

На правах рукописи

Крюков Андрей Игоревич

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ  
СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ В «СЛЕПОЙ»  
ЗОНЕ БОКОВЫХ ЗЕРКАЛ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

05.11.16 – «Информационно-измерительные и управляющие системы»

Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Москва – 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный индустриальный университет» (ФГБОУ ВПО «МГИУ»)

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
**Палагута Константин Алексеевич**  
доцент кафедры автоматике и  
управления в технических системах  
ФГБОУ ВПО «МГИУ»

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
**Увайсов Сайгид Увайсович**  
заведующий кафедрой радиоэлектроники  
и телекоммуникаций  
МИЭМ НИУ ВШЭ

кандидат технических наук, доцент  
**Савостин Петр Иванович**  
доцент кафедры информационно-  
измерительных систем  
ФГБОУ ВПО МИИГАиК

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное  
предприятие «Научно-производственный  
центр Автоматики и приборостроения  
имени академика Н.А. Пилюгина»

Защита состоится 16 февраля 2015 г. в \_\_\_\_ часов \_\_\_\_ минут на  
заседании диссертационного совета Д 212.130.02 при Национальном  
исследовательском ядерном университете «МИФИ» по адресу: 115409, г.  
Москва, Каширское шоссе, д.31, тел. 8 (499) 324-84-98

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального  
исследовательского ядерного университета «МИФИ» и на сайте:  
<http://ods/mephi.ru>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.130.02,  
доктор технических наук, профессор

П.К. Скоробогатов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы.

На современном этапе научно-технического прогресса интенсивно развивается автомобильная индустрия, увеличивается выпуск автотранспортных средств (АТС), повсеместно происходит активное нарастание транспортных потоков. Конструкции самих автомобилей становятся все более сложными и многофункциональными. Разрабатываются все более совершенные системы безопасности и средства обеспечения комфортного вождения. Обеспечение безопасности движения требует от водителя постоянной и полной информации о быстро меняющейся окружающей обстановке не только впереди и позади его автомобиля, но и с обеих сторон движущейся машины. Процесс такого контроля в условиях высоких скоростей, постоянных динамических изменений окружающей обстановки часто выходит за пределы физиологических возможностей даже опытных водителей. Все это требует активной разработки и внедрения различных систем автоматизации в процессы управления АТС. Одной из важных задач автоматизации является разработка автоматических систем контроля всех окружающих зон автомобиля, включая и «слепые» для водителя боковые зоны.

Действительно, многие аварии совершаются из-за того, что зеркала заднего вида не могут предоставить водителю полную картину происходящего позади и в непосредственной близости от автомобиля. Автомобили, находящиеся в так называемой «слепой» зоне, чаще всего становятся причиной ДТП, в частности попутных столкновений. Водители часто не видят позади себя машину, которая начинает перестраиваться в соседний ряд в целях обгона. В результате выполняя по каким-либо причинам перестроение передняя машина подрезает обгоняющего. Водитель обгоняющего автомобиля, находясь в режиме ускоренного движения, не всегда успевает вовремя среагировать на данную ситуацию, например, успеть перестроиться на другую полосу или вовремя затормозить. Для мониторинга состояния «слепой» зоны боковых зеркал автомобиля существуют различные решения, разработанные как мировыми автопроизводителями, так и предлагаемые частными лицами. Главным недостатком таких технических решений является их функционирование исключительно как систем пассивной безопасности. Они не оказывают активной помощи водителю при управлении им автомобилем и выполняют сугубо информационную функцию. На современном этапе развития автомобильных технологий актуален новый уровень систем безопасности автомобилей, способных автоматически выполнять функции обнаружения и оказывать активную помощь водителю на дорогах. Таким образом, задача

разработки автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне вокруг автомобиля является актуальной для повышения безопасности АТС на дорогах и представляет большой научный интерес, а также важное практическое значение.

### **Цель работы**

Повышение безопасности эксплуатации транспортных средств путем разработки и внедрения активной автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал.

### **Задачи работы**

1. Исследование принципов построения и функционирования современных систем безопасности транспортных средств;
2. Исследование параметров «слепой» зоны боковых зеркал транспортного средства;
3. Разработка математической модели электромеханического усилителя рулевого управления для исследования автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне;
4. Исследование поведения системы водитель-транспортное средство, оснащенной активной автоматической системой обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне;
5. Разработка алгоритма размещения сенсоров на различных моделях автомобилей для автоматического обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал;
6. Разработка программно-аппаратного комплекса, реализующего функции активной автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал автомобиля, и его экспериментальное исследование.

### **Методы исследования**

Результаты диссертационной работы получены на основе положений теории автоматического управления, методов математического моделирования, компьютерной обработки сигналов, теории оценивания, численных методов.

### **Новизна и достоверность результатов**

Новизна результатов работы защищена патентом. Достоверность разработанной модели, экспериментально исследованной в среде MatLab Simulink, подтверждается проверкой на реальном автомобиле. Результаты диссертационной работы подтверждены актами внедрения.

## **Научная новизна**

1. Предложена математическая модель электромеханического усилителя рулевого управления;
2. Разработана математическая модель активной системы автоматического обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал транспортного средства;
3. Разработан алгоритм расчета места размещения и ориентации измерительных преобразователей для автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал транспортного средства.

## **Практическая ценность**

Разработана активная автоматическая система обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал транспортного средства, установленная и исследованная на реальном автомобиле.

## **Апробация работы**

Основные положения диссертационной работы были доложены и обсуждены на:

- заседаниях аттестационной комиссии при ежегодной аттестации аспирантов кафедры «Автоматика, информатика и системы управления» ФГБОУ ВПО «МГИУ»;
- VIII Международной научно-практической конференции «Молодые ученые – промышленности, науке и профессиональному образованию: проблемы и новые решения» – 2009 г;
- IX Всероссийской выставке Научно-технического творчества молодежи – 2009 г;
- научно-практической конференции «ИНФО-2009: качество, безопасность, диагностика. Инновации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий» – 2009 г;
- IX международном симпозиуме «Интеллектуальные системы» – 2010 г;
- научно-практической конференции «ИНФО-2010: качество, безопасность, диагностика. Инновации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий» – 2010 г;
- международном симпозиуме «Надежность и качество» – 2010 г;
- конференции, посвященной 100-летию со дня рождения А.М. Кригера. Секция «Автомобили и двигатели» – 2010 г;
- X Всероссийской выставке Научно-технического творчества молодежи – 2010 г;

- 4-й Всероссийской мультikonференции по проблемам управления – 2011 г;
- научно-практической конференции «Инновации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий» – 2011 г;
- II Международной научно-практической конференции «Итоги и перспективы интегрированной системы образования в высшей школе России: образование – наука – инновационная деятельность» – 2011 г;
- научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых автомобильного факультета: «Молодая наука АФ – 2011» – 2011 г;
- международном симпозиуме «Надежность и качество» – 2011 г;
- IX научно-практической конференции «ИНФО-2012: Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий» – 2012 г;
- X научно-практической конференции «ИНФО-2013: Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий» – 2013 г;
- международном симпозиуме «Надежность и качество» – 2014 г.

### **Публикации.**

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 24 печатных работах, включая 5 статей в журналах из списка, рекомендованного ВАК, и 1 патент.

### **Структура и объем работы.**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 139 страницах, содержит список литературы из 75 наименований, 5 приложений. Работа содержит 80 рисунков и 3 таблицы.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность работы, определены цели, методы и объекты исследования, поставлены задачи, приведена структура диссертации.

**Первая глава** посвящена описанию взаимодействия человека с автомобилем, дорогой и внешней средой, указаны связи и раскрыта суть автомобиля как объекта управления (рис. 1). Главная задача водителя в такой системе – управление автомобилем и контроль над его работой. Тенденции развития автомобиля таковы, что физический труд по управлению им становится все меньше, а на первое место выдвигаются повышенные требования к восприятию, управляющим воздействиям, к надежности профессиональной деятельности водителя в условиях высокой нервно – эмоциональной напряженности.



*Рис. 1. Структурная схема системы эксплуатации автомобильной техники*

Рассмотрены причины возникновения типовых дорожно-транспортных происшествий и проведена их классификация. В среднем по статистике 8% ДТП происходит по причине маневрирования при движении по полосе.

Системы безопасности транспортных средств подразделяются на пассивные и активные.

Совокупность конструктивных элементов, применяемых для защиты пассажиров от травм при аварии, составляет систему пассивной безопасности автомобиля. Система должна обеспечивать защиту не только пассажиров и конкретного автомобиля, но и других участников дорожного движения.

Системы активной безопасности позволяют эффективно снизить вероятность столкновений на дорогах, поэтому активная безопасность представляет собой важную сферу для исследований и разработок. Активные системы безопасности используют технологии, которые помогают водителю автомобиля избежать столкновения.

