

ТРАНСПОРТ

Научная статья
УДК 656.13:004.896

<https://doi.org/10.25198/2077-7175-2026-5-74>

ТРАНСФОРМАЦИЯ ФУНКЦИЙ ВОДИТЕЛЕЙ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА

Л. М. Нургалиев¹, Р. Ф. Калимуллин²

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, Набережные Челны, Россия

¹ e-mail: nlm82@mail.ru

² e-mail: rkalimullin@mail.ru

С. Ю. Коваленко

ООО «Оренбург-СканСервис», Оренбург, Россия

e-mail: kovalenko-osu@yandex.ru

Аннотация. Развитие интеллектуальных транспортных систем и средств автоматизированного управления автомобилями приводит к существенной трансформации традиционных функций водителей. В современных условиях часть профессиональных задач, ранее выполнявшихся исключительно человеком, постепенно передается автоматизированным системам. В связи с этим возникает необходимость анализа изменения профессионального функционала водителя и определения рационального распределения обязанностей между человеком и интеллектуальной системой управления транспортным средством.

Обзор функций водителей выполнен на основе действующих профессиональных стандартов применительно к различным категориям грузового транспорта: карьерным самосвалам, магистральным грузовым автомобилям и транспортным средствам, осуществляющим перевозку опасных грузов. В работе проведен анализ функций водителя грузового автомобиля с позиций возможности их автоматизации с учетом технологических ограничений и требований безопасности. Для количественной оценки использована шкала уровней автоматизации, позволяющая классифицировать функции по степени передачи их интеллектуальным системам управления. Дополнительно рассмотрены возможности интеграции систем поддержки водителя на основе концепции «эковождения», рекомендации производителей грузовых автомобилей по эффективной эксплуатации техники, а также правовые положения проекта федерального закона о высокоавтоматизированных транспортных средствах (ВАТС).

Обосновано рациональное распределение функций между водителем и автоматизированными системами управления автомобилем на различных стадиях развития ВАТС. Уточнены перспективы изменения роли водителя при переходе к 4–5-му уровням автоматизации, когда возрастает значение функций контроля, подтверждения решений системы и реагирования в нестандартных ситуациях.

Разработан подход к классификации профессиональных функций водителя грузового автомобиля по степени их автоматизации с учетом уровней автономности, требований безопасности и категорий транспортных средств. Впервые предложено рациональное распределение функций между водителем и интеллектуальной системой управления применительно к различным этапам развития ВАТС (грузового транспорта), а также уточнена трансформация профессиональной роли водителя при переходе к 4–5-му уровням автоматизации.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке новых моделей грузовых автомобилей, совершенствовании интеллектуальных систем управления и формировании программ подготовки и переподготовки водителей для работы в условиях интеллектуализации транспорта.

Ключевые слова: высокоавтоматизированные транспортные средства, автоматизация, функции водителя.

Для цитирования: Нургалиев Л. М., Калимуллин Р. Ф., Коваленко С. Ю. Трансформация функций водителей грузовых автомобилей в условиях интеллектуализации транспорта // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2026. – № 5. – С. 74–88. – <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2026-5-74>.



Original article

TRANSFORMATION OF TRUCK DRIVER FUNCTIONS IN THE CONTEXT OF TRANSPORT INTELLIGENTIZATION

L. M. Nurgaliyev¹, R. F. Kalimullin²

Naberezhnye Chelny Institute (branch) of Kazan (Volga region) Federal University, Naberezhnye Chelny, Russia

¹ e-mail: nlm82@mail.ru

² e-mail: rkalimullin@mail.ru

S. Yu. Kovalenko

Orenburg-ScanService LLC, Orenburg, Russia

e-mail: kovalenko-osu@yandex.ru

Abstract. *The development of intelligent transport systems and automated vehicle control systems is significantly transforming traditional driver functions. In today's environment, some professional tasks previously performed exclusively by humans are gradually being transferred to automated systems. This necessitates analyzing the changing professional roles of drivers and determining a rational distribution of responsibilities between humans and intelligent vehicle control systems.*

Driver functions are reviewed based on current professional standards applicable to various categories of trucks: quarry trucks, long-haul trucks, and vehicles transporting hazardous materials. This paper analyzes truck driver functions from the perspective of their automation potential, taking into account technological limitations and safety requirements. A scale of automation levels is used for quantitative assessment, allowing for the classification of functions based on the degree of their transfer to intelligent control systems. Additionally, the possibilities of integrating driver support systems based on the «eco-driving» concept, recommendations from truck manufacturers for efficient vehicle operation, and the legal provisions of the draft federal law on highly automated vehicles (HAV) are considered.

A rational distribution of functions between humans and automated vehicle control systems at various stages of HAV development is substantiated. The prospects for changing the driver's role during the transition to automation levels 4–5, when the importance of control, confirmation of system decisions, and response in non-standard situations increases, are clarified.

An approach to classifying the professional functions of a truck driver by their degree of automation is developed, taking into account levels of autonomy, safety requirements, and vehicle categories. For the first time, a rational distribution of functions between the driver and the intelligent control system is proposed for various stages of HAV (truck transport) development, and the transformation of the driver's professional role during the transition to automation levels 4–5 is clarified.

The obtained results can be used in the development of new truck models, the improvement of intelligent control systems, and the development of driver training and retraining programs for work in an increasingly intelligent transport environment.

Key words: *highly automated vehicles, automation, driver functions.*

Cite as: Nurgaliyev, L. M., Kalimullin, R. F., Kovalenko, S. Yu. (2026) [Transformation of truck driver functions in the context of transport intelligentization]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 5, pp. 74–88. – <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2026-5-74>.

Введение

Современный этап развития автомобильного транспорта характеризуется активным внедрением интеллектуальных транспортных систем, цифровых технологий управления движением и разработкой высокоавтоматизированных транспортных средств (BATS) [10]. Наиболее стремительно процессы автоматизации развиваются в сфере грузовых перевозок, где улучшение эксплуатационных показателей перевозочного

процесса, сокращение эксплуатационных затрат, дефицит квалифицированных кадров и снижение аварийности стимулируют внедрение систем помощи водителю ADAS (Advanced Driver Assistance Systems), элементов автономного управления и цифровых платформ мониторинга технического состояния транспортных средств [1; 13]. В результате часть функций, традиционно выполняемых водителем грузового автомобиля, плавно переходит к интеллектуальным системам управления.

Актуальность исследования обусловлена тем, что развитие автоматизированного транспорта ведет не только к техническому улучшению автомобилей, но и к значительной трансформации профессиональной деятельности водителя. Современные системы могут автоматически поддерживать безопасную дистанцию, контролировать скорость движения, удерживать транспортное средство в полосе, контролировать техническое состояние автомобиля, изучать дорожную обстановку, контролировать «слепые зоны», распознавать дорожные знаки и разметку, а также предупреждать о возможных столкновениях и выполнять отдельные маневры [2; 3; 9]. Однако существующие технологии пока не обеспечивают полной замены человека, прежде всего в условиях нестандартных дорожных ситуаций, перевозки опасных грузов, эксплуатации техники в сложных производственных условиях и необходимости принятия юридически значимых решений [4].

