

15. Kondratec' V. O., Macuy A. M. Doslidzhennya umov formuvannya potoku pul'py u piskovomu zholobi odnospiral'nogo klasyfikatora [The study of the conditions of formation of pulp stream in the sand chute of a single spiral classifier]. *Visnyk Nacional'nogo tehničnogo universytetu «KhPI». Seriya: Matematyčne modelyuvannya v tekhnici ta tekhnologiyakh* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Mathematical modeling in engineering and technology]. Kharkiv, 2016, no. 6, pp. 24–30.
16. Macuy A. M. Matematyčne modelyuvannya formuvannya piskovogo tila u mizhvytkovomu prostori mekhanichnogo spiral'nogo klasyfikatora [Mathematical modeling of forming sand body in the intertum space of a mechanical spiral classifier]. *Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh i biznes protsessov* [Automation of technological and business processes]. Odesa, 2015, no. 4, pp. 9–17.
17. Kondratets V. A. Issledovanie vlagosoderzhaniya peskov dvukhsiral'nykh mekhanicheskikh klasyfikatorov v promyshlennykh usloviyakh [The research of sand moisture content of double-mechanical classifiers in the industrial conditions]. *Visnyk Kryvoriz'kogo nacional'nogo universytetu* [Bulletin of the Kryvyi Rih National University]. Kryvyi Rih, 2014, no. 36, pp. 168–172.

Надійшла (received) 06.10.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Моделювання формування піскового потоку у пісковому жолобі механічного односпіралного класифікатора / А. М. Мацуй, В. О. Кондратець // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 16 (1188). – С. 53 – 59. Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2222-0631.

Моделирование формирования пескового потока в песковом желобе механического односпирального классификатора / А. Н. Мацуй, В. А. Кондратец // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 16 (1188). – С. 53 – 59. Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2222-0631.

Modeling formation of sand flow in sand chute of mechanical single spiral classifier / A. N. Matsui, V. A. Kondratets, // Bulletin of National Technical University «KhPI» Series: Mathematical modeling in engineering and technologies. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2016. – № 16 (1188). – pp. 53 – 59. Bibliogr.: 17 titles. – ISSN 2222-0631.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / Information about authors

Мацуй Анатолій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград; тел.: (050) 060-48-70, (0522) 56-70-91; e-mail: matsuyan@mail.ru.

Мацуй Анатолій Николаевич – кандидат технических наук, доцент, Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград; тел.: (050) 060-48-70, (0522) 56-70-91; e-mail: matsuyan@mail.ru.

Matsui Anatolii Nikolaevich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Kirovohrad National Technical University, Kirovohrad; tel.: (050) 060-48-70, (0522) 56-70-91; e-mail: matsuyan@mail.ru.

Кондратець Василь Олександрович – доктор технічних наук, професор, Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград; тел.: (0522) 56-70-91; e-mail: matsuyan@mail.ru.

Кондратец Василий Александрович – доктор технических наук, профессор, Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград; тел.: (0522) 56-70-91; e-mail: matsuyan@mail.ru.

Kondratets Vasiliy Aleksandrovich – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Kirovohrad National Technical University, Kirovohrad; tel.: (0522) 56-70-91; e-mail: matsuyan@mail.ru.

УДК 629.017

В. И. НАЗАРОВ, А. И. НАЗАРОВ, И. А. НАЗАРОВ, Д. В. АБРАМОВ, А. И. ТИМЧЕНКО

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БОРТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОРМОЗНОЙ СИЛЫ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ С УЧЕТОМ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ

Запропоновано математичну модель екстреного гальмування легкового автомобіля в експлуатаційних умовах з урахуванням аеродинамічного опору, на підставі якої отримано аналітичні залежності розподілу гальмівних сил між колесами різних бортів. На прикладі легкових автомобілів Lanos, Lada Priora, Chevrolet Aveo, Forza розглянуто роботу створеного алгоритму, наведено результати роботи комп'ютерної програми і аналіз отриманих даних розрахункового експерименту. Проаналізовано перспективи подальших досліджень.

Ключові слова: легковий автомобіль, бортовий розподіл гальмівної сили, експлуатаційні умови.

Предложена математическая модель экстренного торможения легкового автомобиля в эксплуатационных условиях с учетом аэродинамического сопротивления, на основании которой получены аналитические зависимости распределения тормозных сил между колесами различных бортов. На примере легковых автомобилей Lanos, Lada Priora, Chevrolet Aveo, Forza рассмотрена работа созданного алгоритма, приведены результаты работы компьютерной программы и анализ полученных данных расчетного эксперимента. Проанализированы перспективы дальнейших исследований.

Ключевые слова: легковой автомобиль, экстренное торможение, бортовое распределение тормозной силы, эксплуатационные условия.

© В. И. Назаров, А. И. Назаров, И. А. Назаров, Д. В. Абрамов, А. И. Тимченко, 2016

A mathematical model of emergency braking of a vehicle in operational environment taking into account aerodynamic drag is presented. Based on the model analytical dependences of the distribution of braking forces between the wheels of different vehicle sides are obtained. Using the dependency ratios the dynamic changes of normal reactions and board unevenness of brake forces during emergency braking of the vehicle are obtained. It is possible to eliminate the uneven distribution of the brake force on the vehicle wheels by installing brake actuators, comprising regulators of brake forces and hydraulic feedback from the front end suspension and providing either side or combined braking actuator circuit. We demonstrate the created algorithm on the example of the Lanos, Lada Priora, Chevrolet Aveo, Forza vehicles; the results of the computer simulation are given and the experimental data are analyzed. Also the prospects for future research are studied.

