

Обзорная статья

УДК 614.2

doi:10.32687/1561-5936-2026-30-1-9-14

Современные технологии, в том числе с использованием искусственного интеллекта, в мониторинге состояния здоровья профессиональных водителей и обеспечении безопасности вождения

Эльмира Нурисламовна Мингазова¹✉, Муслим Ильясович Муслимов²,
Сергей Сергеевич Чинилов³

¹Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья имени Н. А. Семашко, г. Москва, Российская Федерация; ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет», Казань, Россия;

^{2,3}Национальная ассоциация управленцев сферы здравоохранения, Москва, Россия

¹elmira_mingazova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8558-8928>

²office@auz.clinic, <https://orcid.org/0000-0001-9046-8157>

³chinilovss@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-0713-4460>

В настоящее время необходимы технологии электронного здравоохранения, способные повысить безопасность вождения путём точного определения функционального состояния водителя через организацию регулярного скрининга и мониторинга состояния здоровья, визуальный мониторинг, а также анализ поведения транспортного средства. Сегодня с учётом современных технологических возможностей российские учёные и производители вводят разработанную инновационную систему для дистанционного проведения предрейсовых медицинских осмотров профессиональных водителей, основанную на интеграции аппаратно-программных средств, которые в автоматическом режиме регистрируют физиологические показатели, фиксируют визуальные параметры осмотра и передают информацию в медицинский центр без временных задержек. В результате формируется электронный документ, имеющий юридическую силу медицинского заключения. Принципиальным преимуществом технологии является скорость процедуры: полный цикл осмотра занимает не более 2—3 мин. Кроме того, экономическая эффективность решения проявляется в значительной оптимизации использования медицинских кадров. Один медицинский работник, работающий удалённо, может проводить до 100 осмотров в час. Инновационный подход полностью исключает формальное выполнение процедур, сводящихся исключительно к алкотестированию, гарантируя тем самым глубокий анализ здоровья каждого специалиста. Производительность системы позволяет обрабатывать до 30 тыс. осмотров за сутки, что создаёт основу для формирования крупномасштабной базы медицинских данных. Анализ этой информации даёт возможность выявлять начальные стадии профессиональных заболеваний, своевременно корректировать лечебно-профилактические мероприятия и снижать риски дорожно-транспортных происшествий.

Ключевые слова: мониторинг; технологии; состояние здоровья; профессиональные риски; здоровье водителей; безопасность; искусственный интеллект

Для цитирования: Мингазова Э. Н., Муслимов М. И., Чинилов С. С. Современные технологии, в том числе с использованием искусственного интеллекта, в мониторинге состояния здоровья профессиональных водителей и обеспечении безопасности вождения // Ремедиум. 2026. Т. 30, № 1. С. 9—14. doi:10.32687/1561-5936-2026-30-1-9-14

Review article

Modern technologies, including those utilizing artificial intelligence, for monitoring the health status of professional drivers and ensuring driving safety

Elmira N. Mingazova¹✉, Muslim I. Muslimov², Sergey S. Chinilov³

¹N. A. Semashko National Research Institute of Public Health, Moscow, Russia; Kazan State Medical University, Kazan, Russia;

^{2,3}National Association of Healthcare Managers, Moscow, Russia

¹elmira_mingazova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8558-8928>

²office@auz.clinic, <https://orcid.org/0000-0001-9046-8157>

³chinilovss@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-0713-4460>

Currently, there is a critical need for eHealth technologies capable of enhancing driving safety by accurately assessing a driver's functional state through regular health screening and monitoring, visual observation, and analysis of vehicle behaviour. Leveraging contemporary technological capabilities, Russian scientists and developers have introduced an innovative system for remote pre-trip medical examinations of professional drivers. This system integrates hardware and software components that automatically record physiological parameters, capture visual examination data, and transmit this information to a medical centre in real time. The outcome is an electronic document that holds the legal validity of a medical certificate.

A key advantage of this technology is its speed: the entire examination cycle takes no more than 2—3 minutes. Moreover, the solution demonstrates substantial economic efficiency through significant optimisation of medical personnel utilisation. A single remotely operating medical professional can perform up to 100 examinations per hour. This innovative approach entirely eliminates superficial procedures limited solely to alcohol testing, thereby ensuring a comprehensive health assessment for every driver.

The system's capacity enables the processing of up to 30,000 examinations per day, forming the foundation for a large-scale medical database. Analysis of this data facilitates early detection of occupational diseases, timely adjustment of therapeutic and preventive interventions, and a reduction in the risk of road traffic incidents.