Проведен анализ современных систем безопасности транспортных средств, рассмотрены их преимущества и слабые стороны. Исследованы основные принципы построения систем безопасности транспортных средств. Описаны основные направления совершенствования систем управления автомобилем.

Установлено, что системы активной безопасности позволяют эффективно снизить вероятность столкновений на дорогах, поэтому активная безопасность представляет собой важную сферу для исследований и разработок. В этой связи все большее распространение получают системы контроля пространства вокруг движущегося автомобиля. И именно в разработку таких систем вкладываются огромные средства.

**Во второй главе** показано, что важным элементом безопасности дорожного движения является обеспечение обзорности с места водителя (рис. 2). Именно на решение этой проблемы и направлены разрабатываемые в данный момент различными автомобильными компаниями, такими как Volvo, Mazda, Ford и др., системы контроля «слепой» зоны.

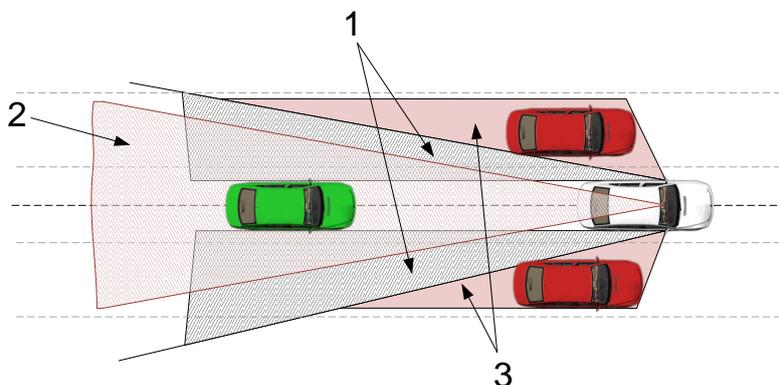


Рис. 2. Обзорность с места водителя:

1 – зона покрытия боковых зеркал; 2 – зона покрытия салонного зеркала; 3 – «слепая» зона.

Существующие современные системы контроля «слепой» зоны работают по следующему принципу: когда транспортное средство (автомобиль, грузовик, мотоцикл) входит в «слепую» зону обзора, рядом с соответствующим зеркалом загорается желтая лампочка, и водитель воспринимает сигнал периферическим зрением. Соответственно, водителю предоставляется информация о том, что рядом с его автомобилем движется другое транспортное средство, которое он не просматривает в зеркала.

Основной недостаток существующих систем контроля «слепой» зоны – все они являются системами пассивной безопасности и помогают водителю только рекомендательно. Именно на преодоление этого недостатка и направлена предлагаемая в диссертационном исследовании автоматическая система активной безопасности, способная не просто оповестить водителя о наличии ТС в «слепой» зоне, но и помочь ему избежать столкновения посредством дополнительного воздействия на рулевое управление. Другой существенный недостаток таких систем – отсутствие универсальности, т.е. возможности установки их на продукцию различных автопроизводителей, как сейчас это делается, например, с парковочной системой.

Учитывая особенности существующих систем контроля «слепой» зоны, предлагается автоматическая система обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал для управления автомобилем (рис. 3), отличительными признаками которой являются: автоматическая работа в качестве активной системы безопасности путем регулирования величины усилия на рулевом колесе; возможность работы в нескольких режимах; установка на автомобили различных производителей, снабженные электромеханическим усилителем рулевого управления (ЭМУР).

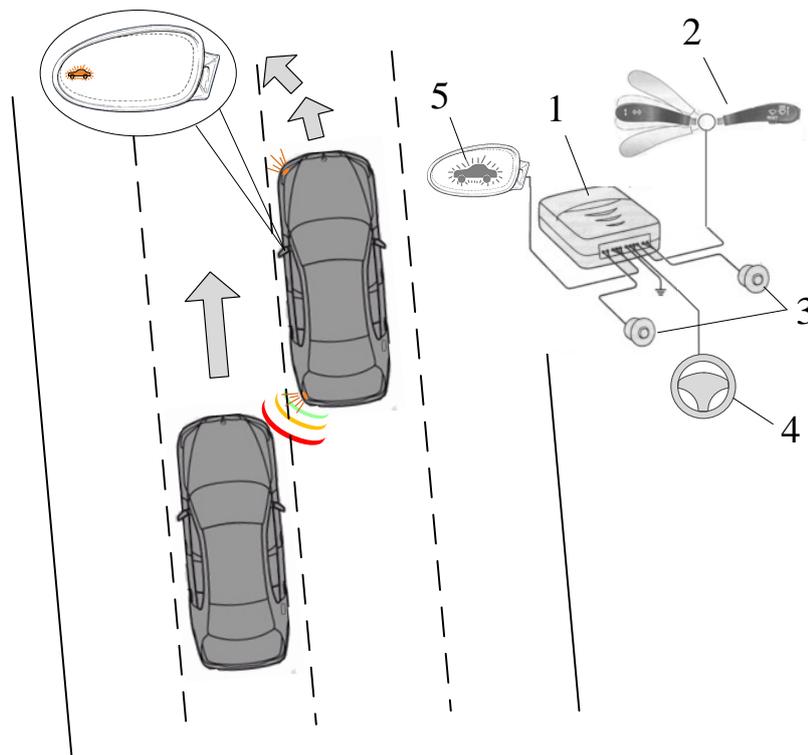


Рис. 3. Схема работы предлагаемой автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал для управления автомобилем: 1 – вычислительный модуль; 2 – переключатели указателей поворотов; 3 – измерительные преобразователи; 4 – рулевая колонка с ЭМУР; 5 – индикаторы.

Основные требования, предъявляемые к автоматической системе обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал для управления автомобилем, сформированы исходя из расчетной схемы, представленной на рис. 4. Необходимо, чтобы система сформировала сигнал дополнительного усилия на руле, когда обгоняющее ТС движется с большой скоростью и полностью скрыто в «слепой» зоне. Для определенности примем скорость ТС друг относительно друга равной 130 км/ч, расстояние, при прохождении которого обгоняющее ТС окажется ненаблюдаемым в соответствии с требованиями к обзорности с места водителя (ЕЭК ООН № 46 (ГОСТ Р 41.46-99) и ГОСТ Р 51266-99; покрытие слепой зоны  $\approx 10 \times 2,5$  м от места крепления зеркал), примем равным 5 м с учетом длины обгоняющего ТС.

При этих допущениях время срабатывания по формированию дополнительного усилия на руле должно быть не более 138 мс.

Учитывая, что минимальная ширина автомобиля может быть меньше чем 1,6 м при высоте отражающей области передней части автомобиля порядка 0,5 м система должна обнаруживать объект при попадании в зону ее действия порядка 10% площади передней части  $0,08 \text{ м}^2$ . При таких требованиях система должна обнаруживать и такие ТС как мотоциклы.

Требования к точности регулирования с учетом сохранения положения автомобиля внутри полосы заключается в следующем: боковой увод не более

0,575 м при минимальной ширине полосы 2,75 м и средней ширине автомобиля 1,6 м.

Дополнительными требованиями к системе являются:

- Работа в условиях плохой видимости;
- Работа в широком диапазоне температур:  $-40 \div +55$  °С (для умеренного климата);
- Пылезащищенность:
  - блок управления: класс 5;
  - измерительные преобразователи: класс 6;
- Влагозащищенность:
  - измерительные преобразователи: класс 7;
- Защита провода от электромагнитного излучения.

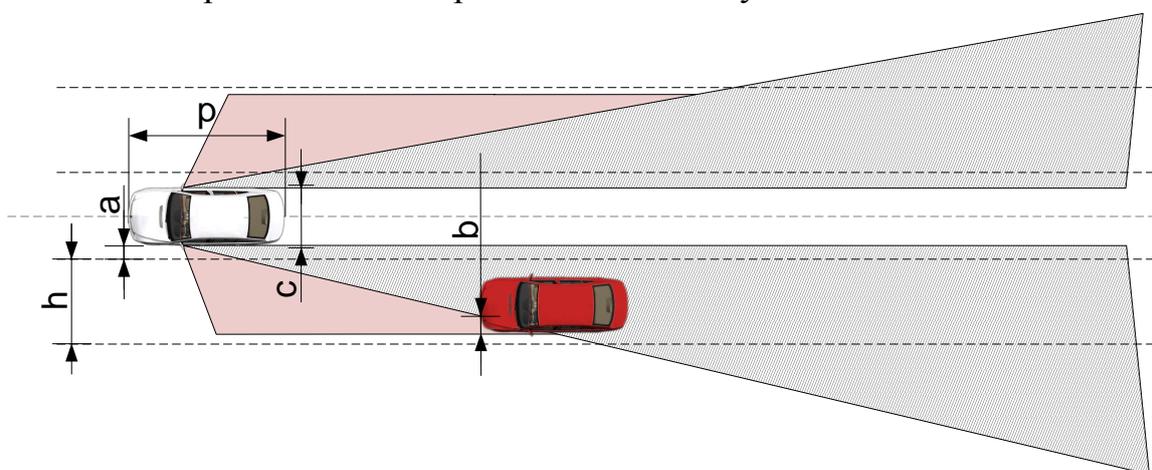


Рис. 4. Расчетная схема для обоснования требований к предлагаемой автоматической системе обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал :  $a$  – боковой увод;  $b$  – величина определяемого объекта ( $\approx 0,08$  м<sup>2</sup>.);  $c$  – ширина автомобиля ( $\approx 1,6$  м.);  $h$  – ширина полосы движения (2,75 м.);  $p$  – длина ТС ( $\approx 3,6$  м.).