Key words: car, brake force board distribution, operating conditions.

Введение. Следует четко понимать, что в процессе эксплуатации автомобиль является частью системы «автомобиль-водитель-дорога-среда» и его свойства проявляются во взаимодействии с элементами этой системы [1]. Поэтому значимость определенного эксплуатационного свойства зависит от условий, в которых данное свойство проявляется, то есть от условий эксплуатации.

В целом условия эксплуатации определяются дорожными, транспортными и природно-климатическими условиями [1].

В наибольшей степени на распределение тормозных сил между колесами легковых автомобилей влияют дорожные условия [1, 2]. К ним относят: элементы профиля и плана дорог, рельеф местности, вид покрытия и его неровности, интенсивность и режим движения по дороге.

Так, в соответствии с [3] поперечный уклон проезжей части, кроме участков, на которых предусмотрены выражи, назначается в зависимости от материала дорожного покрытия. На дорогах с асфальтобетонным и цементобетонным покрытием поперечный уклон проезжей части принимается 2,5%. На дорогах со щебеночным покрытием поперечный уклон назначается от 2,5% до 3,0%, с грунтовым покрытием и брусчаткой 3,0 - 4,0%. Этот же стандарт устанавливает и предельную скорость движения.

Однако не только дорожные условия влияют на перераспределение тормозных сил на колесах автомобиля при торможении. Существенное влияние оказывает и аэродинамическое сопротивление [4].

Анализ последних исследований. В научных трудах, которые считаются классическими, детально рассматриваются вопросы, связанные с перераспределением тормозных сил на осях автомобилей при торможении в связи с изменением их нормальных реакций. Однако классические выражения получены из условия затормаживания на ровной горизонтальной дороге (без учета поперечных и продольных уклонов дороги, радиуса кривизны и т.д.) и пренебрегают действием аэродинамического фактора [4] ввиду незначительности его действия.

Фактическая траектория движения при торможении легкового автомобиля, включая сопряженные прямолинейные и криволинейные участки дороги, при возмущающем воздействии дорожных неровностей и аэродинамических потоков [4], вызывает различие бортовых нормальных реакций, что требует динамического согласования тормозного усилия на педали с предельными тормозными силами на колесах [5].

В литературном источнике [4] указывается, что возмущающие факторы, вызывающие изменение показателей тормозных свойств легковых автомобилей, носят случайный характер и определяются их конструктивными и эксплуатационными параметрами. Наиболее важными из них являются значение коэффициента сцепления шины с опорной поверхностью дороги, коэффициент распределения тормозных сил, положение центра масс автомобиля, перераспределение нормальных реакций между колесами при торможении и особенности конструкции элементов их тормозных систем.

Следовательно, исследование влияния эксплуатационных факторов (дорожные условия и аэродинамическое сопротивление движению) на изменение тормозных сил на колесах автомобиля в процессе экстренного торможения является актуальным.

Постановка задачи. Целью работы является оценка изменения тормозных сил и нормальных реакций на колесах различных осей и бортов легкового автомобиля, совершающего экстренное торможение, при действии возмущающих эксплуатационных факторов.

Задача бортового распределения тормозной силы автомобиля заключается в том, что неравномерность перераспределения нормальных реакций на колесах его различных бортов в силу действия эксплуатационных факторов приводит к необходимости неравномерной реализации их предельных тормозных сил, считая коэффициент сцепления на всех колесах одинаковым. В таком случае появляется необходимость в регулировании тормозной силы между колесами правого и левого бортов автомобиля.

Работа выполнена согласно плану научно-исследовательских работ кафедры технологии машиностроения и ремонта машин ХНАДУ по направлению «Повышение эффективности и функциональной стабильности тормозных систем эксплуатируемых легковых автомобилей, не оборудованных АБС» номер государственной регистрации 0115u002656 и в соответствии с договором №3/КЕО от 20.06.2010 о творческом сотрудничестве между Харьковским национальным автомобильно-дорожным университетом и конструкторско-экспериментальным отделом Запорожского автомобилестроительного завода.

Методы исследования. В настоящей работе использовались методы классической механики, теории подобия и математического моделирования.

Математическая модель. Рассмотрим действие эксплуатационных факторов на перераспределение нормальных реакций (предельных тормозных сил) на колесах легкового автомобиля, движущегося по автомобильной дороге в общем случае (рис. 1).

Для оценки перераспределения нормальных реакций на колесах легкового автомобиля, движущегося по горизонтальной дороге с поперечным уклоном при действии продольной, вертикальной и поперечной составляющих аэродинамической силы, рассмотрим сумму моментов, действующих в поперечной плоскости автомобиля (рис. 1, а), относительно точки *M*.

