

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАНЕВРЕННОСТИ АВТОМОБИЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НОВЫХ ПРИНЦИПОВ ДЕЙСТВИЯ И ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Предложена концепция автомобильной интеллектуальной платформы для повышения маневренности. При создании алгоритма работы системы использован метод построения блокирующих областей показателей маневренности автомобиля.

Ключевые слова: автомобиль, маневренность, искусственный интеллект.

Постановка проблемы в общем виде и её связь с важными научными и практическими задачами. Развитие экономики нашего государства приводит к росту скоростей движения колесных машин, а также насыщенности транспортных потоков. В связи с этим становятся актуальными вопросы повышения эффективности эксплуатации средств транспорта, в том числе строительных и дорожных машин, а также обеспечения безопасности дорожного движения.

Повышение эффективности эксплуатации автомобилей возможно за счёт применения технологий улучшения их отдельных свойств, мастерства водителей или внедрения элементов искусственного интеллекта (ИИ). Поскольку улучшение отдельных свойств может привести к ухудшению других, а физиологические способности человека ограничены, наиболее перспективным направлением является развитие элементов ИИ на транспорте с целью обеспечения функциональной стабильности эксплуатационных свойств колёсных машин.

Анализ последних исследований и публикаций, в которых впервые предлагалось решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение не решенных прежде задач общей проблемы, которым посвящается указанная статья. Маневренность является одним из важных эксплуатационных свойств колёсных машин, определяющих эффективность их использования и безопасность движения [3]. Вопросам обеспечения маневренности посвящены работы известных отечественных и зарубежных учёных [3-5, 10]. В работе [5] предложены коэффициенты, позволяющие количественно оценивать показатели маневренности автомобилей – устойчивость, управляемость и динамичность. На рисунке 1 показана предложенная Федченко В.В. [7] структурно-функциональная схема системы эксплуатации автотранспортного средства с элементами искусственного интеллекта,

являющаяся подсистемой нижнего уровня системы эксплуатации автомобильного транспорта.

Автором работы [7] выполнен оптимизационный синтез структур систем эксплуатации средств автомобильного транспорта с различными уровнями применения элементов ИИ. На основе датчиков MMA7260Q разработана приборная часть для измерения, контроля и регистрации ускорений, действующих на автомобиль. Однако в данной работе отсутствуют рекомендации по обеспечению оптимального соотношения показателей маневренности автомобиля.

С целью регистрации данных при дорожных испытаниях автомобилей на кафедре технологии машиностроения и ремонта машин ХНАДУ [9] совместно с сотрудниками кафедры «Тракторы и автомобили» ХНТУСХ им. П. Василенко разработан мобильный регистрационно-измерительный комплекс (рис. 2), состоящий из двух датчиков ускорений Freescale Semiconductor, а также ЭВМ для снятия и архивации данных.

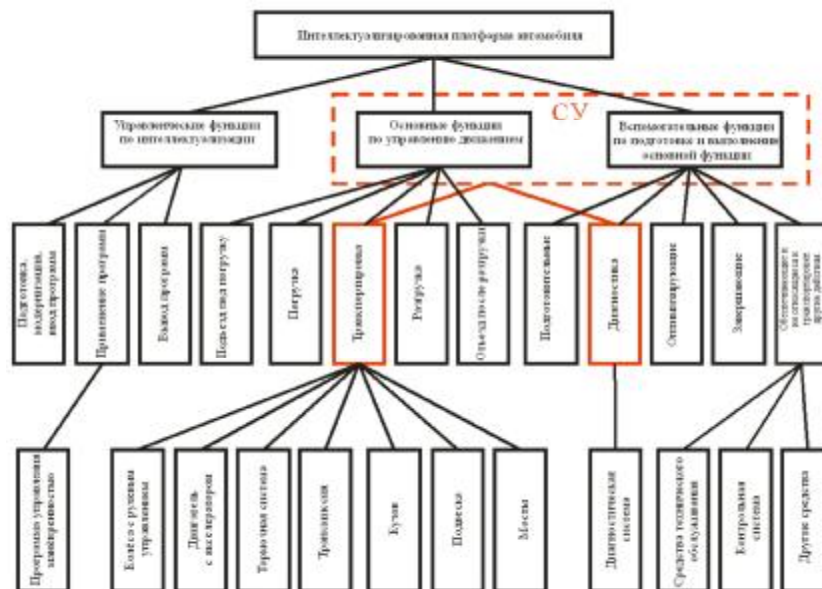


Рис. 1. Структурно - функциональная схема системы эксплуатации автотранспортного средства с элементами искусственного интеллекта [7]



