

СПОСОБ ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМОБИЛЯ В ТЯГОВОМ РЕЖИМЕ

Н. В. Хольшев¹, Д. Н. Коновалов², **А. А. Букин³**

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

¹ e-mail: xhb@live.ru

² e-mail: kdn1979dom@mail.ru

³ e-mail: buka196528@rambler.ru

Аннотация. Одним из важных эксплуатационных свойств автомобиля, обеспечивающим безопасность движения, является устойчивость автомобиля. Ее потеря является негативным фактором, ведущим к возникновению дорожно-транспортных происшествий. В настоящее время применяется ряд электронных систем, предназначенных для устранения потери устойчивости автомобиля. Но большинство из них направлены на устранение потери устойчивости, а не на предупреждение этого состояния. В зависимости от режима движения автомобиля (тяговый, свободного выбега) устойчивость его движения оценивается различными параметрами. Эти параметры можно использовать для оперативной оценки устойчивости транспортного средства, но для этого необходимы адекватные методики, учитывающие основные параметры автомобиля, влияющие на его устойчивость при движении, а также условия движения. Существующие в настоящее время методики и выражения по расчету параметров устойчивости автомобиля имеют ряд допущений. Это не уменьшает их ценности, но несколько снижает точность. Целью данной работы являлось повышение устойчивости автомобиля за счет разработки способа оперативной оценки его устойчивости в тяговом режиме. В ходе теоретических исследований было установлено, что для оценки устойчивости автомобиля с полным или задним приводом можно использовать коэффициент устойчивости. Он равен отношению стабилизирующего момента автомобиля к возмущающему. При значениях данного коэффициента более единицы автомобиль будет устойчив. Выражение для его расчета включает ряд конструктивных и эксплуатационных параметров транспортного средства. Выразив из него значения ускорений, соответствующие значениям коэффициента устойчивости больше единицы, получим максимально допустимые ускорения, обеспечивающие устойчивое движение автомобиля. На основании этого был предложен способ оперативной оценки устойчивости автомобиля, заключающийся в сравнении максимально допустимых ускорений автомобиля с фактическими. Для повышения точности расчетов максимально допустимых ускорений предложено определять высоту центра масс автомобиля в зависимости от его фактической массы при помощи линейной интерполяции. Научную новизну данной работы составляет предложенный способ оперативной оценки устойчивости автомобиля, основанный на уточненной методике расчета максимально допустимых ускорений. Для расчета значений максимально допустимых ускорений по предложенной методике разработана программа для ЭВМ. Направлением дальнейших исследований является оценка адекватности предлагаемого способа за счет проведения экспериментальных исследований.

Ключевые слова: автомобиль, курсовая устойчивость, тяговый режим движения автомобиля, центр масс автомобиля, допустимые ускорения автомобиля.

Для цитирования: Хольшев Н. В., Коновалов Д. Н., Букин А. А. Способ оперативной оценки устойчивости автомобиля в тяговом режиме // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 2. – С. 105–114. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-2-105>.

THE METHOD FOR RAPID ASSESSMENT OF VEHICLE STABILITY IN TRACTION MODE

N. V. Kholshhev¹, D. N. Kononov², **A. A. Bukin³**

Tambov State Technical University, Tambov, Russia

¹ e-mail: xhb@live.ru

² e-mail: kdn1979dom@mail.ru

³ e-mail: buka196528@rambler.ru

Abstract. One of the important operational properties of a car that ensures traffic safety is the stability of the

car. The loss of stability of the car is a negative phenomenon leading to the occurrence of road accidents. Currently, a number of electronic systems are used to eliminate the loss of stability of the car. But most of them are aimed at eliminating the loss of stability, and not at preventing this condition. Depending on the driving mode of the car (traction, free run), the stability of its movement is evaluated by various parameters. These parameters can be used to quickly assess the stability of the vehicle, but this requires adequate techniques that take into account the main parameters of the car that affect its stability when driving, as well as traffic conditions. The currently existing methods and expressions for calculating the stability parameters of a car have a number of assumptions. This does not reduce their value, but somewhat reduces the accuracy. The purpose of this work was to increase the stability of the car by developing a method for quickly assessing its stability in traction mode. In theoretical studies, it was found that the stability coefficient can be used to assess the stability of a car with all-wheel or rear-wheel drive. It is equal to the ratio of the stabilizing moment of the car to the perturbing one. If this coefficient is greater than one, the car will be stable. The expression for its calculation includes a number of design and operational parameters of the vehicle. Expressing from it the acceleration values corresponding to the values of the stability coefficient greater than one, we get the maximum permissible accelerations that ensure stable movement of the car. Based on this, a method of operational assessment of the stability of the car was proposed, which consists in comparing the maximum permissible accelerations of the car with the actual ones. To improve the accuracy of calculations of the maximum permissible accelerations, it is proposed to determine the height of the center of mass of the car depending on its actual mass using linear interpolation. The scientific novelty of this work is the proposed method of operational assessment of the stability of the car, based on a refined methodology for calculating the maximum permissible accelerations. To calculate the values of the maximum allowable accelerations according to the proposed method, a computer program was developed. The direction of further research is to assess the adequacy of the proposed method by conducting experimental studies.

Key words: car, directional stability, traction mode of the car, the center of mass of the car, permissible acceleration of the car.

