

УДК 629.113

Д.М. Порубов, А.В. Пинчин, Д.Ю. Тюгин, А.В. Тумасов, П.О. Береснев, В.В. Беляков

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УДЕРЖАНИЯ В ПОЛОСЕ ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ КОММЕРЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Нижегородский государственный технический университет им Р.Е. Алексеева

Представлена система удержания транспортного средства в полосе движения, предназначенная для функционирования в сложных дорожно-климатических условиях на территории Российской Федерации. Данная система помощи водителю, разработанная на базе НГТУ им. Р.Е. Алексеева, имеет огромное значение для повышения безопасности движения колесных транспортных средств – ведущего тренда мировой автомобильной промышленности. Предложен компонентный состав системы удержания в полосе движения, разработаны алгоритмы и программное обеспечение модуля распознавания дорожной разметки и определения выхода из полосы движения. Представлены результаты испытания системы, разработки алгоритмов и программного обеспечения для управления электромеханическим усилителем рулевого управления.

Ключевые слова: система помощи водителю, система удержания в полосе движения, рулевое управление с электромеханическим усилителем.

Введение

Повышение безопасности дорожного движения колесных транспортных средств за счет внедрения интеллектуальных систем является одним из приоритетных направлений развития автомобильной отрасли. Пассивные и активные системы помощи водителю (ADAS) используются для предотвращения ДТП, возникающих в результате ошибок водителя или уменьшения последствий. Одним из видов ADAS являются системы, обеспечивающие контроль движения транспортного средства в полосе, предотвращая непреднамеренный выезд из полосы движения. Согласно статистике ГИБДД, в РФ с января по июнь включительно в 2018 году произошло 5 874 аварий со смертельным исходом, произошедших из-за выезда водителями на встречную полосу движения – в них погибли 1 868 чел. [1]. В связи с этим актуализируется вопрос о возможности решений в отношении систем, обеспечивающих контроль движения транспортного средства в полосе.

Обзор систем помощи водителю

Для сокращения числа аварий, связанных с непреднамеренным выездом из занимаемой полосы движения, к настоящему времени многие автопроизводители оснащают выпускаемые транспортные средства системами предупреждения о выходе из полосы движения и системами удержания в полосе движения.

Производитель Kia [2] оснащает свои автомобили системой предупреждения о сходе с полосы движения (LDWS – Lane Departure Warning System). Электронный блок управления системой с помощью видеокамеры фиксирует видеопоток, обрабатывает данную информацию, распознает дорожную разметку, определяет положение транспортного средства (ТС) между линиями дорожной разметки и контролирует непреднамеренный выход из занимаемой полосы движения. При непреднамеренном смещении с полосы движения (не включен соответствующий сигнал поворота) система предупреждает водителя об этом и оповещает звуковым сигналом или индикацией на приборной панели. Система работает при скорости движения автомобиля более 60 км/ч и при ширине полосы движения от 2,5 до 5,0 м.

Автомобильный производитель Volkswagen AG [3] комплектует свои автомобили системой удержания в полосе движения (Lane Assist). Электронный блок управления на основе

информаций, поступающей от видеокамеры, данных о траектории движения автомобиля, оценивая действия водителя, предупреждает о сходе с полосы движения звуковым сигналом или вибрацией рулевого колеса. Если водитель не предпринимает никаких действий, Lane Assist вмешивается, плавно корректируя движение автомобиля с помощью электроусилителя рулевого управления. Величина корректирующего момента не превышает 3 Нм, поэтому достаточно небольшого усилия со стороны водителя для его преодоления. Система удержания в полосе движения работает на скорости более 65 км/ч. При скорости движения ниже 60 км/ч Lane Assist переходит в пассивный режим работы. При пассивном режиме работы камера продолжает следить за дорогой и отправляет полученные данные на блок управления, но корректирующее воздействие на рулевое управление и подача предупредительных сигналов не производятся. Для устранения запотевания окна камеры и для удаления обледенения система удержания в полосе движения оснащена нагревательным элементом, выполненным в виде резистивной пленки, наклеенной непосредственно на ветровое стекло.