Рис. 2. Мобильный регистрационно-измерительный комплекс ХНАДУ

Разработанный мобильный регистрационно-измерительный комплекс позволяет без применения дорогостоящего оборудования проводить испытания на устойчивость и управляемость колёсных машин, определять их мощностные, аэродинамические и тягово-скоростные свойства, а также параметры сопротивления движению. Однако данный комплекс не позволяет вносить управляющие воздействия на основе проведенной оценки эксплуатационных свойств. Управляющие сигналы с целью контроля динамики автомобиля позволяет создавать электронная система Vehicle Dynamic Control (VDC). Система VDC устанавливается в настоящее время на автомобили Nissan, Subaru, Alfa Romeo и другие. Принцип работы указанной системы приведен на рисунке 3. В работе [2] VDC приводится как составная часть системы «водитель–автомобиль–дорожная среда».

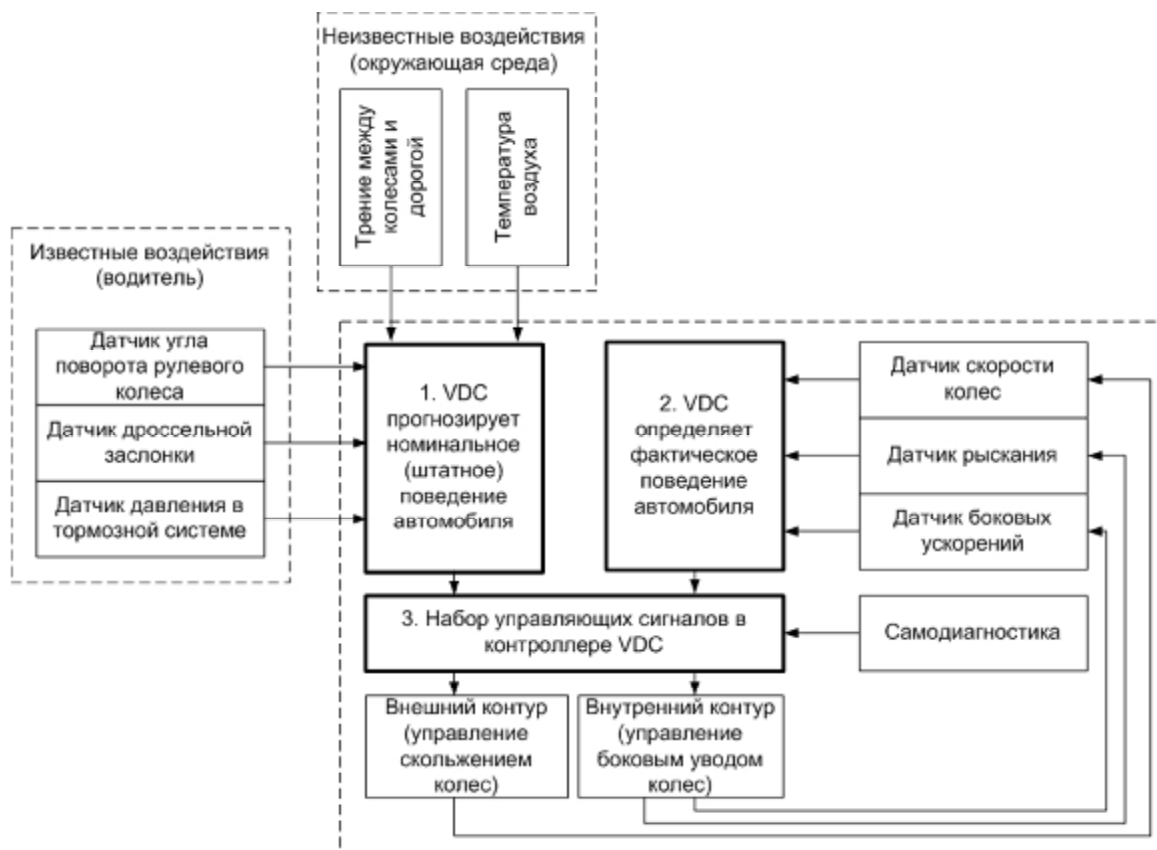


Рис. 3. Принцип действия системы VDC

На сегодняшний день широкое распространение получили системы зарубежного производства, повышающие устойчивость при заносе, а также обеспечивающие управляемость и динамические свойства. Актуальным является вопрос разработки систем повышения устойчивости против заноса и других показателей маневренности колёсных машин с применением новых принципов действия и элементов искусственного интеллекта.