Cite as: Kholshchev, N. V., Kononov, D. N., Bukin, A. A. (2022) [The method for rapid assessment of vehicle stability in traction mode]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 2, pp. 105–114, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-2-105>.

Введение

Безопасность дорожного движения определяется во многом устойчивостью транспортного средства в различных условиях и режимах движения. Повышение устойчивости автомобиля является актуальной задачей для современного автомобилестроения. Решение данной задачи в настоящее время осуществляется при помощи применения различных электронных систем^{1, 2} [8, 15, 17], повышающих устойчивость автомобиля, чаще всего, регулировкой тормозного момента на нужном колесе. В зависимости от производителя данная система может называться по-разному. Наиболее распространенной в Европе и Америке является система курсовой устойчивости с названием «Electronic Stability Programme» (ESP), развитие и совершенствование которой ведется непрерывно [16, 23]. Внедрение различных вспомогательных стабилизирующих электронных систем, с одной стороны, сказывается положительно на управляемости и устойчивости транспортного средства, снижая аварийность, но, с другой стороны, внедрение дополнительных элементов ведет к усложнению конструкции и уменьшению общего уровня надежно-

сти системы. Включение таких систем в работу для корректировки положения автомобиля чаще всего происходит при ошибках, допускаемых водителем по тем или иным причинам – отсутствие достаточных навыков вождения, возникновение нештатных ситуаций на дороге, неудовлетворительное состояние дорожного покрытия и другие. Некоторые из этих ошибок могут совершаться водителем сознательно и неоднократно, так как водитель привык рассчитывать на помощь электронных систем. В такой ситуации выход из строя подобной системы может привести к потере устойчивости транспортного средства и дорожно-транспортному происшествию.

Для исключения заноса, создающего неуверенность у водителя, необходимо, чтобы конструктивные и эксплуатационные параметры автомобиля максимально обеспечивали устойчивость транспортного средства с минимальным вмешательством вспомогательных систем, а это возможно только при наличии адекватных и настраиваемых моделей и методик, связывающих поведение автомобиля на дороге с его конструктивными и эксплуатационными параметрами. Следует предусматривать резервные системы обеспечения устойчивости транспорт-

¹ Система курсовой устойчивости автомобиля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://avtonauka.ru/electronika/sistema-kursovoyo-ustoychivosti-avtomobilya.html> (дата обращения: 16.01.2022).

² Система курсовой устойчивости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: (VSC/VSC+) <https://www.toyota.ru/new-cars/technologies/vsc> (дата обращения: 16.01.2022).

ных средств, не только исправляющие ошибки водителя, но и не допускающие возникновения этих ошибок и предупреждающие водителя о возможности возникновения неустойчивости автомобиля, вызванной его действиями [21]. Целью данной работы являлось повышение устойчивости автомобиля за счет разработки способа оперативной оценки его устойчивости в тяговом режиме.

Анализ состояния вопроса

Вопросами устойчивости автомобиля при прямолинейном и криволинейном движении посвя-

щены многие исследования [1–3, 4, 6–8, 11, 16–23]. Одни из первых и обширных исследований устойчивости автомобиля приведены в работах Е. А. Чудакова и Я. М. Певзнера [2]. Устойчивость транспортного средства может быть охарактеризована различными составляющими. Анализ существующих исследований позволил авторам работы [11] составить структуру устойчивости как сложного многофакторного свойства, подразделяющегося на устойчивость движения и устойчивость положения автомобиля на опорной поверхности (рисунок 1).

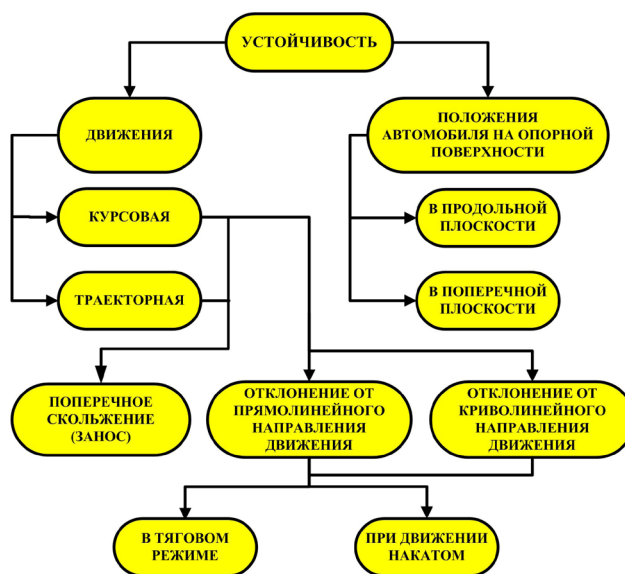


Рисунок 1. Классификация устойчивости автомобиля
 Источник: разработано авторами на основе [11] и [15]

Для численной оценки воздействия тех или иных факторов (изменение конструкции, влияние условий и режима движения) на устойчивость автомобиля необходимо применение какого-либо критерия. Е. А. Чудаков проводил оценку устойчивости по величине боковой реакции на задней оси [2]. Но для оценки устойчивости необходимо знать не только запас по боковой силе на оси, но и возмущающий момент, который создается боковой силой на передней оси. Данный подход позволяет лишь установить относительную степень устойчивости