Другим производителем, оснащающим свои автомобили системой удержания в полосе движения, является Mazda [4]. Система LAS (Lane Keep Assist System) имеет схожий функционал с системой Lane Assist (Volkswagen AG), но предусматривает несколько вариантов («поздняя» и «ранняя») настройки момента срабатывания корректирующего воздействия. При выборе «поздней» настройки момента срабатывания система оказывает корректирующее воздействие на рулевое колесо в том случае, если существует опасность отклонения автомобиля от полосы движения. Если выбрана «ранняя» настройка момента срабатывания, система оказывает корректирующее действие на рулевое колесо непрерывно, помогая удерживать автомобиль посередине полосы движения. Еще одним производителем, комплектующим свои автомобили системой удержания в полосе движения, является Mercedes-Benz [5]. Главным отличием от вышеперечисленных систем является реализация корректирующего воздействия с помощью тормозной системы. При непреднамеренном отклонении от полосы движения производится кратковременное одностороннее тормозное действие, таким образом корректируется движение автомобиля относительно центра полосы.

Необходимо отметить, что системами удержания в полосе движения и предупреждения о непреднамеренном выезде из занимаемой полосы движения комплектуются легкие коммерческие автомобили (Light commercial vehicles (LCV)) различных марок Volkswagen AG, Mercedes-Bens, Ford, Citroen и т. д. Это обусловлено, существующей тенденцией повышения безопасности грузопассажирских перевозок, а также большей усталостью водителя (относительно личного транспорта) при выполнении соответствующих работ. Для оценки существующих тенденций развития перечисленных систем проведем бенчмаркинг существующих решений на рынке для легких коммерческих транспортных средств.

Проведенный бенчмаркинг в сегменте LCV представлен в табл. 1. На основе проведенного обзора систем можно сделать вывод, что существующие системы предупреждения о непреднамеренном выезде из занимаемой полосы движения и системы удержания в полосе движения имеют схожую компонентную базу. Стоит отметить, что автомобили фирмы VW и MB имеют в составе систему удержания в полосе движения. Для остальных рассмотренных ТС имеется только система оповещения о не преднамеренном выходе из полосы движения. Все производители используют в качестве сенсора – видеокамеру. Минимальная скорость движения для работы систем у большинства ТС составляет 60 км/ч. Работа систем предупреждения о непреднамеренном выезде из занимаемой полосы движения и удержания в полосе движения на всех автомобилях может быть неправильной в сложных погодных условиях. На автомобилях фирмы Ford и Citroen информирование водителя происходит звуковым сигналом и индикацией на приборной панели, на остальных ТС присутствует вибрация рулевого колеса. На всех ТС видеокамера расположена на верхней части ветрового стекла.

Таблица 1

**Бенчмаркинг систем предупреждения о сходе с полосы движения
и удержания в полосе движения**

Функции	Fiat[6]	Ford[7]	MB[5]	Citroen[8]	VW[3]
Сенсор	Видеокамера	Видеокамера	Видеокамера	Видеокамера	Видеокамера (монохромная)
Минимальная скорость движения	60	65	60	60	65
Работа в сложных погодных условиях	Возможна неправильная работа системы				
Функция автоматического корректирования траектории движения ТС	–	–	+	–	+
Метод удержания в полосе	Только информирование	Только информирование	Тормозная система	Только информирование	Рулевое управление
Методы передачи информации	Визуальный и звуковой	Визуальный, звуковой и тактильный	Визуальный, звуковой и тактильный	Визуальный и звуковой	Визуальный, звуковой и тактильный
Место расположения камеры	Верхней части ветрового стекла				

На следующем этапе необходимо оценить существующие нормативные документы в данной области, а также выявить основные положения, определяющие целевые показатели системы (минимальная скорость, радиус кривизны дороги, ширина полосы движения и т.д.)