Key words: *monitoring; technologies; health status; occupational risks; drivers' health; safety; artificial intelligence*

For citation: Mingazova E. N., Muslimov M. I., Chinilov S. S. Modern technologies, including those utilizing artificial intelligence, for monitoring the health status of professional drivers and ensuring driving safety. *Remedium*. 2026;30(1):9–14. (In Russ.). doi:10.32687/1561-5936-2026-30-1-9-14

Введение

В настоящее время в мире широко изучаются и внедряются различные технологии электронного здравоохранения, способные повысить безопасность вождения путём точного определения функционального состояния водителя через организацию регулярного скрининга и мониторинга состояния здоровья, визуальный мониторинг, мониторинг психофизиологических показателей профессиональных водителей (ПВ), анализ поведения транспортного средства и пр. [1–6].

Цель исследования — охарактеризовать современные технологии мониторинга состояния здоровья ПВ и обеспечения безопасности вождения.

Материалы и методы

В работе представлен тематический обзор источников научной литературы. Методы исследования, применяемые в работе: библиографический, аналитический.

Результаты

Развитие искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения сделало необходимым применение технологий распознавания действий и речи водителя в режиме реального времени во время работы. Современные технологии мониторинга, используемые для повышения безопасности ПВ, включают в себя носимые устройства, бортовые камеры, телематические системы и платформы на основе ИИ, направленные на отслеживание таких переменных, как усталость, стресс, отвлечение внимания и другие критические факторы поведения водителя, а также скорость транспортного средства и условия окружающей среды. Вмешательства в области электронного здравоохранения демонстрируют значительный потенциал для содействия изменению поведения, снижения риска здоровью ПВ. При этом такие проблемы, как высокие затраты на внедрение, вопросы конфиденциальности и нежелание водителей принимать их, остаются серьёзными препятствиями для широкого внедрения таких технологий. Подчёркивается острая необходимость в гармонизированных системах оценки, надёжных протоколах валидации и контекстно-зависимых стратегиях для поддержки эффективного внедрения технологий мониторинга в транспортном секторе [3, 7–9].

Индивидуальные характеристики ПВ — как динамические по своему характеру (время реакции, работоспособность, степень утомления, внимание), так и относительно устойчивые (характер, темперамент, тип нервной системы и т. д.) — связаны с рисками дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Колебания психических функций человека, включая недостаток времени на обработку информации относительно окружающей обстановки, от-

влекающие или эмоциогенные факторы, детерминированные эмоциональным состоянием водителя, могут влиять на скорость процесса принятия решения во время езды. Психофизиологические возможности ПВ могут быть обусловлены состоянием нервно-психического напряжения, физической усталостью, эмоциональным потрясением, и в случае риска ДТП могут превышать реальную возможность предотвращения ДТП. Границы психофизиологических возможностей ПВ могут быть оценены показателями согласованности действия психических и физиологических переменных ПВ [10].

Считается, что комплексная оценка показателей физиологических и поведенческих показателей ПВ способствует точности диагностики и повышению работоспособности водителя. При допуске ПВ к работе по результатам медицинского осмотра часто могут быть не учитываться состояние ПВ в целом (усталость, рассеянное внимание, сниженная скорость реакции и пр.). Использование объективных, не требующих много времени психофизиологических методик позволяет объективно оценить способность ПВ к качественной работе. В целях снижения роли человеческого фактора в обеспечении безопасности на дорогах представляются актуальным решение проблемы обеспечения полного психофизиологического сопровождения водителя от допуска к работе до контроля его состояния в рейсе [11].

Применение психофизиологической диагностики или тестирования ПВ при допуске к работе позволяет точно оценить уровень развития профессионально важных качеств водителей, что может способствовать повышению безопасности дорожного движения [12].

Распространённые формы электронного мониторинга включают в себя камеры видеонаблюдения, прослушивание телефонных разговоров, GPS-отслеживание и мониторинг использования интернета. Отмечается, что при несомненных достоинствах электронного мониторинга в области безопасности транспортно-логистической отрасли он также снижает удовлетворённость работой, повышает уровень стресса, может негативно влиять на восстановление, самостоятельность ПВ и сплочённость команды, а целевые показатели и обратная связь ещё больше усугубляют эти негативные эффекты. Для снижения рисков важны этичные и прозрачные подходы при внедрении таких систем с акцентом на поддержку, а не на контроль. Отмечается, что проблема защиты конфиденциальности сотрудников в отношении электронного мониторинга требует от работодателей информирования сотрудников об использовании и назначении таких систем и обеспечения доступа ПВ к любым собранным о них персональным данным [13].