автомобиля, а не абсолютную [2, 6]. В работах [2, 6] рекомендуется использовать для оценки устойчивости транспортного средства в тяговом режиме коэффициент устойчивости $K_{уст}$, который равен «отношению предельного по сцеплению стабилизирующего момента транспортного средства к предельному по сцеплению возмущающему» [2, 6]. Его текущие значения можно найти по выражению, предложенному д.т.н. М. А. Подригайло и к.т.н. Д. М. Клец [2, 6]:

$$K_{уст} = \sqrt{\frac{\left[g \cdot \varphi \cdot \frac{b}{L} + \left(\frac{k \cdot F}{m_a} V^2 + \dot{V} \right) \cdot \varphi \cdot \frac{h}{L} \right]^2 - (1 - K_R)^2 \cdot \frac{b^2}{a^2} \left(\frac{k \cdot F}{m_a} V^2 + \dot{V} \right)^2}{\left[g \cdot \varphi \cdot \frac{b}{L} - \left(\frac{k \cdot F}{m_a} V^2 + \dot{V} \right) \cdot \varphi \cdot \frac{h}{L} \right]^2 - K_R^2 \cdot \left(\frac{k \cdot F}{m_a} V^2 + \dot{V} \right)^2}}, \tag{1}$$

где m_a – масса автомобиля, кг;

a и b – расстояние от центра масс автомобиля до передней и задней его оси соответственно, м;

g – ускорение свободного падения, м/с²;
 V – текущие значения скорости движения автомобиля, м/с;
 k – коэффициент сопротивления воздуха, кг/м³;
 F – площадь лобового сечения автомобиля, м²;
 h – высота центра аэродинамического давления (можно принимать равной высоте центра масс автомобиля), м;
 K_R – коэффициент распределения общей тяговой силы между передними и задними колесами (изменяется от 0 до 1 для полного привода; для заднего привода $K_R = 0$; для переднего привода $K_R = 1$);
 \dot{V} – текущие значения ускорения автомобиля, м/с²;
 φ – коэффициент сцепления колес с дорожным покрытием;
 L – база автомобиля, м.

Автомобиль будет устойчив при значении $K_{уст} > 1$, при равенстве данного коэффициента единице транспортное средство балансирует на грани выхода из устойчивого движения. Значения $K_{уст} < 1$ указывают на неустойчивость движения. В работе [2] было доказано, что для переднеприводного автомобиля в тяговом режиме значение данного коэффициента будет всегда больше единицы, т.е. для оценки устойчивости движения автомобиля в тяговом режиме его целесообразно применять для задне- и полноприводного автомобиля.

Анализ выражения (1) показал, что в нем не производится учет фактического расположения высоты центра тяжести автомобиля, а также данное

выражение является громоздким для вычислений, что снижает точность и оперативность расчетов, но с его использованием можно выполнять оперативную оценку устойчивости автомобиля. Для устранения указанных недостатков и разработки алгоритма применения данного коэффициента в качестве параметра оперативной оценки устойчивости транспортного средства необходимы дополнительные исследования.

Теоретические исследования

В выражение (1) входит величина текущих значений ускорения (\dot{V}). Ускорение автомобиля при его движении динамично меняется, что при определенных его значениях может привести к потере устойчивости транспортного средства ($K_{уст} < 1$). При достижении таких значений ускорения можно предупредить потерю устойчивости автомобиля, уведомив об этом водителя, который изменив, например, режим движения, не допустит потери устойчивости транспортного средства. Для исключения использования промежуточных вычислений и параметров удобнее не вычислять значения коэффициента устойчивости, а сравнивать фактические значения текущих ускорений автомобиля, получаемых непосредственно с датчика, с расчетными допустимыми и максимальными значениями ускорений, которые могут быть найдены из выражения (1).

Выражение для расчета значений допустимых текущих ускорений автомобиля приведено в работе [2, 6] и имеет вид:

$$\dot{V} \leq \frac{\varphi^2 \cdot g \cdot \frac{h}{L} \cdot \frac{b}{a}}{0,5 \left(\frac{b^2}{a^2} - 1 \right) \cdot \left(K_R^2 - \varphi^2 \cdot \frac{h^2}{L^2} \right) - \frac{b^2}{a^2} (K_R - 0,5)} - \frac{k \cdot F \cdot V^2}{m_a} = \dot{V}_{уст}^{max} \quad (2)$$

где

$\dot{V}_{уст}^{max}$ – максимально возможное ускорение автомобиля, обеспечивающее его устойчивое движение м/с².

Из выражения (2) видно, что для устойчивого

движения автомобиля необходимо, чтобы фактические текущие значения ускорения (\dot{V}) были меньше расчетных значений максимально возможных ускорения автомобиля ($\dot{V}_{уст}^{max}$):

$$\dot{V} \leq \dot{V}_{уст}^{max} \quad (3)$$

Определение точных координат центра тяжести транспортного средства является достаточно трудоемким процессом, требующим большого объема исходных данных и вычислений, что не соответствует нашим задачам [5]. Для упрощения и ускоре-

ния расчетов координаты центра тяжести автомобиля вычисляли по упрощенным выражениям. Так смещение центра тяжести относительно передней и задней осей автомобиля с учетом фактической нагрузки на колеса можно найти по выражениям [14]:

$$a = \frac{L \cdot m_3}{m_\phi} \quad (4)$$

$$b = L - a \quad (5)$$

где

m_3 – масса автомобиля, приходящаяся на его

заднюю ось, кг;

m_ϕ – фактическая масса автомобиля, кг.