Структуру автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал автомобиля (рис. 5) можно представить в виде вычислительного модуля (микроконтроллера) и 3-х взаимодействующих с ним рабочих модулей:

- измерительный преобразователь на базе ультразвукового датчика Maxsonar;
  - время измерения: 49 мс (100 мс при первом цикле измерения);
  - дальность измерения до 6,5 м;
  - минимальная площадь обнаруживаемого объекта 0,062 м<sup>2</sup> на расстоянии 6,5 м от преобразователя;
  - работа в условиях плохой видимости;
  - Температурный диапазон  $-40 \div +70$  °С;
  - пылезащищенность: класс 6;
  - влагозащищенность: класс 7;

- AVR микроконтроллер серии «Automotive», предназначенной для использования в составе ТС;
  - обработка измерительной информации и формирование управляющих сигналов составляет при тактовой частоте 8 МГц: 208 мкс;
  - температурный диапазон  $-40 \div +85$ ;
- светоизлучающий диод (СИД);
  - Быстродействие: 1,5 мкс;
- электромеханический усилитель рулевого управления (ЭМУР);
  - Быстродействие: 7 мс.



*Рис. 5. Структурная схема активной автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал ТС.*

Технический результат заключается в автоматическом контроле состояния «слепой» зоны и в помощи водителю при перестроениях, который достигается за счет того, что водителю выдаются предупреждающие сигналы: если в просматриваемой системой зоне обнаруживается транспортное средство (ТС), то на передней стойке рядом с боковым зеркалом заднего вида с соответствующей стороны начинает мигать оранжевый индикатор. В случае, если водитель начнет маневр при нахождении ТС в контролируемой зоне, система автоматически немного увеличит усилие на рулевой колонке, тем самым препятствуя совершению опасного маневра, но не запрещая его. Помимо противодействующего усилия формируется виброимпульс, информирующий водителя о возможной опасности совершаемого маневра, предлагая тем самым отказаться от его выполнения или отложить его.

Информационная база автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал обеспечивается измерительными преобразователями (датчиками), которые позволяют определять наличие ТС в не просматриваемой в зеркала заднего вида области.

Усилие на рулевом колесе можно регулировать путем управления специализированным электромеханическим усилителем рулевого управления. Система управления ЭМУР позволяет осуществлять регулирование усилия на рулевом колесе путем контроля и управления компенсирующим моментом электродвигателя усилителя.

Индикация при появлении ТС в области «слепой» зоны отображается передней стойке с соответствующей стороны с помощью оранжевых светодиодов. Виброимпульс создается виброприводом, располагаемым на рулевой колонке в непосредственной близости от самого рулевого колеса.

**Третья глава** посвящена разработке модели ЭМУР для автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал. Для анализа поведения автомобиля с усилительной электромеханической системой рулевого управления использована линейная модель автомобиля с тремя степенями свободы (рис. 6).

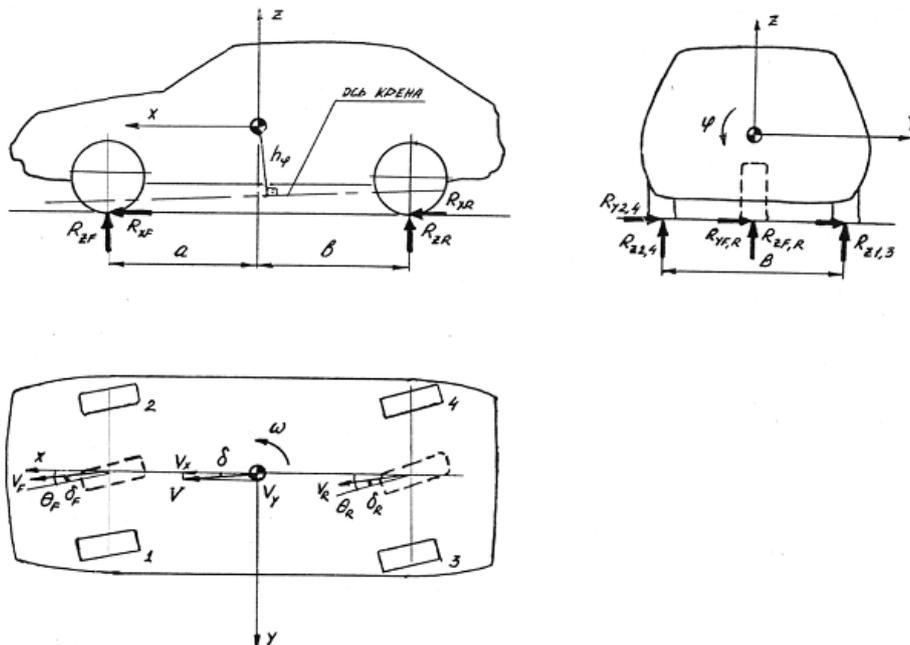


Рис. 6. Расчетная схема автомобиля.

Дифференциальные уравнения движения (1) для рассматриваемой модели автомобиля могут быть получены с использованием уравнений Лагранжа второго рода, либо принципа Д'Аламбера:

$$\begin{cases} J_z \cdot \dot{\omega}(t) = \sum M_z \\ J_x \cdot \ddot{\varphi}(t) = \sum M_x \\ m \cdot \ddot{y}(t) = \sum F_y \end{cases} \quad (1)$$

где:  $J_z$  – момент инерции автомобиля вокруг вертикальной оси;  $J_x$  – момент инерции поддресоренной массы автомобиля вокруг продольной оси;  $m$  – масса автомобиля;  $\ddot{y}$  – боковое ускорение автомобиля;  $\omega$  – угловая скорость поворота автомобиля;  $\varphi$  – угол крена автомобиля;  $\sum M_z$  – сумма моментов, действующих на автомобиль вокруг вертикальной оси;  $\sum M_x$  – сумма моментов, действующих на поддресоренную часть автомобиля вокруг продольной оси;  $\sum F_y$  – сумма сил, действующих на автомобиль в направлении оси  $oy$ .

Использование данной модели позволяет значительно упростить анализ поведения автомобиля с усилительной электромеханической системой рулевого управления (рис. 7) при установке автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал автомобиля.