Несмотря на интенсивное развитие интеллектуальных транспортных систем в научной литературе недостаточно исследованы вопросы рационального распределения профессиональных функций между водителем и автоматизированной системой управления применительно к грузовому транспорту. В большинстве работ рассматриваются либо технические аспекты автоматизации движения, либо отдельные функции систем помощи водителю, тогда как комплексная оценка трансформации функций водителя грузового автомобиля с учетом различных условий эксплуатации, уровней автоматизации и требований безопасности остается недостаточно разработанной. Отсутствие системного подхода к классификации функций водителя по степени их автоматизации затрудняет формирование требований к подготовке персонала, разработке интеллектуальных систем управления и нормативно-правовому регулированию эксплуатации ВАТС.

Научная проблема исследования состоит в необходимости нахождения пределов и условий автоматизации профессиональных функций водителя грузового автомобиля.

Цель исследования состоит в создании модели рационального распределения функций между человеком и интеллектуальной системой управления транспортным средством в условиях постепенного перехода к ВАТС, учитывая уровни автономности, комфорт водителя, экономическую эффективность грузовых перевозок, требования безопасности и особенности эксплуатации различных категорий грузовых автомобилей.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи:

- выполнен анализ современных тенденций развития интеллектуальных транспортных систем и ВАТС;
- исследованы профессиональные функции водителей различных категорий грузовых автомобилей;
- проведена классификация функций водителя по степени возможной автоматизации;
- выявлены функции, сохраняющие приоритетную роль человека;
- сделана оценка перспектив трансформации роли водителя при переходе к 4–5 уровням автоматизации.

Научная значимость исследования заключается в создании системного подхода к оценке трансформации функций водителя грузового транспорта на фоне интеллектуализации транспорта. Практическая значимость работы состоит в возможности применения полученных результатов при разработке интеллектуальных систем управления грузовым транспортом, совершенствовании программ подготовки и переподготовки водителей, а также при создании нормативной базы эксплуатации ВАТС.

Шкала уровней автоматизации функций водителя

В мировой практике при оценке степени автономности автомобиля наиболее широкое распространение получила классификация уровней автоматизации, разработанная Обществом автомобильных инженеров SAE (Society of Automotive Engineers) и Национальным управлением безопасностью движения на трассах США NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration). Она предусматривает шесть уровней автоматизации (от уровня 0 до уровня 5), характеризующих последовательное перераспределение функций управления между человеком и автоматизированной системой, что представлено в таблице 1.

В настоящем исследовании указанная классификация используется в качестве методологической основы для анализа изменений профессиональной деятельности водителя грузового автомобиля. Анализ профессиональной деятельности водителя целесообразно проводить не только по уровням автономности транспортного средства, но и по степени автоматизации каждой выполняемой функции. Для этого предлагается использовать специальную шкалу уровней автоматизации профессиональных функций водителя, представленную в таблице 2, позволяющую количественно оценить распределение ответственности между человеком и интеллектуальной системой управления применительно к каждой функции отдельно [13].

Таблица 1. Уровни автоматизации автомобиля по SAE

Уровни автоматизации автомобиля	Водитель	Автомобиль
0 (без автоматизации)	За весь процесс вождения отвечает водитель	Автомобиль может обнаружить слепые зоны, предупредить о лобовом столкновении или выезде с полосы движения
1 (помощь водителю)	Водитель по-прежнему полностью отвечает за вождение, но в некоторых ситуациях получает помощь от автомобиля	Автомобиль поддерживает базовые функции помощи: адаптивный круиз-контроль, автоматическое экстренное торможение и удержание полосы движения
2 (частичная автоматизация)	Водитель по-прежнему должен быть начеку и постоянно следить за дорожной обстановкой	Функции помощи при вождении (в частности, самостоятельная парковка и помощь при движении в пробке), контролирующие ускорение, торможение и рулевое управление, работают в комплексе и не требуют действий водителя в ряде ситуаций
3 (условная автоматизация)	Водитель всегда должен быть готов взять на себя управление на то время, когда система автовождения не способна выполнять свои функции	Автомобиль может сам выполнять все функции управления при определенных обстоятельствах
4 (высокая автоматизация)	Человек может быть пассажиром, однако, получив уведомление, может взять управление на себя	Автомобиль может двигаться и все «видеть» сам по себе практически во всех ситуациях, но нестандартные дорожные условия или местные законы могут потребовать управления человеком
5 (полная автоматизация)	Люди, находящиеся в салоне, являются пассажирами и не должны участвовать в управлении автомобилем. Наличие рулевого колеса необязательно	Автомобиль способен выполнять все функции вождения в любых обстоятельствах без человеческого вмешательства

Источник: заимствовано из SAE

Таблица 2. Шкала уровней автоматизации функций водителя

Уровень автоматизации	Характер автоматизации	Роль человека	Роль системы
0	автоматизация отсутствует	полностью выполняет функцию	отсутствует
1	информационная поддержка	принимает решение	предоставляет информацию
2	система поддержки решений	принимает окончательное решение	анализирует данные
3	частичная автоматизация	контролирует систему	выполняет часть операций
4	высокая автоматизация	вмешивается при необходимости	управляет процессом
5	полная автоматизация	не участвует	полностью выполняет функцию

Источник: заимствовано из работы [13]

По мере повышения уровня автоматизации изменяется не только степень участия человека в процессе управления, но и содержание его профессиональных обязанностей. Если на низких уровнях автоматизации водитель самостоятельно выполняет практически все функции управления, то на более высоких

уровнях его деятельность постепенно смещается в сторону контроля функционирования интеллектуальной системы, подтверждения принимаемых ею решений и вмешательства только при возникновении нестандартных ситуаций.

Сохранение контрольной функции означает необ-

ходимость наличия у водителя достаточно высокого уровня профессиональной подготовки. Он должен не только владеть традиционными навыками управления транспортным средством, но и понимать принципы функционирования автоматизированных систем, особенности взаимодействия электронных модулей, ограничения сенсорного восприятия и возможные сценарии отказов. Таким образом, в условиях эксплуатации ВАТС требования к квалификации на отдельных этапах даже возрастают, поскольку к обычным водительским компетенциям добавляются элементы технической и цифровой грамотности.

Одновременно возникает экономическое противоречие – по мере увеличения количества ВАТС возрастает и общая потребность в персонале, способном их сопровождать, контролировать и обслуживать. Подготовка большого числа специалистов высокой квалификации требует значительных финансовых затрат, длительного обучения и создания новых образовательных программ. Это увеличивает эксплуатационные расходы транспортных организаций и снижает ожидаемый экономический эффект от автоматизации.

Поскольку автоматизация изменяет характер трудовой деятельности водителя, в перспективе можно говорить не столько о росте требований к массовой квалификации всех водителей, сколько о дифференциации профессиональных требований. Это позволяет обеспечить эксплуатацию большого количества ВАТС без пропорционального роста числа высококвалифицированных кадров, что имеет значение для экономической эффективности транспортной отрасли.

