

## **БОРТОВАЯ СИСТЕМА ОЦИФРОВКИ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ**

**Представлена организация и архитектура бортовой системы оцифровки траектории движения автомобиля на основе средств спутниковой навигации, а также спроектирован её вариант – прототип системы. Предложены рекомендации по выбору безопасной траектории движения автомобиля в условиях дефицита информации.**

**Ключевые слова:** оцифровка траектории движения автомобиля, компьютерная поддержка водителя, средства спутниковой навигации «ГЛОНАСС/GPS».

Плохие условия видимости границ дороги значительно повышают риск возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Траектория движения автотранспортных средств (АТС) вне установленного коридора движения создает опасность для всех участников движения. Примером являются ДТП, возникающие в условиях дефицита информации не только из-за сильных туманов, ливней, снежных и песчаных бурь, но и в ситуациях, когда ровный слой снежного покрова создает ложный эффект «иллюзии» кажущихся водителю границ дороги. Известны случаи, когда целые группы транспортных средств из-за ошибки одного АТС, задающего траекторию движения, создавали крупное ДТП и нарушали работу всей дорожно-транспортной системы на длительное время. Одним из современных способов решения указанной проблемы является активное развитие систем компьютерной поддержки водителя и автоматизированная привязка АТС к заранее оцифрованным границам дороги с использованием средств спутниковой навигации (ССН) «ГЛОНАСС/GPS».

Под дефицитом информации в работе понимается фактическая нехватка визуальной и навигационной информации об окружающей среде, обладающей существенной важностью для определения местоположения и осуществления управляющего воздействия по выбору скоростного режима и траектории движения АТС [1].

В научно-технической литературе по навигации транспорта известны работы по использованию ССН «ГЛОНАСС/GPS» для определения положения АТС относительно оцифрованных границ дороги, например: малогабаритная интегрированная инерциальная навигационная система «КомпаНав-3» (разработка ком-

пании ООО «ТеКнол», г. Москва), позволяющая определять положение мобильного объекта на дороге по данным приемника «СНС НАВИС NV08C-CSM». Активно ведутся работы над повышением точности определения местоположения мобильных и стационарных объектов с использованием: одновременного использования информации от спутников «ГЛОНАСС» и «GPS» [1], контролем дифференциальных поправок по отношению к точно определенным координатам стационарных объектов [3], инерциальных MEMS-датчиков и одометра [1], уточненной эфемеридно-временной информации [7]. При этом заявленная в работах [1], [3]–[7] точность определения местоположения объектов от использования и сочетания различных подходов составляет от 4 до 48 см. Заявленная ЗАО «Российские космические системы» точность от одновременного использования информации со спутников «ГЛОНАСС» и «GPS» и при длительной её регистрации составляет менее 2 см.

В теории и практике регистрации и оцифровки траектории движения автомобилей относительно левой и правой границ дороги следует отметить также следующие достижения ученых и разработчиков научно-производственных, академических и вузовских организаций:

- способ определения положения транспортного средства относительно линии дорожной разметки [6] с помощью оптико-локационных блоков, которыми измеряют расстояния от линии дорожной разметки до транспортного средства и угол отклонения продольной оси АТС относительно линии дорожной разметки посредством одного оптико-локационного блока;
- передвижной дорожный сканер «АДС-МАДИ» (разработка «Московского автодорож-

ного института (ГТУ)», г. Москва), позволяющий регистрировать левую и правую границу дороги по данным автоматической обработки цифрового потокового видео;

– способ и система для определения положения и ориентации подвижного объекта [4] по патенту РФ №2241958 (разработка ФГУП «НИИ электрофизической аппаратуры им. Д.В. Ефремова», г. Санкт-Петербург), позволяющие определять положение мобильного объекта по данным 6 дифференциальных датчиков магнитного поля;

– способ определения положения транспортного средства при движении [5], включающий использование ССН с 3 приемниками, антенны которых установлены на концах штанг и жестко связаны с кузовом АТС, для определения траектории движения и положения автомобиля в пространстве для каждого момента проведения измерения координат.