Нормативные документы и проблемы адаптации ADAS систем в РФ

Разработку и сертификацию систем предупреждения о сходе с полосы движения и удержания в полосе движения производят по следующим нормативным документам: система предупреждения о выходе транспортного средства из полосы движения (LDWS), правила ЕЭК ООН № 130 [9], ISO 17361 [10]. Согласно правилам ЕЭК ООН № 130, система предупреждения о сходе с полосы движения должна предупреждать водителя о непреднамеренном пересечении транспортным средством видимой разметки полосы движения на дороге с минимальным радиусом внутренней полосы движения 250 м и передавать видимый для водителя сигнал предупреждения.

Испытания работы системы, согласно правилам ЕЭК ООН № 130, должны проводиться в следующих условиях:

- на гладкой, сухой асфальтовой или бетонной поверхности при температуре окружающей среды в диапазоне 0°С – 45°С;
- на полосу движения должна быть нанесена видимая маркировка (разметка) в надлежащем состоянии и из материалов, соответствующих стандарту видимой маркировки полосы движения;

- условия видимости должны быть приемлемыми для безопасного движения на требующейся испытательной скорости;
- вес автомобиля и распределение массы по осям может быть любыми, но не превышающим максимальных значения, указанных в технических характеристиках автомобиля;
- испытания проводятся при значениях давления в шинах, рекомендованных изготовителем транспортного средства.

Система удержания транспортного средства в занимаемой полосе движения – Правила ЕЭК ООН № 79–04 [11], ISO 11270 [12], SAE J3048 [13]. Согласно данным правилам, система удержания в полосе движения должна исключать пересечение автомобилем разметки полосы движения, иметь устройство активации и деактивации и позволять водителю деактивировать однократным воздействием. Условия испытаний системы удержания в полосе движения такие же, как при испытании системы предупреждения о сходе с полосы движения, согласно правилам ЕЭК ООН № 130.

По результатам анализа нормативных документов был выявлен ряд проблем, затрудняющий функционирование вышеуказанных систем на территории РФ:

- допускаемое значение кривизны дороги 250 м, указанное в Правилах ЕЭК ООН № 130, при котором система должна предупреждать водителя о пересечении разметки, не может гарантировать безопасность и высокую эффективность работы системы в условиях дорожной инфраструктуры РФ, где допускается радиус кривизны 150 м;
- температура окружающей среды при испытаниях систем, согласно правилам ЕЭК ООН № 130, должна находиться в диапазоне 0°C – 45°C; значительную часть времени на территории РФ температура окружающего воздуха находится в диапазоне ниже 0 °C;
- для целей испытания на официальное утверждение, упомянутого в пунктах 6.2.3 (Видимая маркировка полосы движения) и 6.5 (Испытание на предупреждение о выходе из полосы движения) настоящих Правил, ширина полосы движения не должна превышать 3,5 м. В РФ на дорогах I и II категории ширина полосы составляет 3,75 м, на дорогах V категории ширина полосы – 4,5 м.

Необходимо отметить, что система предупреждения о сходе с полосы движения к настоящему времени обязательна в странах Европейского Союза при получении одобрения типа транспортного средства для категорий N2, M2 [14], а также для регистрации транспортных средств категорий N2, M2.

Из проведенного анализа систем и нормативных документов видно, что системы предупреждения о сходе с полосы движения и системы удержания в полосе движения являются востребованными на рынке легковых транспортных средств, а также, согласно требованиям нормативных документов, являются обязательными при выпуске коммерческого транспорта. При этом на рынке отсутствуют Российские компании – разработчики ADAS систем. Таким образом, существует экономическая и социальная потребность в отечественной разработке систем предупреждения о выходе из занимаемой полосы движения и удержания в полосе движения, которые должны функционировать в дорожно-климатических условиях РФ с учетом минимального радиуса кривизны дорожной разметки 150 м и ширины полосы движения от 2,75 до 4,5 м.