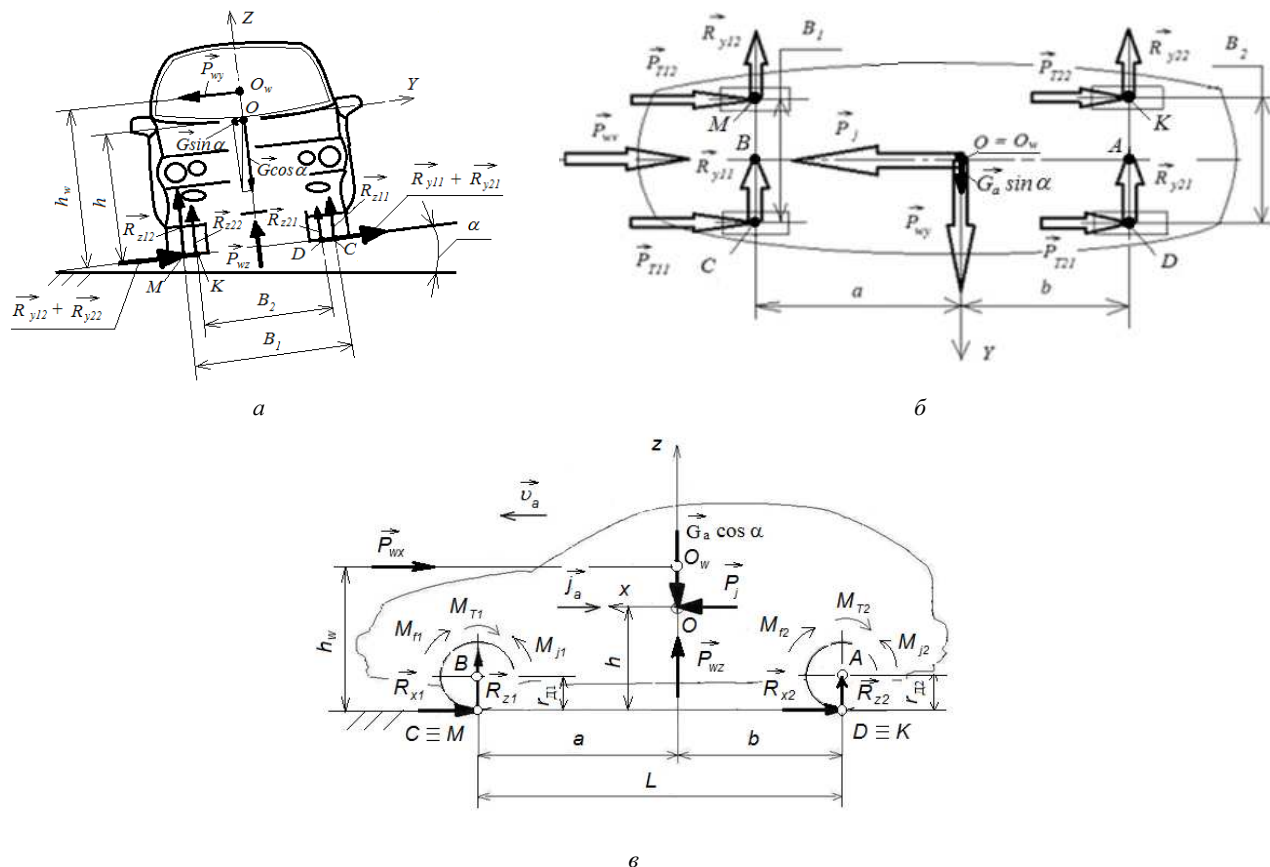


Рис. 1 – Схема сил, действующих на автомобиль при торможении: а – вид спереди; б – вид сверху; в – вид сбоку.

В результате получим

$$R_{z11} \cdot B_1 + R_{z21} \cdot (B_2 + 0,5(B_1 - B_2)) + 0,5P_{wz} \cdot B_1 - 0,5G_a \cdot B_1 \cdot \cos \alpha + G_a \cdot h \cdot \sin \alpha + P_{wy} \cdot h_w + 0,5R_{z22} \cdot (B_1 - B_2) = 0, \tag{1}$$

где R_{z11} – нормальная реакция на переднем левом колесе; R_{z21} и R_{z22} – нормальная реакция на заднем левом и правом колесах; B_1 и B_2 – колея передних и задних колес автомобиля; h и h_w – высота расположения центра масс и метацентра автомобиля; P_{wy} и P_{wz} – боковая и вертикальная составляющие аэродинамической силы; G_a – вес автомобиля; α – угол поперечного уклона дороги.

С учетом обозначения

$$A = 0,5P_{wz} \cdot B_1 - 0,5G_a \cdot B_1 \cdot \cos \alpha + G_a \cdot h \cdot \sin \alpha + P_{wy} \cdot h_w, \tag{2}$$

получим выражение

$$R_{z11} \cdot B_1 + R_{z21} \cdot (B_2 + 0,5(B_1 - B_2)) + 0,5R_{z22} \cdot (B_1 - B_2) + A = 0. \tag{3}$$

Рассматривая сумму моментов, действующих в поперечной плоскости автомобиля, относительно точки *K* (рис. 1, а), получим

$$R_{z21} \cdot B_2 + R_{z11} \cdot (B_2 + 0,5(B_1 - B_2)) + 0,5P_{wz} \cdot B_2 - 0,5G_a \cdot B_2 \cdot \cos \alpha + G_a \cdot h \cdot \sin \alpha + P_{wy} \cdot h_w - 0,5R_{z12} \cdot (B_1 - B_2) = 0, \tag{4}$$

