

УДК 629.331+004.9:629.067:629.783

ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЯ С УЧЁТОМ ДИСЛОКАЦИИ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА

Р. И. Хасанов, к. т. н. / Оренбургский государственный университет

Современные системы компьютерной поддержки водителя (СКПВ) постепенно берут на себя решение широкого спектра сложных задач в процессе эксплуатации автомобиля. Номенклатура используемых в автомобилях аппаратно-программных и навигационных методов и средств вычислительной техники (СВТ) постепенно доходит до уровня авиационной техники. Автомобильные инженеры прилагают огромные усилия, чтобы различные датчики, инерциальные спутниковые навигационные системы, видеокамеры, модули беспроводного обмена данными, радары и лидары слаженно взаимодействовали с бортовой системой для оказания своевременной и адекватной поддержки водителю [1–3]. Активно развивается направление в области создания перспективных СКПВ, которые за рубежом принято обозначать аббревиатурой ADAS [2, 4, 5]. Однако решены далеко не все задачи на этом пути. Выбор траектории движения автомобиля с учётом характеристик дорожного полотна (ДП) до сих пор остаётся сложной и актуальной задачей.

Примерами ситуаций, из-за которых затруднён выбор адекватной траектории и скорости движения автомобиля, являются следующие: множество выбоин на ДП, дефицит визуальной информации (ДВИ), вызванный сложными погодными-климатическими условиями, дымовыми или световыми завесами, неисправностью системы искусственного освещения или вентиляции стёкол автомобиля.

Под позиционированием автомобиля в настоящей работе понимается определение точного местоположения и ориентации транспортного средства относительно границ ДП на основе навигационных, визуальных и иных вспомогательных методов и СВТ, а также осуществление управляющего воздействия по выбору скоростного режима и траектории движения автомобиля.

Использование на автомобильном транспорте различных типов радаров и лидаров [5–7] в условиях ДВИ приоткрывает «завесу» лишь на коротком отрезке участка ДП. Предлагаемый подход компьютерной поддержки водителя для осуществления позиционирования автомобиля относительно оцифрованных границ ДП [9–12] с автоматической

привязкой картограмм дефектов и транспортно-эксплуатационного состояния (ТЭС) ДП позволяет, что называется, увидеть картину целиком. Предлагаемый и существующие подходы не должны рассматриваться как взаимоисключающие, поскольку их синтез оказывает синергетический эффект в решении задачи высокоточного позиционирования автотранспортных средств (АТС) в условиях ДВИ.

Анализ современных публикаций показал, что, несмотря на значительные достижения в области методологии построения систем активной безопасности АТС, существующие методы и средства компьютерной поддержки при позиционировании АТС имеют следующие недостатки:

- зависимы от условий видимости, теряют свою функциональность при наличии дымовых или световых завес, нестандартной разметки на поворотах малого радиуса;
- не учитывают наличие и дислокацию выбоин и повреждений на поверхности ДП;
- не используют базы картограмм дефектов и ТЭС оцифрованных участков ДП, полученные службами мониторинга и диагностирования автомобильных дорог.

Цель работы — повышение активной безопасности автомобиля на основе новых методов и средств компьютерной поддержки при позиционировании транспортного средства с учётом наличия и дислокации (расположения) повреждений на поверхности ДП.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- определены целевая функция и обобщённый критерий оценки эффективности СКПВ для позиционирования автомобиля на ДП в условиях ДВИ;
- разработана слоисто-ячеистая модель ДП как протяжённого в пространстве объекта, в которой значения ячеек (фасетов) содержат координаты расположения и значения ТЭС ДП и определяют конкретную категорию и уровень безопасности дорожного движения;
- разработан метод позиционирования автомобиля относительно оцифрованных границ ДП с учётом дислокации повреждений на поверхности ДП.