В мире, особенно в странах с высоким уровнем дохода, развиваются и внедряются системы помощи

водителю (advanced driver-assistance systems, ADAS), направленные на повышение безопасности и комфорта, оказание помощи водителям, а также на снижение числа смертельных случаев и тяжести ДТП. Они обеспечивают водителя информацией и предупреждениями, а также (полу)автономным вмешательством в процесс вождения. Сегодня появились системы ADAS, действующие автоматически в фоновом режиме; системы, предоставляющие водителю информацию/предупреждения (например, навигационные системы, системы предупреждения о лобовом столкновении); системы, берущие на себя управление с высокой степенью автономного вождения (например, интеллектуальная система помощи при парковке) и др. [14].

Отмечаются разная сложность, характеристики и компоненты систем ADAS: от очень простых систем, основанных исключительно на работе видеорегистратора (камеры), до сложных, где взаимодействуют компоненты привода, подвески и тормозной системы, а также целая сеть сложных датчиков. ADAS, несомненно, будет определять будущее развитие автомобильной промышленности. С 2022 г. в странах Европейского союза каждый автомобиль новой модели или поколения должен быть оснащён системой ADAS. Так, легковые автомобили должны быть оснащены системой контроля ограничения скорости, системой удержания полосы движения и системой измерения давления в шинах, а грузовики и автобусы — усовершенствованной системой экстренного торможения. С 2024 г. все легковые автомобили должны быть оснащены так называемыми «чёрными ящиками», фиксирующими события, а грузовики — информационной системой слепых зон, повышающей безопасность велосипедистов в так называемых слепых зонах. Не позднее 2029 г. вступит в силу требование о внедрении стандарта прямой видимости для грузовых автомобилей, который предполагает использование камер или дополнительных зеркал. Отмечается позитивное отношение водителей к ADAS как технологии, повышающей чувство безопасности и комфорта вождения, а также особенно полезной для предотвращения аварий и опасных ситуаций. Однако в последние годы значительно возросло количество данных о влиянии использования новых технологий на когнитивные и психологические функции. Системы ADAS находятся в стадии разработки и требуют постоянной оптимизации, особенно в плане повышения точности, снижения числа ложных срабатываний, улучшения пользовательского интерфейса и обучения водителей для полной реализации их потенциала [14, 15].

Новые подходы к системам мониторинга состояния здоровья водителя предполагают постоянное взаимодействие камер салона и биометрических датчиков с телематическими системами автомобиля для улучшения мониторинга в режиме реального времени и предиктивного вмешательства. Данные с камеры и биометрических датчиков передаются в алгоритм машинного обучения, который обрабатывает данные. Система, включающая в себя несколь-

ко датчиков, размещаемых в кабине водителя, не нарушает комфорт и функциональность. Данные со всех датчиков поступают в централизованный процессор для обработки исходных данных с применением технологий комплексирования данных и алгоритмов машинного обучения. Если поведение водителя меняется, оповещения поступают водителю; если водитель не реагирует, система немедленно связывается с телематическими системами автомобиля и отправляет информацию в экстренные службы, такие как скорая помощь, или назначенные контактные лица. Модели машинного обучения, обладающие особой избирательностью, используются для выявления закономерностей, указывающих на поведение водителя, таких как сонливость, усталость и др. [16].

Установлено, что как пассивные, так и активные системы мониторинга в сочетании с инструктажем и поощрениями значительно снижают агрессивное поведение водителя, связанное с резким ускорением (на 76%) и резким торможением (на 65%). Молодые, хорошо обученные и не склонные к риску водители обычно быстрее реагируют на предупреждения о столкновении и обеспечивают короткий и безопасный интервал до впереди идущего автомобиля [8, 17, 18].

Предупреждения ADAS имеют значительный потенциал для помощи водителям с возрастными нарушениями. Звуковые и визуальные оповещения на дисплее предпочтительны для водителей с нарушениями зрения и слуха соответственно. Повышение гибкости систем оповещения и упрощение интерфейсов транспортных средств в соответствии с меняющимися потребностями пожилых водителей позволяют максимально использовать преимущества данных систем [19].