Анализ современных публикаций показал, что, несмотря на имеющиеся достижения в области методологии обеспечения активной безопасности АТС, существующие серийные отечественные и зарубежные информационно-навигационные системы, имеют высокую стоимость (от 400 тыс. руб. до 3,5 млн руб.). Это является в ряде случаев сдерживающим фактором их широкого применения, например, в научных исследованиях небольших лабораторий или в учебно-исследовательских работах. Существует также острая необходимость повышения внешней информативности российских автомобилей на основе развития отечественных информационно-навигационных технологий для обеспечения водителей актуальной информацией о положении АТС на дороге.

Целью работы является повышение активной безопасности автотранспортных средств в условиях дефицита информации об окружающей среде на основе повышения его внешней информативности при заданных стоимостных ограничениях, предъявляемых к системам оцифровки траектории движения АТС (около 35–40 тыс. руб.).

Для достижения поставленной цели определена организация и архитектура бортовой системы оцифровки траектории движения автомобиля, а также спроектирован её вариант – прототип системы. Для автоматизации сбора, регистрации и обработки данных о траектории движения АТС с использованием ССН «ГЛО-

НАСС/GPS» разработан пакет прикладных программ, а также предложены рекомендации по выбору безопасной траектории движения автомобиля в условиях дефицита информации.

В процессе исследований также решались следующие задачи: исследование точностных параметров ССН «ГЛОНАСС/GPS» в реальных условиях при определении границ дороги и положения АТС; анализ возможности передвижения АТС в условиях дефицита информации с использованием специальных методов навигации, основанных на разрабатываемых авторами специальных средствах цифровой регистрации границ дороги на опасных участках дорог и мониторинга местоположения АТС в процессе его передвижения.

На рисунке 1 представлена структурная схема системы оцифровки траектории движения автомобиля.

Входными параметрами системы являются:

– координаты широты, долготы и высоты  $K=\{x, y, z\}$  местоположения АТС по данным средств спутниковой навигации  $M_1$  и  $M_2$ ;

– вектор настроечных параметров  $R$  системы оцифровки траектории движения АТС;

– параметры метода аппроксимации  $W=\{m_i, d\}$  где  $m_i$  – алгоритм аппроксимации,  $d$  – диапазон аппроксимируемых координат траектории движения АТС;

– поток видео информации  $V_R$  под передним мостом АТС;

– вектор значений сигналов  $Zt$  в моменты времени  $t$  от одометра;

– вектор продольных и поперечных уклонов  $Gt=\{p, r\}$  в моменты времени  $t$  от датчика угла наклона, установленного на задней оси АТС.

Выходными параметрами системы являются: оцифрованная траектория движения мобильного объекта  $T$ , оценка погрешности  $\Delta$  позиционирования АТС, поток видео информации  $V_R$  под передним мостом АТС, координаты  $K$  текущего местоположения АТС, углы наклона  $Gt=\{p, r\}$  дорожного полотна.

В качестве мобильного объекта было выбрано легковое транспортное средство «ВАЗ-21140». Навигационное оборудование: «ГЛОНАСС/GPS»-модули типа «SIM18EVВ KIT» (1 Гц) и «SIM68EVВ KIT» (10 Гц).

Сопряжение навигационного оборудования с ноутбуком «iRU Stilo 1514L CD» осуществлялось через USB интерфейс. Сопряжение одомет-

ра автомобиля «ВАЗ-21140» через LPT интерфейс ноутбука с использованием адаптера, в состав которого входит фильтр верхних и низких частот, триггер Шмидта. Для непрерывного питания системы оцифровки траектории движения АТС использовался преобразователь напряжения на 300 Вт для получения электропитания переменного тока 200 В от аккумуляторной батареи автомобиля. Для фиксации дорожной разметки под передним мостом автомобиля использовался автомобильный видеорегистратор «SUPRA SCR-400».

На этапе сбора и регистрации координат АТС навигационное оборудование работало в режиме 10 Гц, регистрировались также показания одометра и датчика угла наклона «ДУГ51-Р11» с привязкой данных по времени и местоположению АТС на трассе.

Одометр установлен на коробке переключения передач, на механизме привода спидометра. В конструкции одометра в качестве чувстви-

тельного элемента используется устройство, использующее принцип эффекта Холла. Регистрация скорости производилась непосредственно с выхода одометра, что позволило оценивать «колесный» путь автомобиля с точностью до нескольких десятых долей метра.