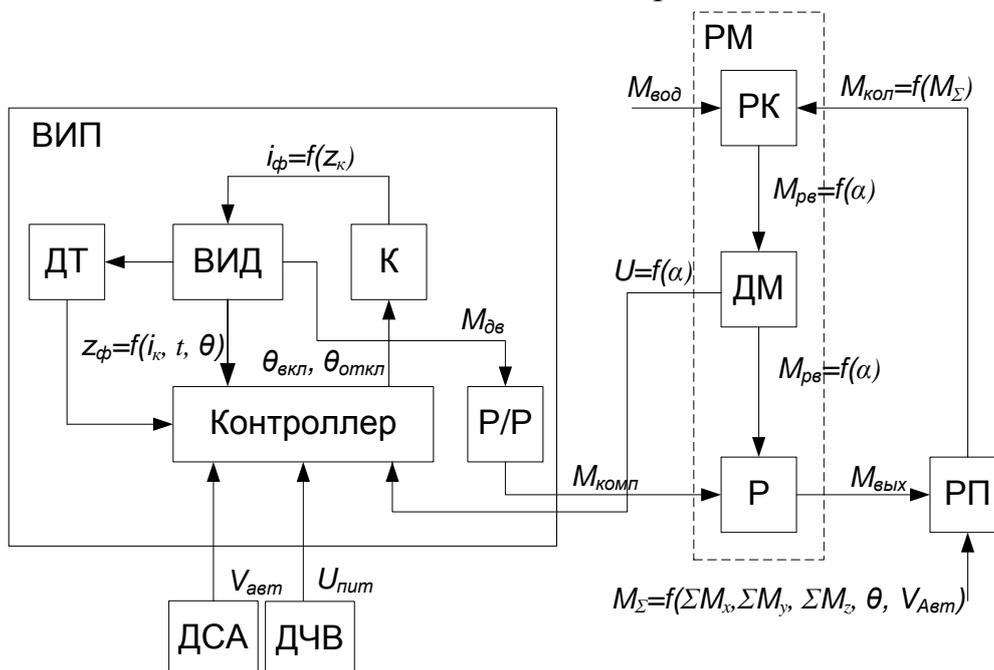


Рис. 7. Структурная схема системы ЭМУР

Система ЭМУР состоит из: вентильно-индукторного привода (ВИП), рулевого механизма (РМ) и информационных датчиков. В состав вентильно-индукторного привода входят: вентильно-индукторный двигатель (ВИД), коммутатор (К), редуктор-расцепитель (Р/Р), контроллер и датчик тока (ДТ). Контроллер управляет двигателем, анализируя информацию с датчика момента (ДМ), в виде уровня напряжения ( $U$ ), датчика скорости автомобиля (ДСА,  $V_{авт}$ ), датчика частоты вращения (ДЧВ), в виде напряжения питания ( $U_{пит}$ ), и датчика тока. Момент ( $M_{вод}$ ), прикладываемый водителем к рулевому колесу (РК) вместе с моментом колеса ( $M_{кол}$ ), передается через рулевой вал в виде момента рулевого вала ( $M_{рв}$ ) и через датчик момента на редуктор (Р), где складываясь с моментом компенсации ( $M_{комп}$ ), развиваемый электроприводом (ВИП), поступает через детали рулевого привода (РП) на управляемые колеса.

В среде MatLab Simulink разработана модель ЭМУР. Силу, необходимую для поворота управляемых колес стоящего на горизонтальной поверхности автомобиля, можно найти исходя из суммарного момента (2) на цапфах управляемых колес:

$$M_{\Sigma} = M_f + M_{\varphi} + M_{\beta} + M_{\gamma}, \quad (2)$$

где  $M_f$  – момент сопротивления перекачиванию управляемых колес при их повороте вокруг шкворней;  $M_{\varphi}$  – момент сопротивления деформации шин и трения в контакте с опорной поверхностью вследствие проскальзывания шины;

$M_\beta$  и  $M_\gamma$  – моменты, обусловленные поперечным и продольным наклонами шкворней.

Достаточно близкие значения  $M_\Sigma$  – дает полуэмпирическая формула (3):

$$M_\Sigma = \frac{10^{-3} \mu}{3} \sqrt{\frac{R_{zF}^3}{p_{ш}}}, \quad (3)$$

где  $R_{zF}$  – осевая нагрузка, передаваемая управляемыми колесами;  $p_{ш}$  – давление в шине;  $\mu$  – коэффициент трения шины о дорогу.

Таким образом сила усилителя  $P_y$  определяется по формуле (4):

$$P_y = \frac{M_\Sigma}{i_y \cdot i_{ук}}, \quad (4)$$

где  $i_{ук}$  – передаточное число между усилителем и управляемыми колесами;  $i_y$  – плечо силы  $P_y$ .

В среде MatLab было проведено моделирование работы ЭМУР с целью формирования трехмерных пространственных представлений зависимостей (рис. 8) суммарного момента  $M_\Sigma$  (5) и момента компенсации  $M_{комп}$  (6):

$$1) \quad M_\Sigma = F_{M_\Sigma}(Q, V), \quad (5)$$

$$2) \quad M_{комп} = F_{M_{комп}}(Q, V), \quad (6)$$

для областей определения скорости движения автомобиля  $R_V \in (V_{min}; V_{max})$ , где  $V_{min}=0$  км/ч и  $V_{max}=120$  км/ч, и угла поворота рулевого колеса  $R_Q \in (Q_{min}; Q_{max})$ , где  $Q_{min}=0^\circ$  и  $Q_{max}=8^\circ$ .

Полученные результаты моделирования работы усилительной электромеханической системы рулевого управления свидетельствуют об адекватности построенной модели реальной системе и возможности ее применения при проведении дальнейших исследований в проблематике оценивания усилий в рулевых механизмах и при проектировании автомобилей. Методика, использованная для моделирования системы ЭМУР может быть применена для моделирования электромеханических усилителей другой конструкции.

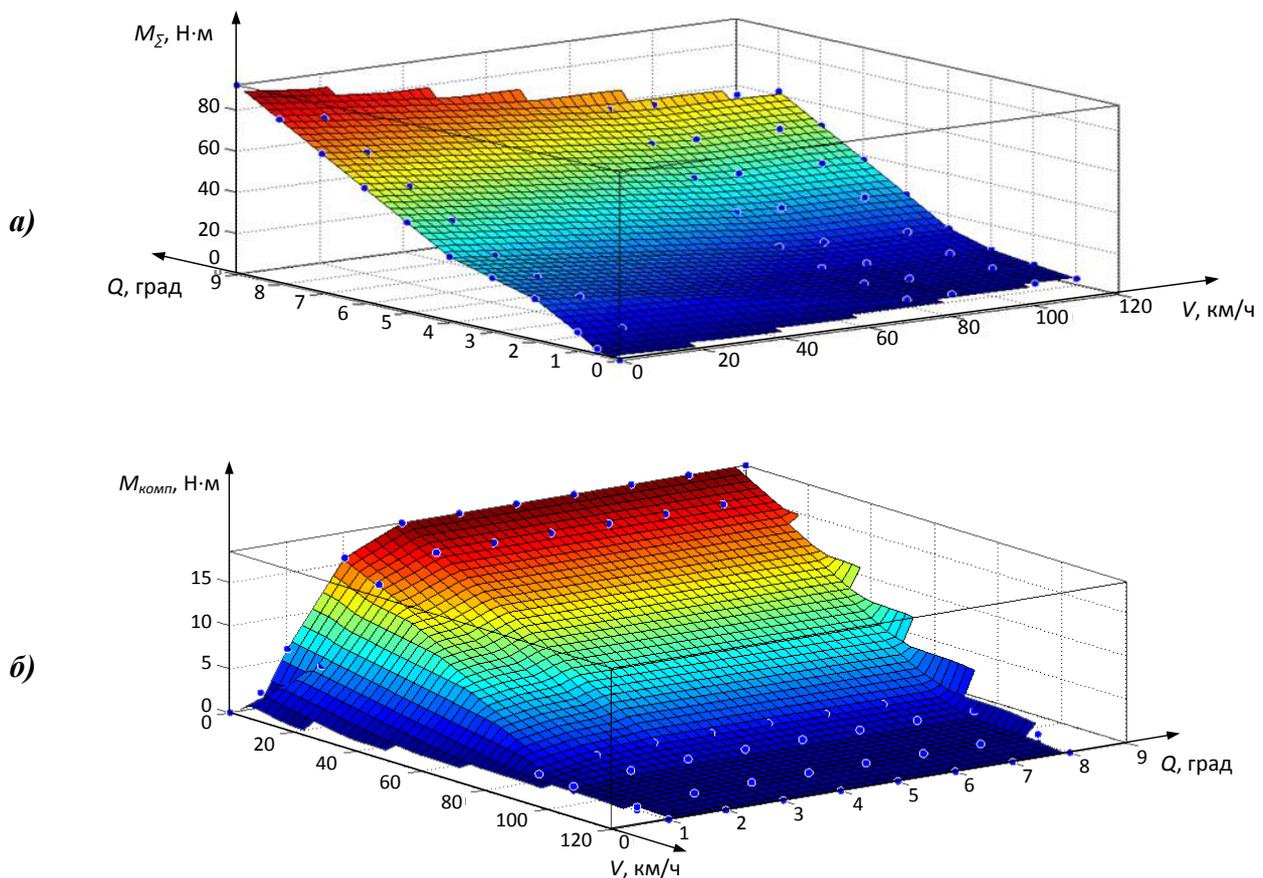


Рис. 8. Зависимость суммарного момента а) и момента компенсации б) от скорости движения автомобиля и угла поворота рулевого вала

Для оценки качества работы предлагаемой автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал проведена оценка поведения системы «водитель-автомобиль» при срабатывании данной системы. Для этого рассмотрим, как изменяется суммарный момент  $M_{\Sigma}$  при совершении водителем маневра и срабатывании автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал. Всего можно выделить четыре расчетных состояния момента:

1. До момента срабатывания автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал суммарный момент, создаваемый водителем  $M_{вод}$  и ЭМУР  $M_{комп}$  для смены полосы движения (7), можно записать следующим образом:

$$M_{\Sigma 1} = M_{вод1} + M_{комп1} \quad (7)$$

2. После обнаружения в области «слепой» зоны транспортного средства и попытки водителем совершить маневр, система обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал автоматически уменьшает момент, создаваемый ЭМУР. При этом момент, прикладываемый водителем для совершения маневра остается прежним (8) вследствие инертности самого водителя и тогда можно записать суммарный момент:

$$M_{\Sigma 2} = M_{вод1} + M_{комн2}, (M_{комн2} < M_{комн1}) \quad (8)$$

3. При изменении момента компенсации, создаваемого ЭМУР, водитель будет стремиться компенсировать изменение этого момента самостоятельно и суммарный момент (9) будет рассчитываться следующим образом:

$$M_{\Sigma 3} = M_{вод2} + M_{комн2}, (M_{вод2} > M_{вод1}; M_{\Sigma 1} > M_{\Sigma 3}) \quad (9)$$