откуда

$$R_{z21} \cdot B_2 + R_{z11} \cdot (B_2 + 0,5(B_1 - B_2)) - 0,5R_{z12} \cdot (B_1 - B_2) + B = 0, \tag{5}$$

где R_{z12} – нормальная реакция на переднем правом колесе;

$$B = 0,5P_{wz} \cdot B_2 - 0,5G_a \cdot B_2 \cdot \cos \alpha + G_a \cdot h \cdot \sin \alpha + P_{wy} \cdot h_w.$$

Аналогично, рассматривая сумму моментов, действующих в горизонтальной плоскости автомобиля, относительно точек B и A (рис. 1, б), получим соответственно

$$\begin{aligned} & -0,5P_{T12} \cdot B_1 + 0,5P_{T11} \cdot B_1 + R_{y21} \cdot L + R_{y22} \cdot L - \\ & -0,5P_{T22} \cdot B_2 + 0,5P_{T21} \cdot B_2 - G_a \cdot a \cdot \sin \alpha - P_{wy} \cdot a = 0, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & -0,5P_{T12} \cdot B_1 - 0,5P_{T22} \cdot B_2 - R_{y12} \cdot L - R_{y11} \cdot L + \\ & + 0,5P_{T11} \cdot B_1 + 0,5P_{T21} \cdot B_2 + G_a \cdot b \cdot \sin \alpha + P_{wy} \cdot b = 0, \end{aligned} \quad (7)$$

где P_{T11} и P_{T12} – тормозная сила на переднем левом и правом колесе; R_{y11} и R_{y12} – боковая сила на переднем левом и правом колесе; P_{T21} и P_{T22} – тормозная сила на заднем левом и правом колесе; R_{y21} и R_{y22} – боковая сила на заднем левом и правом колесе; L – продольная база автомобиля.

Подставляя выражения для предельных тормозных сил на колесах автомобиля и их боковых реакций в зависимости (6) и (7), после преобразований получим соответственно

$$\begin{aligned} & -R_{z11} \cdot \varphi \cdot B_1 + R_{z12} \cdot \varphi \cdot B_1 - R_{z21} \cdot (2f \cdot L + \varphi \cdot B_2) - \\ & - R_{z22} \cdot (2f \cdot L - \varphi \cdot B_2) + C = 0, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & -R_{z11} \cdot (\varphi \cdot B_1 - 2f \cdot L) - R_{z12} \cdot (\varphi \cdot B_2 + 2f \cdot L) + \\ & + R_{z21} \cdot \varphi \cdot B_2 - R_{z22} \cdot \varphi \cdot B_2 + D = 0, \end{aligned} \quad (9)$$

где φ – коэффициент сцепления в продольном направлении колеса; f – коэффициент сцепления в боковом направлении колеса;

$$C = 2a \cdot (P_{wy} + m_a \cdot g \cdot \sin \alpha); \quad D = 2b \cdot (P_{wy} + m_a \cdot g \cdot \sin \alpha).$$

Решая совместно систему уравнений (3) и (5), (8) и (9), после преобразований получаем новую систему уравнений с двумя неизвестными.

Решая ее относительно R_{z12} и R_{z22} , получим выражения для нормальной реакции на переднем и заднем правом колесе в виде:

$$R_{z12} = \frac{1}{4B_1} \cdot [(3B_1 + B_2) \cdot R_{z1} + (3B_2 + B_1) \cdot R_{z2} - 4B_2 \cdot R_{z2} + 2C_3]; \quad (10)$$

$$R_{z12} = \frac{2B_1}{3B_1 - B_2} \cdot \left[\left(\frac{B_1 - B_2}{8B_1 \cdot B_2} \cdot (B_1 + B_2) \cdot R_{z1} - (B_1 - 3B_2) \cdot R_{z2} + 2C_3 \right) - \frac{C_4}{2B_2} \right], \quad (11)$$

где $C_3 = 0,5 \cdot (B_1 + B_2) \cdot (P_{wz} - m_a \cdot g \cdot \cos \alpha) + 2P_{wy} \cdot h_w + 2m_a \cdot g \cdot h \cdot \sin \alpha$;

$$C_4 = 0,5 \cdot (B_1 + B_2) \cdot (m_a \cdot g \cdot \cos \alpha - P_{wz}) + 2P_{wy} \cdot h_w + 2m_a \cdot g \cdot h \cdot \sin \alpha.$$