Регистрация и экспресс-обработка сигналов производится в автоматизированном режиме в непосредственной близости к исследуемому объекту – эксплуатируемому АТС, что позволяет повысить точность измерений в результате исключения использования в измерительных каналах промежуточных преобразователей и сокращения линий связи, осуществлять одновременно визуальный и аппаратный контроль параметров АТС по маршруту следования, реализовать, благодаря модульной структуре бортовой системы АТС по алгоритмам и временным характеристикам, режимы проведения исследований. В результате эксплуатации бортовой системы форми-

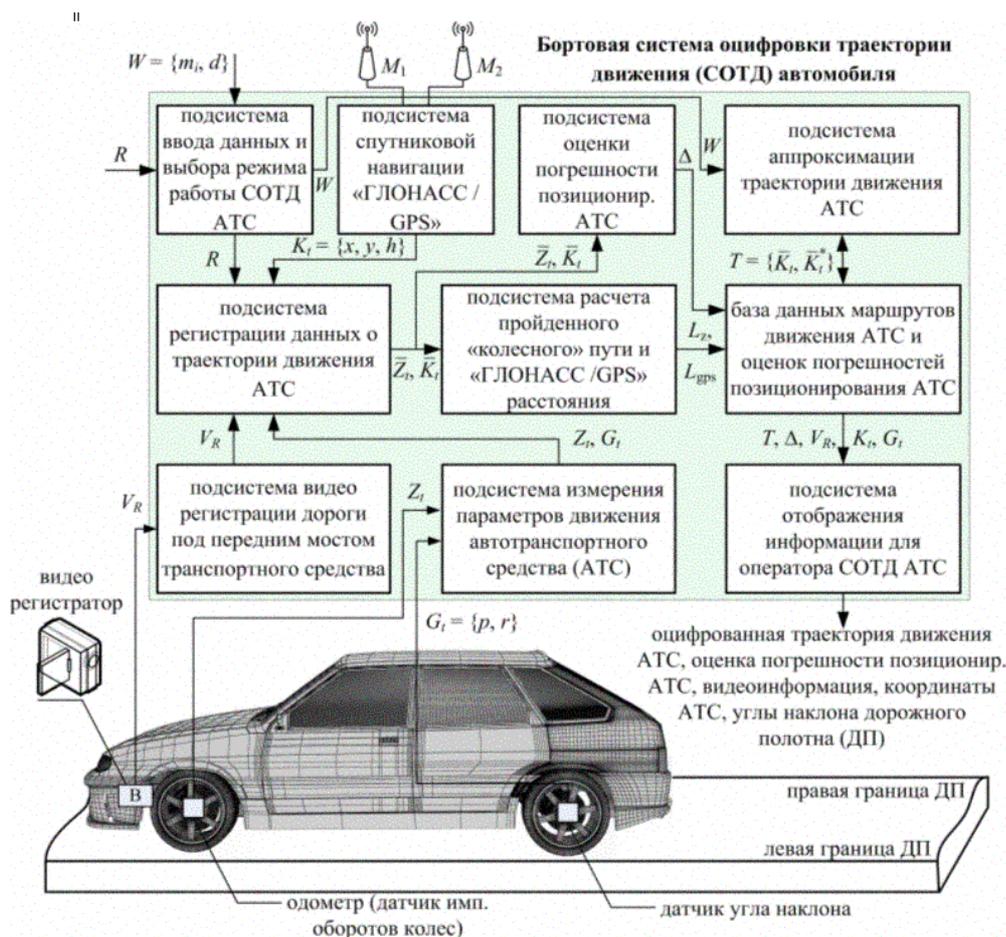


Рисунок 1. Структурная схема системы оцифровки траектории движения автомобиля с использованием средств спутниковой навигации

руется вектор координат траектории движения АТС (функция «чёрный ящик» или бортовой самописец).

Исследование точностных характеристик бортовой системы производилось с использованием навигаторов двух видов с частотой определения координат 1 Гц и 10 Гц, соответственно, «SIM18EVВ KIT» и «SIM68EVВ KIT».

На рисунке 2 представлены результаты регистрации местоположения антенны навигатора в стационарном состоянии при различной частоте выдачи координат спутниками.

Как видно из рисунка 2, при регистрации координат с частотой 10 Гц и использовании навигатора типа SIM68EVВ KIT, максимальный разброс координат не превышает 30 см.