Эффективность СКПВ определяется повышением активной безопасности АТС на основе снижения неопределённости для водителя в условиях ДВИ. Принятие решения о выборе режима позиционирования АТС сопряжено с соответствующими ошибками первого рода, возникающими при горячем старте навигационного оборудования, и второго рода, возникающими при холодном старте навигационного оборудования.

Общий вид целевой функции для оценки эффективности СКПВ для позиционирования автомобиля в условиях ДВИ имеет следующий вид:

$$Z_{PII} = \lambda \times T \times \sum_{i=1}^N [(Z_{V,TR} - E_{V,TR}) \times P_b(i)] \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\Delta \leq \Delta_3, D \geq D_3, H \geq H_3, Z \leq Z_3, \quad (2)$$

$$Z_{V,TR} = [(z_{V\alpha} + z_{TR\alpha}) \times \alpha] + [(z_{V\beta} + z_{TR\beta}) \times \beta], \quad (3)$$

$$E_{V,TR} = [(e_{V\alpha} + e_{TR\alpha}) \times (1 - \alpha)] + [(e_{V\beta} + e_{TR\beta}) \times (1 - \beta)], \quad (4)$$

$$P_b(i) = \delta \times (1 - P_{CCH}) \times (1 - P_{CKPB}) \times (1 - P_V) + P_{CCH} \times (1 - \delta) \times (1 - P_{CKPB}) \times (1 - P_V) + P_{CKPB} \times (1 - \delta) \times (1 - P_{CCH}) \times (1 - P_V) + P_V \times (1 - \delta) \times (1 - P_{CCH}) \times (1 - P_{CKPB}) + \delta \times P_{CCH} \times P_{CKPB} \times P_V,$$

где Z_{PII} — стоимостные затраты на эксплуатацию и ремонт АТС, определяемые режимом позиционирования; λ — дискретность получения навигационной информации; T — длительность съёма навигационной информации; N — количество категорий (градаций) условий ДВИ (например, видимость до 50 м, 50 ÷ 100 м, 100 ÷ 200 м, 200 ÷ 300 м, 300 ÷ 400 м, >400 м); $Z_{V,TR}$ — общие затраты от ошибочного выбора режима позиционирования, определяемые скоростью и траекторией движения АТС; $E_{V,TR}$ — общий экономический эффект от достоверного выбора режима позиционирования АТС; $z_{V\alpha}$, $z_{V\beta}$ — затраты (отрицательные эффекты) от ошибочного выбора скоростного режима АТС в условиях ДВИ с учётом ошибок первого и второго рода соответственно; $z_{TR\alpha}$, $z_{TR\beta}$ — затраты от ошибочного определения текущего местоположения (ориентации) АТС на ДП и (или) от ошибочного выбора траектории движения АТС в условиях ДВИ с учётом ошибок первого и второго рода соответственно; $P_b(i)$ — вероятность ошибки водителя, допущенной при управлении транспортным средством в i -й категории условий ДВИ, приведшей к съезду или уводу АТС с установленных границ ДП; Δ , Δ_3 — фактическая и требуемая метрологическая погрешность навигационного оборудования; D , D_3 — фактическая и требуемая достоверность результата; H , H_3 — фактическая и заданная производительность СКПВ; Z , Z_3 — фактические и заданные затраты на аппаратно-программные средства СКПВ.

$P_b(i)$ определяется величиной параметра дефицита визуальной информации $\delta_{ДВИ}$, вероятностями сбоя навигационного оборудования P_{CCH} и системы компьютерной поддержки водителя $P_{СКПВ}$, а также вели-