Шкала уровней автоматизации функций водителя является методическим инструментом последующего анализа и положена в основу авторской классификации функций водителя грузового автомобиля.

Обзор функционала водителей базируется на их профессиональных стандартах применительно к карьерным самосвалам¹, магистральным грузовым автомобилям и транспортным средствам, перевозящим опасные грузы².

Анализ обобщенных базовых функций водителя грузового автомобиля

Важной базовой функцией водителя является *соблюдение правил дорожного движения*. В грузовых автомобилях нового поколения применяются системы

распознавания дорожных знаков, основанные на технологиях машинного зрения, которые способны автоматически определять ограничения скорости и другие предписания. Такие системы могут информировать водителя о действующих ограничениях и предупреждать о возможных нарушениях. Однако адекватная оценка дорожной ситуации может потребовать учета дополнительных факторов, что не всегда корректно распознается алгоритмами системы. Именно поэтому человек берет на себя ответственность за выполнение правил движения и принимает окончательное решение об их соблюдении.

Другими важными базовыми функциями являются *выбор безопасной скорости движения* и *соблюдение безопасной дистанции* до впереди идущего транспортного средства. Эти задачи решает система адаптивного круиз-контроля, которая позволяет автоматически поддерживать заданную скорость в пределах установленного режима и регулировать её в зависимости от расстояния до впереди идущего автомобиля, обеспечивая безопасную дистанцию. Достоинством системы является её влияние на повышение уровня безопасности движения и снижение утомляемости водителя в продолжительных поездках. Вместе с тем полностью полагаться на неё нельзя, особенно при сложном рельефе местности или высокой плотности транспортного потока, поэтому водитель обязан контролировать её работу и при необходимости вмешиваться.

К важным функциям водителя относится *учёт дорожной обстановки*. Новые технологии, такие как системы машинного зрения и различные датчики, могут оценивать состояние покрытия, выявлять препятствия и отслеживать изменения геометрии дороги. Для учёта погодных условий автомобили оснащаются различными датчиками температуры, осадков и освещённости, а также системами оценки видимости. Они способны выявить ухудшение погодных условий и вовремя информировать об этом водителя. Тем не менее окончательное решение о выборе скоростного режима движения остаётся за водителем.

Функция *безопасного маневрирования* в современных автомобилях частично автоматизирована – применяются системы удержания в полосе, автоматического торможения и предупреждения о столкновении. В некоторых опасных ситуациях на дорогах они приходят на помощь водителю и изменяют траекторию движения или снижают скорость.

¹ Об утверждении профессионального стандарта «Водитель автомобиля, занятый в технологическом процессе добычи и обогащения полезных ископаемых»: приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 18 апреля 2022 г. № 217н. // Консультант. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=423262>. (дата обращения: 23.02.2026).

² Профессиональный стандарт «Перевозка грузов автомобильным транспортом»: утв. приказом исполняющего обязанности Председателя Правления Национальной палаты предпринимателей Республики Казахстан «Атамекен» от 01.09.2023 № 136: прил. № 3. – URL: <https://ctest.enbek.kz/ru/api/professionalstandart/654/download>. (дата обращения: 23.02.2026).

Функция *контроля давления в шинах* играет важную роль, так как она напрямую влияет на устойчивость автомобиля, безопасность движения и экономичность эксплуатации. Системы TPMS (Tire Pressure Monitoring System) в автоматическом режиме отслеживают давление и температуру воздуха в шинах, а при отклонении параметров от нормы водитель получает соответствующее предупреждение, что позволяет вовремя выявить проблему и снизить риск аварий.

Функция *контроля технического состояния автомобиля* в значительной мере автоматизирована – бортовые диагностические системы постоянно оценивают работу двигателя, трансмиссии, тормозной системы и других узлов, и при выявлении отклонений водитель получает сообщения о возможных неполадках. Достоинством использования таких систем является оперативное выявление проблем, однако для устранения большинства из них по-прежнему требуется участие водителя и технического персонала.

Контроль показаний приборов относится к числу наиболее автоматизированных процессов. Электронные системы в режиме реального времени отслеживают такие параметры, как температура охлаждающей жидкости, температура масла, давление масла, уровень топлива, уровень масла и другие показатели. При выходе значений показателей за допустимые пределы система оповещает водителя. Однако оценка некоторых отклонений требует опыта водителя с учетом условий эксплуатации и режима движения и других факторов.

Выявление неисправностей является более сложной задачей. Здесь важно не только уметь выявить отклонение в техническом состоянии автомобиля, но и установить его причину. Передовые диагностические системы способны автоматически фиксировать ошибки в электронных блоках управления и отклонения в работе основных агрегатов, на основе которых ставится диагноз. Вместе с тем в системах используются сложные алгоритмы и технологии, однако некоторые механические дефекты (люфты, утечки или посторонние шумы), как правило, требуют экспертной оценки оператора.

Контроль уровня технических жидкостей в современных моделях автомобильной техники также частично автоматизирован – датчики позволяют оценивать уровень масла и жидкостей (охлаждающей, тормозной, стеклоомывателя). Автоматизация контроля охватывает количественные параметры, однако в некоторых моментах важен и качественный анализ жидкости – её состояние и наличие загрязнений. Следовательно, окончательный контроль технических жидкостей остаётся за водителем.

Функция водителя «*предрейсовый осмотр автомобиля*» представляет собой комплекс обязательных проверок перед началом движения. Она включает внешний осмотр состояния шин, световых приборов, кузова, тормозных элементов, а также проверку крепления груза и отсутствия утечек. Часть параметров отслеживается автоматически, при этом существенный объём операций требует личного осмотра, поскольку датчики не способны полноценно оценить внешние повреждения или загрязнения.

Послесменный осмотр служит для контроля изменений технического состояния транспорта по окончании поездки. Как и в предыдущем случае, требуется профессиональная оценка.

Плановое техническое обслуживание грузовых автомобилей нового поколения всё чаще реализуется с использованием интеллектуальных систем информационной поддержки. Система на основе анализа наработки (пробега, моточасов), режимов нагрузки и фактического состояния агрегатов способна автоматически формировать уведомления о необходимости замены масла, фильтров, проведения диагностики отдельных узлов и обновления программного обеспечения. Вместе с тем система определяет только необходимость обслуживания и корректирует его содержание, однако непосредственное выполнение операций технического обслуживания требует вмешательства водителя или специалистов сервисного обслуживания.

Проведенный анализ обобщенных базовых функций водителя показал, что при этом часть его задач может быть полностью или частично автоматизирована, в то же время ряд функций требует обязательного участия человека. Это обусловлено как техническими ограничениями существующих автоматизированных систем, так и необходимостью принятия ответственных решений в сложных и нестандартных условиях эксплуатации. В целом приведенные рассуждения доказывают потребность в перераспределении профессиональных обязанностей между водителем и автоматизированными системами управления автомобилем.