4. Помимо трех рассмотренных выше ситуаций возможно четвертое расчетное состояние суммарного момента – когда другое ТС пропадает из «слепой» зоны, например притормаживает, при этом система ослабляет усилие на руле рассматриваемого автомобиля, а водитель все еще создает достаточно большой момент на рулевом колесе, пытаясь перестроиться. В таком случае возможен рывок рассматриваемого автомобиля в сторону соседней полосы. В связи с этим данная ситуация представляет наибольший интерес для исследования безопасности применения автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал автомобиля. Суммарный момент (10) для этого случая будет выглядеть следующим образом:

$$M_{\Sigma 4} = M_{вод2} + M_{комн4}, (M_{комн4} > M_{комн2}) \quad (10)$$

Проведем моделирование совместной работы автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал и ЭМУР на модели автомобиля и с учетом поведения водителя как человека-оператора, в результате получим трехмерную пространственную поверхность (рис. 9), описывающую изменение угла поворота колес  $\theta_F$  (11) во времени в зависимости от скорости.

$$\theta_F = F_{\theta_F}(V, t), \quad (11)$$

для областей определения  $R_V \in (V_{min}; V_{max})$ , где минимальная скорость движения автомобиля –  $V_{min}=20$  км/ч и максимальная скорость движения автомобиля –  $V_{max}=120$  км/ч, и  $t$  – время моделирования.

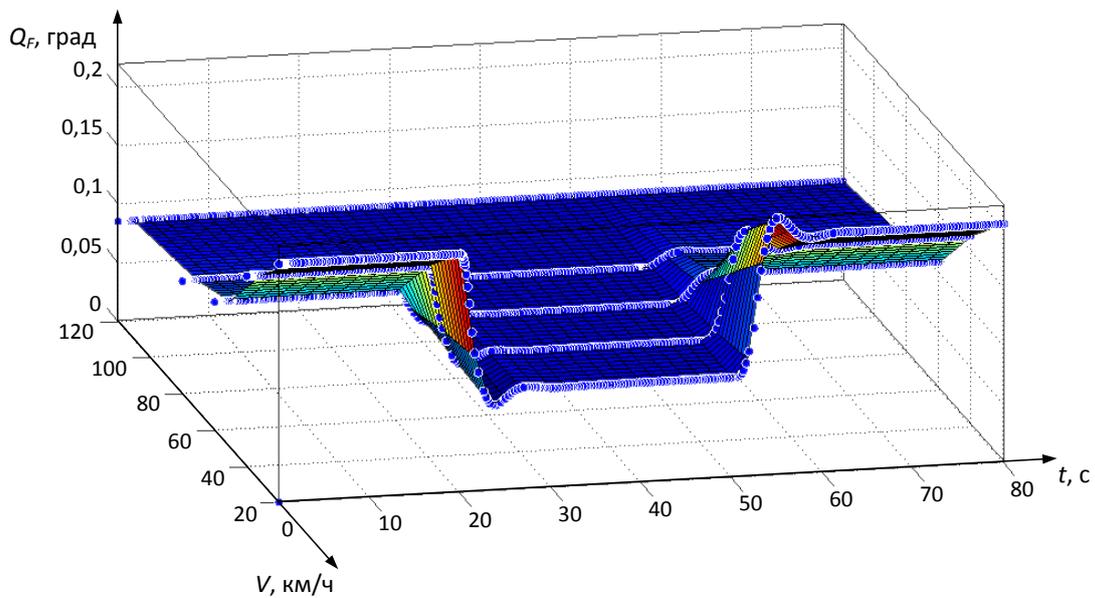


Рис. 9. Изменение угла поворота колес во времени в зависимости от скорости при работе автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал для управления автомобилем

Полученное трехмерное пространственное представление зависимостей наглядно показывает степень изменения угла поворота колес. Однако для удобства анализа выполним дискретизацию поверхности, представленной на рис. 7, по координате  $V \in R_V$  (рис. 10). Изменяя шаг дискретизации по оси  $V$ , можно получить любое требуемое количество сечений поверхности  $\theta_F$ .

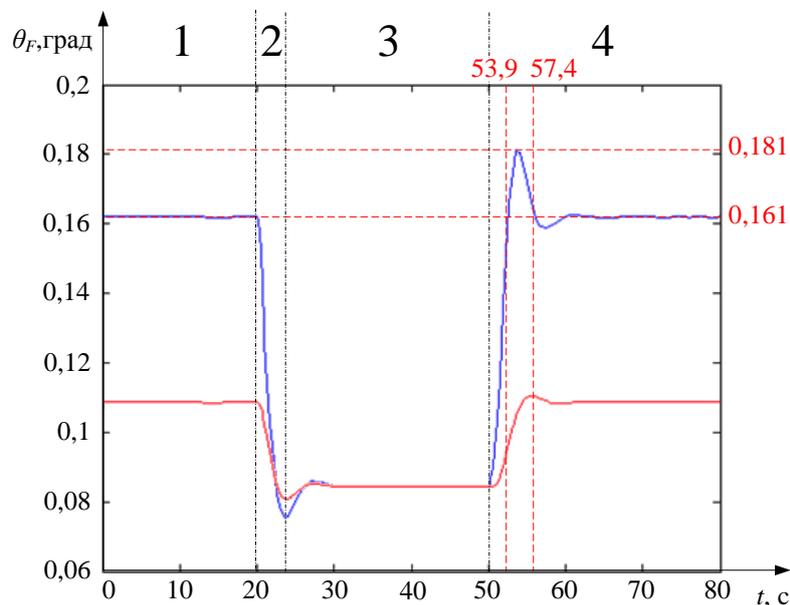


Рис. 10. Изменение угла поворота колес  $\theta_F$  во времени при скоростях 40 км/ч (верхний график) и 60 км/ч (нижний график):

- 1) до момента срабатывания автоматической системы активного контроля «слепой» зоны;
- 2) после обнаружения в области «слепой» зоны транспортного средства и попытки водителем совершить маневр;
- 3) при изменении момента компенсации, создаваемого ЭМУР;
- 4) ТС пропадает из «слепой» зоны.

Из анализа полученных результатов видно, что максимальный угол поворота колес не превышает  $0,18^\circ$  и, следовательно, можно сделать вывод, что максимальное смещение на расстоянии  $L=346$  м при таком угле поворота колес составит 1,08 м. Однако, из рис. 8 видно, что максимальное время регулирования (всплеска) не превышает 3,5 с., а, следовательно, с учетом скорости движения можно сделать вывод, что автомобиль не успеет проехать все расстояние  $L$ . Для скорости движения автомобиля, например 40 км/ч, т.е.  $\approx 11,1$  м/с он сможет проехать 38,8 м, а, следовательно, боковой увод АТС не превысит 0,176 м.

Полученные результаты (рис. 10) свидетельствуют о целесообразности применения разработанной автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал в составе автомобиля. После комплексных исследований на модели в системе MatLab создана эффективная база для проведения экспериментов на реальном автомобиле в реальных условиях окружающей обстановки.

**Четвёртая глава** посвящена разработке программно-аппаратной реализации автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал. Разработан алгоритм установки сенсоров на различные модели транспортных средств (рис. 11-14), основанный на параметрах обзорности с места водителя. На основе предложенного алгоритма создано программное обеспечение, реализующее его основные приемы. Проведено исследование и тарировка датчика для мониторинга «слепой» зоны и обоснована целесообразность его применения в составе предложенной системы.

На рис. 11 отображен способ установки датчиков на бампере в вертикальной плоскости, где:  $h$  – высота установки датчика;  $a$  – дальность приема датчика;  $b$  – максимальный радиус приема датчика;  $x$  – искомый угол продольной оси датчика к горизонтальной плоскости. Датчики следует устанавливать под некоторым углом к уровню дороги с тем, чтобы в область приема датчиков не попадала само дорожное полотно.

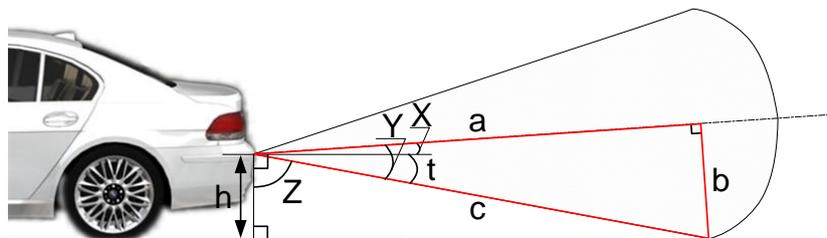


Рис. 11. Установка датчика на бампере в вертикальной плоскости.