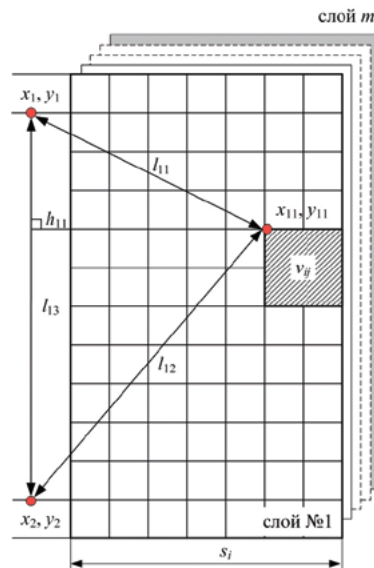
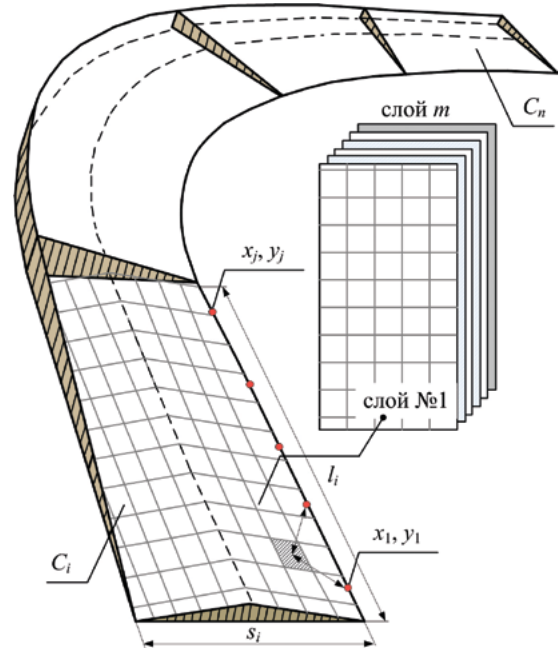


Рисунок 1. Схема слоисто-ячеистой модели протяжённого в пространстве объекта: а — совокупность участков ДП и слоёв ТЭС ДП; б — схема адресации ячеек фрагмента матрицы

чиной коэффициента относительной аварийности на исследуемом участке дорожного полотна P_U .

Величина параметра дефицита визуальной информации $\delta_{ДВИ}$ определяется отношением площади видимой части участка дорожного полотна к общей площади участка ДП, которую должен видеть водитель транспортного средства, находясь на высоте точки наблюдения $h = 1,2$ м.

Согласно рекомендациям по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах ОДМ 218.4.005–2010 [8], для оценки степени аварийности на отдельных участках ДП или дорожной сети в целом используют коэффициент относительной аварийности.

