

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ СВОЙСТВ МАНЕВРЕННОСТИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Д.М. Клец, профессор, д.т.н., ХНАДУ

***Аннотация.** Полученные аналитические выражения позволяют определить взаимосвязь между геометрическими, весовыми показателями, сцепными свойствами колесных машин, управляющими воздействиями водителя и показателями динамичности, управляемости, а также устойчивости против заноса. Предложенный метод построения блокирующих контуров показателей маневренности позволяет повысить безопасность дорожного движения.*

***Ключевые слова:** автомобиль, маневренность, устойчивость, управляемость, динамичность.*

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАНЕВРЕННОСТІ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Д.М. Клец, профессор, д.т.н., ХНАДУ

***Анотація.** Отримані аналітичні вирази дозволяють визначити взаємозв'язок між геометричними, ваговими показниками, зчпними властивостями колісних машин, керуючими впливами водія і показниками динамічності, керованості, а також стійкості проти заносу. Запропонований метод побудови блокуючих контурів показників маневреності дозволяє підвищити безпеку дорожнього руху.*

***Ключові слова:** автомобіль, маневреність, стійкість, керованість, динамічність.*

PROVIDING THE STABILITY OF MOTOR VEHICLES MANEUVERABILITY PROPERTIES

D.M. Klets, professor, dr. eng. sc., KhNAHU

***Annotation.** The received analytical expressions allow defining interrelation between geometrical, weight parameters, coupling properties of wheeled vehicles, driver managing influences and indicators of dynamism, controllability, and stability against skidding. The proposed method of blocking contours constructing of manoeuvrability indicators makes it possible to improve the safety of road traffic.*

***Key words:** automobile, manoeuvrability, stability, controllability, dynamism.*

Введение

Автотранспортные средства выполняют жизненно важные функции перевозки пассажиров и грузов. Они определяют обороноспособность страны, надежность коммуникаций, интенсивность перемещения, производительность труда, конкурентоспособность национальной экономики и уровень жизни населения. Интенсивное развитие автомобильного транспорта предусматривает существенное повышение скоростей и напряженности дорожного движения. При этом вследствие дорожно-транспортных происшествий

(ДТП) каждый год в мире гибнет до 1,3 млн. людей, а убытки достигают миллиардов долларов. Всемирная организация здравоохранения предложила «Глобальный план осуществления Десятилетия действий по обеспечению безопасности дорожного движения 2011–2020 гг.». В последнем подчеркивается необходимость повсеместного развертывания технологий, предупреждающих возникновение аварий, в частности электронного контроля стабильности транспортных средств (ТС). Кроме того, акцент сделан на важности разработки новых программ оценки ТС с целью обеспечения доступности ин-

формации о показателях их безопасности для широкого круга потребителей. Кабинет Министров Украины, в свою очередь, одобрил Транспортную стратегию Украины на период до 2020 г. с целью обеспечения стабильного и эффективного функционирования транспорта в стране. Транспортная стратегия указывает на необходимость повышения уровня безопасности автомобильных перевозок, а также показателей их качества и эффективности, которые определяются маневренностью и динамичностью ТС.

Анализ последних публикаций

Маневренность является комплексным свойством, которое включает в себя и устойчивость, и управляемость. Существующие методы повышения указанных выше показателей базируются на исследовании отдельных характеристик системы «водитель – автомобиль – дорожная среда» (ВАДС) без учета их синергетики, что не позволяет получить предельные характеристики динамичности, устойчивости, управляемости и маневренности. Высокоэффективное использование ТС нуждается в системном исследовании данных эксплуатационных свойств, которые существенным образом влияют на безопасность дорожного движения. Особенно это приобретает актуальность в связи с потребностью в повышении скорости, надежности и безопасности перевозок пассажиров и грузов. Кроме того, при определенных значениях скоростей движения ТС необходимость реагирования на смену дорожной обстановки превышает психофизиологические возможности человека. Указанный подход в существующей литературе отработан не в полной мере и не доведен до конкретных научно-технических рекомендаций в процессе эксплуатации. Поэтому возникает необходимость синтеза интеллектуальных электронных систем, способных существенным образом повлиять на самые важные эксплуатационные свойства, с применением интегрального системного подхода.

Вопросам исследования свойств маневренности колёсных машин посвящены работы значительного числа ученых [1 - 3] В этих работах даны определения как управляемости, устойчивости, так и динамичности колёсных машин. Рассматривается как курсовая устойчивость, так и траекторные управляемость и устойчивость этих машин [1, 2].