Нормальная реакция на переднем и заднем левом колесах автомобиля определяется соответственно как

$$R_{z11} = R_{z1} - R_{z12}, \quad (12)$$

$$R_{z21} = R_{z2} - R_{z22}. \quad (13)$$

Принимая во внимание то, что в рассматриваемом случае (рис. 1) в поперечной плоскости автомобиля действуют вертикальная $G_a \cdot \cos \alpha$ и горизонтальная $G_a \cdot \sin \alpha$ составляющие веса автомобиля, то, следуя методике, представленной выше, получим выражения для определения суммарной нормальной реакции на передней и задней осях автомобиля:

$$R_{z1} = \frac{1}{L} \cdot [m_a \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot (b + z \cdot h) - E]; \quad (14)$$

$$R_{z2} = \frac{1}{L} \cdot [m_a \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot (a - z \cdot h) + E], \quad (15)$$

$$E = m_a \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot (f_a \cdot r_{CT} + r_k \cdot (z - \varphi) + K),$$

$$K = K_0 \cdot F_w \cdot \vartheta_0^2 \cdot [h_w - r_k \cdot (1 - \lambda_z \cdot \varphi) - \lambda_z \cdot (a + f_a \cdot r_{CT})] - \frac{z \cdot g}{r_k} \cdot \sum I_i,$$

где r_{CT} и r_k – статический и кинематический радиусы колеса; f_a – коэффициент сопротивления качению колеса; z – коэффициент торможения; λ_z – отношение вертикальной и продольной составляющих аэродинамической силы; K_0 – коэффициент обтекаемости кузова автомобиля; F_w – площадь лобового сопротивления авто-

мобиля (площадь Миделя); $\sum I_i$ – суммарный момент инерции вращающихся масс на колесах автомобиля.

При $\alpha = 0$ выражения (14) и (15) характеризуют осевые нормальные реакции на осях автомобиля при торможении на горизонтальном участке дороги с учетом аэродинамического сопротивления [6].

Как следует из (14) и (15), при экстренном торможении легкового автомобиля с учетом эксплуатационного фактора нормальные осевые реакции отличаются от тех же реакций, определенных по классическим зависимостям, не учитывающим действие эксплуатационного фактора [4], то есть при $E = 0$ и $\alpha = 0$.

Влияние эксплуатационного фактора легкового автомобиля будем оценивать относительным изменением нормальных реакций на осях, то есть коэффициентом динамического изменения нормальных реакций, которые представляют собой соотношение

$$m_{Ri} = \frac{R_{zi}}{R_{zi}^0}, \quad (16)$$

где R_{zi} – нормальная нагрузка на i -ой оси легкового автомобиля, определенная по зависимостям (14) и (15); R_{zi}^0 – нормальная нагрузка на i -ой оси легкового автомобиля, определенная по классическим формулам [4].

Неравномерность распределения суммарной тормозной силы по бортам легкового автомобиля будем характеризовать коэффициентом бортовой неравномерности тормозных сил

$$\delta = \frac{P_{T11} + P_{T21}}{P_{T12} + P_{T22}}, \quad (17)$$

где P_{T11} и P_{T12} – тормозные силы соответственно на переднем левом и правом колесах; P_{T21} и P_{T22} – тормозные силы соответственно на заднем левом и правом колесах.

Таблица 1 – Результаты расчетов при торможении на горизонтальной дороге

Автомобиль	Коэффициент бортовой неравномерности тормозных сил, δ_T	Коэффициент динамического изменения нормальной реакции, m_{Ri}	
		передняя ось	задняя ось
Lanos	1,0	0,915 - 0,88	1,23 - 1,49
	1,0	0,92 - 0,88	1,12 - 1,23
Lada Priora	1,0	0,94 - 0,91	1,16 - 1,33
	1,0	0,9 - 0,85	1,17 - 1,32
Chevrolet Aveo	1,0	0,914 - 0,875	1,24 - 1,53
	1,0	0,897 - 0,848	1,16 - 1,302
Forza	1,0	0,916 - 0,877	1,23 - 1,50
	1,0	0,903 - 0,86	1,17 - 1,32

Примечание. В числителе указаны значения для автомобиля со снаряженной массой, в знаменателе – с полной массой.

при действии продольной и вертикальной составляющих аэродинамической силы (табл. 1).

Анализ расчетных значений (табл. 1) показывает, что для легковых автомобилей Lanos, совершающих экстренное торможение на горизонтальной дороге, коэффициент динамического изменения нормальной нагрузки на задней оси увеличивается в следующих пределах [6]:

- со снаряженной массой – 1,23 - 1,49;
- с полной массой – 1,12 - 1,23.

Следовательно, в отличие от классической теории, с учетом аэродинамических сил сопротивления движению при увеличении начальной скорости торможения в начальный момент торможения имеет место увеличение реализуемой тормозной силы на задней оси автомобиля со снаряженной массой на 23 - 49 %, а с полной массой на 12 - 23 %.

Если учесть, что на момент экстренного торможения легковой автомобиль двигался по горизонтальной дороге с максимальным ускорением, то по данным [4] максимальный запас суммарной не реализованной тормозной силы (момента) на задних колесах легкового автомобиля может быть дополнительно увеличен на 12 %, и тогда может достигать 24 – 35 % для автомобиля с полной загрузкой.

Аналогично, для легковых автомобилей коэффициент динамического изменения нормальной нагрузки на задней оси увеличивается с ростом начальной скорости торможения и составляет [6]:

- для Lada Priora 39 – 44 %;
- для Chevrolet Aveo 28 – 42 %;
- для Forza 39 – 44 %.

Кроме того, следует заключить, что в случае торможения легковых автомобилей на ровной горизонтальной

дороге в их тормозном приводе должно быть осуществлено регулирование тормозных сил по предлагаемому способу [7], обеспечив осевую или диагональную схему включения контуров тормозного привода, поскольку бортовая неравномерность тормозных сил при этом отсутствует ($\delta_T = 1$, табл. 1).