Если принять ширину двух полосной проезжей части дороги, равной 7 метрам, то относительная погрешность нахождения местоположения АТС по антенне навигатора составит 4.3%, что свидетельствует о точности определения местоположения АТС на поверхности дороги, достаточной для надежного принятия решения о направлении маршрута движения, а при дополнительных исследованиях, может обеспечить и приемлемые условия для выбора безопасного скоростного режима АТС в условиях дефицита информации.

Естественным условиям мониторинга местоположения АТС относительно оцифрован-

ных границ дороги является наличие цифровой карты опасных участков дороги.

В процессе исследований с использованием разработанных авторами аппаратно-программных средств оцифрован участок объездной дороги г. Оренбурга в районе 707 км, спутниковое фото которого представлено на рисунке 3. Оцифрована и траектория движения АТС.

На рисунке 3 представлены фактические размеры ширины дороги и обочины на данном участке дороги. Крупным планом отдельно выделен фрагмент нахождения АТС относительно оцифрованных границ дороги. Длина маршрута составила 1348,77 м.

Точки  $M_1$  и  $M_2$  обозначают местоположения антенн подсистемы спутниковой навигации «ГЛОНАСС/GPS». Точки красного цвета обозначают координаты дискретной траектории движения АТС, которые после процедуры сглаживания формируются в вектор координат оцифрованной траектории движения АТС на местности. В качестве алгоритма сглаживания траектории движения был выбран итерационный метод скользящего усреднения. В результате сглаживания среднеквадратическое отклонение составило 0,68 м. Полученные результаты позволяют оцифровывать возможные маршруты АТС на местности и контролировать его местоположение в процессе движения.

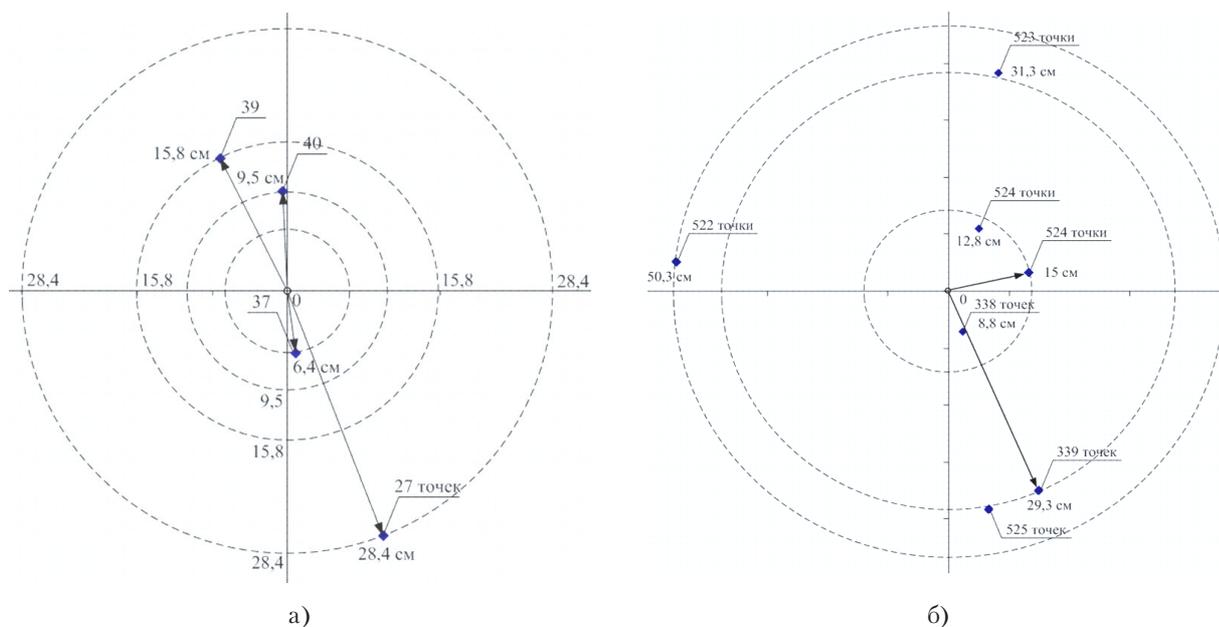


Рисунок 2. Данные рассеяния координат местоположения антенны навигатора при различной частоте регистрации координат: (а) – режим опроса 10 Гц; (б) – режим опроса 1 Гц

Результаты анализа видимой средствами спутниковой навигации траектории движения АТС и оцифрованных границ дороги свидетельствуют о достаточном разрешении взаимного положения графических линий средствами системы спутниковой навигации и обработки данных, позволяющем осуществлять мониторинг местоположения АТС относительно оцифрованных границ дороги, а если учесть наличие возможности выезда на смежную полосу и наличие обочины, то и возможность управления движением АТС в условиях дефицита информации.