Анализ функциональных задач водителя карьерного самосвала

Особенностью работы карьерных самосвалов является наличие сложных и нестабильных условий эксплуатации. Для дорожной поверхности характерны рыхлый грунт, каменистые участки, уклоны и зоны с повышенной запылённостью. В указанных случаях требуется не только анализ текущей обстановки, но и предвидение её возможных изменений. Несмотря на развитие технологий, в настоящее время эти функции по-прежнему требуют активного участия водителя.

В условиях карьера движение техники осуществляется без чёткой дорожной разметки и, как правило, в условиях скопления автомобилей, различных погрузочно-разгрузочных машин и оборудования. Существенное значение имеет контроль зоны разгрузки. Эта задача для водителя затрудняется недостаточной видимостью из кабины, особенно у самосвалов большой грузоподъёмности. Для повышения видимости применяются системы кругового обзора, камеры заднего вида и датчики расстояния. Они расширяют возможности водителя контролировать окружающее пространство и тем самым снижают вероятность столкновений с техникой, сооружениями или другими объектами. Вместе с тем, выбор положения автомобиля и окончательное решение о проведении разгрузки принимает водитель.

Для карьерных самосвалов уровень автоматизации остаётся ограниченным вследствие высокой изменчивости производственной среды и повышенных требований к безопасности.

Анализ функциональных задач водителя при магистральных перевозках

Движение грузовых автомобилей по автомагистралям характеризуется более стабильной и предсказуемой обстановкой, наличием дорожной разметки, организованного транспортного потока и развитой инфраструктуры, что обеспечивает благоприятные условия для внедрения автоматизированных систем.

При магистральных перевозках ключевой задачей является навигация и выбор маршрута. Навигационные комплексы анализируют данные спутниковых систем, особенности дорожной сети и сложившуюся обстановку на дорогах. На основе этого формируются оптимальные маршруты с учётом расстояния, загруженности дорог и возможных ограничений, а при выявлении в режиме реального времени заторов или других препятствий предлагаются альтернативные варианты. Тем не менее, окончательное решение в выборе маршрута остаётся за водителем.

Сам процесс перевозки груза по маршруту поэтапно подвергается автоматизации. В настоящее время технологии автономного транспорта активно совершенствуются – формируется цифровая интеллектуальная инфраструктура, а грузовые автомобили нового поколения оборудуются системами помощи, датчиками, радарными, системами машинного зрения и точной навигацией, что дает возможность им удерживать полосу движения, регулировать скорость и соблюдать дистанцию. Следовательно, при магистральных перевозках большая доля операций уже может выполняться с использованием передовых технологий. Максимальный результат автоматизация даёт в задачах

контроля движения и состояния автомобиля. Вместе с тем обязанности, связанные с ответственностью за перевозку и принятием ключевых решений, сохраняются за водителем.

Анализ функциональных задач водителя при перевозке опасных грузов

Деятельность водителя при транспортировке опасных грузов устанавливает жесткие требования к безопасности и строгому соблюдению нормативов. Это существенно ограничивает возможности установки автоматизированных решений и сохраняет приоритетную роль человека в процессе управления. В отличие от обычных грузовых перевозок, деятельность водителя в данном случае связана не только с управлением транспортным средством, но и с контролем состояния груза, выполнением специальных процедур безопасности и принятием оперативных решений в потенциально опасных ситуациях. По этой причине значительная часть функций остается закрепленной за водителем и требует его непосредственного участия.

Одной из важнейших задач является проверка маркировки груза и сопроводительных документов. Перед началом перевозки водитель обязан убедиться в наличии правильной маркировки опасного груза, соответствующих предупредительных знаков, а также проверить комплектность и корректность транспортных документов. Данная процедура предполагает визуальный контроль и сопоставление фактической информации с данными в документации. Несмотря на развитие цифровых систем учёта и электронного документооборота, автоматизация этой функции ограничена, поскольку требуется непосредственная проверка соответствия маркировки, упаковки и сопроводительных документов установленным требованиям безопасности.

Одной из важнейших задач является контроль герметичности тары и общего состояния комплектации опасных веществ. В ходе подготовки к транспортировке водитель должен осмотреть контейнеры, цистерны и другие ёмкости, чтобы удостовериться, что нет повреждений, утечек и признаков разгерметизации. Такая проверка обычно осуществляется визуально, а в некоторых случаях – с использованием тактильного контроля. В том числе оценивается состояние креплений и сопутствующего оборудования. Невзирая на наличие отдельных технических решений, таких как датчики утечки или системы удалённого контроля, основная роль при обнаружении внешних дефектов остаётся за водителем.

Столь же значимой является деятельность водителя в аварийных ситуациях. При дорожно-транспортных происшествиях, утечках опасных веществ или

других чрезвычайных обстоятельствах он должен следовать строго в соответствии с установленными регламентами, а именно: остановить автомобиль, обеспечить безопасность людей, использовать аварийные средства, уведомить специализированные службы и, при необходимости, ликвидировать последствия. В таких обстоятельствах решения принимаются на основе анализа сложившейся ситуации, требований инструкций и практического опыта, что значительно затрудняет полную автоматизацию таких действий.

В общем, можно сделать вывод, что при транспортировке опасных грузов уровень возможной автоматизации остаётся ограниченным. Большая часть задач связана с непосредственным осмотром, оценкой

состояния оборудования и принятием ответственных решений в потенциально опасных ситуациях. Таким образом, приоритетная роль в обеспечении безопасности перевозки остается за человеком, тогда как технические системы в основном выполняют вспомогательные операции – мониторинг параметров и информационную поддержку.

Классификация и верификация функций водителя грузового транспортного средства по степени автоматизации

Полученные обобщенные данные по уровню автоматизации функций водителя грузового транспортного средства показаны в таблице 3.

Таблица 3. Классификация функций водителя грузового транспортного средства по степени автоматизации

Функция	Система автоматизации	Уровень автоматизации (0–5)	Ограничения автоматизации
Соблюдение правил дорожного движения	интеллектуальные системы распознавания знаков, навигационные комплексы, ADAS	3	нестандартные дорожные ситуации требуют интерпретации водителем
Выбор безопасной скорости	адаптивный круиз-контроль, ограничители скорости	3	окончательное решение зависит от дорожной обстановки
Учет дорожных условий	камеры, лидары, радары	3	сложные покрытия и нестандартные препятствия требуют участия человека
Учет метеоусловий	датчики дождя, температуры, сцепления	2	локальные погодные изменения не всегда корректно распознаются
Маневрирование	системы удержания полосы, автоматическая парковка	3	ограниченность алгоритмов в сложных условиях
Контроль зоны разгрузки	датчики массы, системы позиционирования	1	сохраняется участие оператора
Контроль показаний приборов	бортовая диагностика, CAN bus	3	интерпретация аварийных сигналов выполняется водителем
Контроль состояния узлов	встроенные датчики технического состояния	2	часть параметров требует визуального контроля
Выявление неисправностей	OBD-системы, диагностические модули	2	скрытые неисправности требуют экспертной оценки
Устранение неисправностей	электронные диагностические подсказки, сервисные алгоритмы	1	физический ремонт требует участия человека
Предрейсовый осмотр	электронные чек-листы, телематика	1	необходим внешний физический осмотр
Контроль давления шин	TPMS	4	механические повреждения визуально не определяются системой
Проверка жидкостей	датчики уровня масла, охлаждающей жидкости	2	требуется подтверждение состояния жидкости
Послесменный осмотр	электронный журнал ошибок, телеметрия	1	требуется ручной контроль состояния
Плановое ТО	сервисные интервалы ECU	2	обслуживание выполняется персоналом