Разработка ADAS, учитывающей кривизну траектории в РФ

Предлагаемая к разработке система удержания в полосе движения состоит из модуля распознавания дорожной разметки и определение выхода из полосы движения, а также модуля корректировки траектории движения ТС по полосе.

Модуль распознавания дорожной разметки и определения выхода из полосы движения включает в себя оптический сенсор (видеокамеру) и вычислитель. С использованием алгоритмов, представленных в работе [15], данный модуль позволяет определять ширину занимаемой полосы движения, а также отклонение от центра полосы движения. Фрагмент работы модуля представлен на рис. 1. При движении по центру полосы движения на дисплее отображается зеленая зона (рис. 1а). В случае отклонения от центра полосы движения на $0,2 \div 0,3$ м отображается желтая зона. В случае отклонения ТС от центра полосы более, чем на $0,3$ м отображается красная зона и система предупреждает о выходе из занимаемой полосы движения. Стоит отметить, что желтая зона является переходной, в интервале которой происходит визуальное информирование водителя о возможном возникновении критической ситуации. При возникновении красной зоны модуль корректировки траектории движения возвращает ТС в границы полосы движения. На данный момент модуль корректировки траектории движения ТС по полосе находится в разработке. Модуль распознавания дорожной разметки и определение выхода из полосы движения разработан с учетом особенностей эксплуатации в РФ, а именно реализовано распознавание дорожной разметки с радиусом кривизны 150 м, шириной полосы от $2,75$ до $4,5$ м. Компонентный состав системы определялся с учетом работы при температурах от -40 до $+50$ °С.

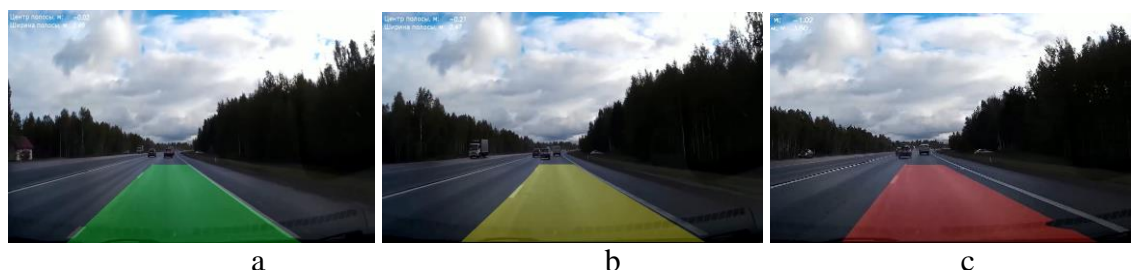


Рис. 1. Модуль визуального представления дорожной разметки:

а – Зеленая зона, б – Желтая зона (отклонение $0,2-0,3$ м),
с – Красная зона (отклонение более $0,3$ м)

Разработка алгоритма электрического усилителя рулевого колеса (ЭУР) с внешним управлением

Разрабатываемый прототип системы планируется к установке на транспортные средства Группы ГАЗ сегмента LCV. При реализации системы удержания в полосе движения одним из наиболее важных функций является реализация внешнего управления рулевым механизмом. В настоящее время серийные автомобили ГАЗель NEXT укомплектованы рулевым механизмом реечного типа с гидравлическим усилителем рулевого колеса. Применение данного гидроусилителя рулевого колеса для интеграции системы помощи водителю вызывает ряд сложностей из-за громоздкости системы и сложной методики управления насосом гидроусилителя рулевого колеса. Поэтому для решения данной проблемы было предложено использовать рулевой механизм с электромеханическим усилителем и возможностью контроля управления. Конструкция данного рулевого механизма и испытания рассмотрены в работе [15].