При проектировании геометрических характеристик дорог изначально закладываются такие скоростные режимы и траектории движения АТС, которые обеспечивают наилучшую безопасность участников движения. Однако, выbranная кривизна дороги в любом случае характеризуется уровнем аварийности, особенно, при различных условиях видимости или сезонных изменениях на дороге. В условиях дефицита информации и сильных помех зачастую становится невозможно определить местоположение АТС, выбрать безопасную скорость и траекторию его движения относительно границ дороги.

На втором этапе исследования разработана методика выбора рекомендуемого коридора движения для АТС с учетом оценки вероятности наезда на край обочины автомобильной дороги. Методика представлена в виде алгоритма и разработанного пакета программ.

Для разработки рекомендаций авторами проведены следующие исследования:

– с использованием бортовой системы сбора, регистрации и цифровой обработки траектории движения АТС [1] получены статистические данные параметров маршрута кольцевого участка дороги по трассе Р-314 (707 км г. Оренбурга);

– рассчитаны оценки вероятностей наезда АТС на край обочины автомобильной дороги и построены гистограммы их распределений.

На рисунке 4 представлена схема выбора траектории движения АТС с учетом оценки вероятности наезда на край обочины автомобильной дороги.

Точки  $M_1$  и  $M_2$  обозначают местоположения антенн подсистемы спутниковой навигации «ГЛОНАСС/GPS», пунктирная линия от точки  $M_2$  до столбца гистограммы, позволяет определить оценку вероятности съезда АТС за преде-

лы обозначенных границ дороги с учетом метрологической погрешности навигационного оборудования. Прямоугольник в центре проезжей части представляет собой рекомендуемый коридор движения АТС для минимизации вероятности их съезда с трассы в условиях плохой видимости. Расстояния  $l_1$  и  $l_2$  обозначают полученный экспериментально диапазон разброса данных навигационного оборудования относительно левой и правой границ дорожного полотна. Расстояния  $l_3$  и  $l_5$  обозначают ширину одной полосы и обочин автомобильной дороги вне населенных пунктов согласно ГОСТ Р 52399-2005 [2], ширина  $l_4 = 1650$  мм соответствует ширине транспортного средства «ВАЗ-21140», используемого в натуральных экспериментах.

Алгоритм выбора безопасной траектории движения АТС состоит из следующих этапов:

1) с использованием разработанных аппаратно-программных средств системы оцифровки траектории движения АТС [1] регистрируются координаты левой и правой границ дорожного полотна;

2) полученные вектора координат подвергаются сглаживанию, производится построение гистограмм распределений вероятностей отклонений координат от сглаженной линии;

3) с использованием разработанного алгоритмического и аппаратно-программного обеспечения в бортовой системе АТС задается рекомендуемый коридор движения (см. рисунок 4) для отображения на матричном индикаторе бортовой системы;

4) в процессе движения АТС по опасному участку дороги водитель использует показания бортовой системы для определения отклонений от рекомендуемой траектории движения.

Экспериментальные работы по сбору, регистрации и цифровой обработке траектории движения АТС выполнены на различных участках дорог, в частности: на автомобильных трассах Р-314 и Р-316, на автодроме ОГУ и на участке загородного шоссе г. Оренбурга. Разработанная методика позволит повысить внешнюю информативность АТС с использованием приемлемых дополнительных стоимостных затрат (около 35 тыс. руб.) за счет более рационального использования данных штатных датчиков АТС и ССН «ГЛОНАСС/GPS».