Продолжение таблицы 3

Функция	Система автоматизации	Уровень автоматизации (0–5)	Ограничения автоматизации
Перевозка груза	датчики натяжения крепежа, телематика, датчики смещения груза	3	физическая фиксация выполняется человеком, визуальный контроль остаётся необходимым
Разгрузка	датчики массы, системы позиционирования	3	сохраняется участие оператора
Ведение документации	электронные путевые листы, телематика	4	юридическая ответственность остаётся за оператором
Проверка маркировки опасного груза	камеры распознавания маркировки, RFID-контроль	2	необходим визуальный контроль соответствия
Контроль герметичности	датчики давления, газоанализаторы	2	часть дефектов определяется только визуально
Действия при аварии	системы аварийного оповещения	2	решения принимает водитель

Источник: разработано авторами

Результаты выполненного анализа функций водителя верифицированы практическими рекомендациями по эффективному управлению транспортным средством категории N 3 на основе анализа руководств по эксплуатации^{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10}.

Среди рекомендаций выделим ключевые:

- оптимизация переключения передач (своевременный и правильный выбор передач для работы двигателя в так называемой «зелёной зоне», соответствующей 50–70% номинальной частоты вращения коленчатого вала и около 80% мощности);
- оптимизация движения на горизонтальных участках дороги (поддержание равномерной скорости путём минимизации ускорений/торможений и использования круиз-контроля, эффективное использование наката, снижение длительности холостого хода);
- оптимизация движения на подъёмах и спусках (предварительный разгон, использование инерции, использование моторного тормоза и ретардера и др.);

– проактивное управление автомобилем – предвидение дорожной обстановки и принятие мер по предотвращению опасных ситуаций до их возникновения.

Эти рекомендации напрямую коррелируют с операциями водителя, проанализированными в таблице 2 (выбор безопасной скорости – уровень 3, маневрирование – уровень 3, учет дорожных условий – уровень 3).

Эксперимент, проведённый авторами [8] в двух карьерах (64 водителя, 53 автомобиля одной модели, период – с ноября 2022 г. по апрель 2023 г.), показал, что обучение принципам рационального вождения позволило снизить расход топлива на 4,1–7,4% и повысить среднюю скорость на 4,5–12%, при этом параметр «предвидение» улучшился на 24,5–50%, что представлено на рисунках 1, 2.

Представленные результаты подтверждают, что стиль вождения является управляемым фактором [14; 16] и может быть формализован в алгоритмах интеллектуальных систем.

³ Инструкция по эксплуатации FAW ORYX. – М.: FAW Jiefang Qingdao Automobile Co., Ltd., 2018. – 112 с.

⁴ Инструкция по эксплуатации SHACMAN F2000/F3000 (Евро-V). – М.: Shaanxi Automobile Group Co., Ltd., 2016. – 244 с.

⁵ Расход топлива на КАМАЗе: как снизить затраты и повысить экономичность? // Kamaz market. – URL: <https://kamaz.market/articles/raskhod-topliva-na-kamaz-kak-snizit-zatraty-i-povysit-ekonomichnost/>. (дата обращения: 04.11.2025).

⁶ Руководство по эксплуатации автомобилей MA3-MAH. – URL: <https://ru.maz-man.by/wp-content/uploads/2023/03/rukvo.pdf> (дата обращения: 03.11.2025).

⁷ Руководство по эксплуатации автомобиля серии SITRAK C7H, версия 6. – М.: ООО «Sinotruk», 2020. – 539 с.

⁸ Руководство по эксплуатации седельного тягача AUMAN EST A. – М.: ООО «Фотон Мотор», 2017. – 176 с.

⁹ Руководство по эксплуатации DONGFENG GX (DFH4180). – М.: ООО «Компания коммерческих автомобилей Дунфэн», 2022. – 303 с.

¹⁰ Система управления автопарком (FMS) // Скан Юго-Восток. – URL: <https://scanauto.ru/monitoring-system-scania-vehicles-fleet-anagement/>. (дата обращения: 07.11.2025).

Дальнейшее развитие поддержки обеспечивается системами помощи водителю ADAS [5; 14] и системами «эковождения» EDAS (Eco-Driving Assistance Systems) [6; 7; 11]. Современные ADAS и EDAS интегрируют сенсоры, ИИ и модель предиктивного управления MPC (Model Predictive Control) [1; 7; 12; 14], формируя оптимальный профиль скоро-

сти с учетом задержки реакции водителя. Системы EDAS в активном режиме формируют оперативные подсказки по выбору оптимального режима движения, нивелируя время реакции водителя, что обеспечивает экономию топлива до 16,1%, что представлено на рисунке 3.

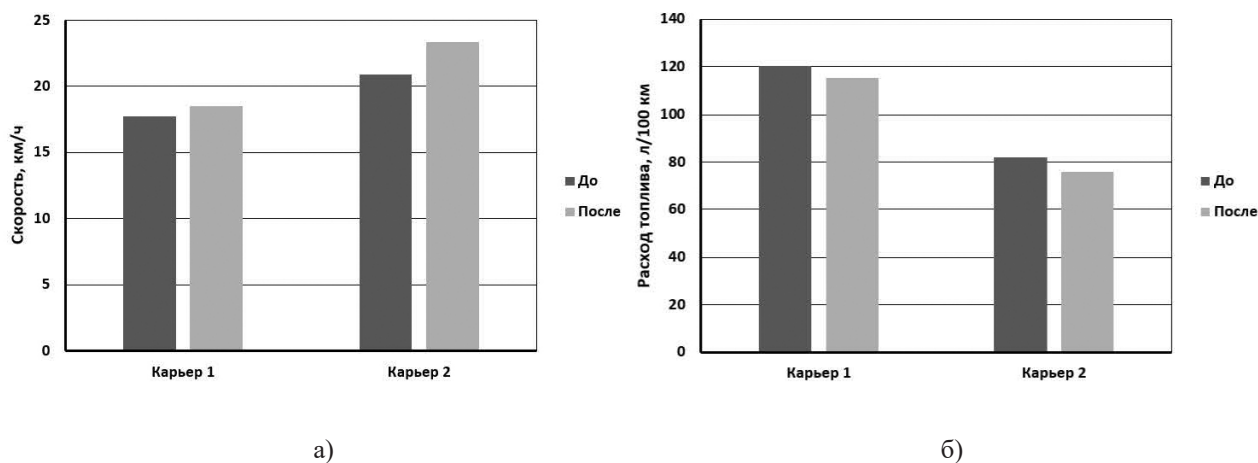


Рисунок 1. Средняя скорость (а) и расход топлива (б) автомобилей в разных карьерах до и после обучения водителей