В данном случае является возможным также осуществление бортовой или комбинированной схемы включения контуров тормозного привода.

Результаты расчетов при торможении на горизонтальной дороге с поперечным уклоном 3,5% представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов при торможении на дороге с поперечным уклоном (3,5 %)

Автомобиль	Коэффициент бортовой неравномерности тормозных сил, δ_T	Коэффициент динамического изменения нормальной реакции, m_{Ri}	
		передняя ось	задняя ось
Lanos	1,12 – 1,17	0,88 – 0,90	1,24 – 1,49
	1,04 – 1,05	0,88 – 0,90	1,22 – 1,23
Lada Priora	1,135 – 1,18	0,90 – 0,91	1,13 – 1,33
	1,04 – 1,05	0,85 – 0,90	1,13 – 1,32
Chevrolet Aveo	1,18 – 1,21	0,87 – 0,90	1,26 – 1,53
	1,06 – 1,08	0,85 – 0,90	1,13 – 1,30
Forza	1,16 – 1,18	0,88 – 0,90	1,23 – 1,51
	1,03 – 1,042	0,86 – 0,90	1,21 – 1,32

Примечание. В числителе указаны значения для автомобиля со снаряженной массой, в знаменателе – с полной массой.

Как показывает анализ расчетных значений (табл. 2) для легковых автомобилей, совершающих экстренное торможение на дороге с поперечным уклоном (3,5%) при начальной скорости торможения 150 км/час, величина реализуемого тормозного момента на колесах задней оси, в сравнении с классической теорией, может быть увеличена на 32 – 53%.

С учетом рекомендаций [4] запас максимальной суммарной не реализованной тормозной силы на задних колесах в таком случае может быть увеличен на 44 – 65%.

Распределение тормозных сил во всех рассмотренных случаях может осуществляться по «восходящей» характеристике с компенсационной ветвью (ОМЧВ, рис. 3).

Для реализации указанной выше величины тормозного момента при торможении на горизонтальной дороге с поперечным уклоном в тормозном приводе легковых автомобилей должно быть обеспечено межбортовое регулирование тормозных сил, поскольку в таком случае бортовая неравномерность распределения тормозных сил составляет для автомобилей с полной загрузкой 3 – 8% и в состоянии частичной загрузки 12 – 21% (табл. 2).

Такая задача выполнима за счет установки разработанного тормозного привода [8], содержащего регуляторы тормозных сил и имеющих гидравлическую обратную связь с подвеской передних колес, при обеспечении бортовой (рис. 4, а) либо комбинированной (рис. 4, б) схемы включения контуров тормозного привода.

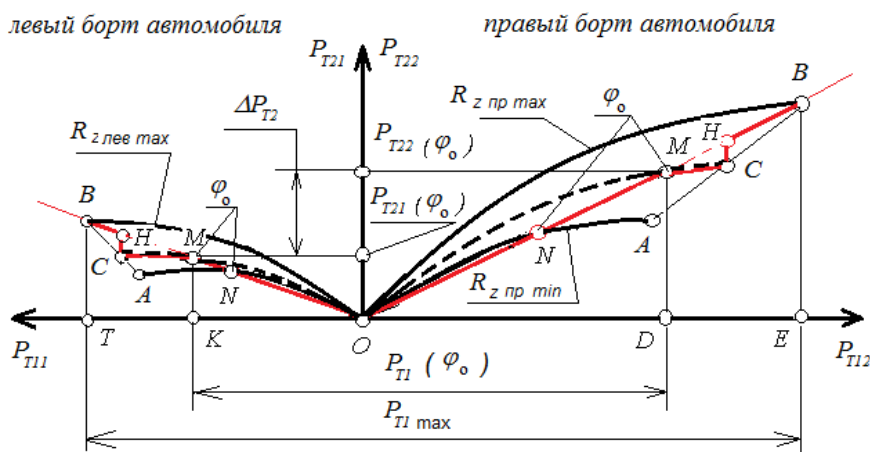


Рис. 3 – Схема бортового распределения тормозной силы [7].

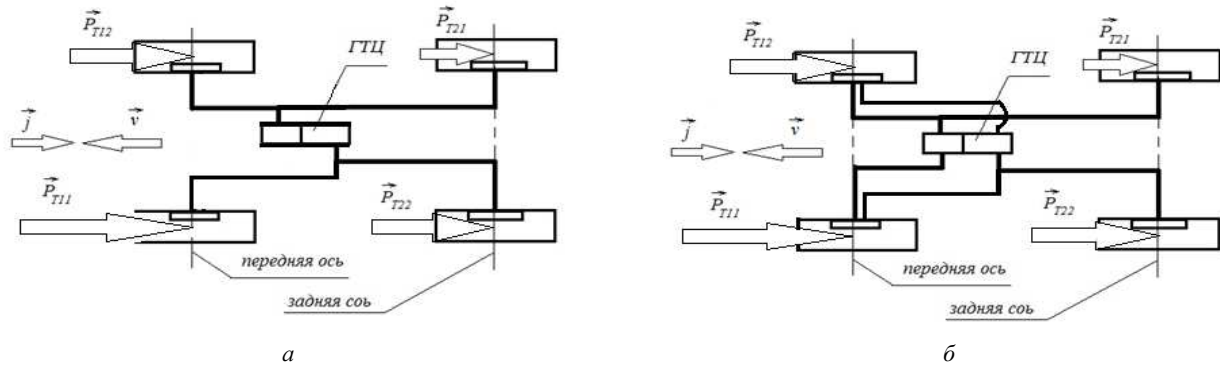


Рис. 4 – Схема включення контурів тормозного привода:
 а – бортова схема; б – комбінована схема.