Высоту центра тяжести автомобиля, зная ее значения для снаряженного и полностью груженого

автомобиля, можно найти с применением линейной интерполяции по формуле [13]:

$$h = h_c + (m_\phi + m_c) \frac{(h_{\text{пр}} - h_c)}{(m_{\text{пр}} - m_c)}, \tag{6}$$

где

h_c и $h_{\text{пр}}$ – высота центра тяжести соответственно снаряженного и полностью груженого автомобиля, м;

m_c и $m_{\text{пр}}$ – масса соответственно снаряженного и полностью груженого автомобиля, кг;

m_ϕ – фактическая масса автомобиля, кг.

На основании приведенных выше выражений был предложен способ оперативной оценки устойчивости транспортного средства с учетом его экс-

плуатационных параметров. Суть предлагаемого способа заключается в сравнении фактических ускорений автомобиля \dot{V}_ϕ с допустимыми $\dot{V}_{\text{уст}}^{\text{max}}$, обеспечивающими его устойчивое движение ($\dot{V}_\phi < \dot{V}_{\text{уст}}^{\text{max}}$) или не устойчивое движение ($\dot{V}_\phi > \dot{V}_{\text{уст}}^{\text{max}}$), при $\dot{V}_\phi = \dot{V}_{\text{уст}}^{\text{max}}$ автомобиль будет балансировать на грани устойчивости. Алгоритм работы предлагаемого способа приведен на рисунке 2.

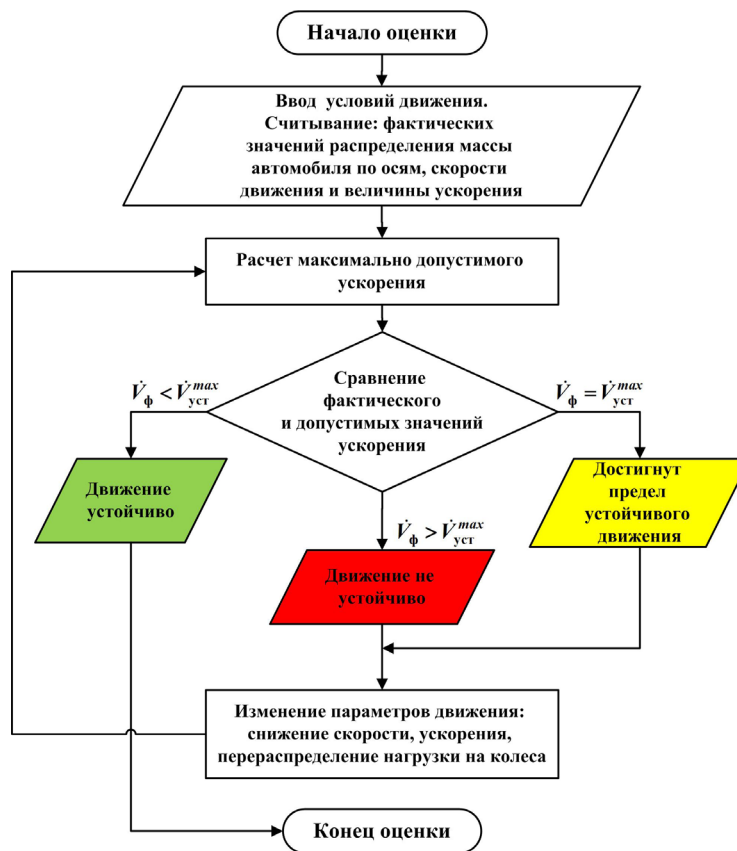


Рисунок 2. Алгоритм работы способа оперативной оценки устойчивости автомобиля

Источник: разработано авторами

Работает способ следующим образом. Перед началом движения вводятся параметры движения (характеристика дорожного покрытия), затем после окончания загрузки автомобиля считывается фактическая масса, приходящаяся на колеса автомобиля $m_{\text{пл}}, m_{\text{зад}}, m_{\text{зад}}, m_{\text{зад}}$ (при помощи, например, тензодатчиков) и по выражению (2) производится расчет максимально допустимого ($\dot{V}_{\text{уст}}^{\text{max}}$) ускорения с учетом конструктивных особенностей автомобиля и условий его движения. Данные параметры сохраняются в памяти. Там же хранятся и необходи-

мые для расчета технические характеристики автомобиля. Фактические текущие значения ускорения замеряются при движении с помощью специального датчика (акселерометра). При движении автомобиля в зависимости от фактических значений ускорений будут выданы соответствующие сообщения: $\dot{V}_\phi = \dot{V}_{\text{уст}}^{\text{max}}$ – достигнут предел устойчивого движения; $\dot{V}_\phi > \dot{V}_{\text{уст}}^{\text{max}}$ – движение неустойчиво; $\dot{V}_\phi < \dot{V}_{\text{уст}}^{\text{max}}$ – движение устойчиво.

Для устранения неустойчивого движения необходимо изменить режим движения, распределить

груз более равномерно, после устранения превышений автоматически будет скорректированы результаты оценки – обновлены расчетные значения ускорений.

Предложенный способ не сложен в реализации, но методика расчета значений ускорений является достаточно громоздкой, что затрудняет оперативность выполнения расчетов. Для устранения этого недостатка и с целью теоретической оценки работоспособности метода и изучения влияния изменения высоты расположения центра масс автомобиля на его устойчивость было разработано специальное приложение в среде программирования «Lazagus 2.0» [10].