В настоящее время для управления электромеханическим усилителем в режиме управления водителем (ручном режиме) и режиме внешнего управления был разработан алгоритм работы электронного блока управления (ЭБУ) системой рулевого управления, который позволяет реализовать три режима работы системы:

- режим электроусилителя рулевого управления;
- режим внешнего управления рулевым механизмом;
- аварийный режим (режим ручного управления).

При включении зажигания блок управления производит самодиагностику системы рулевого управления (РУ) за счет опроса различных типов датчиков (датчик положения руля, крутящего момента на рулевом колесе, датчик положения вала электродвигателя и т.д.) При обнаружении неисправности происходит поиск источника неисправности и попытка ее устранения. Если неисправность не устранена, ЭБУ переключает систему РУ в аварийный режим. В данном режиме происходит обесточивание электродвигателя и датчиков, поворот управляемых колес осуществляется водителем за счет механического соединения рулевого колеса и оповещает водителя об ошибке индикацией на приборной панели. Если по окончании самодиагностики неисправностей не обнаружено, производится калибровка системы, определяется положение рулевого колеса и колес управляемой оси. В случае возникновения ошибок при калибровке производится информирование водителя и повторная самодиагностика и калибровка. При успешной калибровке блок управления системой РУ активирует режим усилителя, в котором при повороте рулевого колеса водителем реализуется вспомогательное усилие за счет электродвигателя. Изменение вспомогательного усилия производится в зависимости от скорости движения транспортного средства и регулируется в зависимости от силы тока, подаваемого от блока управления системой РУ электродвигателю. Производится постоянная диагностика системы ЭУР. При возникновении неисправности блок управления переводит ЭУР в аварийный режим с оповещением водителя. В случае необходимости внешнего управления (от системы удержания в полосе движения) электронный блок управления переключается в режим внешнего управления и производит поворот управляемой оси на заданный угол. При воздействии водителя на рулевое колесо ЭБУ перейдет в режим работы управления водителем. В случае неисправности блок управления проверяет возможность ее устранения и переводит ЭУР в аварийный режим с оповещением водителя, если неисправность не может быть устранена. Алгоритм работы электронного блока управления системы рулевого управления, позволяющий реализовать вышеуказанные режимы работы, представлен на рис. 2.