Установившееся движение на повороте характеризуется [3] одним из свойств маневренности – поворачиваемостью. В неустановившемся режиме движения при повороте колёсной машины устойчивость является одним из свойств комплексного свойства – управляемости. Однако в известных исследованиях не приводится взаимосвязь между критериями маневренности колесных машин и данный вопрос требует дополнительных исследований.

Создание современного ТС с высокими показателями эксплуатационных свойств не обеспечит необходимой безопасности движения, если они не будут сохранять стабильность на протяжении всего времени эксплуатации. Поэтому вместе с разработкой новых эффективных систем ТС необходимо одновременно обеспечивать стабильность показателей их работы. Таким образом, разработка концепции обеспечения стабильности показателей маневренности автомобилей является актуальной научной проблемой, решение которой обеспечит высокую эффективность и безопасность использования ТС в меняющихся эксплуатационных условиях.

Цель и постановка задач исследования

Целью исследования является повышение безопасности движения путем обеспечения стабильности показателей маневренности автомобилей. Для достижения поставленной цели, необходимо решить следующие задачи: – исследовать показатели стабильности свойств маневренности автомобилей; – определить взаимосвязь между показателями маневренности колесных машин.

Функциональная стабильность свойств маневренности автомобилей

Обеспечение функциональной стабильности показателей управляемости и устойчивости автомобилей является одним из важнейших аспектов проблемы повышения безопасности дорожного движения. Функциональная нестабильность элементов системы ВАДС является причиной параметрических и, в конечном счёте, функциональных отказов, приводящих к значительному материальному ущербу и человеческим жертвам [4]. В свою очередь, стабильность эксплуатационных свойств колесных машин (автомобилей и тракторов) является необходимым условием

Таблица 1 – Условные обозначения, принятые в 3D–схеме

Параметр	Значение	Параметр	Значение
AX	продольные ускорения автомобиля	МКР	крутящий момент от двигателя
AУ	боковые ускорения автомобиля	МРБ	скоростной стабилизирующий момент
AZ	вертикальные ускорения автомобиля	МРП	момент сопротивления повороту от равнодействующей продольных сил
IK	момент инерции колеса	МС	момент сопротивления повороту шины
IZ	момент инерции автомобиля относительно вертикальной оси	МТ	момент трения в подшипниках шкворневого узла
KM	коэффициент распределения крутящих моментов на переднюю ось	МУ	упругий момент в рулевом управлении
KR	коэффициент распределения касательных реакций на переднюю ось	МШ	стабилизирующий момент шины направляющего колеса
AX	продольные ускорения автомобиля	НД	наклон дороги
KS	коэффициент использования сцепного веса автомобиля	НК	нагрузка на колесо
RN	нормальная реакция дороги	П	подвеска
RX	продольная реакция дороги	ПГ	педаль газа
RY	боковая реакция дороги	ПС	педаль сцепления
SX	коэффициент относительного буксования колеса	ПТ	педаль тормоза
БД	блок датчиков	РК	рулевое колесо
БИК	бортовой измерительный комплекс	СА	линейная скорость автомобиля
БУ	боковой увод	СВ	скорость ветра
ВИ	визуальные индикаторы	СВВ	субъективное восприятие водителя
ВП	весовые параметры	СВХ	сопротивление воздуха
ГП	геометрические параметры	СДС	система динамической стабилизации
ДР	динамический радиус колес	СК	угловая скорость колес
ДШ	давление воздуха в шинах	СПК	коэффициент сопротивления качению
ЖШ	жесткость шин	ТАН	угол тангажа автомобиля
ЗВВ	зрительное восприятие водителя	ТС	техническое состояние
ИП	износ протектора	УА	линейное ускорение автомобиля
КР	угол крена автомобиля	УВВ	управляющие воздействия водителя
КС	коэффициент сцепления	УГК	угол установки колес
КШ	колесо	УПК	угол поворота колес
МВС	весовой стабилизирующий момент	УПР	управляемость автомобиля
МГН	гироскопический момент колеса на неровности	УС	угловая скорость автомобиля
МГП	гироскопический момент повернутого колеса	УСТ	устойчивость автомобиля
МДБ	возмущающий момент от дисбаланса управляемого колеса	УУ	угловое ускорение автомобиля
МИ	инерционный момент	ЦМ	координаты центра масс автомобиля

Пунктирными линиями обозначены компоненты, устанавливаемые опционально. Условные обозначения, принятые на рис. 1, расшифрованы в табл. 1.

Множество параметров, оказывающих влияние на свойства маневренности, обуславливает сложность вопроса обеспечения функциональной стабильности ТС. Актуальным является определение характера поведения автомобиля в области неустойчивости и выявление причин её возникновения. Успешность решения указанных задач зависит от корректности выбранной математической

модель и ее параметров, которые описывают поведение реального автомобиля.