Для иллюстрации принципа работы предложенного метода, а также оценки целесообразности корректировки высоты центра масс автомобиля были построены теоретические кривые ускорений ВАЗ-2107, а также кривые максимально допустимых ускорений при снаряженной и максимальной массе автомобиля. Для этого был произведен ряд расчетов с использованием разработанного приложения. В качестве исходных использовались технические характеристики автомобиля ВАЗ-2107^{3,4}: ширина колесной базы автомобиля – 2,424 м; высо-

та центра масс снаряженного автомобиля – 0,56 м; высота центра масс полностью груженого автомобиля – 0,58 м; снаряженная масса автомобиля – 1060 кг; максимальная масса автомобиля – 1460 кг; коэффициент аэродинамического сопротивления – 0,544; габаритная высота – 1,435 м; коэффициент заполнения площади лобового сечения – 0,8. Значения передаточных чисел коробки перемены передач и главной передачи составили для первой передачи – 3,67; второй – 2,10; третьей – 1,36; четвертой – 1; пятой – 0,82; передаточное число главной передачи – 3,9. Распределение массы по осям было принято в долях единиц равным – 0,54 на переднюю ось и 0,46 – на заднюю ось.

Для задания условий движения были взяты следующие значения: табличное значение коэффициента сопротивления качению – 0,016; коэффициент сцепления колес с дорогой – 0,8; плотность воздуха – 1,22 кг/м.

Значения ускорений определялись на основе теоретической внешней скоростной характеристики, рассчитанной при помощи ранее разработанного приложения [9] по общеизвестной методике тягового расчета [12].

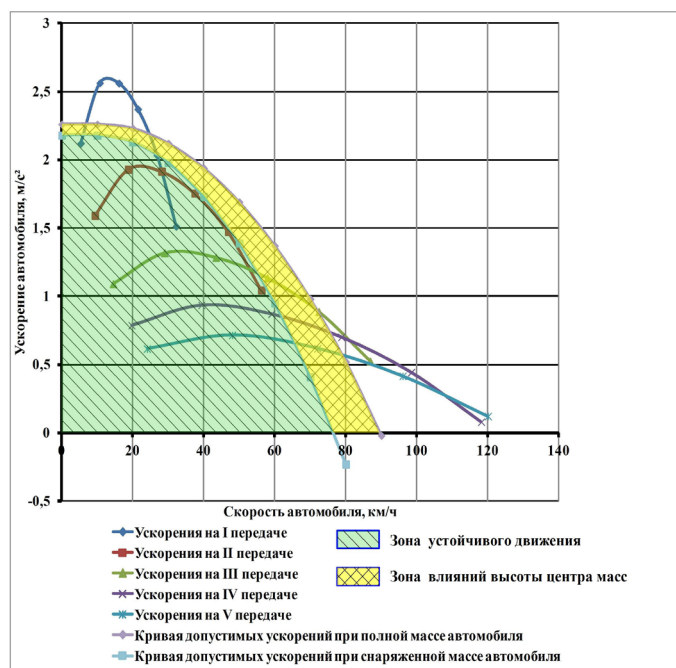


Рисунок 3. Иллюстрация работы предлагаемого способа оперативной оценки устойчивости автомобиля в тяговом режиме

Источник: разработано Н. В. Хольшевым в программе «Компас 3D V16»

³ Сабанов Ю. В., Казаков Н. В. Руководство по эксплуатации автомобилей LADA 2105, LADA 2105 и их модификаций (состояние на 13.01.2011) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.yahroma-lada.ru/images/VAZ/rukovodstvo%20po%20ekspluatcii%20avtomobilya%20LADA%202105-2107.pdf/> (дата обращения: 16.01.2022).

⁴ Координаты центра массы ГС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mybiblioteka.su/tom2/6-46240.html> (дата обращения: 16.01.2022).

На основании полученных данных в программе Microsoft Excel 2007 были построены графики ускорений автомобиля и кривые допустимых ускорений с последующей обработкой в программе Компас 3D V16, состоявшей в выделении зон устойчивого движения (зеленая заливка) и зоны влияния высоты цен-

тра масс автомобиля (желтая заливка) (рисунок 3).

На основании рисунка 3 были определены, в соответствии с предложенным методом, значения скоростей, при которых рассматриваемый автомобиль выйдет из зоны устойчивого движения (таблица 1).

Таблица 1. Значения скоростей выхода ВАЗ-2107 из зоны устойчивого движения

Номер передачи	Скорость выхода автомобиля из зоны устойчивого движения	
	снаряженная масса автомобиля (высота центра тяжести $h = 0,56$ м)	полная масса автомобиля (высота центра тяжести $h = 0,58$ м)
I	более 6 и менее 26	более 7 менее 25
II	–	–
III	более 56	более 74
IV	более 62	более 77
V	более 66	более 80

Источник: разработано Н. В. Хольшевым

Из таблицы 1 видно, что на второй передаче движение автомобиля будет устойчиво при любых значениях ускорений вне зависимости от учета высоты центра масс автомобиля. При движении на первой передаче значения допустимых ускорений мало зависят от учета высоты центра масс. На остальных передачах значения допустимых скоростей отличаются на 14...18 км/ч в зависимости от выбранной передачи коробки передач.