Формулирование целей статьи (постановка задачи). Целью данного исследования является разработка концепции интеллектуальной платформы для повышения маневренности транспортных средств. Для достижения указанной цели необходимо построить блокирующие области показателей маневренности автомобиля, а также выполнить оптимизационный синтез элементов искусственного интеллекта.

Изложение основного материала исследования с полным обоснованием научных результатов

Построение блокирующих областей показателей маневренности автомобиля. В работе [5] предложен метод построения блокирующих контуров показателей маневренности с использованием следующих зависимостей:

$$K_{\text{дин}} = 1 + \frac{\frac{a}{b} \frac{\partial^2}{\partial V_{x1}^2} (b + f \psi) \times g \bar{a} + V_{x1} \times \frac{b^2 + i_z^2 + f \psi \times b}{\cos^2 \bar{a}} \times \frac{da}{dt} \frac{\partial}{\partial \varphi} \times d \times m_a}{\frac{\partial^2}{\partial V_{x1}^2} (a \times b - i_z^2 - f \psi \times b) \times g \bar{a} - \frac{a}{b} (b^2 + i_z^2 + f \psi \times b) \times g \bar{a} \frac{\partial}{\partial \varphi} (y \times m_a \times g + k \times F \times V_{x1}^2)} ; \quad (1)$$

$$K_{\text{уст}} = \frac{K_{\text{дин}} \times \frac{\partial^2}{\partial V_{x1}^2} (a - f \psi) \times g \bar{a} + V_{x1} \times \frac{a \times b - i_z^2 - f \psi \times b}{\cos^2 \bar{a}} \times \frac{da}{dt} \frac{\partial}{\partial \varphi} \times d \times m_a}{\frac{\partial^2}{\partial V_{x1}^2} (a \times b - i_z^2 - f \psi \times b) \times g \bar{a} - \frac{a}{b} (b^2 + i_z^2 + f \psi \times b) \times g \bar{a} \frac{\partial}{\partial \varphi} (y \times m_a \times g + k \times F \times V_{x1}^2)}$$

$$K_{\text{уст}} = \frac{b}{a} \sqrt{\frac{f^2 \frac{\partial^2}{\partial V_{x1}^2} m_a g \frac{a}{L} + \frac{\partial^2}{\partial V_{x1}^2} m_a g + k F V_{x1}^2}{d} (K_{\text{дин}} - 1) + k F V_{x1}^2 \frac{\partial h - r_0}{L} \frac{\partial^2}{\partial \varphi} - (1 - K_R) \frac{\partial^2}{\partial V_{x1}^2} m_a g + k F V_{x1}^2 (K_{\text{дин}} - 1) + k F V_{x1}^2 \frac{\partial^2}{\partial \varphi}}{\frac{f^2 \frac{\partial^2}{\partial V_{x1}^2} m_a g \frac{b}{L} - \frac{\partial^2}{\partial V_{x1}^2} m_a g + k F V_{x1}^2}{d} (K_{\text{дин}} - 1) + k F V_{x1}^2 \frac{\partial h - r_0}{L} \frac{\partial^2}{\partial \varphi} - K_R \frac{\partial^2}{\partial V_{x1}^2} m_a g + k F V_{x1}^2 (K_{\text{дин}} - 1) + k F V_{x1}^2 \frac{\partial^2}{\partial \varphi}}, \quad (2)$$

где a, b – расстояние от проекции центра масс автомобиля на горизонтальной плоскости до передней и задней оси автомобиля;

V_{x1}, m_a – линейная скорость и масса автомобиля;

f, ψ – коэффициенты сопротивления качению и суммарного дорожного сопротивления;

\bar{a} – средний угол поворота направляющих колёс;

i_z – момент инерции относительно вертикальной оси;

r_0, h – динамический радиус колеса и высота центра масс автомобиля;

φ – коэффициент сцепления колёс с дорогой;

δ – коэффициент, учитывающий влияние инерции вращающихся масс;

K_R – коэффициент распределения касательных реакций;