Перспективи дальніших досліджень. Автори вважають перспективними напрямками досліджень, пов'язаних з розробкою тормозних приводів, існуючих зворотній гідравлічеською, електромагнітній, ультразвуковій або радіосв'язі з подвижними елементами підвесок легкових автомобілів, тормозні системи яких не обладнані електронними системами сліження за процесом торможения.

Висновки. Таким образом, в даній роботі реалізований алгоритм визначення граничних тормозних сил на колесах легкових автомобілів, затормаживаемых в експлуатаційних умовах з урахуванням аеродинамічного опору руху, що дозволяє обґрунтувати мінімальну величину не реалізованого тормозного моменту в межах 24 – 35 %, реалізація якого дозволить підвищити тормозні властивості.

Установлено, що реалізувати бортову нерівномірність розподілу тормозних сил на колесах легкового автомобіля можна за рахунок установки удосконаленого тормозного приводу.

Слід зауважити, що в такому випадку необхідно забезпечити бортову або комбіновану схему включення контурів.

Список літератури

1. Бабков Н. Ф. Дорожні умови і режими руху автомобілів. – М. : Транспорт, 1967. – 323 с.
2. Ярещенко Н. В. Довгострокове прогнозування швидкостей руху на автомобільних дорогах : автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми». – Харків, 1999. – 16 с.
3. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування : ДБНВ. 2.3-4:2007. – [Чинні від 2008-03-01]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2007. – 91 с.
4. Агейкин Я. С., Вольская Н. С. Теория автомобиля : учеб. пособ. – М. : МГИУ, 2008. – 318 с. – Режим доступа: <http://www.books.google.com.ua/books>. – Дата звертання : 30 травня 2016.
5. Shang M., Chu L., Guo J., Fang Y., Zhou F. Braking force dynamic coordinated control for hybrid electric vehicles // in Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Advanced Computer Control (ICACC 10). – Shenyang, China. – 2010. – Vol. 4. - pp. 411 – 416.
6. Назаров В. І. Перерозподілення вертикальних навантажень при екстремному торможении легкового автомобіля, движущегося в воздушном потоке на горизонтальном участке дороги // Механіка та машинобудування. – Харків : НПКП «Механіка», 2014. – №1. – С. 102 – 110.
7. Подрігало М. А., Назаров В. І., Назаров О. І., Назаров І. О. Пат. №75406 Україна, МПК 2012.01, В60Т 11/00. Спосіб регулювання гальмівних сил між осями легкового автомобіля / М. А. Подрігало, В. І. Назаров, О. І. Назаров, І. О. Назаров ; заявник і патентотримач Харків, національний автомобільно-дорожній університет № u201207282; заявл. 15.06.2012; опубл. 26.11.2012, Бюл. № 22.
8. Подрігало М. А., Назаров В. І., Назаров О. І., Назаров І. О. Пат. №76189 Україна, МПК 2006.01, В60Т 8/24. Пристрій для підвищення ефективності гальмування легкового автомобілів / М. А. Подрігало, В. І. Назаров, О. І. Назаров, І. О. Назаров ; заявник і патентотримач Харків, національний автомобільно-дорожній університет № u201207284; заявл. 15.06.2012; опубл. 25.12.2012, Бюл. № 24.

References (transliterated)

1. Babkov N. F. *Dorozhnye usloviya i rezhimy dvizheniya avtomobiley* [Road conditions and car movement modes]. Moscow, Transport Publ., 1967. 323 p.
2. Yareshchenko N. V. *Dovgostrokove prognuzuvannya shvydkostey rukhu na avtomobil'nykh dorogakh: avtoref. dis. na zdobuttya stupenya kand. tehn. nauk 05.22.11: "Avtomobil'ni shlyakhy ta aerodromy"* [Long-term prediction of traveling speed on highways: abstract of the Cand. Tech. Sc. thesis, 05.22.11: "Highways and aerodromes"]. Kharkiv, 1999. 16 p.
3. *Derzhavni budivel'ni normy Ukrayiny. Sporudy transportu. Avtomobil'ni dorogy. Chastyna I. Proektuvannya: DBNV.2.3-4:2007*. Chynni vid 2008-03-01 [State building codes Ukraine. Transport facilities. Highways. Part I. Design: DBNV.2.3-4:2007. 2008-03-01]. Kyiv, Minregionbud Ukrayiny Publ., 2007. 91 p.
4. Ageykin Ya. S., Vol'skaya N. S. *Teoriya avtomobilya: ucheb. posob.* [The theory of a vehicle: textbook]. Moscow, MGIU Publ., 2008. 318 p. Available at: <http://www.books.google.com.ua/books>. (accessed 30.05.2016).
5. Shang M., Chu L., Guo J., Fang Y., Zhou F. Braking force dynamic coordinated control for hybrid electric vehicles. *In Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Advanced Computer Control (ICACC 10)*. Shenyang, China, 2010, vol. 4, pp. 411–416.
6. Nazarov V. I. *Pereraspredelenie vertikal'nykh nagruzok pri ekstremnom tormozhenii legkovogo avtomobilya, dvizhushchegosya v vozdushnom potoke na gorizontaln'nom uchastke dorogi* [Redistribution of vertical loads in emergency braking of a vehicle, moving in the air flow in the horizontal section of a road]. *Mekhanika ta mashinobuduvannya* [Mechanics and Mechanical Engineering]. Kharkov, NPKP "Mekhanika" Publ., 2014, no. 1, pp. 102–110.