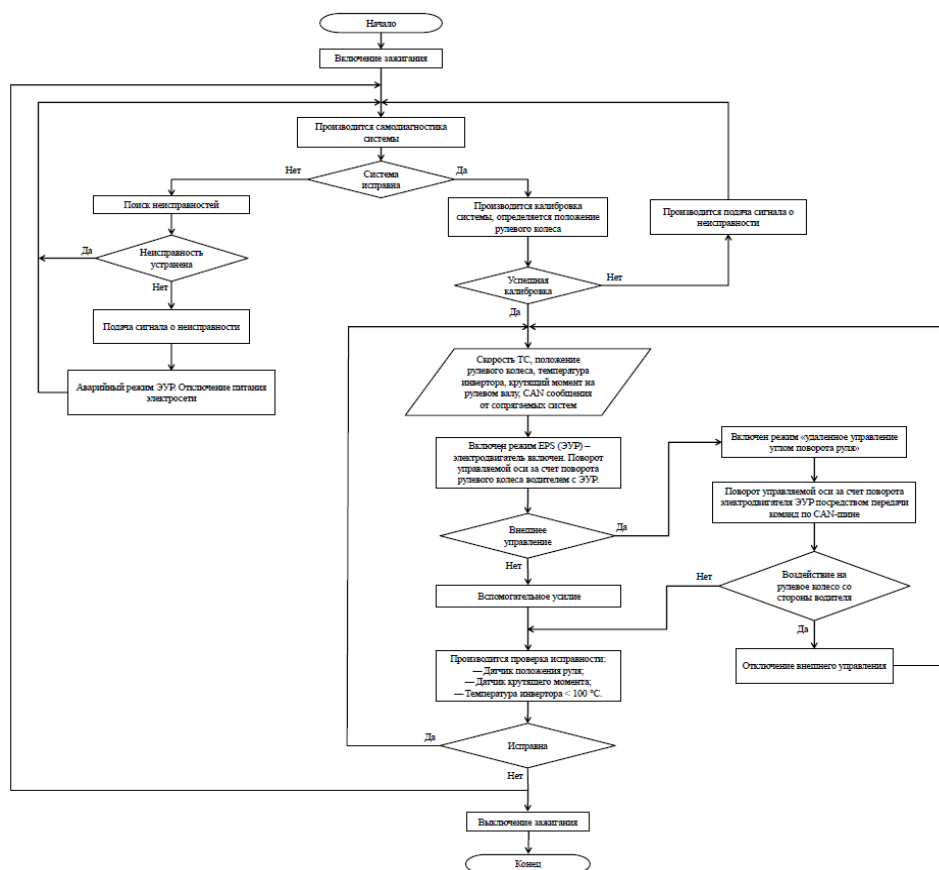


Рис. 2. Алгоритм работы электронного блока управления системы рулевого управления

По вышеуказанному алгоритму было реализовано программное обеспечение для управления электромеханическим усилителем рулевого управления с возможностью внешнего управления для реализации системы удержания в полосе движения. На данный момент система проходит испытания и доработку. Разработанный блок управления электроусилителем рулевого колеса представлен на рис. 3. Алгоритмы, описанные выше, интегрированы в разработанный блок управления.

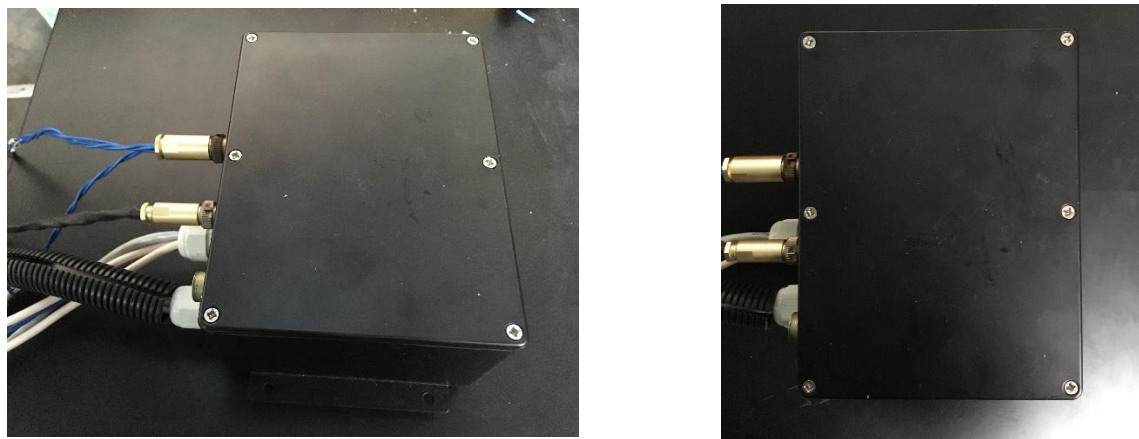


Рис. 3. Электронный блок управления системы рулевого управления

Выводы

Проведен анализ существующих систем предупреждения о непреднамеренном выезде из занимаемой полосы и удержания в полосе движения и нормативных документов, в результате которого выделены характеристики систем, адаптированных к эксплуатации на территории РФ. Разработаны алгоритмы и программное обеспечение модуля распознавания дорожной разметки и определения выхода из полосы движения. Проведены испытания данной системы, по результатам которых подтверждена работоспособность системы в дорожных условиях РФ. Разработаны алгоритмы и программное обеспечение для управления электромеханическим усилителем рулевого управления как в ручном режиме, так и в режиме внешнего управления.