$k \cdot F$ – фактор обтекаемости;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Представляет интерес построение блокирующих областей тех же показателей, используя в качестве третьей координаты факторы, оказывающие наибольшее влияние на обеспечение маневренности. На рисунке 4 приведены блокирующие области показателей динамичности, устойчивости и управляемости в зависимости от массы и параметров

контакта автомобильных колес с дорогой. В качестве условного автомобиля принят автомобиль со следующими характеристиками: $a = 1,4$ м; $m = 1430$ кг; $b = 1,33$ м; $k \cdot F = 0,58$ Н·с²/м²; $B = 1,471$ м; $V_0 = 3,61$ м/с; $\dot{V}_{x_1} = 1,0$ м/с²; $r_d = 0,29$ м; $f_0 = 0,013$; $\varphi = 0,8$; $h = 0,546$ м; $\alpha_{max} = 11,25^\circ$, $\eta_{mp} = 0,9$; $S_x = 0,2$. На рисунке 5 приведены ускорения, развиваемые условным автомобилем и предельные по условию устойчивости при различных дорожных условиях и коэффициентах использования мощности двигателя K_N .

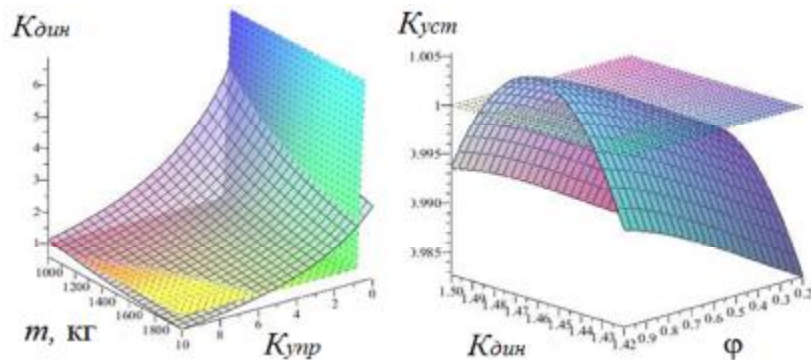


Рис. 4. Блокирующие области показателей динамичности, устойчивости и управляемости исследуемого автомобиля

Предельные по условию устойчивости и развиваемые исследуемым автомобилем ускорения в различных условиях эксплуатации приведены также на рисунке 6. На рисунке 7а приведена зависимость коэффициента сцепления колес с дорогой от скорости автомобиля в зависимости от состояния дорожного покрытия, построенная на основе анализа работы [1] и др. В работе [8] предлагается метод аналитического построения $\varphi - S$ диаграммы, приведенной на рисунке 7б.

Указанные материалы могут быть использованы в алгоритмах работы перспективных интеллектуальных платформ, обеспечивающих маневренность автомобилей.

Оптимизационный синтез элементов искусственного интеллекта для улучшения маневренности автомобилей. В качестве объектов оптимизации выберем соответственно учитывающие мировой порог знаний новейшие системы управления автомобилем для реализации трёх видов функций автомобиля – основных, вспомогательных и управленческих:

- Vehicle Dynamic Control (VDC), устанавливаемую на автомобилях Nissan, Subaru, AlfaRomeo и др.;
- Active Passive Integration Approach (APIA);
- Combined Active and Passive Safety (CAPS).

Определим атрибуты инноваций (основные компоненты; функции; уровень технизации и реализуемой стратегии, а также быстродействие) и сведем их в таблице 1. На основе проведенного анализа предложена интеллектуальная платформа Vehicle Maneuver-ability Improvement System

(VMIS). Реализация разработанной платформы возможна с помощью нечёткой логики управления и объектно ориентированного программирования. VMIS предлагается в двух вариантах – версия CM (Control & Measurement) – контрольно-измерительная и версия PM (Proactive Management) – упреждающее управление.