7. Podrigalo M. A., Nazarov V. I., Nazarov O. I., Nazarov I. O. *Sposib regulyuvannya gal'mivnykh syl mizh osyamy legkovogo avtomobilya* [The method of adjusting braking forces between the axles of a vehicle]. Patent UA, no. 75406, MPK 2012.01, V60T 11/00, 2012.
8. Podrigalo M. A., Nazarov V. I., Nazarov O. I., Nazarov I. O. *Prystryi dlya pidvyshchennya efektyvnosti gal'muvannya legkovykh avtomobilyiv* [Device for improving vehicle braking performance]. Patent UA, no. 76189, MPK 2006.01, V60T 8/24, 2012

Поступила (received) 03.06.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Математичне моделювання бортового розподілу гальмівної сили під час гальмування легкових автомобілів у експлуатаційних умовах із врахуванням аеродинамічного опору руху / В. І. Назаров, О. І. Назаров, І. О. Назаров, Д. В. Абрамов, О. І. Тимченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 16 (1188). – С. 59 – 66. Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2222-0631.

Математическое моделирование бортового распределения тормозной силы при торможении легковых автомобилей в эксплуатационных условиях с учетом аэродинамического сопротивления движению / В. И. Назаров, А. И. Назаров, И. А. Назаров, Д. В. Абрамов, А. И. Тимченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 16 (1188). – С. 59 – 66. Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2222-0631.

Mathematical modeling of board distribution of braking force during braking of vehicles in operational conditions, taking into account aerodynamic drag / V. I. Nazarov, A. I. Nazarov, I. A. Nazarov, D. V. Abramov, A. I. Timchenko // Bulletin of National Technical University «KhPI» Series: Mathematical modeling in engineering and technologies. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2016. – № 16 (1188). – pp. 59 – 66. Bibliog.: 8 titles. – ISSN 2222-0631.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / Information about authors

Назаров Олександр Іванович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри технології машинобудування та ремонту машин, м. Харків; тел.: (057) 707-37-33; e-mail: hefer64@rambler.ru.

Назаров Александр Иванович – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, доцент кафедры технологии машиностроения и ремонта машин, г. Харьков; тел.: (057) 707-37-33; e-mail: hefer64@rambler.ru.

Nazarov Alexander Ivanovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Kharkov National Automobile and Highway University, Associate Professor at the Department of Mechanical Engineering and Repair of Machines, Kharkov; tel.: (057) 707-37-33; e-mail: hefer64@rambler.ru.

Назаров Іван Олександрович – аспірант, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків; тел.: (057) 707-37-33; e-mail: hefer64@rambler.ru.

Назаров Иван Александрович – аспирант, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, г. Харьков; тел.: (057) 707-37-33; e-mail: hefer64@rambler.ru.

Nazarov Ivan Aleksandrovich – postgraduate student, Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkov; tel.: (057) 707-37-33; e-mail: hefer64@rambler.ru.

Назаров Володимир Іванович – провідний інженер, Запорізький автомобілебудівний завод, м. Запоріжжя; тел.: (0612) 286-10-34; e-mail: vladimir.nazarov@zaz.zp.ua.

Назаров Владимир Иванович – ведущий инженер, Запорожский автомобилестроительный завод, г. Запорожье; тел.: (0612) 286-10-34; e-mail: vladimir.nazarov@zaz.zp.ua.

Nazarov Vladimir Ivanovich – chief engineer, Zaporizhia Automobile Plant, Zaporozhye; tel.: (0612) 286-10-34; e-mail: vladimir.nazarov@zaz.zp.ua.

Абрамов Дмитро Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків; тел.: (057) 707-37-33; e-mail: hefer64@rambler.ru.

Абрамов Дмитрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, г. Харьков; тел.: (057) 707-37-33; e-mail: hefer64@rambler.ru.

Abramov Dmitry Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkov; tel.: (057) 707-37-33; e-mail: hefer64@rambler.ru.

Тимченко Олексій Ігорович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків; тел.: (057) 707-37-33; e-mail: timocha230@rambler.ru.

Тимченко Алексей Игоревич – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, г. Харьков; тел.: (057) 707-37-33; e-mail: timocha230@rambler.ru.

Timchenko Aleksey Igorevic – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, National Automobile and Highway University, Kharkov; tel.: (057) 707-37-33; e-mail: timocha230@rambler.ru.