Следующим этапом работ является разработка модуля корректировки траектории движения ТС по полосе, интеграция и отладка системы удержания в полосе движения в транспортное средство ГАЗель Next и проведение дорожных испытаний системы в различных дорожно-климатических условиях.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проекта «Создание высокотехнологичного производства безопасных экспортноориентированных автомобилей ГАЗ с элементами автономного управления и возможностью интеграции с электроплатформой на базовых компонентах российского производства» по договору №03.G25.31.0270 от 29.05.2017г. (постановление Правительства Российской Федерации от 09 апреля 2010 года №218). Экспериментальные исследования выполнены с использованием оборудования Центра коллективного пользования НГТУ «Транспортные системы».

Библиографический список

1. ГИБДД РФ [Электронный ресурс]: [официальный сайт]. – Режим доступа: <https://гибдд.рф>, свободный.
2. KIA Motors [Электронный ресурс]: [официальный сайт]. – Режим доступа: <http://www.kia.com>, свободный.

3. Volkswagen AG [Электронный ресурс]: [официальный сайт]. – Режим доступа: <https://www.volkswagen.com>, свободный. Mazda Motor Corporation [Электронный ресурс]: [официальный сайт]. – Режим доступа: <http://www.mazda.com>, свободный.
4. Mercedes-Benz [Электронный ресурс]: [официальный сайт]. – Режим доступа: <https://www.mercedes-benz.com>, свободный.
5. Fiat Professional [Электронный ресурс]: [официальный сайт]. – Режим доступа: <https://www.fiatprofessional.com>, свободный.
6. Ford Motor Company [Электронный ресурс]: [официальный сайт]. – Режим доступа: <https://www.ford.com>, свободный.
7. Citroen [Электронный ресурс]: [официальный сайт]. – Режим доступа: <http://www.citroen.com>, свободный.
8. Правила ЕЭК ООН № 130. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения механических транспортных средств в отношении системы предупреждения о выходе из полосы движения (СПВП). – Режим доступа: <http://www.vashdom.ru/gost/41.13-99/>, свободный.
9. ISO 17361:2017. Intelligent transport systems. – Lane departure warning systems. – Performance requirements and test procedures.
10. Правила ЕЭК ООН № 79. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении оборудования рулевого управления. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200027812>, свободный.
11. ISO 11270:2014. Intelligent transport systems. – Lane keeping assistance systems (LKAS). – Performance requirements and test procedures.
12. SAE J3048. Driver-Vehicle Interface Considerations for Lane Keeping Assistance Systems.
13. Commission Regulation (EU) No 351/2012 of the European Parliament and of the Council as regards type-approval requirements for the installation of lane departure warning systems in motor vehicles.
14. **Порубов, Д.М.** Система автоматизированного управления движением транспортных средств на основе распознавания дорожной сцены и ее объектов / Д.М. Порубов, П.О. Береснев, Д.Ю. Тюгин, А.В. Тумасов, В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин // Известия московского государственного технического университета МАМИ. – № 1. – 2018. – С. 52-63.

*Дата поступления
в редакцию: 14.05.2019*

D.M. Porubov, A.V. Pinchin, D.Y. Tyugin, A.V. Tumasov, P.O. Beresnev, V.V. Belyakov

THE DEVELOPMENT OF LANE KEEPING ASSIST SYSTEM FOR COMMERCIAL VEHICLE

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev

Purpose: Development of lane keeping assist system for commercial vehicle for moving in difficult weather conditions in the Russian Federation.

Design/methodology/approach: The approach is based on the study of foreign experience in the development of lane keeping assist system. Technological equipment, capable to work in severe climatic conditions of the Russian Federation is studied.

Findings: The component composition of the system was proposed. Algorithms and software of module detect lane and define the lane departure were developed. The module was tested. Algorithms and software for control of electromechanical power steering were developed.

Research limitations/implications: This study is the starting point for continuing experimental studies of lane keeping assist system for a vehicle.

Originality/value: The developed prototype of the system is planned to be installed on light commercial vehicles.

Key words: ADAS, lane keeping assist system, electromechanical steering system.