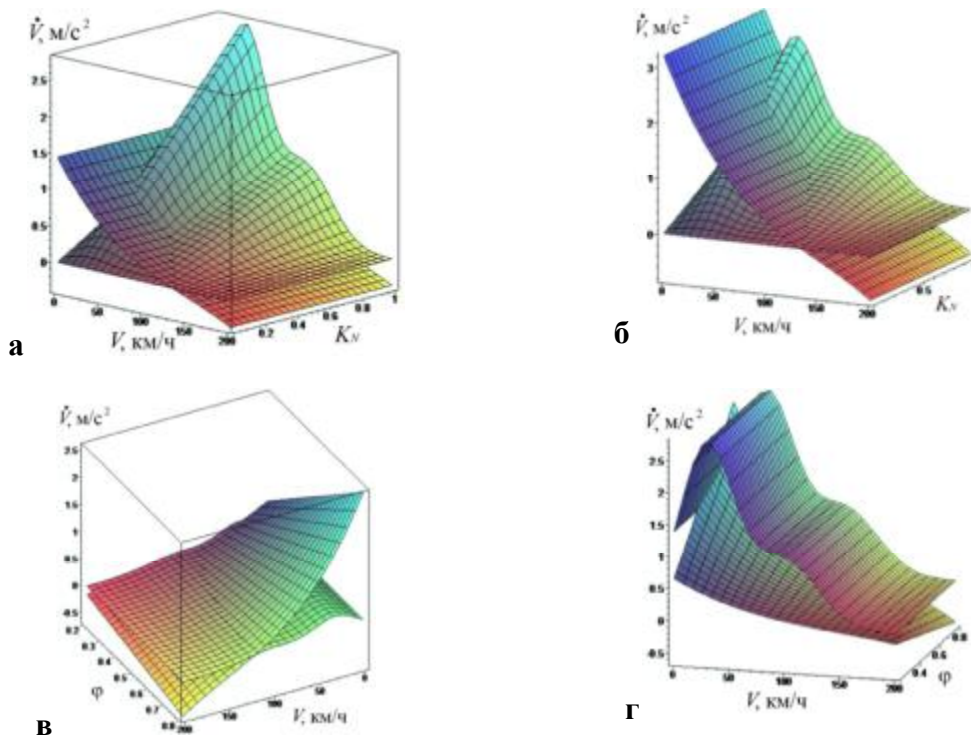


Рис. 5. Зависимость предельных ускорений по условию устойчивости исследуемого автомобиля от V_{x1} в различных условиях эксплуатации:

а – зависимость $V_{расч}$ и $V_{уст}$ от V_{x1} при $\phi = 0,5$; б – зависимость $V_{расч}$ и $V_{уст}$ от V_{x1} при $\phi = 0,8$; в – зависимость $V_{расч}$ и $V_{уст}$ от V_{x1} при $K_N = 0,15$; г – зависимость $V_{расч}$ и $V_{уст}$ от V_{x1} при $K_N = 1$

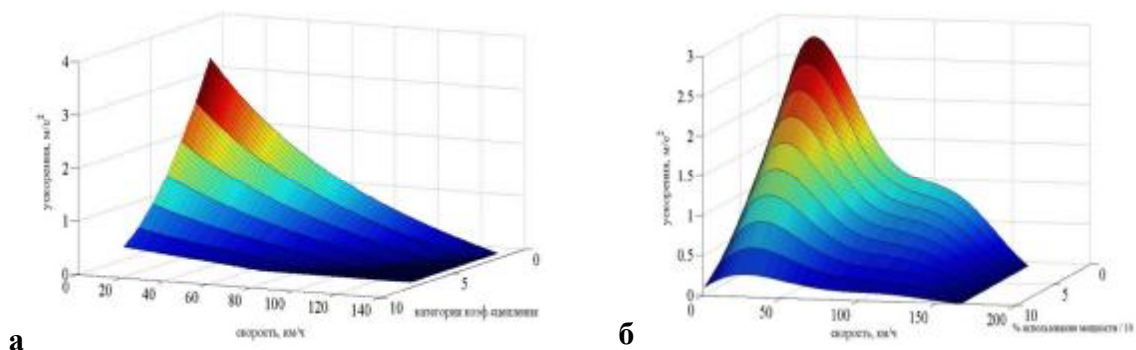


Рис. 6. Зависимость ускорений от скорости автомобиля:

а – $V_{уст}$; б – $V_{расч}$

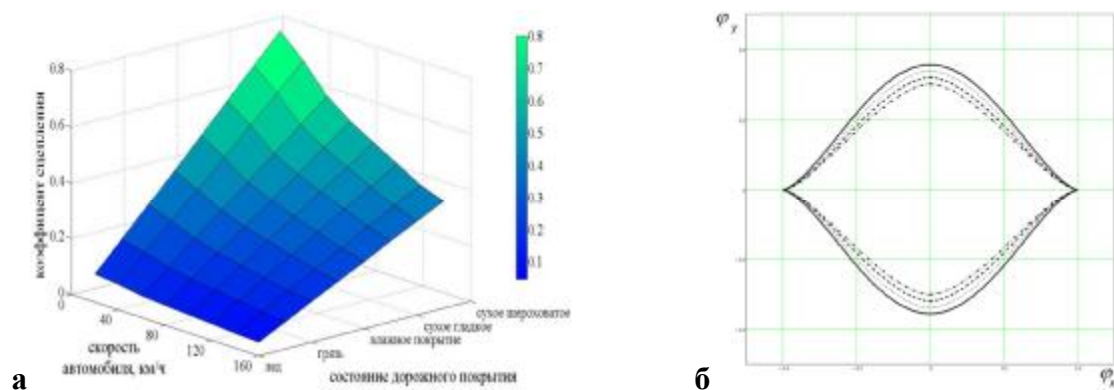


Рис. 7. Коэффициент сцепления колес с дорогой: а – зависимость от скорости автомобиля; б – аналитическая зависимость φ_y от φ_x

Таблица 1. Анализ новейших систем управления маневренностью автомобилей

Атрибуты инноваций	Аналог I	Аналог II	Аналог III	Предлагаемая интеллектуальная платформа
Название системы	VDC;ESP	APIA	CAPS	VMIS
Производитель	Robert Bosch GmbH	Continental Automotive Systems	RobertBoschGmbH	ХНАДУ
Год выпуска	1995	2005	2007	2013
Ориентировочная стоимость	111\$ + ABS	300\$ + ESP + Adaptive Cruise Control	около 30% стоимости автомобиля	версия CM - 30\$; версия PM - 30\$ + ESP + RAS
Основные компоненты	ABS (антиблокировочная система), ASR (система регулирования крутящего момента двигателя), ACR (система управления активной подвеской), APS (система контроля рулевого управления)	Адаптивный круиз-контроль; электронная система торможения; сенсорный кластер; транс-миттер; педаль акселератора с обратной связью; модули контроля двери, люка и сиденья; натяжитель ремня;	Гидравлический модулятор давления; система контроля подушек безопасности; радар; видеодатчик; активное рулевое управление; система навигации; датчики систем активной безопасности	Версия CM – 2 акселерометра; версия PM – 2 акселерометра + ESP + RAS (Rear Active Steer)

Атрибуты инноваций		Аналог I	Аналог II	Аналог III	Предлагаемая интеллектуальная платформа
			датчик обнаружения препятствий и фронтального удара		
Уровень технизации		Механизированный	Автоматизированный	Автоматизированный	Интеллектуализированный
Уровень реализуемой стратегии		1	2	2	4
Атрибуты инноваций		Аналог I	Аналог II	Аналог III	Предлагаемая интеллектуальная платформа
Ф У Н К Ц И И	Основные	прогноз номинального поведения автомобиля; определение фактического поведения автомобиля	обнаружение препятствий; прогноз вероятности столкновения	обеспечение активной и пассивной безопасности, устойчивости и управляемости, предотвращение заноса на начальном этапе	определение дорожных, климатических и техногенных условий; предотвращение возникновения заноса (иммунитет автомобиля); контроль давления в шинах; обеспечение показателей маневренности автомобиля с учетом его технического состояния
	Вспомогательные	самодиагностика компонентов системы	обнаружение дорожных знаков, помощь при парковке	защита пешеходов, повышение комфорта, помощь при парковке, мониторинг слепых зон	самообучение системы; самодиагностика компонентов системы и показателей автомобиля; контроль микроклимата; регенерация энергии; взаимосвязь с

Атрибуты инноваций		Аналог I	Аналог II	Аналог III	Предлагаемая интеллектуальная платформа
					другими участниками движения, в том числе автоматическая подача сигнала об опасном участке дороги или состоянии автомобиля другим участникам дорожного движения; защита от постороннего вмешательства в работу систем
	Управленческие	выработка управляющих сигналов - управление скольжением колес; управление боковым уводом колес	автоматическое торможение в случае определения неизбежной аварии, поддержка автомобиля в выбранной полосе движения, контроль рулевого управления	управление продольной, вертикальной и боковой динамикой автомобиля, автоматическое включение фар и стеклоочистителей	упреждающее управление (устойчивость против заноса); управление продольной, вертикальной и боковой динамикой автомобиля; адаптивный круиз-контроль
	Быстродействие	до 100 изм./с	до 100 изм./с	до 100 изм./с	200 изм./с

Выводы из данного исследования и перспективы дальнейших исследований в этом направлении:

1. Оптимизационный синтез элементов искусственного интеллекта для улучшения маневренности автомобилей позволил выявить перспективы развития отечественных интеллектуальных платформ, не имеющих аналогов за рубежом.