Использование при расчете значений максимально допустимых ускорений фиксированного значения высоты центра тяжести снаряженного автомобиля уменьшает зону устойчивого движения, ограничивая тем самым скорость движения, снижая эффективность использования автомобиля. Если же расчет кривой максимально допустимых ускорений выполняется при высоте центра масс автомобиля соответствующей максимальной массе автомобиля, значения данных ускорений увеличиваются в пределах от 1,03 до 2,39 раз в зоне положительных значений. Это положительно скажется на производительности автомобиля, но может привести к движению автомобиля в неустойчивой зоне, если его фактическая масса будет меньше максимальной массы. Наибольшее влияние на величину ускорений высота центра масс будет оказывать при скоростях движения более 40 км/ч (превышение в 1,12 раз). Приведенные выше значения допустимых значений скоростей и ускорений носят ориентировочный характер, так как получены на основании теоретической внешней скоростной характеристики и усредненных конструкционных параметров автомобиля. Но в целом они отражают суть предло-

женного способа и целесообразность учета фактической высоты центра тяжести, которая оказывает существенное влияние на точность вычислений, а значит и адекватность предложенного способа оперативной оценки устойчивости движения автомобиля.

Заключение

В результате проведенных теоретических исследований был предложен метод оперативной оценки устойчивости автомобиля при движении в тяговом режиме. Данный метод применим для задне- и полноприводных автомобилей в тяговом режиме и основан на сравнении максимально допустимых ускорений автомобиля, обеспечивающих его устойчивое движение, с фактическими, получаемыми с соответствующего датчика в реальном времени. Расчет максимально допустимых ускорений производится по приведенной методике с учетом ряда эксплуатационных параметров – фактическое распределение массы по осям, скорость движения, условия движений. Для повышения точности расчетов предлагается осуществлять корректировку высоты центра тяжести автомобиля с учетом его загрузки. Это позволяет увеличить точность расчетов максимально допустимых ускорений, что исключит, в зависимости от ситуации, движение автомобиля или в неустойчивом режиме или же с заниженной эксплуатационной скоростью.

Предложенный метод относительно несложен в реализации, но для установления степени его адекватности и работоспособности необходимо выполнить дополнительные исследования.

Литература

1. Глазков Ю. Е., Глазкова М. М., Попов М. А. Анализ устойчивости движения автопоезда с управляемым полуприцепом // Тенденции развития науки и образования. – 2020. № 68, Ч. 2. – С. 141–143.

2. Клец Д. М. Влияние эксплуатационных факторов и технического состояния автомобиля на его устойчивость против заноса: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20. – Харьков, 2009. – 216 с.
3. Клец Д. М. Применение нечеткой логики в системе повышения устойчивости автомобиля против заноса // Ученые записки «Крымского инженерно-педагогического университета». – 2013. – № 38. – С. 24–29.
4. Литвинов А. С. Управляемость и устойчивость автомобиля: монография. – М.: Машиностроение. – 1971. – 416 с.
5. Малиновский М. П. Определение центра тяжести автотранспортного средства с использованием массово-габаритных характеристик его агрегатов // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2020. – № 4 (26). – URL: https://www.adi-madi.ru/madi/article/viewFile/961/pdf_551 (дата обращения: 10.01.2022).
6. Оценка устойчивости автомобиля с помощью ЭВМ при выполнении анализа тягово-скоростных свойств / Н. Н. Алёкса [и др.] // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2009. № 45. – С. 66–69.
7. Подригало М. А., Клец Д. М. Устойчивость автомобиля против заноса в тяговом режиме движения // Автомобильная промышленность. – 2009. – № 12. С. 23–26.
8. Рязанцев В. И. Метод повышения устойчивости движения автомобиля // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2013. – № 9. – С. 49–55.
9. Свид. 2020614136 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Приложение для расчета и построения внешней скоростной характеристики двигателя транспортного средства / Н. В. Хольшев [и др.]; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО ТГТУ (RU). – № 2020613252; заявл. 20.03.2020; опубл. 26.03.2020, реестр программ для ЭВМ. – 1 с.
10. Свид. 2021662483 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Приложение для оценки устойчивости автомобиля / Н. В. Хольшев [и др.]; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО ТГТУ (RU). – № 2021661293; заявл. 16.07.2021; опубл. 29.07.2021, реестр программ для ЭВМ. – 1 с.
11. Устойчивость колесных машин при заносе и способы ее повышения: монография / М. А. Подригало [и др.]. – Харьков: ХНАДУ, 2006. – 335 с.
12. Филькин Н. М., Шаилов Р. Ф., Буянов И. П. Основы теории исследования эксплуатационных свойств автомобиля: монография. – Пермь: ФГБОУ ВО Пермская ГСХА, 2016. – 241 с.
13. Хольшев Н. В., Коновалов Д. Н., Лавренченко А. А. Уточненная методика расчета курсовых углов автомобиля в конце торможения // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 2. – С. 86–95. – DOI 10.25198/2077-7175-2021-2-86.
14. Широков А. В., Хольшев Н. В. Методика расчета коэффициента устойчивости автомобиля при движении накатом // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: матер. XXX IV Национального науч.-техн. семинара им. Михайлова В.В. (Саратов, 19–20 мая 2021 г.). – Саратов, 2021 – С. 100–102.
15. Широков А. В., Хольшев Н. В., Привалов А. А. Способы обеспечения устойчивости движения автомобиля // Современная наука: Теория, методология, практика: матер. III Всероссийской (нац.) науч.-практ. конф. (Тамбов, 13–14 апреля 2021 г.) – Тамбов, 2021. – С. 259–262.
16. Aleksandrov Y., Aleksandrova T., Morhun Y. Parametric synthesis of the electronic control unit of the course stability system of the car // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. No. 6. – pp. 39–45.
17. Channel M. et al. Robust vehicle yaw control using an active differential and IMC techniques // Control Engineering Practice. – 2007. – Vol. 15. – pp. 923–941. – DOI: 10.1016/j.conengprac.2006.11.012.
18. Chen K. et al. Longitudinal/Lateral Stability Analysis of Vehicle Motion in the Nonlinear Region [Электронный ресурс] // Mathematical Problems in Engineering. – Режим доступа: <https://downloads.hindawi.com/journals/mpe/2016/3419108.pdf> (дата обращения: 16.01.2022).
19. Elhefnawy A. et al. On the control strategies for vehicle stability enhancement // International Journal of Heavy Vehicle Systems. – 2020. – No. 27 – pp. 622–647. – DOI: 10.1504/IJHVS.2020.111263.
20. Lukosevicius V. et al. Investigation of Vehicle Stability with Consideration of Suspension Performance // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11. – pp. 1–32. – DOI: 10.3390/app11209778.
21. Parra A. et al. On pre-emptive vehicle stability control // Vehicle System Dynamics. – 2021. – No. 59 – pp. 1–26. – DOI: 10.1080/00423114.2021.1895229.
22. Rajamani R. Vehicle Dynamics and Control // Economic Development and Cultural Change. – New York: Springer, 2021. – 497 p. – DOI: 10.1201/9781003134305-14.
23. ShojaeeFard M. H., Ebrahimi Nejad S., Masjedi M. Vehicle Directional Stability Control Using Bifurcation Analysis of Yaw Rate Equilibrium // International Journal of Automotive Engineering. – 2016. – No. 1, Vol. 6. – pp. 2065–2074.