Источник: разработано авторами, взято из работы [8]

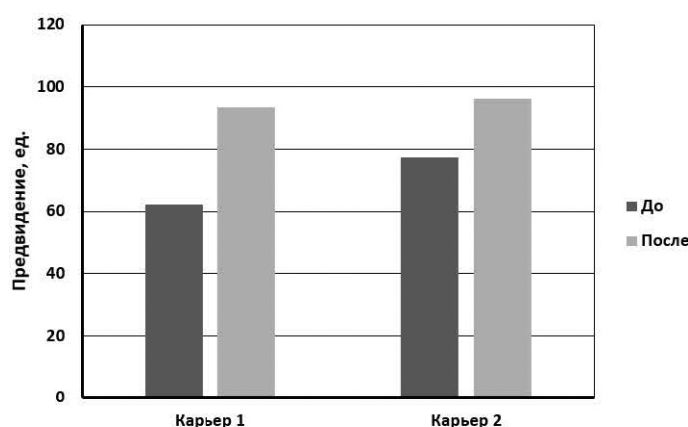


Рисунок 2. Параметр «Предвидение» в разных карьерах до и после обучения водителей

Источник: разработано авторами, взято из работы [8]

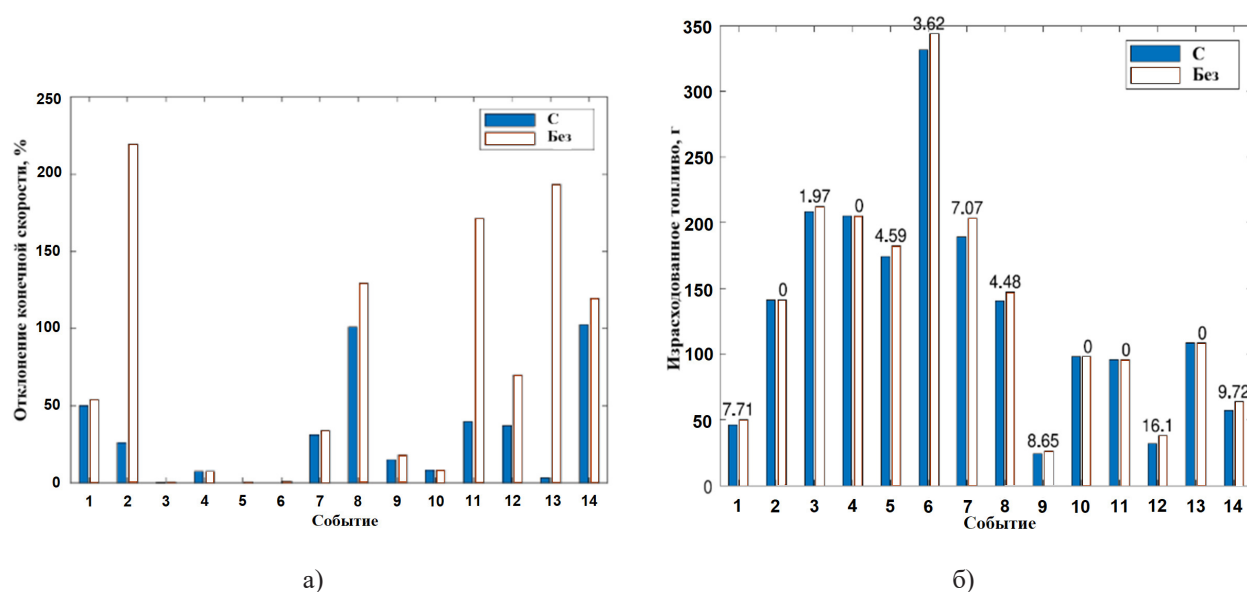


Рисунок 3. Динамика параметров транспортного средства по событиям при включенной/отключенной стратегии компенсации: а) относительное отклонение скорости после торможения, %; б) удельный расход топлива (над столбцами – относительное снижение расхода при активации компенсации, %)

Источник: заимствовано из работы [17]

Показатель «Горизонт внимания» АН (Attention Horizon) [15] в автоматическом режиме определяет уровень осознанности водителя и имеет статистически значимую корреляцию с удельным расходом топлива. Таким образом, системы EDAS дополняют шкалу автоматизации, представленную в таблице 2, повышая уровень поддержки функций «выбор безопасной скорости» и «маневрирование» до 4, а также реализуя рекомендации производителей по работе в «зелёной зоне» и предвидению без дополнительных конструктивных изменений техники.

Правовые аспекты эксплуатации высокоавтоматизированных транспортных средств

Внедрение распределения обязанностей, обоснованного выше, получает законодательную основу в проекте федерального закона «О высокоавтоматизированных транспортных средствах и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (вносится Правительством РФ, вступление в силу – 1 сентября 2027 г.)¹¹.

Закон определяет понятия «автоматизированная система вождения», «высокоавтоматизированное транспортное средство» (ВАТС), «режим автоматизированного вождения», «маневр минимального риска»,

«оператор дистанционной поддержки» и «удаленный водитель». Уровни автоматизации устанавливаются в соответствии с национальными стандартами и полностью соответствуют шкале таблицы 1.

Для уровней 4–5 обязательны дистанционная поддержка и подключение к вспомогательной инфраструктуре. Ответственность четко распределена:

- изготовитель и разработчик системы вождения – за нарушение ПДД при отсутствии вмешательства человека;
- владелец / эксплуатант – за несоблюдение требований эксплуатации и обновлений ПО;
- авторизованный сервисный центр – за некачественное обслуживание;
- оператор дистанционной поддержки и удаленный водитель – за неисполнение обязанностей [5].

Закон предусматривает обязательное оснащение устройством регистрации данных, ГЛОНАСС, системой ЭРА-ГЛОНАСС, защиту от вмешательства и страхование. Экспериментальные режимы (включая «Беспилотные логистические коридоры») завершаются в 2028 г., после чего ВАТС получают постоянное правовое регулирование на всех дорогах РФ.

Это позволяет перейти от текущего распределения функций, представленных в таблице 3, к модели, где при 4–5 уровнях водитель (или оператор) сохраняет

¹¹ Минтранс представил проект федерального закона о высокоавтоматизированных транспортных средствах // Министерство транспорта Российской Федерации. – М., 2024. – URL: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/12396> (дата обращения: 13.03.2026).

только стратегический контроль и вмешательство по запросу, а системы выполняют исполнительные и тактические операции.

Заключение

Научная ценность полученных результатов заключается в том, что на основе разработанного подхода к классификации профессиональных функций водителя грузового автомобиля по степени их автоматизации, с учетом уровней автономности, требований безопасности и категорий транспортных средств, впервые предложено рациональное распределение функций между водителем и автоматизированной системой применительно к различным этапам развития ВАТС (грузового транспорта), а также уточнена трансформация профессиональной роли водителя при переходе к 4–5 уровням автоматизации.