Представленные результаты используются на кафедре вычислительной техники и защиты

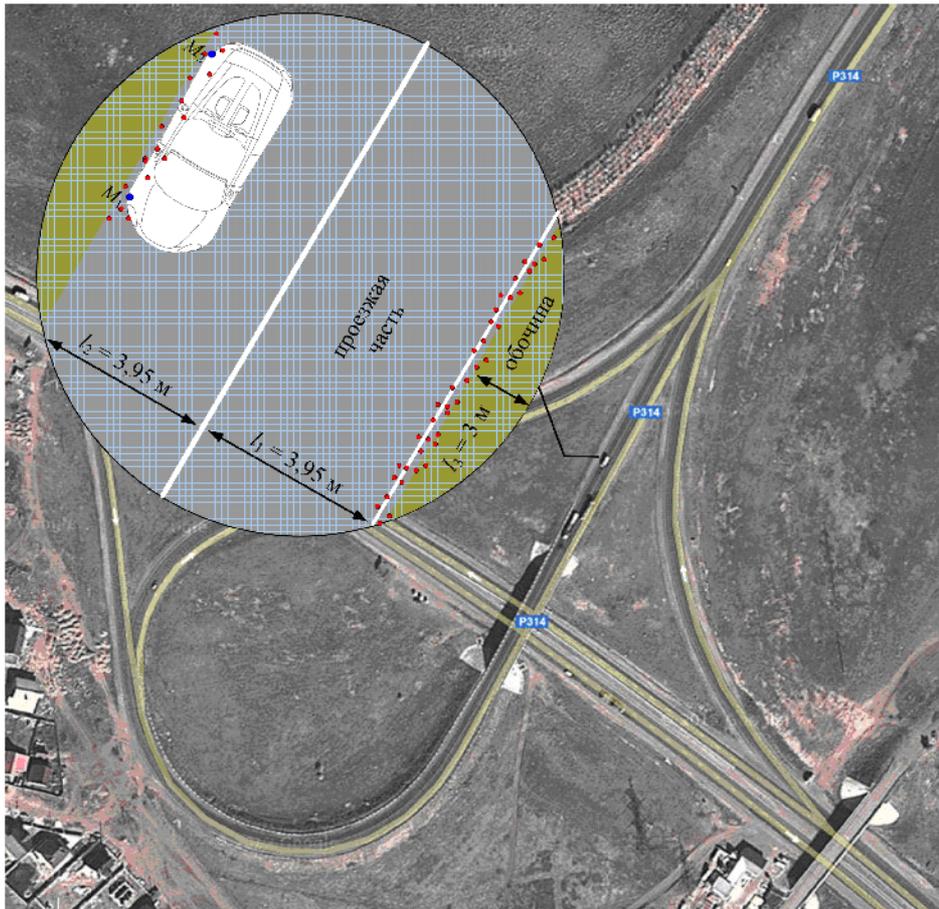


Рисунок 3. Траектория движения мобильного объекта на кольцевом участке автомобильной дороги г. Оренбурга