В последние годы разработано множество недорогих компьютеризированных систем обнаружения изменения состояния водителя, использующие мультисенсорную, мобильную и облачную вычислительную архитектуру для обработки мультимодальных признаков. Подходы с использованием мультисенсорного анализа позволяют отслеживать такие физиологические сигналы, как показатели электроэнцефалограммы и электрокардиограммы, в то время как камера в транспортном средстве предоставляет дополнительную информацию для оценки состояния водителя. Наружная камера фиксирует положение транспортного средства, отклонения от курса, вызванные отвлечением внимания или усталостью. Отмечается, что для широкого внедрения систем обнаружения изменения состояния водителя необходимо определение взаимосвязи между вариативностью физиологических показателей и различными факторами, вызывающими ухудшение состояния, а также с эффективностью работы водителя [1, 4, 9, 20—23].

Многоуровневые диагностические базы данных состояния здоровья на основе физиологических сигналов электроэнцефалограммы, электрокардиограммы, электромиографии и дыхательного усилия, а также изменений лица позволяют оценить дина-

мическое взаимодействие между показателями, фиксируя сложные закономерности, связанные с изменением состояния, включая усталость, сонливость и пр. Комбинирование мультимодальных признаков в обнаружении ухудшения состояния водителя является ценным инструментом для повышения безопасности дорожного движения с помощью современных эффективных систем мониторинга в транспортных средствах [24—26].

До того, как полная автоматизация транспортных средств станет доступной на дорогах общего пользования, водителям будет необходимо по запросу брать управление на себя с помощью цифровых голосовых помощников и запланированного ручного вождения. Это представляет собой сложную задачу для водителей, особенно учитывая, что автоматизация может ещё больше усугубить психологические проблемы. Системы ADAS, оснащённые технологиями выявления стресса, возникающего во время вождения, способны снижать когнитивные эффекты, которые потенциально могут приводить к рискованным ситуациям и ДТП. Так, в реальном времени при обнаружении длительного закрытия глаз активируются сигналы тревоги, обеспечивая своевременное вмешательство для предотвращения несчастных случаев. Объединение передовых методов глубокого обучения с возможностями обработки данных в реальном времени позволяет получить бесконтактное, надёжное и эффективное решение для обнаружения проблем в состоянии водителя, что значительно способствует повышению безопасности дорожного движения и предотвращению ДТП [27—30].

Профессиональные риски для здоровья, связанные с увеличением числа ДТП, требуют принятия мер по улучшению доступа ПВ к медицинскому обслуживанию, организацию регулярного скрининга и мониторинга здоровья, визуальный мониторинг, мониторинг физиологических показателей ПВ.

Регулярное медицинское сопровождение с применением современных технологий дистанционных осмотров и инструментов анализа цифровой медицинской карты водителей (анализ больших данных с использованием ИИ) позволят объективно оценивать состояние здоровья, повысить безопасность дорожного движения и обеспечить устойчивое сохранение здоровья ПВ.

В соответствии с нормами действующего законодательства ПВ должны проходить периодические осмотры (не реже 1 раза в 2 года) и постоянные предрейсовые и послерейсовые медицинские осмотры (ПРМО), которые включают фиксацию ряда исследований (термометрия, давление, пульс, алкотестирование), возможных жалоб водителей, фиксацию результатов визуального осмотра и итогового медицинского заключения. Результаты постоянных исследований создают объективную хронологически зафиксированную картину состояния по перечисленным показателям здоровья водителя. Вместе с тем медицинский работник в рамках ПРМО не уполномочен проводить расширенный осмотр и диагностировать наличие рисков здоровья.

В настоящее время ПРМО проводятся на основании расширенных исследований и с учётом данных электронной медицинской карты пациента (электронной истории болезней), хранящейся в единой государственной информационной системе здравоохранения (ЕГИСЗ).

В связи с отсутствием специального вида электронного медицинского документа для сведений ПРМО полученный пласт фактических сведений теряется, что существенно снижает объективность проводимых периодических исследований, т. к. показатели здоровья можно локально улучшить для прохождения ПРМО, но невозможно замаскировать проблемы здоровья на протяжении года регулярных замеров.

Министерство здравоохранения России, задавая вектор развития ЕГИСЗ, постоянно расширяет состав цифровых сведений о здоровье всех граждан страны и современные методы анализа здоровья, в том числе на базе технологии ИИ. Применение передовых технологий и возможности раннего диагностирования заболеваний при тенденциях дефицита медицинских кадров строятся на основе сбора максимального набора первичных данных исследований («большие данные») о здоровье граждан, в том числе водителей.

Поэтому сбор сведений о ПРМО водителей в ЕГИСЗ — это насущная задача, которая позволит максимально повысить объективность ПРМО ПВ, а также расширить возможности контроля здоровья водителей не только в объёме профессиональных рисков, но по состоянию здоровья в целом, укрепить здоровье значимой части активного населения, что немаловажно, с учётом демографической ситуации и кадрового дефицита.