References

1. Glazkov, Yu. E., Glazkova, M. M., Popov, M. A. (2020) [Analysis of the stability of the movement of a road train with a controlled semi-trailer]. *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya* [Trends in the development of science and education]. Vol. 68, P. 2, pp. 141–143 (In Russ.).
2. Klec, D. M. (2009) *Vliyanie ekspluatatsionnykh faktorov i tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobilya na ego ustojchivost' protiv zanosa*. Kand. Diss. [The influence of operational factors and the technical condition of the car on its stability against skidding. Cand. Diss.]. Kharkov, 216 p.
3. Klec, D. M. (2013) [The use of fuzzy logic in the system of increasing the stability of the car against skidding]. *Uchenye zapiski «Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta»* [Scientific notes of the «Crimean Engineering and Pedagogical University»]. Vol. 38, pp. 24–29 (In Russ.).
4. Litvinov, A. S. (1971) *Upravlyaemost' i ustojchivost' avtomobilya*. [Handling and stability of the car]. Moscow: Engineering, 416 p.
5. Malinovskij, M. P. (2020) [Determination of the center of gravity of a motor vehicle using the mass-dimensional characteristics of its aggregates]. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura* [Car. Road. Infrastructure]. Vol. 4 (26). Available at: https://www.adi-madi.ru/madi/article/viewFile/961/pdf_551 (accessed: 16.01.2022). (In Russ.).
6. Alyoksa, N. N. (2009) [Evaluation of vehicle stability using a computer when performing an analysis of traction-speed properties]. *Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta* [Bulletin of the Kharkov National Automobile and Road University]. Vol. 45, pp. 66–69. (In Russ.).
7. Podrigalo, M. A., Klec, D. M. (2009) [Stability of the car against skidding in traction driving mode]. *Avtomobil'naya promyshlennost'* [Automotive industry]. Vol. 12, pp. 23–26. (In Russ.).
8. Ryazancev, V. I. (2013) [The method of increasing the stability of the vehicle]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij* [News of higher educational institutions]. Vol. 9, pp. 49–55. (In Russ.).
9. Hol'shev, N. V. et al. (2020) [An application for calculating and building the external speed characteristic of a vehicle engine]. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM. Rossijskaya Federaciya*. [Certificate of state registration of a computer program. Russian Federation]. No 2020614136. 26.03.2020, program register for EVM. – 1 s.
10. Hol'shev, N. V. et al. (2021) [An application for assessing the stability of the car]. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM. Rossijskaya Federaciya*. [Certificate of state registration of a computer program. Russian Federation]. No. 2021662483. 29.07.2021, program register for EVM. – 1 s.
11. Podrigalo, M. A. et al. (2006) *Ustojchivost' kolesnykh mashin pri zanose i sposoby ee povysheniya* [Stability of wheeled vehicles during skidding and ways to improve it]. Moscow: HNADU, 335 p.
12. Fil'kin, N. M., Shaihov, R. F., Buyanov, I. P. (2016) *Osnovy teorii issledovaniya ekspluatatsionnykh svoystv avtomobilya* [Fundamentals of the theory of the study of the operational properties of the car]. Perm': FGBOU VO Permskaya GSKHA, 241 p.
13. Hol'shev, N. V., Konovalov, D. N., Lavrenchenko, A. A. (2021) [Refined method for calculating heading angles of a vehicle at the end of braking]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investment]. Vol. 2, pp. 86–95. – DOI 10.25198/2077-7175-2021-2-86. (In Russ.).
14. Shirokov, A. V., Hol'shev, N. V. (2021) [The method of calculating the coefficient of stability of the car when rolling]. *Problemy ekonomichnosti i ekspluatatsii avtotraktornoj tekhniki: mater. XXXIV Nacional'nogo nauch.-tekhn. seminara im. Mihajlova V.V.* [Problems of economy and operation of automotive equipment: materials of the XXX II National Scientific and Technical Seminar named after Mikhailov V. V.]. Saratov, pp. 100–102. (In Russ.).
15. Shirokov, A. V., Hol'shev, N. V., Privalov, A. A. (2021) [Ways to ensure the stability of the movement of the car]. *Sovremennaya nauka: Teoriya, metodologiya, praktika: materialy III Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoy konferencii* [Modern Science: Theory, Methodology, practice: materials of the III All-Russian (National) Scientific and Practical Conference]. Tambov, pp. 259–262. (In Russ.).
16. Aleksandrov, Y., Aleksandrova, T., Morhun, Y. (2019) Parametric synthesis of the electronic control unit of the course stability system of the car. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 6, pp. 39–45. (In Engl.).
17. Channel, M. et al. (2007) Robust vehicle yaw control using an active differential and IMC techniques. *Control Engineering Practice*. Vol. 15, pp. 923–941. DOI: 10.1016/j.conengprac.2006.11.012. (In Engl.).
18. Chen, K. et al. (2016) Longitudinal/Lateral Stability Analysis of Vehicle Motion in the Nonlinear Region. *Mathematical Problems in Engineering*. Available at: <https://downloads.hindawi.com/journals/mppe/2016/3419108.pdf> (accessed: 16.01.2022). (In Engl.).
19. Elhefnawy, A. et al. (2020) On the control strategies for vehicle stability enhancement. *International Journal of Heavy Vehicle Systems*. No. 27, pp. 622–647. DOI: 10.1504/IJHVS.2020.111263. (In Engl.).
20. Lukosevicius, V. et al. (2021) Investigation of Vehicle Stability with Consideration of Suspension Performance. *Applied Sciences*. Vol. 11, pp. 1–32. DOI: 10.3390/app11209778. (In Engl.).

