиков А. Н., Ерёмин С. В. Повышение безопасности дорожного движения в городских агломерациях. Орел: Орловский гос. ун-т; Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2024. 158 с.
2. Есина М. Г., Хонгорова О. В., Шарабанова И. Ю. Статистический анализ прогнозирования дорожно-транспортных происшествий // Успехи современной науки. 2017. Т. 5, № 1. С. 205–207.
3. Толочко Е. И. Культура безопасного поведения на дорогах как многоаспектная социально-педагогическая проблема // Человек и образование. 2015. Вып. № 1 (42). С. 173–179.
4. Евтюков С. А., Васильев Я. В., Евтюков С. С., Голов Е. В. Прогнозирование изменения технико-эксплуатационных показателей подсистемы автомобильных дорог в системе ВАДС. СПб.: Петрополис, 2017. 231 с.
5. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Изд. дом «Вильямс», 2007. 912 с.
6. Овчаренко М. С. Анализ и прогноз состояния и уровня аварийности на дорогах Российской Федерации и пути по ее снижению // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2016. Т. 15. С. 1661–1665.
7. Амбарцумян В. В., Бабанин В. Н., Гуджоян О. П., Петридис А. В. Безопасность дорожного движения. 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. В. Н. Луканина. М.: Машиностроение, 1998. 303 с.
8. Абрамова Л. С., Птица Г. Г. Классификация методов определения показателей безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Пермь, 25–27 апреля 2013 г. Пермь: Пермский нац. иссл. политехн. ун-т, 2013. Т. 2. С. 8–16.
9. Шутов А.И., Воля П.А., Кущенко С.В., Гай Л.Е. Затормозившие явления. Возможности предупреждения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 3. С. 166–168.
10. Лобанов Е. М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя. М.: Транспорт, 1980. 311 с.
11. 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. Вып. № 4-1 (83). С. 99–106.
12. Клеббельсберг Д. Транспортная психология / пер. с нем. А. Б. Тарасова; под ред. В. Б. Мазуркевича. М.: Транспорт, 1989. 366 с.
13. Новиков А. Н., Новиков И. А., Кущенко Л. Е., Кущенко С. В. Организация дорожного движения. Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова; Орел: Орловский гос. ун-т, 2020. 194 с.
14. Бобешко А. С., Кущенко Л. Е., Кущенко С. В., Новиков И. А. Комплексная оценка и анализ показателей дорожно-транспортных происшествий на примере регионов Черноземья // Мир транспорта и технологических машин. 2018. № 4 (63). С. 62–68.

15. Шатова Ю. С., Кулыгина Н. А., Кущенко Л. Е., Новописный Е. А. Влияние основных элементов системы ВАДС на БДД // Проблемы функционирования систем транспорта: сб. междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Тюмень, 5–7 декабря 2018 г. Тюмень: Тюменский индустриальный ун-т, 2019. В 2 т. Т. 2. С. 358–361.

16. Кущенко Л. Е., Новиков И. А., Днистренко Н. С. Обеспечение транспортной безопасности на улично-дорожной сети // Научно-технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса: сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф. Донецк, 20–22 мая 2019 г. Донецк: Донецкая академия транспорта, 2019. С. 141–143.

17. Zhang Y., Guo Z., Wu J., Tian Y., Tang H., Guo X. Real-Time Vehicle Detection Based on Improved YOLO v5 // Sustainability. 2022. Vol. 14 (19). 12274.

18. Kim D., Park H., Kim T., Kim W., Paik J. Real-time driver monitoring with facial landmark-based eye closure detection and head pose recognition // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. 18264.

References

1. Kushchenko L. E., Kushchenko S. V., Novikov A. N., Eryomin S. V. *Povyshenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v gorodskikh aglomeratsiyakh* [Improving road safety in urban agglomerations]. Orel, Orlovskiy gos. un-t; Belgorod, BGTU im. V. G. Shukhova Publ., 2024, 158 p.

2. Esina M. G., Khongorova O. V., Sharabanova I. Yu. *Statisticheskij analiz prognozirovaniya dorozhno transportnykh proissheshtviy* [Statistical analysis of road accident forecasting]. *Uspekhi sovremennoy nauki – Successes of Modern Science*, 2017, vol. 5, no. 1, pp. 205–207.

3. Tolochko E. I. *Kul'tura bezopasnogo povedeniya na dorogakh kak mnogoaspektnaya sotsial'no pedagogicheskaya problema* Culture of safe behavior on the roads as a multidimensional socially pedagogical problem]. *Chelovek i obrazovanie – Man and Education*, 2015, no. 1 (42), pp. 173–179.

4. Evtyukov S. A., Vasil'ev Ya. V., Evtyukov S. S., Golov E. V. *Prognozirovanie izmeneniya tekhniko ekspluatatsionnykh pokazateley podsistemy avtomobil'nykh dorog v sisteme VADS* [Forecasting changes in the technical performance indicators of the road subsystem in the VADS system]. SPb, Petropolis

5. Dreyper N., Smit G. *Prikladnoy regressionniy analiz* [Applied regression analysis]. Moscow, Izdatel'skiy dom Vil'yams Publ., 2007, 912 p.