Заключение

Таким образом, с учётом современных технологических возможностей российские учёные и производители вводят в настоящее время разработанную инновационную систему для дистанционного проведения ПРМО профессиональной группы — водители. Данный уникальный телемедицинский комплекс для мониторинга состояния здоровья водителей основан на интеграции аппаратно-программных средств, которые в автоматическом режиме регистрируют физиологические показатели, фиксируют визуальные параметры осмотра и передают информацию в медицинский центр без задержек.

Система решает несколько ключевых задач: подтверждает личность водителя через биометрическую идентификацию, оценивает неврологический статус через тесты на координацию и речевую функцию, анализирует общее состояние здоровья. В результате формируется электронный документ, имеющий юридическую силу медицинского заключения. Принципиальным преимуществом технологии является скорость процедуры: полный цикл осмотра занимает не более 2—3 мин. Кроме того, экономическая эффективность решения проявляется в значительной оптимизации использования меди-

цинских кадров. Один медицинский работник, работающий удаленно, может проводить до 100 ПРМО в час. Инновационный подход полностью исключает формальное выполнение процедур, сводящихся исключительно к алкотестированию, гарантируя тем самым глубокий анализ здоровья каждого специалиста.

Производительность системы позволяет обрабатывать до 30 тыс. осмотров за сутки, что создаёт основу для формирования крупномасштабной базы медицинских данных. Анализ этой информации даёт возможность выявлять начальные стадии профессиональных заболеваний, своевременно корректировать лечебно-профилактические мероприятия и снижать риски ДТП.

Для России с её огромными территориями и многочисленными удалёнными населёнными пунктами внедрение подобных технологий имеет стратегическое значение. Система обеспечивает доступность качественных медицинских осмотров для водителей во всех регионах страны, независимо от их географического положения, что способствует повышению безопасности дорожного движения и улучшению здоровья профессиональных кадров транспортной отрасли.

В настоящее время социально-экономическая поддержка, инвестиции и внедрение современных технологий в управления здоровьем ПВ имеют приоритетное значение для улучшения состояния здоровья ПВ, обеспечения безопасности на дорогах и социальной безопасности.