Изменение роли человека в контуре управления между водителем и автомобилем представляет собой гармоничную кооперацию, в которой каждая сторона выполняет то, что делает лучше всего: машина – точные, быстродействующие, длительные и бесперебойные операции, человек – сложный ситуационный ана-

лиз, ответственные решения и стратегическое управление. Именно такая модель обеспечивает наилучший баланс между безопасностью, комфортом водителя и экономической эффективностью грузовых перевозок на современном этапе развития технологий и законодательства.

Практическая значимость выполненной работы заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы для совершенствования интеллектуальных систем управления при разработке новых моделей грузовых автомобилей. Рациональное распределение задач между водителем и автомобилем позволяет внедрить принципы экономного вождения без значительных усилий со стороны водителя. Всё это приводит к снижению расхода топлива на 4–16%, уменьшению износа шин, тормозных механизмов, трансмиссии и двигателя, увеличению межсервисных интервалов и, как следствие, к снижению до 30% общих эксплуатационных затрат автопарка.

В качестве рекомендации для дальнейших исследований авторы видят разработку методических основ программ подготовки и переподготовки водителей в условиях интеллектуализации транспорта.

Литература

1. Бахмутов С. В., Ендачев Д. В., Мезенцев Н. П. Развитие интеллектуальных систем помощи водителю (ADAS) в Российской Федерации // Транспортные системы. – 2018. – № 4(10). – С. 17–21. – https://doi.org/10.46960/62045_2018_4_17. – EDN: YRWGWL.
2. Грушников В. А. Робототехника и автоматизация на автомобильном транспорте за рубежом // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2023. – № 6. – С. 46–53. – <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2023-06-8>. – EDN: BDONHI.
3. Гужва Н. С., Коробков А. А. Оценка точности системы распознавания светофоров на основе действий водителя в системах активной помощи // Известия института инженерной физики. – 2025. – № 1(75). – С. 18–22. – EDN: COTYHH.
4. Дымовских А. Ф. Уголовно-правовая характеристика субъективной стороны преступлений, связанных с нарушением правил дорожного движения: соотношение умысла и неосторожности в контексте управления транспортными средствами с автоматизированными системами вождения // Полицейская и следственная деятельность. – 2025. – № 4. – С. 142–151. – <https://doi.org/10.25136/2409-7810.2025.4.76365>. – EDN: NOTBOS.
5. Землин А. И., Торшин А. А. «Система помощи водителю», или «автоматизированная система управления»: вопросы определения границ для публично-правового и частноправового регулирования // Современное право. – 2022. – № 8. – С. 52–57. – <https://doi.org/10.25799/NI.2022.33.57.009>. – EDN: CLTLSU.
6. Мещерякова О. М., Крюкова М. Р. Повышение эффективности работы транспортных организаций за счет внедрения эко-вождения (на примере ООО «Райзинг») // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D. Экономические и юридические науки. – 2023. – № 3. – С. 40–44. – <https://doi.org/10.52928/2070-1632-2023-65-3-40-44>. – EDN: NEVAVF.
7. Нурғалиев Л. М., Калимуллин Р. Ф. Анализ и развитие систем поддержки водителей на основе концепции эковожения и интеллектуального управления транспортом // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2026. – № 3. – С. 57–62. – <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2026-03-10>. – EDN: SHAABL.
8. Нурғалиев Л. М., Калимуллин Р. Ф. Экспериментальное исследование влияния обучения водителей принципам правильного вождения на эксплуатационные показатели карьерных автосамосвалов // Прогрессивные технологии в транспортных системах: материалы XIX Междунар. науч.-практ. конф., Оренбург, 20–22 ноября 2024 г. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2025. – С. 312–319. – EDN: ETZSPE.

9. Фаткиева Р. Р., Конева А. П., Мустафина А. Ш. Обзор тенденций развития технологий Интернета вещей в интеллектуальных транспортных системах // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2022. – № 9. – С. 43–63. – <https://doi.org/10.32603/2071-8985-2022-15-9-43-63>. – EDN: LCDNVN.
10. Халилов Ф. М., Борисова О. В. Автоматизация в сфере транспорта и логистики: оптимизация технологических процессов для эффективности и надежности // Грани науки 2023: сборник трудов Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов-на-Дону; Мадрид, 2023. – С. 386–390. – EDN: DITVSK.
11. Chen Y., Lazar M. (2022) Driving Mode Advice for Eco-driving Assistance System with Driver Reaction Delay Compensation. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*. – Vol. 69. – No. 1, pp. 134–138. – <https://doi.org/10.1109/TCSII.2021.3075455>. – EDN: AIBSRN. (In Eng.).
12. Chen Yu., Lazar M. (2020) Real-time driving mode advice for eco-driving using MPC. *IFAC-PapersOnLine*. – Vol. 53. – No. 2, pp. 13830–13835. – <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.893>. – EDN: VXGLZQ. (In Eng.).
13. Hermann Winner, Stephan Hakuli, Felix Lotz, Christina Singer (2016) Handbook of driver assistance systems: basic information, components and systems for active safety and comfort. – Cham: Springer. – 1600 p. (In Eng.).
14. Malikopoulos, A. A., Aguilar, J. P. (2013). An optimization framework for driver feedback systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. – Vol. 14. – No. 2, pp. 955–964. – <https://doi.org/10.1109/TITS.2013.2248058>. (In Eng.).
15. Sarmadi, H., et al. (2022) Attention Horizon as a Predictor for the Fuel Consumption Rate of Drivers. *Sensors*. – Vol. 22. – No. 6, p. 2301. – <https://doi.org/10.3390/s22062301>. – EDN: WENCAU. (In Eng.).
16. Soriguera, F., Miralles, E. (2016) Driver Feedback Mobile App. *Transportation Research Procedia*. – Vol. 18, pp. 264–271. – <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.12.036>. (In Eng.).
17. Steven Shladover (2018) Connected and automated vehicle systems: introduction and overview. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*. – Vol. 10. – No. 4, pp. 6–12. (In Eng.).