21. Parra, A. et al. (2021) On pre-emptive vehicle stability control. *Vehicle System Dynamics*. Vol. 59, pp. 1–26. – DOI: 10.1080/00423114.2021.1895229. (In Engl.).

22. Rajamani, R. (2021) Vehicle Dynamics and Control. *Economic Development and Cultural Change*. New York: Springer, 497 p. DOI: 10.1201/9781003134305-14.

23. Shojaee Fard, M. H., Ebrahimi, Nejad, S., Masjedi, M. (2016) Vehicle Directional Stability Control Using Bifurcation Analysis of Yaw Rate Equilibrium. *International Journal of Automotive Engineering*. No. 1., Vol. 6, pp. 2065–2074. (In Engl.).

Информация об авторах:

Николай Васильевич Хольшев, кандидат технических наук, доцент кафедры техники и технологий автомобильного транспорта, Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
e-mail: xhb@live.ru

Дмитрий Николаевич Коновалов, кандидат технических наук, доцент кафедры техники и технологий автомобильного транспорта, Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
e-mail: kdn1979dom@mail.ru

Александр Александрович Букин, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры материалов и технологии, Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
e-mail: buka196528@rambler.ru

Вклад соавторов:

Хольшев Н. В. – проведение теоретических исследований и разработка методики определения устойчивости автомобиля в тяговом режиме, а также оценка влияния учета фактической высоты центра масс автомобиля на расчетные значения допустимых ускорений.

Коновалов Д. Н. – разработка алгоритма работы предложенного способа оперативной оценки устойчивости автомобиля.

Букин А. А. – обоснование целесообразности разработки и применения предлагаемого способа оперативной оценки устойчивости автомобиля в тяговом режиме.

Статья поступила в редакцию: 18.01.2022; принята в печать: 09.03.2022.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Nikolay Vasilievich Kholshhev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering and Technology of Automobile Transport, Tambov State Technical University, Tambov, Russia
e-mail: xhb@live.ru

Dmitry Nikolaevich Konovalov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering and Technology of Automobile Transport, Tambov State Technical University, Tambov, Russia
e-mail: kdn1979dom@mail.ru

Alexander Alexandrovich Bukin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Materials and Technology, Tambov State Technical University, Tambov, Russia
e-mail: buka196528@rambler.ru

Contribution of the authors:

Kholshhev N. V. – carrying out theoretical research and developing a methodology for determining the stability of a car in traction mode, as well as assessing the effect of taking into account the actual height of the center of mass of a car on the calculated values of permissible accelerations.

Konovalov D. N. – development of the operation algorithm of the proposed method for the rapid assessment of vehicle stability.

Bukin A. A. – substantiation of the expediency of development and application of the proposed method for the rapid assessment of vehicle stability in traction mode.

The paper was submitted: 18.01.2022.

Accepted for publication: 09.03.2022.

The authors have read and approved the final manuscript.