Рисунок 12 иллюстрирует способ установки датчиков на бампере в горизонтальной плоскости, где:  $L$  – расстояние от центральной стойки до места установки датчика;  $L1$  – расстояние  $L$  + расстояние до окулярных точек

водителя;  $c$  – расстояние от боковой продольной оси автомобиля до места установки датчика;  $M$  – расстояние, определяемое экспериментальным путем, исходя из максимальной дальности и площади покрытия «слепой» зоны диапазоном приема выбранного датчика;  $y$  – искомый угол положения продольной оси датчика относительно продольной плоскости автомобиля.

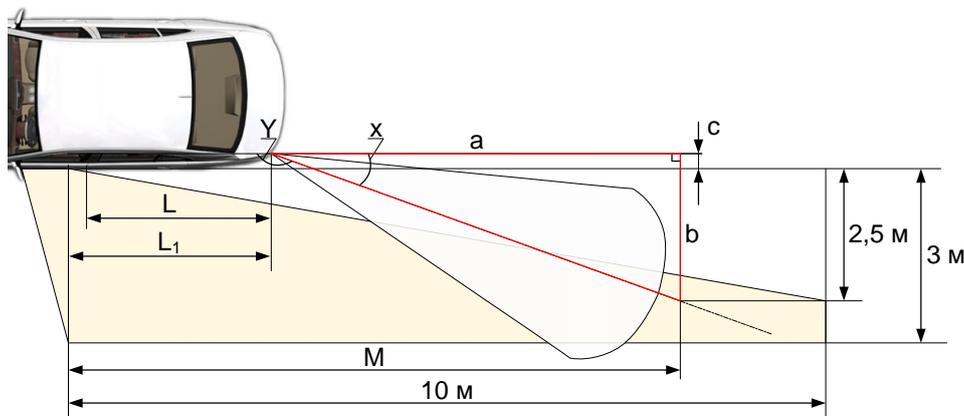


Рис. 12. Установка датчика на бампере в горизонтальной плоскости.

По аналогии с установкой датчиков на бампере на рис. 13 и 14 представлен способ установки датчиков под зеркалами, соответственно, в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Здесь для вертикальной плоскости:  $w$  – высота установки датчика;  $a$  – дальность приема датчика;  $b$  – максимальный радиус приема датчика;  $x$  – искомый угол продольной оси датчика к горизонтальной плоскости. Для горизонтальной плоскости:  $k$  – расстояние от центральной стойки до места установки датчика;  $k_1$  – расстояние  $k$  - расстояние до окулярных точек водителя;  $M$  – расстояние, определяемое экспериментальным путем, исходя из максимальной дальности и площади покрытия «слепой» зоны диапазоном приема выбранного датчика;  $x$  – искомый угол положения продольной оси датчика относительно продольной плоскости автомобиля.

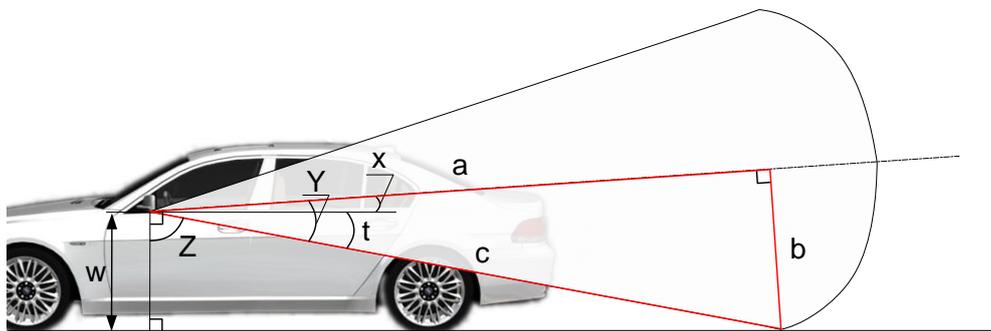


Рис. 13. Установка датчика под зеркалом в вертикальной плоскости.

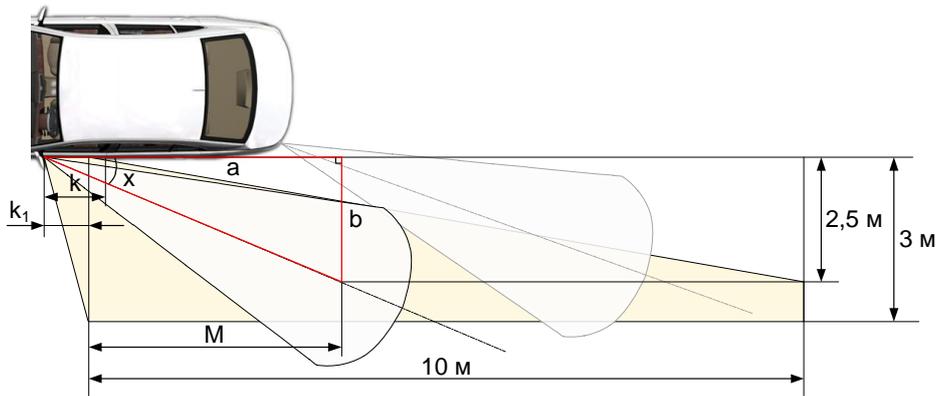


Рис. 14. Установка датчика под зеркалом в горизонтальной плоскости.

С целью проверки правильности выбранных датчиков и тестирования разработанной методики их установки, а также проверки жизнеспособности предлагаемой системы был спроектирован и изготовлен блок управления автоматической системой обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал автомобиля (рис. 15), подобраны основные компоненты и изготовлен образец для проведения испытаний.

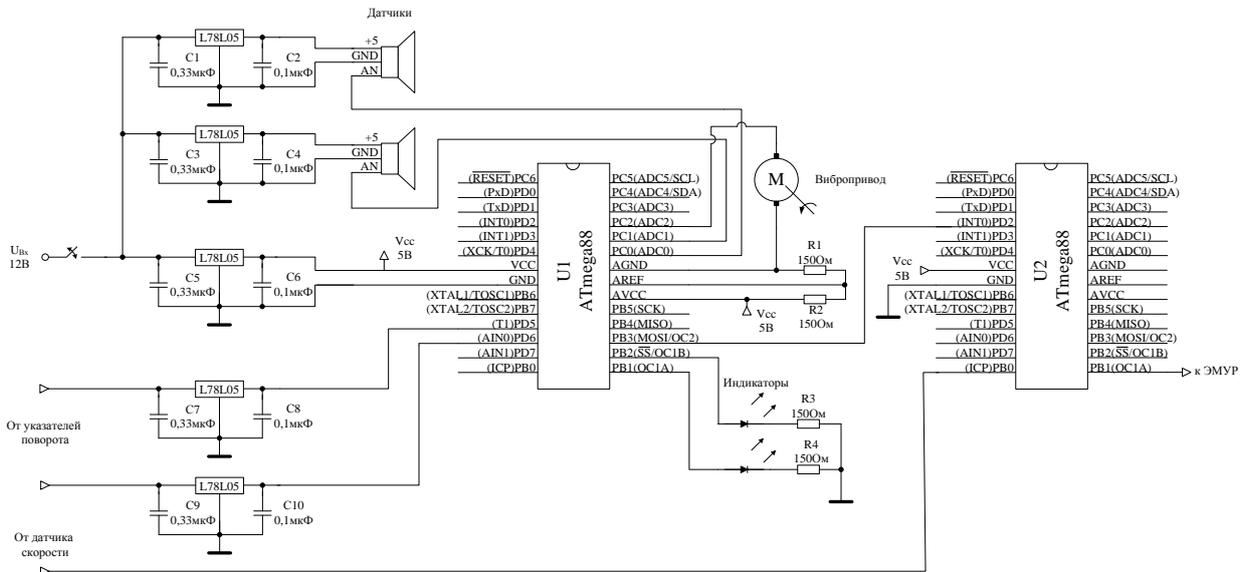


Рис. 15. Принципиальная электрическая схема блока управления автоматической системой обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал для управления автомобилем.

В основе автоматического блока обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал лежит микроконтроллер с ядром AVR фирмы Atmel. Среди микроконтроллеров AVR существует специально разработанная серия «Automotive», предназначенная для использования в составе ТС, среди таких микроконтроллеров можно выделить ATmega88-15AZ. В схеме, представленной на рис. 15 использовано два микроконтроллера (U1 и U2). Микроконтроллер U1 отвечает за мониторинг «слепых» зон, а микроконтроллер U2 отвечает за корректировку скорости. Микроконтроллер U1 передает управляющий сигнал с линии PB3 на линию внешних прерываний

PD2 микроконтроллера U2. Таким образом обеспечивается непрерывный контроль и, в случае необходимости, преобразование сигнала скорости.