В целом, технологии электронного здравоохранения, включающие в себя технологии мониторинга состояния в режиме реального времени, а также носимые устройства, бортовые камеры, телематические системы и платформы на основе ИИ, существенно снижают профессиональные риски здоровью ПВ, обеспечивают безопасность вождения, что имеет первостепенное социально-экономическое значение в условиях тенденций роста кадрового дефицита и роста влияния факторов риска здоровью как профессиональных групп, так и популяционно-му и общественному здоровью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang L., Song F., Zhou T. H., et al. EEG and ECG-based multi-sensor fusion computing for real-time fatigue driving recognition based on feedback mechanism. *Sensors (Basel)*. 2023;23(20):8386. doi: 10.3390/s23208386
2. Sawatari H., Kumagai H., Kawaguchi K., et al. Risk factors for collisions attributed to microsleep-related behaviors while driving in professional truck drivers. *Sci Rep*. 2024;14(1):6378. doi: 10.1038/s41598-024-57021-1
3. McMahon J., Thompson D. R., Brazil K., Ski C. F. An eHealth intervention (ManGuard) to reduce cardiovascular disease risk in male taxi drivers: protocol for a feasibility randomised controlled trial. *Pilot Feasibility Stud*. 2022;8(1):209. doi: 10.1186/s40814-022-01163-4
4. Ayas S., Donmez B., Tang X. Drowsiness mitigation through driver state monitoring systems: a scoping review. *Hum Factors*. 2024;66(9):2218—2243. doi: 10.1177/00187208231208523
5. Муслимов М. И., Чинилов С. С., Мингазова Э. Н. Трансформации в организации предельных и предрейсовых медицинских осмотров в Российской Федерации на основе использования программно-аппаратных комплексов. *Менеджер здравоохранения*. 2025;(12):131—138. doi: 10.21045/1811-0185-2025-12-131-138
6. Муслимов М. И., Чинилов С. С., Мингазова Э. Н. О необходимости медицинского сопровождения профессиональных водителей. *Бюллетень Национального научно-исследовательского института общественного здоровья имени Н. А. Семашко*. 2025;(4):71—74. doi: 10.69541/NRIPH.2025.04.011
7. Fonseca T., Ferreira S. Monitoring technologies for truck drivers: a systematic review of safety and driving behavior. *Appl Sci*. 2025;15(12):6513. doi: 10.3390/app15126513
8. Masello L., Sheehan B., Castignani G., et al. On the impact of advanced driver assistance systems on driving distraction and risky behaviour: an empirical analysis of Irish commercial drivers. *Accid Anal Prev*. 2023;183:106969. doi: 10.1016/j.aap.2023.106969
9. Malik M., Sharma P., Punj G. K., et al. Multi-body sensor based drowsiness detection using convolutional programmed transfer VGG-16 neural network with automatic driving mode conversion. *Sci Rep*. 2025;15(1):8838. doi: 10.1038/s41598-025-89479-y
10. Рябикин А. А., Гавриленко Л. В. Значение и оценка психофизиологического состояния водителя как участника дорожно-транспортного происшествия. *Евразийская адвокатура*. 2022;56(1):67. doi: 10.52068/2304—9839_2022_56_1_67
11. Деметиенко В. В. Приборы контроля и поддержания работоспособности водителя, задачи и решения. *Безопасность дорожного движения*. 2020;(20):70—74.
12. Fadeeva S. A., Sitdikova I. D., Mingazova E. N., et al. Risk assessment as a criterion of environmental stress. *Indo Am J Pharm Sci*. 2018;5(9):9323—9327. doi: 10.5281/zenodo.1439332
13. Stadin M. R., Asplund S., Nyman T., et al. Managers' and safety representatives' perspectives on electronic monitoring and occupational health in the transport and logistics industries in Sweden. *Int J Occup Saf Ergon*. 2025;32(1):250—258. doi: 10.1080/10803548.2025.2524991
14. Liebherr M., Staab V., de Waard D. Classification of advanced driver assistance systems according to their impact on mental workload. *Theor Issues Ergon Sci*. 2024;26(3):332—348. doi: 10.1080/1463922X.2024.2443973
15. Neumann T. Analysis of advanced driver-assistance systems for safe and comfortable driving of motor vehicles. *Sensors (Basel)*. 2024;24(19):6223. doi: 10.3390/s24196223
16. Bhargav M. Advanced driver assistance systems for driver health and fatigue monitoring using camera, biometric sensors, telematics and machine learning. *SAE Technical Paper 2025-28-0195*. 2025. doi: 10.4271/2025-28-0195
17. Zhao W., Gong S., Zhao D., et al. Developing a new integrated advanced driver assistance system in a connected vehicle environment. *Expert Syst Appl*. 2024;238(Pt A):121733. doi: 10.1016/j.eswa.2023.121733
18. Essahraoui S., Lamaakal I., El Hamly I., et al. Real-time driver drowsiness detection using facial analysis and machine learning techniques. *Sensors (Basel)*. 2025;25(3):812. doi: 10.3390/s25030812
19. Wood J. M., Henry E., Kaye S.-A., et al. Exploring perceptions of advanced driver assistance systems (ADAS) in older drivers with age-related declines. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav*. 2024;100:419—430. doi: 10.1016/j.trf.2023.12.006
20. Kumagai H., Tsuda H., Kawaguchi K., et al. Truck collisions attributed to falling asleep at the wheel in two commercial drivers prescribed oral appliance therapy for obstructive sleep apnea. *J Clin Sleep Med*. 2023;19(12):2117—2122. doi: 10.5664/jcsm.10758
21. Zeng C., Zhang J., Su Y., et al. Driver fatigue detection using heart rate variability features from 2-minute electrocardiogram signals while accounting for sex differences. *Sensors (Basel)*. 2024;24(13):4316. doi: 10.3390/s24134316
22. Lu K., Sjörs Dahlman A., Karlsson J., Candefjord S. Detecting driver fatigue using heart rate variability: a systematic review. *Accid Anal Prev*. 2022;178:106830. doi: 10.1016/j.aap.2022.106830
23. Abbas Q., Alsheddy A. Driver fatigue detection systems using multi-sensors, smartphone, and cloud-based computing platforms: a comparative analysis. *Sensors (Basel)*. 2020;21(1):56. doi: 10.3390/s21010056
24. Peivandi M., Ardabili S. Z., Sheykhivand S., Danishvar S. Deep learning for detecting multi-level driver fatigue using physiological signals: a comprehensive approach. *Sensors (Basel)*. 2023;23(19):8171. doi: 10.3390/s23198171
25. Cao S., Feng P., Kang W., et al. Optimized driver fatigue detection method using multimodal neural networks. *Sci Rep*. 2025;15(1):12240. doi: 10.1038/s41598-025-86709-1
26. Rostamzadeh S., Abouhossein A., Vosoughi S., et al. Stress influence on real-world driving identified by monitoring heart rate variability and morphologic variability of electrocardiogram signals: the