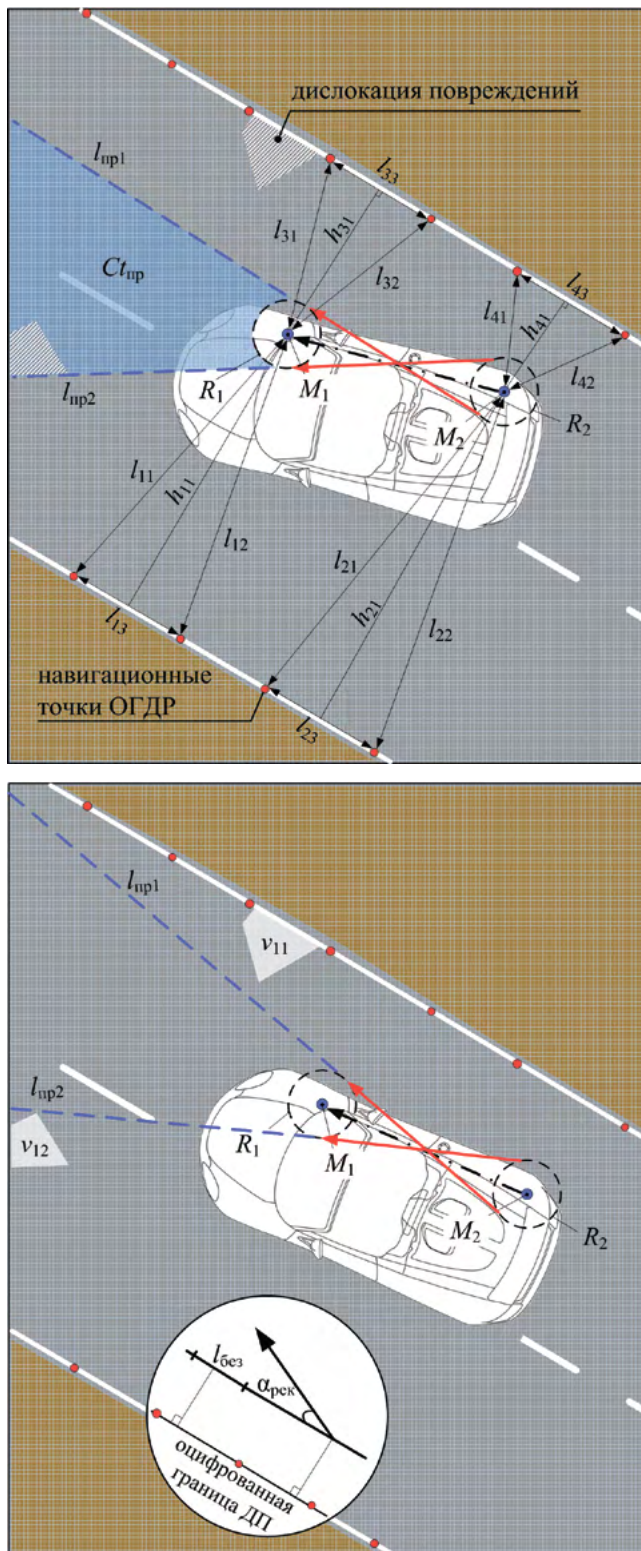


Рисунок 2. Схемы позиционирования АТС с учётом дислокации повреждений на поверхности ДП: а — определение величины прогнозируемого коридора движения АТС $Ct_{пр}$ с учётом наилучших прогнозируемых траекторий $l_{np1,2}$; б — выбор угла поворота рулевого колеса $\alpha_{рек}$ для дальнейшего безопасного движения АТС на расстоянии $l_{без}$

Коэффициент относительной аварийности показывает число дорожно-транспортных происшествий по отношению к пробегу автомобилей или к числу проездов автомобилей [8]:

$$P_v = \frac{z}{T \times \lambda_{ид} \times L}, \quad (5)$$

где z — количество происшествий за период времени T ; $\lambda_{ид}$ — среднегодовая интенсивность движения (средняя за период времени T), автомобилей в сутки; L — длина участка дороги, км.

Проведённый анализ показал, что эффективность выбора режима позиционирования АТС в условиях ДВИ во многом зависит от достоверности используемых навигационных методов и СВТ. При этом в качестве критерия оценки качества позиционирования АТС целесообразно использовать достоверность результата выбора безопасного скоростного режима и траектории движения.

Автомобильная дорога представляется в виде совокупности участков ДП, число которых равно n . Участок ДП C_i длиной l_i и шириной s_i представляет собой совокупность двумерных матриц в виде независимых слоёв, число которых равно m . В каждом из семи слоёв C_i хранится информация об определённом виде ТЭС ДП: продольный α и поперечный β уклон, ровность r , колейность ρ , шероховатость γ и коэффициент сцепления φ , месторасположение K_δ , площадь S_δ и глубина выбоин h_δ .

На рис. 1 представлена схема слоисто-ячеистой модели ДП как протяжённого в пространстве объекта, границы которого оцифрованы с требуемой точностью и дискретностью.

На рис. 1 точки (x_r, y_r) — (x_f, y_f) обозначают навигационные координаты оцифрованных границ ДП; $l_{11} - l_{13}$ — расстояния между навигационными координатами и до описываемого ТЭС ДП с конкретным значением v_j ; h_{11} — высоту треугольника до описываемого ТЭС ДП.