При включении автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал контроллер считывает сигнал датчика скорости и без изменения передает его на ЭМУР. В режиме постоянной работы производится опрос сразу двух контуров системы и в соответствии с этим вырабатываются управляющие сигналы на индикаторы, вибропривод и модуль создания усилия на рулевом колесе. При этом контроллер считывает сигнал датчика скорости автомобиля и при необходимости корректирует его с целью изменения момента компенсации ЭМУР. При включении режима работы по указателю поворота выполняются те же действия, что и в случае постоянной работы, но опрос конкретного контура активируется включением указателя поворота. Для этого после определения включения данного режима необходимо производить опрос состояния переключения указателей поворота.

На основании описанного выше механизма работы сформирован упрощенный алгоритм работы всей системы, представленный на рис. 16. Алгоритм реализован в программном коде на языке ассемблер в среде Algorithm Builder.

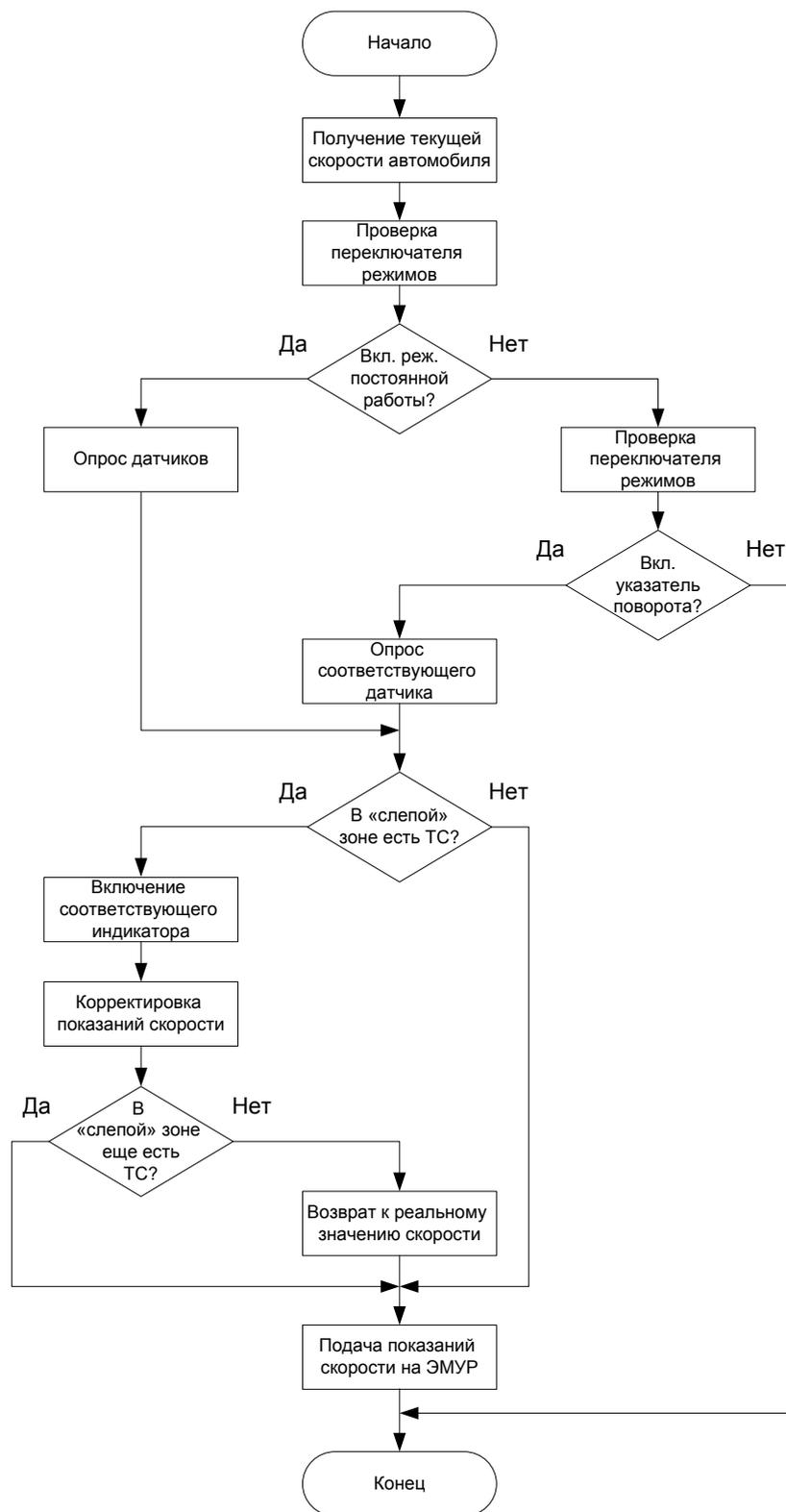


Рис. 16. Упрощенный алгоритм работы автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал для управления автомобилем.

Блок управления автоматической системой обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал вместе с измерительными преобразователями установлен на автомобиль ВАЗ 2109 и проведены их дорожные испытания в режиме мониторинга попадания транспортных средств в зону действия датчиков (рис. 17). Проведенные испытания подтвердили

правильность проведенных расчетов по методике установки измерительных сенсоров и правильность работы алгоритма управления блоком контроля «слепой» зоны.

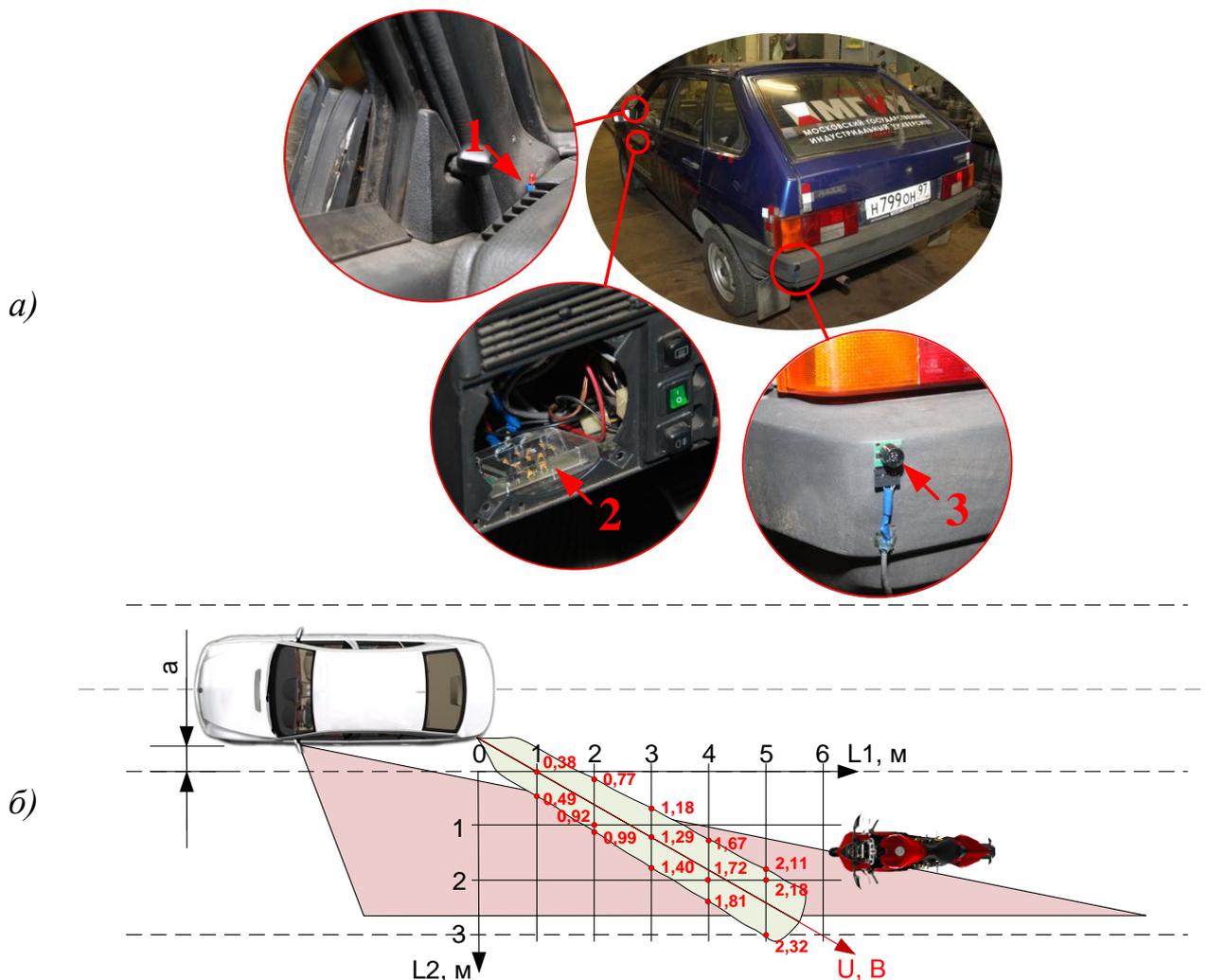


Рис.17. Испытания автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал

- a) места установки: 1 – индикатор; 2 – блок управления; 3 – датчик;  
 б) Обнаружение подвижных объектов.