References

1. Bakhmutov, S. V., Endachev, D. V., Mezencev, N. P. (2018) [Development of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) in the Russian Federation]. *Transportnye sistemy* [Transport Systems]. Vol. 4 (10), pp. 17–21. – https://doi.org/10.46960/62045_2018_4_17. (In Russ.).
2. Grushnikov, V. A. (2023) [Robotics and Automation in Road Transport Abroad]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport: Science, Technology, Management]. Vol. 6, pp. 46–53. – <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2023-06-8>. (In Russ.).
3. Guzhva, N. S., Korobkov, A. A. (2025) [Assessment of the Accuracy of a Traffic Light Recognition System Based on Driver Actions in Active Driver Assistance Systems]. *Izvestiya instituta inzhenernoi fiziki* [Proceedings of the Institute of Engineering Physics]. Vol. 1 (75), pp. 18–22. (In Russ.).
4. Dymovskikh, A. F. (2025) [Criminal-Law Characteristics of the Subjective Aspect of Crimes Related to Traffic Rule Violations: Correlation Between Intent and Negligence in the Context of Operating Vehicles Equipped with Automated Driving Systems]. *Politseiskaya i sledstvennaya deyatel'nost'* [Police and Investigative Activities]. Vol. 4, pp. 142–151. – <https://doi.org/10.25136/2409-7810.2025.4.76365>. (In Russ.).
5. Zemlin, A. I., Torshin, A. A. (2022) [«Driver Assistance System» or «Automated Control System»: Issues of Defining Boundaries for Public and Private Legal Regulation]. *Sovremennoe pravo* [Modern Law]. Vol. 8, pp. 52–57. – <https://doi.org/10.25799/NI.2022.33.57.009>. (In Russ.).
6. Meshcheryakova, O. M., Kryukova, M. R. (2023) [Improving the Efficiency of Transport Organizations Through the Introduction of Eco-Driving (the Case of Rising LLC)]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya D* [Bulletin of Polotsk State University. Series D]. Vol. 3, pp. 40–44. – <https://doi.org/10.52928/2070-1632-2023-65-3-40-44>. (In Russ.).
7. Nurgaliev, L. M., Kalimullin, R. F. (2026) [Analysis and Development of Driver Support Systems Based on the Concept of Eco-Driving and Intelligent Transport Management]. *Nauchnyi informatsionnyi sbornik «Transport: nauka, tekhnika, upravlenie»* [Transport: Science, Technology, Management]. Vol. 3, pp. 57–62. – <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2026-03-10>. (In Russ.).
8. Nurgaliev, L. M., Kalimullin, R. F. (2025) [Experimental Study of the Impact of Driver Training in Proper Driving Principles on the Operational Performance of Mining Dump Trucks]. *Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh: materialy XIX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Orenburg, November 20–22, 2024* [Progressive Technologies in Transport Systems: Proceedings of the 19th International Scientific and Practical Conference, Orenburg, November 20–22, 2024]. Orenburg: Orenburg State University, pp. 312–319. (In Russ.).

9. Fatkueva, R. R., Koneva, A. P., Mustafina, A. Sh. (2022) [Review of Development Trends in Internet of Things Technologies in Intelligent Transport Systems]. *Izvestiya SPbGETU «LETI»* [Proceedings of Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»]. Vol. 9, pp. 43–63. – <https://doi.org/10.32603/2071-8985-2022-15-9-43-63>. (In Russ.).
10. Khalilov, F. M., Borisova, O. V. (2023) [Automation in Transport and Logistics: Optimization of Technological Processes for Efficiency and Reliability]. In: *Grani nauki 2023: sbornik trudov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Frontiers of Science 2023: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Rostov-on-Don; Madrid, pp. 386–390. (In Russ.).
11. Chen, Y., Lazar, M. (2022) Driving Mode Advice for Eco-driving Assistance System with Driver Reaction Delay Compensation. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*. Vol. 69. No. 1, pp. 134–138. – <https://doi.org/10.1109/TCSII.2021.3075455>. (In Eng.).
12. Chen, Yu., Lazar, M. (2020) Real-time driving mode advice for eco-driving using MPC. *IFAC-PapersOnLine*. Vol. 53. No. 2, pp. 13830–13835. – <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.893>. (In Eng.).
13. Hermann, Winner, Stephan, Hakuli, Felix Lotz, Christina Singer (2016) Handbook of driver assistance systems: basic information, components and systems for active safety and comfort. *Cham: Springer*, 1600 p.
14. Malikopoulos, A. A., Aguilar, J. P. (2013) An optimization framework for driver feedback systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. Vol. 14. No. 2, pp. 955–964. – <https://doi.org/10.1109/TITS.2013.2248058>. (In Eng.).
15. Sarmadi, H., et al. (2022) Attention Horizon as a Predictor for the Fuel Consumption Rate of Drivers. *Sensors*. Vol. 22. No. 6, p. 2301. – <https://doi.org/10.3390/s22062301>. (In Eng.).
16. Soriguera, F., Miralles, E. (2016) Driver Feedback Mobile App. *Transportation Research Procedia*, Vol. 18, pp. 264–271. – <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.12.036>. (In Eng.).
17. Steven Shladover (2018) Connected and automated vehicle systems: introduction and overview. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*. Vol. 10. No. 4, pp. 6–12. (In Eng.).

Информация об авторах:

Ленур Максutowич Нургалиев, соискатель ученой степени, Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, Набережные Челны, Россия

ORCID iD: 0000-0001-5073-2486, **Researcher ID:** PKG-3425-2026, **Scopus Author ID:** 56027510300

e-mail: nlm82@mail.ru

Руслан Флюрович Калимуллин, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобилей, Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, Набережные Челны, Россия

ORCID iD: 0000-0003-4016-2381, **Researcher ID:** E-9031-2015, **Scopus Author ID:** 6602711766, **SPIN-код:** 3492-4311, **AuthorID:** 335581

e-mail: rkalmullin@mail.ru

Сергей Юрьевич Коваленко, кандидат технических наук, технический специалист, ООО «Оренбург-Скан-Сервис», Оренбург, Россия

ORCID iD: 0009-0000-7850-686X, **SPIN-код:** 2740-7129, **AuthorID:** 519695

e-mail: kovalenko-osu@yandex.ru

Вклад соавторов:

Нургалиев Л. М. – постановка цели и задач исследования, обзор литературных источников, экспериментальные исследования, формулировка заключения, оформление рукописи.

Калимуллин Р. Ф. – формирование первичной структуры исследования, структурирование материалов и обобщение результатов, оформление рукописи.

Коваленко С. Ю. – систематизация и анализ полученных результатов исследования.

Конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила в редакцию: 28.04.2026; принята в печать: 17.07.2026.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Lenur Maksutovich Nurgaliyev, PhD candidate, Naberezhnye Chelny Institute (branch) of Kazan (Volga region) Federal University, Naberezhnye Chelny, Russia

ORCID iD: 0000-0001-5073-2486, **Researcher ID:** PKG-3425-2026, **Scopus Author ID:** 56027510300

e-mail: nlm82@mail.ru

Ruslan Flyurovich Kalimullin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Automobile Department, Naberezhnye Chelny Institute (branch) of Kazan (Volga region) Federal University, Naberezhnye Chelny, Russia

ORCID iD: 0000-0003-4016-2381, **Researcher ID:** E-9031-2015, **Scopus Author ID:** 6602711766, **SPIN-code:** 3492-4311, **AuthorID:** 335581

e-mail: rkalimullin@mail.ru

Sergey Yuryevich Kovalenko, Candidate of Technical Sciences, Technical Specialist, Orenburg-ScanService LLC, Orenburg, Russia

ORCID iD: 0009-0000-7850-686X, **SPIN-code:** 2740-7129, **AuthorID:** 519695

e-mail: kovalenko-osu@yandex.ru

Contribution of the authors:

Nurgaliyev L. M. – formulation of the study's goals and objectives, literature review, experimental studies, formulation of the conclusion, and manuscript preparation.

Kalimullin R. F. – development of the initial study structure, structuring of the materials, and summary of the results, and manuscript preparation.

Kovalenko S. Yu. – systematization and analysis of the study results.

The authors has no conflicts of interest.

The paper was submitted: 28.04.2026.

Accepted for publication: 17.07.2026.

The authors have read and approved the final manuscript.