Каждая ячейка из двумерной матрицы (слоя) ассоциируется по своему адресу с конкретными значениями ТЭС ДП: α , β , r , ρ , γ , φ , K_δ , S_δ и h_δ . Значения ячеек (фасетов) ТЭС ДП определяют конкретную категорию и уровень безопасности дорожного движения. По совокупности значений ТЭС ДП СКПВ определяет безопасный скоростной режим $V_{без}$ и рекомендует траекторию движения для автомобиля $TR_{рек}$.

Адресация ячеек в матрице осуществляется следующим способом:

1. Оцифрованный участок ДП делится на сектора. Дискретность разбиения участка ДП на сектора определяется величиной погрешности средств спутниковой навигации (СН) ГЛОНАСС/GPS.

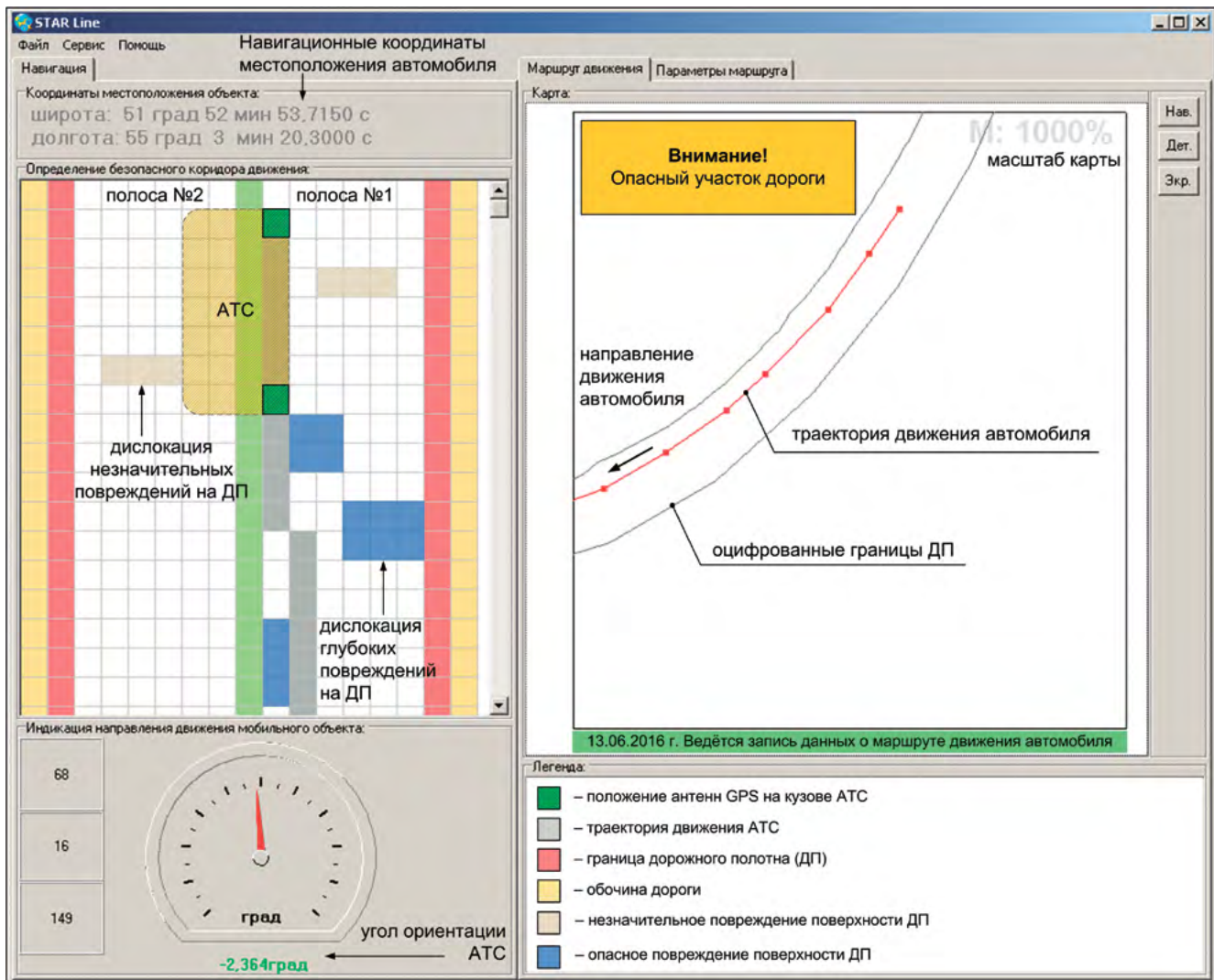


Рисунок 3. Схема отображения параметров на экране СКПВ

2. Для обращения к произвольной ячейке матрицы с координатами (x_{11}, y_{11}) необходимо указать координаты двух ближайших точек (x_p, y_p) и (x_{i+1}, y_{i+1}) , а также расстояния l_{11} и l_{12} . Алгоритм программы в автоматическом режиме определит высоту h_{11} по формуле Герона, а затем и адрес (индекс) строки и столбца для соответствующего слоя. В ситуациях, если какой-либо из слоёв не требует такого детального разбиения на сектора, задаётся любая другая необходимая размерность.

Использование динамических матриц (массивов) в качестве подхода из объектно ориентированного программирования позволяет задавать гибкую размерность слоисто-ячейчатой модели ДП не только для каждого слоя, но и внутри каждой строки, содержащей вектор значений v_{ij} конкретного транспортно-эксплуатационного показателя ДП. Такой

подход позволяет сократить затрачиваемые ресурсы памяти СКПВ, поскольку неиспользуемые адресные диапазоны и страницы (слои) можно автоматически удалять из оперативной памяти системы, тем самым снижая нагрузку при обработке данных.