2. Предложенный метод построения блокирующих областей показателей маневренности может являться теоретическим обоснованием

системы обеспечения управляемости и устойчивости против заноса интеллектуального автомобиля с учётом его динамичности.

3. Концепция автомобильной интеллектуальной платформы для повышения маневренности предполагает оценку технического состояния, а также дорожных, климатических и техногенных условий с помощью различных датчиков и обработку полученной информации в центральном блоке автоматического управления с целью выработки управляющих сигналов для различных функциональных подсистем автомобиля.

Литература

1. *Автомобильный справочник Bosch / [пер. с англ. Г.С. Дугин]. – Москва: За рулем, 1999. – 895 с. – (Первое издание на русском языке).*
2. *Соснин Д. А., Яковлев В. Ф. Новейшие автомобильные электронные системы / Д. А. Соснин, В. Ф. Яковлев // Учебное пособие для специалистов по ремонту автомобилей, студентов и преподавателей вузов и колледжей – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. — 240 с.*
3. *Бобошко А.А. Підвищення маневреності колісних тракторів і самохідних шасі: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.02 / ХНАДУ. – Харьков, 2002. – 19 с.*
4. *Маневренность и тормозные свойства колесных машин / М. А. Подригало, В.П. Волков, В.И. Кирчатый, А.А. Бобошко / Под ред. М.А.Подригало. - Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2003. – 403 с.*
5. *Подригало М.А., Волков В.П., Бобошко А.А., Павленко В.А., Файст В.Л., Клец Д.М., Редько В.В. Динамика автомобиля. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2008. – 426 с.*
6. *Сысоева С. Актуальные технологии и применения датчиков автомобильных систем активной безопасности / С. Сысоева // Компоненты и технологии. – 2006. – №8. – С. 12-23.*
7. *Тернюк Н.Э. Прогнозирование структурных характеристик и исследование закономерностей развития транспортных систем / Н.Э. Тернюк, В.В. Федченко, Н.Н. Гладкая, А.М. Красноштан // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – Вип. 6 (183). – С. 151–155.*
8. *Абдулгасис У.А. Оценка устойчивости неподвижного автомобильного колеса против бокового скольжения / У.А. Абдулгасис, А.У. Абдулгасис, М.А. Подригало, Д.М. Клец, О.А. Назарько // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Технические науки. – Симферополь. Вып. 27. – 2011. С.53-59.*
9. *Пат. 51031 Україна, МПК G01P 3/00 25.06.2010. Система для визначення параметрів руху автотранспортних засобів при динамічних (кваліметричних) випробуваннях / Подригало М. А., Коробко А.И., Клец Д. М., Файст В.Л.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. університет. – № и 2010 01136; заявл. 04.02.10 ; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12.*

10. Electronic Stability Control Systems : Federal Motor Vehicle Safety Standard No. 126. - Office of Regulatory Analysis and Evaluation, National Center for Statistics and Analysis, 2006. – 142 p.

Надійшла до редакції 20.11.2012

© Д. М. Клец

УДК 629.017

*Д. М. Клец, к.т.н., доц.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

**НАУКОВІ ОСНОВИ СИСТЕМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
МАНЕВРНОСТІ АВТОМОБІЛЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НОВИХ
ПРИНЦИПІВ ДІЇ ТА ЕЛЕМЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ**

Запропоновано концепцію автомобільної інтелектуальної платформи для підвищення маневреності. При створенні алгоритму роботи системи використано метод побудови блокуючих областей показників маневреності автомобіля.

***Ключові слова:** автомобіль, маневреність, штучний інтелект.*

UDC 629.017

*D.M. Klets, Ph.D., Associate Professor
Kharkov National Automobile and Highway University*

**SCIENTIFIC BASIS OF MANEUVERABILITY SYSTEM PROVIDING
WITH NEW PRINCIPLES OF ACTION AND ARTIFICIAL
INTELLIGENCE ELEMENTS**

A concept of automotive intelligent platform to enhance maneuverability is offered. During creating the system algorithm the method of blocking area maneuverability indicators construction is used.

***Keywords:** car, mobility, artificial intelligence.*