Полученные параметры активной автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал ТС полностью удовлетворяют установленным требованиям:

- Быстродействие 57,208 мс;
- Покрывтие «слепой» зоны до 6,5 м от бампера автомобиля;
- Минимальная площадь обнаруживаемого объекта 0,062 м<sup>2</sup>;
- Максимальный боковой увод составляет 0,176 м при скорости 40 км/ч;
- Работа в условиях плохой видимости на основе ультразвуковых волн;
- Работа в широком диапазоне температур (-40 ÷ +70);
- Пылезащищенность:
  - блок управления: класс 5;

- измерительные преобразователи: класс 6;
- Влагозащищенность:
  - измерительные преобразователи : класс 7;
- Защита провода от электромагнитного излучения экранированием.

**В заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы.

### **Основные результаты**

1. Проведен анализ существующих систем безопасности ТС и в частности систем, отвечающих за контроль пространства вокруг автомобиля. Выявлены основные недостатки существующих систем контроля «слепой» зоны, устранение которых способствует повышению безопасности дорожного движения за счет уменьшения количества дорожно-транспортных происшествий до 8%.
2. Исследованы параметры «слепой» зоны боковых зеркал транспортного средства, что позволило разработать алгоритм активного автоматического обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал ТС.
3. Разработана математическая модель электромеханического усилителя рулевого управления для исследования активной автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне.
4. Исследовано поведение системы водитель-транспортное средство, оснащенной активной автоматической системой обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности применения разработанной активной автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне на реальном транспортном средстве.
5. Разработаны алгоритм и программа расчета места размещения сенсоров на различных моделях автомобилей для активного автоматического обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне.
6. Разработана программно-аппаратная реализация блока управления активной автоматической системой обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал ТС.
7. Проведены испытания работы активной автоматической системы обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал на автомобиле. Результаты испытаний позволили сделать вывод о правильности предлагаемых методов обнаружения подвижных объектов в «слепой» зоне боковых зеркал автомобиля и воздействия как на водителя, так и на автомобиль.

## **Список печатных работ, опубликованных по теме диссертационной работы:**

1. Палагута К.А., Крюков А.И. Система контроля «мертвой зоны» боковых зеркал автомобиля // Сборник научных докладов: VIII Международная научно-практическая конференция «Молодые ученые – промышленности, науке и профессиональному образованию: проблемы и новые решения» – 2009. – С. 64-67.
2. Палагута К.А., Крюков А.И., Шубникова И.С. Система управления движением автомобиля, обеспечивающая контроль препятствия и его объезд // Сборник научных докладов: VIII Международная научно-практическая конференция «Молодые ученые – промышленности, науке и профессиональному образованию: проблемы и новые решения» – 2009. – С. 67-69.
3. Крюков А.И., Шубникова И.С., Плотников А.В. Модель автомобиля // Лучшие проекты IX Всероссийской выставки Научно-технического творчества молодежи – 2009. – С. 103-104.
4. Палагута К.А., Крюков А.И. Система контроля «мертвой зоны» боковых зеркал автомобиля // Научно-теоретический и прикладной журнал широкого профиля «Известия МГИУ. Естественные и технические науки» – 2009. – №4(17) – С. 12-17.
5. Палагута К.А., Крюков А.И., Шубникова И.С. Система управления движением автомобиля, обеспечивающая контроль препятствия и его объезд // Материалы научно-практической конференции «ИНФО-2009: качество, безопасность, диагностика. Инновации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий» – 2009. – С. 238-241.
6. Крюков А.И., Шубникова И.С., Палагута К.А. Применение системы обнаружения препятствия для контроля «мертвой зоны» автомобиля // Труды Девятого международного симпозиума «Интеллектуальные системы» 28 июня – 2010. – С. 666-670.
7. Палагута К.А., Крюков А.И., Шубникова И.С. Система автономного управления подвижной гусеничной платформой // Материалы научно-практической конференции «ИНФО-2010: качество, безопасность, диагностика. Инновации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий» – 2010. – С. 449-452.
8. Шубникова И.С., Крюков А.И., Палагута К.А. Разработка системы объезда препятствия // Труды международного симпозиума «Надежность и качество» – 2010. – С. 327-330.
9. Крюков А.И., Палагута К.А. Система контроля «мертвой зоны» боковых зеркал автомобиля // Проектирование колесных машин и двигателей

- внутреннего сгорания: Сборник докладов на конференции, посвященной 100-летию со дня рождения А.М. Кривера. Секция «Автомобили и двигатели» – 2010. – С. 43-53.
10. Крюков А.И., Палагута К.А. Система контроля «мертвой зоны» боковых зеркал автомобиля // **Патент РФ №96822 U1 B60R1/02**, 20.04.2010.
  11. Шубникова И.С., Крюков А.И., Палагута К.А. Система автономного перемещения транспортного средства // Материалы 4-й Всероссийской мультиконференции по проблемам управления – 2011. – Том 2. С. 436-438.
  12. Крюков А.И., Шубникова И.С., Палагута К.А. Система автономного управления подвижной гусеничной платформой // Материалы научно-практической конференции «Инновации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий» – 2011.
  13. Шубникова И.С., Крюков А.И., Палагута К.А. Выбор системы измерительных преобразователей и способ их установки для системы активной безопасности транспортного средства // Труды 2-ой Международной научно-практической конференции «Итоги и перспективы интегрированной системы образования в высшей школе России: образование – наука – инновационная деятельность» – 2011. – С. 794-796.
  14. Шубникова И.С., Крюков А.И., Палагута К.А. Выбор системы измерительных преобразователей для контроля препятствий // Сборник научных трудов научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых автомобильного факультета: «Молодая наука АФ – 2011» – 2011.
  15. Крюков А.И., Палагута К.А. Способ установки сенсоров системы контроля «мертвой зоны» боковых зеркал автомобиля // Сборник научных трудов научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых автомобильного факультета: «Молодая наука АФ – 2011» – 2011.
  16. Крюков А.И., Палагута К.А. Система предупреждения водителя о нахождении его автомобиля в «мертвой зоны» // Труды международного симпозиума «Надежность и качество» – 2011. – Том 2. С. 179-180.
  17. Палагута К.А., Крюков А.И., Шубникова И.С. Разработка системы контроля «слепой» зоны боковых зеркал автомобиля // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2012. №5-6. – С. 21-26. **(из списка, рекомендованного ВАК)**
  18. Крюков А.И., Палагута К.А. Моделирование системы активного контроля «слепой» зоны боковых зеркал автомобиля // Материалы IX научно-практической конференции «ИНФО-2012: Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий» – 2012. – С. 400-404.

19. Крюков А.И., Система контроля «слепой» зоны как составляющая активной безопасности автомобиля // Естественные и технические науки. – 2013. – №4(66). С. 180-182. **(из списка, рекомендованного ВАК)**
20. Крюков А.И., Шабалина Т.А., Шубникова И.С., Палагута К.А. Разработка системы определения нахождения транспортного средства (тс) в «слепой» зоне чужого транспортного средства // Материалы X научно-практической конференции «ИНФО-2013: Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий» – 2013. – С. 248-250.
21. Крюков А.И., Палагута К.А., Широков Л.А. Моделирование работы усилительной электромеханической системы рулевого управления // Машиностроение и инженерное образование. – 2013. – №4(37). – С. 37-45. **(из списка, рекомендованного ВАК)**
22. Крюков А.И., Палагута К.А., Бебенин В.Г. Оценка поведения эргатической системы «водитель-автомобиль» при работе активной системы контроля «слепой» зоны // Естественные и технические науки. – 2013. – №6(68). – С. 474-479. **(из списка, рекомендованного ВАК)**
23. Крюков А.И., Кузнецов А.В., Тройков С.М., Шубникова И.С., Бебенин В.Г., Палагута К.А. Применение программной среды LabVIEW для разработки и исследования систем управления летательными аппаратами // Труды международного симпозиума «Надежность и качество» – 2014.
24. А.И. Крюков, А.А. Алексеев, И.С. Шубникова, К.А. Палагута Анализ измерительных преобразователей, применяемых в системах активной безопасности автотранспортных средств // научно-технический журнал «Труды ФГУП «НПЦАП». – 2014. – №3. – С. 66-76. **(из списка, рекомендованного ВАК)**