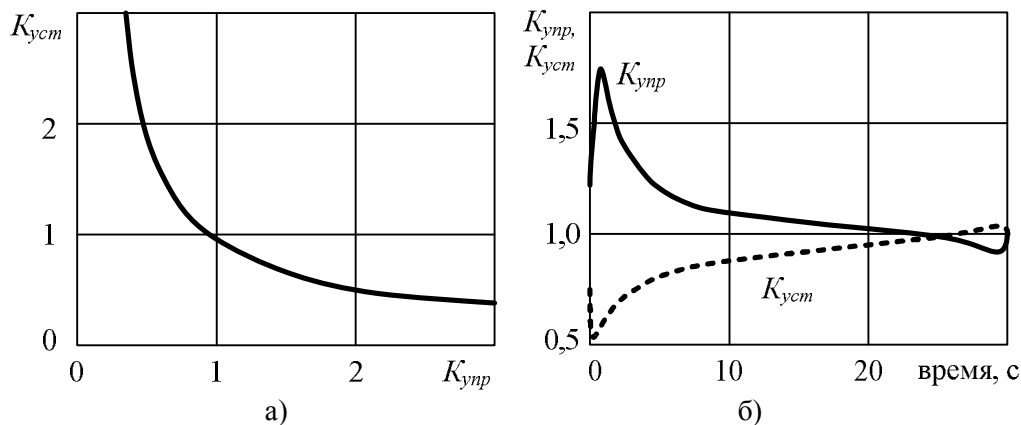
Взаимосвязь между показателями маневренности колесных машин

Определим коэффициент устойчивости двухосной машины при движении на повороте

$$K_{уст} = \frac{R_{\delta_2}}{R_{k_1}} \cdot \frac{b}{a} \cdot \operatorname{cosec} \bar{\alpha} + \frac{R_{\delta_2}}{R_{\delta_1}} \cdot \frac{b}{a} \cdot \sec \bar{\alpha}. \quad (1)$$

где a , b – расстояние от передней и задней осей до проекции центра масс машины на горизонтальную плоскость; $R_{\delta 1}$, $R_{\delta 2}$ – суммарные боковые реакции на колесах передней и задней осей; R_{k1} – суммарная реакция вдоль оси OX на колесах передней оси машины; $\bar{\alpha}$ – средний угол поворота направляющих колес.

Взаимосвязь между показателями устойчивости и управляемости при криволинейном движении можно записать в следующем виде



а – зависимость коэффициента устойчивости от коэффициента управляемости;
б – зависимость $K_{уст}$ и $K_{упр}$ от времени маневра

Рис. 2 – Взаимосвязь между показателями маневренности автомобиля

Таблица 2 – Параметры условного автомобиля, принятые при оценке взаимосвязи между показателями устойчивости и управляемости

Параметр	Значение	Параметр	Значение
a , м	1,4	V_0 , м/с	3,61
b , м	1,33	f_0	0,013
\dot{V}_{x1} , м/с ²	1	h , м	0,546

Анализ графиков, приведенных на рис. 2 показывает, что при снижении коэффициента устойчивости повышается коэффициент управляемости и наоборот. Полученный результат справедлив для колесных машин с любым типом привода. Одновременное обеспечение устойчивости и управляемости возможно лишь при значениях $K_{уст} = 1$ и $K_{упр} = 1$.

Определим взаимосвязь между показателями управляемости и динамичности. Подставим в зависимость (1) выражения для определения суммарных боковых реакций на колесах передней и задней осей, полученные в работе [2]. Касательную реакцию для колес ведущей оси примем как предельную по условию сцепления. В таком случае

$$K_{уст} = 1/K_{упр}. \quad (2)$$

Зависимость $K_{уст} = f(K_{упр})$ приведена на рис. 2а. На рис. 2б приведены зависимости $K_{уст} = f(t)$ и $K_{упр} = f(t)$ при движении автомобиля В-класса на повороте при синусоидальном законе изменения угла поворота направляющих колес.