- case of intercity roads. *Int J Occup Saf Ergon.* 2024;30(1):252—263. doi: 10.1080/10803548.2023.2293391
27. Hassan O. F., Ibrahim A. F., Gomaa A., et al. Real-time driver drowsiness detection using transformer architectures: a novel deep learning approach. *Sci Rep.* 2025;15(1):17493. doi: 10.1038/s41598-025-02111-x
28. Aravinth S. S., Nagamani G. M., Kumar C. K., et al. Dynamic cross-domain transfer learning for driver fatigue monitoring: multi-modal sensor fusion with adaptive real-time personalizations. *Sci Rep.* 2025; 15(1):15840. doi: 10.1038/s41598-025-92701-6
29. Pan H., Logan D. B., Stephens A. N., et al. Exploring the effect of driver drowsiness on takeover performance during automated driving: an updated literature review. *Accid Anal Prev.* 2025;216:108023. doi: 10.1016/j.aap.2025.108023
30. Béquet A. J., Hidalgo-Muñoz A. R., Jallais C. Towards mindless stress regulation in advanced driver assistance systems: a systematic review. *Front Psychol.* 2020;11:609124. doi: 10.3389/fpsyg.2020.609124
31. Wang L., Song F., Zhou T. H., et al. EEG and ECG-based multi-sensor fusion computing for real-time fatigue driving recognition based on feedback mechanism. *Sensors (Basel).* 2023;23(20):8386. doi: 10.3390/s23208386
32. Sawatari H., Kumagai H., Kawaguchi K., et al. Risk factors for collisions attributed to microsleep-related behaviors while driving in professional truck drivers. *Sci Rep.* 2024;14(1):6378. doi: 10.1038/s41598-024-57021-1
33. McMahon J., Thompson D. R., Brazil K., Ski C. F. An eHealth intervention (ManGuard) to reduce cardiovascular disease risk in male taxi drivers: protocol for a feasibility randomised controlled trial. *Pilot Feasibility Stud.* 2022;8(1):209. doi: 10.1186/s40814-022-01163-4
34. Ayas S., Donmez B., Tang X. Drowsiness mitigation through driver state monitoring systems: a scoping review. *Hum Factors.* 2024;66(9):2218—2243. doi: 10.1177/00187208231208523
35. Muslimov M. I., Chinilov S. S., Mingazova E. N. Transformations in the organization of pre-shift and pre-trip medical examinations in the Russian Federation based on the use of hardware and software systems. *Health Care Manager.* 2025;(12):131—138. doi: 10.21045/1811-0185-2025-12-131-138
36. Muslimov M. I., Chinilov S. S., Mingazova E. N. On the need for medical support of professional drivers. *Bulletin of the National Research Institute of Public Health named after N. A. Semashko.* 2025;(4):71—74. doi: 10.69541/NRIPH.2025.04.011
37. Fonseca T., Ferreira S. Monitoring technologies for truck drivers: a systematic review of safety and driving behavior. *Appl Sci.* 2025;15(12):6513. doi: 10.3390/app15126513
38. Masello L., Sheehan B., Castignani G., et al. On the impact of advanced driver assistance systems on driving distraction and risky behaviour: an empirical analysis of Irish commercial drivers. *Accid Anal Prev.* 2023;183:106969. doi: 10.1016/j.aap.2023.106969
39. Malik M., Sharma P., Punj G. K., et al. Multi-body sensor based drowsiness detection using convolutional programmed transfer VGG-16 neural network with automatic driving mode conversion. *Sci Rep.* 2025;15(1):8838. doi: 10.1038/s41598-025-89479-y
40. Ryabikin A. A., Gavrilenko L. V. Significance and assessment of the psychophysiological state of a driver as a participant in a road traffic accident. *Eurasian Advocacy.* 2022;56(1):67. doi: 10.52068/2304—9839_2022_56_1_67
41. Dementienko V. V. Devices for monitoring and maintaining driver performance: tasks and solutions. *Road Traffic Safety.* 2020;(20):70—74.
42. Fadeeva S. A., Sitdikova I. D., Mingazova E. N., et al. Risk assessment as a criterion of environmental stress. *Indo Am J Pharm Sci.* 2018;5(9):9323—9327. doi: 10.5281/zenodo.1439332
43. Stadin M. R., Asplund S., Nyman T., et al. Managers' and safety representatives' perspectives on electronic monitoring and occupational health in the transport and logistics industries in Sweden. *Int J Occup Saf Ergon.* 2025;32(1):250—258. doi: 10.1080/10803548.2025.2524991