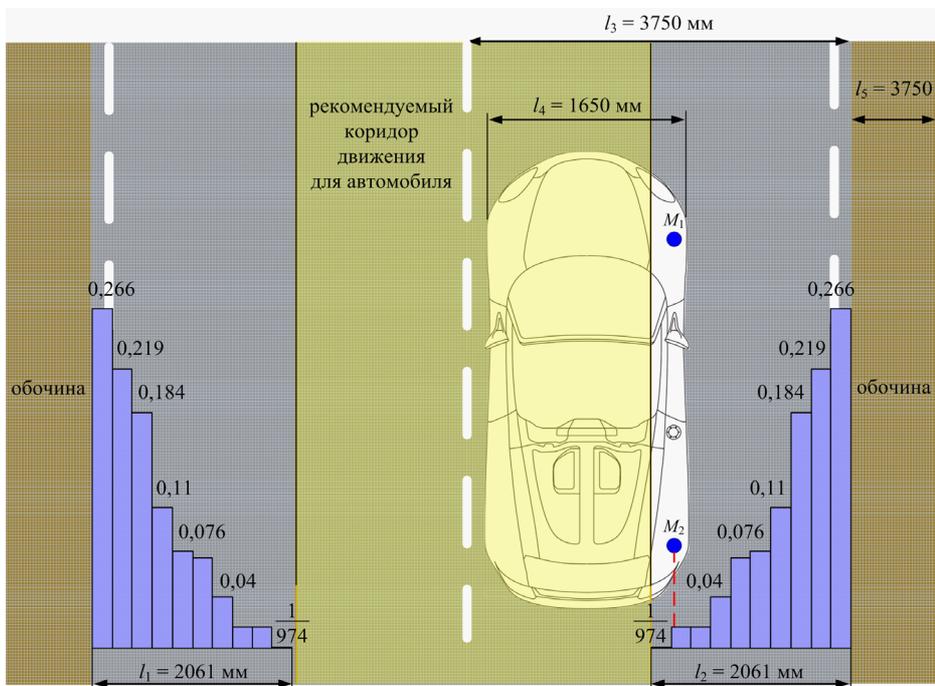


Рисунок 4. Схема выбора рекомендуемого коридора движения для автомобиля

информации ОГУ в качестве научно-методического материала при изучении дисциплин, связанных с построением специализированных систем мониторинга сложных объектов, и могут быть рекомендованы для применения при созда-

нии систем компьютерной поддержки водителей, а также при выборе безопасных скоростных режимов и траектории движения АТС с учётом геометрических характеристик дорожного полотна в условиях дефицита информации.

14.07.2014

#### Список литературы:

1. Аралбаев, Т.З. Система оцифровки траектории движения мобильного объекта с использованием средств спутниковой навигации: материалы VI всероссийской научно-практической конференции «Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии» / Т.З. Аралбаев, А.И. Сарайкин, Р.И. Хасанов. – Оренбург: ОГУ, 2013. – С. 96 – 100.
2. ГОСТ Р 52399-2005 Геометрические элементы автомобильных дорог. – М.: Стандартинформ, 2006. – 13 с.
3. Патент №2161317 Российская Федерация, МПК G01S 5/14 Система высокоточного определения местоположения объектов-потребителей навигационной информации по навигационным радиосигналам с санкционированным доступом в режиме дифференциальных поправок / Виноградов А.А., Дворкин В.В., Союзов М.В., Урличич Ю.М.; заявитель и патентообладатель : ЗАО «НПО Космического приборостроения»; опубл. 27.12.2000.
4. Патент №2241958 Российская Федерация, МПК G01C 21/00, G05D1 1/00 Способ (варианты) и следящая система для определения положения и ориентации подвижного объекта / Амосков В.М., Белов А.В., Беляков В.А. и др.; заявитель и патентообладатель : ФГУП «НИИ электрофизической аппаратуры им. Д.В. Ефремова»; – №2003134667/28; заявл. 02.12.2003; опубл. 10.12.2004, Бюл. №16. – 20 с.
5. Патент №2288451 Российская Федерация, МПК G01C 21/00 Способ определения положения мобильной машины при движении / Павлюк А.С., Павлюк С.А., Ашихмин Д.В.; заявитель и патентообладатель: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова; – №2004138625/28; заявл. 28.12.2004; опубл. 27.11.2006, Бюл. №33. – 6 с.
6. Патент №2422772 Российская Федерация, МПК G 01 C 21/26. Способ определения положения транспортного средства относительно линии дорожной разметки / В.Г. Бондарев, В.В. Бондарев; заявитель и патентообладатель В.Г. Бондарев, В.В. Бондарев. – заявка №2010103438/28; заявл. 02.02.2010 – опубл. 27.06.2011, Бюл. №18. – 10 с.
7. Подкорытов, А.Н. Высокоточное определение координат потребителя в глобальных навигационных спутниковых системах с использованием уточненной эфемеридно-временной информации / А.Н. Подкорытов // Вестник Московского авиационного института. – 2011. – Т. 18. – №3. – С. 233–239.

Сведения об авторах:

**Аралбаев Ташбулат Захарович**, заведующий кафедрой вычислительной техники и защиты информации факультета информационных технологий

Оренбургского государственного университета, доктор технических наук, профессор,  
e-mail: atz1953@gmail.com

**Сарайкин Александр Иванович**, аспирант кафедры вычислительной техники и защиты информации факультета информационных технологий Оренбургского государственного университета,  
e-mail: saraikin-a@ya.ru

**Хасанов Рафаэль Илдарович**, старший преподаватель кафедры вычислительной техники и защиты информации факультета информационных технологий

Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук  
e-mail: hasanov0401@yandex.ru

460000, г. Оренбург, Шарлыкское шоссе, 5, ауд. 14133, тел. (3532) 372551