Параметры условного автомобиля приведены в табл. 2.

$$\frac{dV_{x1}}{dt} = \frac{\frac{a}{b} \left(V_{x1}^2 (b + fh) \operatorname{tg} \bar{\alpha} + V_{x1} \frac{B_1}{\cos^2 \bar{\alpha}} \frac{d\bar{\alpha}}{dt} \right)}{K_{упр} \cdot A_1 \cdot \operatorname{tg} \bar{\alpha} - \frac{a}{b} \cdot B_1 \cdot \operatorname{tg} \bar{\alpha}} - \frac{K_{упр} \left(V_{x1}^2 (a - fh) \operatorname{tg} \bar{\alpha} + V_{x1} \frac{A_1}{\cos^2 \bar{\alpha}} \frac{d\bar{\alpha}}{dt} \right)}{K_{упр} \cdot A_1 \cdot \operatorname{tg} \bar{\alpha} - \frac{a}{b} \cdot B_1 \cdot \operatorname{tg} \bar{\alpha}}. \quad (3)$$

где $A_1 = ab - i_z^2 - f \cdot hb$; $B_1 = b^2 + i_z^2 + f \cdot h \cdot b$; f – коэффициент сопротивления качению; h – высота центра масс машины; i_z – радиус инерции автомобиля относительно центральной вертикальной оси.

Способность автомобиля к быстрому разгону характеризуется ускорением его центра масс

$$m_a \cdot \dot{V}_{x1} = \frac{1}{\delta_{ер}} \cdot (P_{тяг} - \sum P_c) \quad (4)$$

где $P_{тяг}$ – тяговая сила автомобиля; $\sum P_c$ – сумма сил сопротивления движению; $\delta_{ер}$ –

коэффициент, учитывающий влияние инерции вращающихся частей автомобиля
Подставляя выражение (4) в (3) и решая по-

лученное уравнение относительно $K_{дин}$, получим зависимость, отображающую взаимосвязь между $K_{дин}$ и K_{ynp}

$$K_{дин} = 1 + \frac{\frac{a}{b} \left[V_{x1} (b + f \cdot h) \operatorname{tg} \bar{\alpha} + \frac{B_1}{\cos^2 \bar{\alpha}} \frac{d\alpha}{dt} - K_{ynp} \left(V_{x1} (a - f \cdot h) \operatorname{tg} \bar{\alpha} + \frac{A_1}{\cos^2 \bar{\alpha}} \frac{d\alpha}{dt} \right) \right] \delta \cdot V_{x1} \cdot m_a}{\left(K_{ynp} \cdot A_1 - \frac{a}{b} \cdot B_1 \right) \cdot C_1 \cdot \operatorname{tg} \bar{\alpha}}; \quad (5)$$

где $C_1 = \psi m_a g + k F V_{x1}^2$, $D_1 = \frac{C_1}{\delta} (K_{дин} - 1) + k F V_{x1}^2$.

Выражение, отображающее взаимосвязь между $K_{уст}$ и K_{ynp} можно представить следующим образом

$$K_{уст} = \frac{b}{a} \cdot \sqrt{\frac{\varphi^2 \cdot \left(m_a \cdot g \cdot \frac{a}{L} + D_1 \cdot \frac{h - r_\delta}{L} \right)^2 - (1 - K_R)^2 \cdot D_1^2}{\varphi^2 \cdot \left(m_a \cdot g \cdot \frac{b}{L} - D_1 \cdot \frac{h - r_\delta}{L} \right)^2 - K_R^2 \cdot D_1^2}}. \quad (6)$$

Выражения (5) и (6) позволяют перейти к построению их блокирующих контуров и обеспечению стабильности свойств маневренности автотранспортных средств.

Выводы

1. Предложенный метод оперативного определения рациональных показателей маневренности базируется на построении областей управляемого и устойчивого движения транспортных средств с учетом их динамичности, что позволяет определять и прогнозировать функциональную стабильность указанных показателей маневренности и рациональные соотношения между ними.
2. Для обеспечения стабильности показателей маневренности транспортных средств необходимо создание интеллектуальной платформы на основе синтезированных элементов искусственного интеллекта в качестве управляющих устройств.

Литература

1. 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.
2. 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.
3. Закин Я. Х. Маневренность автомобиля и автопоезда / Я. Х. Закин. - М.: Транспорт, 1986. - 136 с.
4. Стабильность эксплуатационных свойств колесных машин / [Подригало М. А., Волков В. П., Карпенко В. А. и др] ; под ред. М. А. Подригало. - Х.: ХНАДУ, 2003. - 614 с.
5. Комаров В. В. Оценка соответствия качества автомобилей / Комаров В. В. - М.: НПСТ «Трансконсалтинг», 2003. - 176 с.
6. Пат. 51031 Україна, МПК G01P 3/00. 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 ХНАДУ. - № u 2010 01136; заявл. 04.02.10 ; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12.
7. Пат. 54754 U Україна, МПК (2010) 8 G01 C 23/00. Мобільна система реєстрації дорожньої ситуації / Туренко О.І., Алексієв О.П.; заявник та патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. заявл. 26.05.2010, опубл. 25.11.2010. Бюл. №22.

Рецензент: М.А. Подригало, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 18 ноября 2017 г.