Представленная слоисто-ячейчатая модель ДП реализована в среде программирования Borland Delphi 7 в виде многостраничного (многослойного) динамического массива, который используется при позиционировании АТС.

Алгоритм позиционирования автомобиля с учётом дислокации повреждений (дефектов) на поверхности ДП состоит из следующих этапов.

Навигационные данные оцифрованных границ дорожной разметки (ОГДР), картограмма дефектов и ТЭС ДП загружаются в многостраничный динамический массив СКПВ. В настроечных параметрах СКПВ задаются габаритные размеры кузова АТС,

места установки антенн средств спутниковой навигации, дискретность получения навигационных данных и погрешности ССН [9, 10].

На рис. 2а и 2б представлены схемы позиционирования АТС с учётом дислокации повреждений на поверхности ДП.

На основе программно реализованного алгоритма сканирующего окна [11, 12] осуществляется поиск ближайших к АТС навигационных точек из соответствующих страниц массива ОГДР для вычисления навигационных расстояний $h_{11} - h_{41}$. В соответствующую страницу массива осуществляется подгрузка векторов координат местоположения автомобиля и вычисленных расстояний $l_{11} - l_{42}$ относительно ОГДР.

СКПВ определяет прогнозируемый коридор движения Ct_{np} автомобиля с учётом прогнозируемых наихудших направлений движения l_{np1} и l_{np2} , поскольку ССН имеют метрологические погрешности R_1 и R_2 .

С учётом расположения прогнозируемого коридора движения АТС Ct_{np} осуществляется поиск в картограмме дефектов ближайших препятствий (повреждений) на поверхности ДП, лежащих в зоне Ct_{np} . Далее на основе алгоритма Дейкстры водителю предлагается рекомендация в виде траектории движения, построенной на экране СКПВ, по объезду препятствия на ДП. Препятствия, не лежащие на пути следования АТС, не обрабатываются, чтобы понапрасну не тратить вычислительные ресурсы СКПВ.