44. Liebherr M., Staab V., de Waard D. Classification of advanced driver assistance systems according to their impact on mental workload. *Theor Issues Ergon Sci.* 2024;26(3):332—348. doi: 10.1080/1463922X.2024.2443973
45. Neumann T. Analysis of advanced driver-assistance systems for safe and comfortable driving of motor vehicles. *Sensors (Basel).* 2024;24(19):6223. doi: 10.3390/s24196223
46. Bhargav M. Advanced driver assistance systems for driver health and fatigue monitoring using camera, biometric sensors, telematics and machine learning. *SAE Technical Paper 2025-28-0195.* 2025. doi: 10.4271/2025-28-0195
47. Zhao W., Gong S., Zhao D., et al. Developing a new integrated advanced driver assistance system in a connected vehicle environment. *Expert Syst Appl.* 2024;238(Pt A):121733. doi: 10.1016/j.eswa.2023.121733
48. Essahraoui S., Lamaakal I., El Hamly I., et al. Real-time driver drowsiness detection using facial analysis and machine learning techniques. *Sensors (Basel).* 2025;25(3):812. doi: 10.3390/s25030812
49. Wood J. M., Henry E., Kaye S.-A., et al. Exploring perceptions of advanced driver assistance systems (ADAS) in older drivers with age-related declines. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav.* 2024;100:419—430. doi: 10.1016/j.trf.2023.12.006
50. Kumagai H., Tsuda H., Kawaguchi K., et al. Truck collisions attributed to falling asleep at the wheel in two commercial drivers prescribed oral appliance therapy for obstructive sleep apnea. *J Clin Sleep Med.* 2023;19(12):2117—2122. doi: 10.5664/jcsm.10758
51. Zeng C., Zhang J., Su Y., et al. Driver fatigue detection using heart rate variability features from 2-minute electrocardiogram signals while accounting for sex differences. *Sensors (Basel).* 2024;24(13):4316. doi: 10.3390/s24134316
52. Lu K., Sjörs Dahlman A., Karlsson J., Candefjord S. Detecting driver fatigue using heart rate variability: a systematic review. *Accid Anal Prev.* 2022;178:106830. doi: 10.1016/j.aap.2022.106830
53. Abbas Q., Alsheddy A. Driver fatigue detection systems using multi-sensors, smartphone, and cloud-based computing platforms: a comparative analysis. *Sensors (Basel).* 2020;21(1):56. doi: 10.3390/s21010056
54. Peivandi M., Ardabili S. Z., Sheykhivand S., Danishvar S. Deep learning for detecting multi-level driver fatigue using physiological signals: a comprehensive approach. *Sensors (Basel).* 2023;23(19):8171. doi: 10.3390/s23198171
55. Cao S., Feng P., Kang W., et al. Optimized driver fatigue detection method using multimodal neural networks. *Sci Rep.* 2025;15(1):12240. doi: 10.1038/s41598-025-86709-1
56. Rostamzadeh S., Abouhossein A., Vosoughi S., et al. Stress influence on real-world driving identified by monitoring heart rate variability and morphologic variability of electrocardiogram signals: the case of intercity roads. *Int J Occup Saf Ergon.* 2024;30(1):252—263. doi: 10.1080/10803548.2023.2293391
57. Hassan O. F., Ibrahim A. F., Gomaa A., et al. Real-time driver drowsiness detection using transformer architectures: a novel deep learning approach. *Sci Rep.* 2025;15(1):17493. doi: 10.1038/s41598-025-02111-x
58. Aravinth S. S., Nagamani G. M., Kumar C. K., et al. Dynamic cross-domain transfer learning for driver fatigue monitoring: multi-modal sensor fusion with adaptive real-time personalizations. *Sci Rep.* 2025; 15(1):15840. doi: 10.1038/s41598-025-92701-6
59. Pan H., Logan D. B., Stephens A. N., et al. Exploring the effect of driver drowsiness on takeover performance during automated driving: an updated literature review. *Accid Anal Prev.* 2025;216:108023. doi: 10.1016/j.aap.2025.108023
60. Béquet A. J., Hidalgo-Muñoz A. R., Jallais C. Towards mindless stress regulation in advanced driver assistance systems: a systematic review. *Front Psychol.* 2020;11:609124. doi: 10.3389/fpsyg.2020.609124

REFERENCES

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 01.08.2025; одобрена после рецензирования 10.09.2025; принята к публикации 10.02.2026. The article was submitted 01.08.2025; approved after reviewing 10.09.2025; accepted for publication 10.02.2026.