6. Ovcharenko M. S. *Analiz i prognoz sostoyaniya i urovnya avariynosti na dorogakh Rossiyskoy Federatsii i puti po ee snizheniyu* [Analysis and forecast of the state and level of accidents on the roads of the Russian Federation

and ways to reduce]. *Nauchno metodicheskiy elektronniy zhurnal «Kontsept» – Scientific Methodical Electronic Journal «Concept»*, 2016, vol. 15, pp. 1661–1665.

7. Ambartsumyan V. V., Babanin V. N., Gudzhoyan O. P., Petridis A. V. *Bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya* [Road traffic safety]. 2nd ed., revised. Ed. by Lukanin V. N. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1998, 303 p.

8. Abramova L. S., Ptitsa G. G. *Klassifikatsiya metodov opredeleniya pokazateley bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na avtomobil'nykh dorogakh* [Classification of methods for determining road safety indicators on roads]. *Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse. Trudy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Perm', 25–27 aprelya 2013 g.* [Modernization and research in the transport complex. Proceedings of the International. sci. practical conf. Perm, April 25-27, 2013]. Perm, Permskiy nats. issled. politekhn. un-t Publ., 2013, vol. 2, pp. 8–16.

9. Shutov A. I., Volya P. A., Kushchenko S. V., and Gay L. E. Stall Phenomena. Prevention Opportunities // *Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*. 2013, no. 3, pp. 166–168.

10. Lobanov E. M. *Proektirovanie dorog i organizatsiya dvizheniya s uchetom psikhofiziologii voditelya* [Road design and traffic organization taking into account the psychophysiology of the driver]. Moscow, Transport Publ., 1980, 311 p.

11. Kushchenko L. E., Kushchenko S. V., Kambur A. S., Ulinets I. A. *Razrabotka metodiki opredeleniya ratsional'nogo vzbora dlitel'nosti razreshayushchego signala svetofornogo regulirovaniya na osnovanii neyronnoy seti* [Development of the methodology for determining the rational choice of the duration of the resolution signal of traffic lights based on the neural network]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin – World of Transport and Technological Machines*, 2023, no. 4-1 (83), pp. 99–106.

12. Klebel'sberg D. *Transportnaya psikhologiya* [Transport psychology]. Translated from German by Tarasov A. B. Transport Publ., 1989, 366 p.

13. Novikov A. N., Novikov I. A., Kushchenko L. E., Kushchenko S. V. *Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya* [Traffic organization]. Belgorod, BGTU im. V. G. Shukhova Publ.; Orel, Orlovskiy gos. un-t Publ., 2020, 194 p.

14. Bobeshko A. S., Kushchenko L. E., Kushchenko S. V., Novikov I. A. *Kompleksnaya otsenka i analiz pokazateley dorozhno-transportnykh proissheshtviy na primere regionov Chernozem'ya* [Comprehensive assessment and analysis of traffic accident indicators on the example of the Chernozem region]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin – The world of transport and technological machines*, 2018, no. 4 (63), pp. 62–68.

15. Shatova Yu. S., Kulygina N. A., Kushchenko L. E., Novopisniy E. A. *Vliyanie osnovnykh elementov sistemy*

VADS na BDD [Influence of the main elements of the VADS system on road safety]. *Problemy funktsionirovaniya sistem transporta: sb. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. Tyumen', 5-7 dekabrya 2018 g.* [Problems of functioning of transport systems: Sat. international scientific-practical conf. undergraduates, graduate students and young scientists. Tyumen, December 5-7, 2018]. Tyumen', Tyumenskiy industrial'niy un-t, 2019, in 2 vols., vol. 2, pp. 358-361.

16. Kushchenko L. E., Novikov I. A., Dnistrenko N. S. *Obespechenie transportnoy bezopasnosti na ulichno dorozhnoy seti* [Ensuring transport safety on the street road network]. *Nauchno tekhnicheskie aspekty innovatsionnogo*

razvitiya transportnogo kompleksa. Trudy V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Donetsk, 20-22 maya 2019 g. [Scientific and technical aspects of innovative development of the transport complex. Proceedings of the V International scientific-practical. conf. Donetsk, May 20-22, 2019]. *Donetskaya akademiya transporta – Donetsk Academy of Transport*, 2019, pp. 141-143.

17. Zhang Y., Guo Z., Wu J., Tian Y., Tang H., Guo X. Real Time Vehicle Detection Based on Improved YOLOv5. *Sustainability*, 2022, vol. 14 (19), 12274.

18. Kim D., Park H., Kim T., Kim W., Paik J. Real-time driver monitoring with facial landmark-based eye closure detection and head pose recognition. *Scientific Reports*, 2023, vol. 13, 18264.