На рис. 3 представлена схема отображения параметров на экране СКПВ.

СКПВ с использованием аудио- и визуальных средств оповещения сигнализирует водителю о наличии опасной ситуации на дороге. Инструментальная база реализована в среде программирования Borland Delphi 7.

Представленные результаты используются на кафедре вычислительной техники и защиты информации Оренбургского государственного университета в качестве научно-методического материала при изучении дисциплин, связанных с построением специализированных компьютерных систем, и могут быть рекомендованы для применения при проектировании СКПВ, а также при позиционировании АТС с учётом транспортно-эксплуатационных характеристик дорожного полотна. Наибольшую востребованность система компьютерной поддержки может получить у водителей, перевозящих опасные грузы, а также эксплуатирующих пассажирскую, грузовую и спецтехнику в условиях задымлений, в плохих погодных условиях и на сложных участках маршрутов движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бахмутов С. В. Исследование динамики автомобиля с системами активной безопасности посредством виртуальных и дорожных испытаний: матер. 95-й междунар. науч.-техн. конф. / С. В. Бахмутов, И. А. Куликов, А. А. Барашков. — М.: НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ», 2016.
2. Гайсин С. В. Развитие интеллектуальных систем помощи водителю (ADAS) в Российской Федерации: матер. 95-й междунар. науч.-техн. конф. / С. В. Гайсин, С. В. Бахмутов. — М.: НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ», 2016.
3. Tendency of creation of driverless vehicles abroad / К. Е. Karpukhin, A. S. Terenchenko, S. V. Bakhmutov et al. // Biosciences Biotechnology Research Asia. — 2014. — № 11s. — P. 241–246.
4. Гусаров А. П. Тенденции регламентации требований к бортовым интеллектуальным транспортным системам в Комитете по внутреннему транспорту ЕЭК ООН // Журнал автомобильных инженеров. — 2011. — № 3 (68). — С. 4–8.
5. A 13,000 km intercontinental trip with driverless vehicles: the VIAC experiment / M. Bertozzi, A. Broggi, A. Coati et al. // IEEE Intelligent Transportation System Magazine. — 2013. — № 5 (1). — P. 28–41.
6. Sensing requirements for a 13,000 km intercontinental autonomous drive / A. Broggi, L. Bombini, C. Stefano et al. // Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium. — USA, 2010. — P. 500–505.
7. The VisLab intercontinental autonomous challenge: an extensive test for a platoon of intelligent vehicles / A. Broggi, P. Cerri, M. Felisa et al. // Intl. Journal of Vehicle Autonomous Systems. — 2012. — Vol. 10, № 3. — P. 147–164.
8. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах: ОДМ 218.4.005–2010 // Сайт Московского территориального строительного каталога (МТСК) Департамента градостроительной политики города Москвы [Электронный ресурс]. URL: <http://mtsk.mos.ru/Handlers/Files.ashx/Download?ID=12151> (дата обращения: 15.07.2016).
9. Хасанов Р. И. Компьютерная поддержка управления автомобилем в условиях недостаточной видимости / Р. И. Хасанов, Т. З. Аралбаев, А. И. Сарайкин // Международный технико-экономический журнал. — 2016. — № 1. — С. 65–71.
10. Хасанов Р. И. Перспективная система активной безопасности для автомобилей представительского класса / Р. И. Хасанов, А. И. Сарайкин // Журнал автомобильных инженеров. — 2016. — № 1 (96). — С. 27–33.
11. Хасанов Р. И. Метод позиционирования многозвенных колёсных транспортных средств на дорожном полотне в условиях недостаточной видимости // Журнал автомобильных инженеров. — 2016. — № 2 (97). — С. 32–35.
12. Хасанов Р. И. Компьютерная поддержка водителя в задаче выбора траектории и скорости движения мобильного объекта // Автоматизация в промышленности. — 2016. — № 7. — С. 51–57.