

**Назаров А.И.,
Шпинда Е.М.,
Руденький В.С.
Медведев Ю.Н.
Трушков Б.А.**

Харьковский национальный
транспортно-средствено-дорожный
университет,
г. Харьков, Украина
E-mail: hefer64@ukr.net

ПОВЫШЕНИЕ ТОРМОЗНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВУХОСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЭКСТРЕННЫХ ТОРМОЖЕНИЙ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ

УДК 621.891

Назаров А.И., Шпинда Е.М., Руденький В.С., Медведев Ю.Н., Трушков Б.А. «Повышение тормозной эффективности двухосных транспортных средств при выполнении экстренных торможений в эксплуатационных условиях»

Рассмотрены вопросы повышения тормозной эффективности двухосных транспортных средств в эксплуатационный период.

Для обоснования возможности повышения эффективности торможения двухосных транспортных средств в эксплуатационный период использован метод математического моделирования движения двухосного автотранспортного средства, затормаживаемого на автомобильных дорогах, имеющих поперечный уклон, с учетом действия составляющих силы аэродинамического сопротивления. Установлено, что в случае выполнения экстренного торможения двухосным автотранспортным средством есть потенциальная возможность реализации большей по величине тормозной силы на задней оси в начальный момент торможения, что в результате позволит реализовать относительно большую эффективность.

Кроме того, в связи с прогнозируемым ростом интенсивности и скорости движения транспортных средств, а также пропускной способности автомобильных дорог, к обеспечению безопасности дорожного движения предъявляются повышенные требования. Увеличение интенсивности и скорости движения, в частности, двухосных транспортных средств, как оборудованных, так и не оборудованных электронными системами слежения за процессом торможения, может быть достигнуто за счет ряда мероприятий, в том числе обеспечения минимально допустимой дистанции между отдельными транспортными средствами, движущимися в едином потоке.

Теоретические исследования проведены на математической модели затормаживаемого двухосного транспортного средства при различных начальных скоростях движения, изменяемых в пределах 60–100 км/час. Установлено, что в зависимости от величины начальной скорости торможения величина изменения нормальной нагрузки на колесах задней оси может достигать 23–32% в начальный момент экстренного торможения на сухом асфальтобетоне.

Анализ относительного изменения нормальных нагрузок на осях транспортных средств при экстренном торможении с учетом эксплуатационных факторов показывает, что нормальные нагрузки на задней оси, полученные по уточненным зависимостям, отличаются от нормальных нагрузок на этой же оси, определенных по классической методике, что создает предпосылки для усиления задних тормозов транспортного средства с целью повышения его тормозной эффективности. Однако, при этом должны быть задействованы электронные устройства, отслеживающие изменение нормальной нагрузки на колесах транспортного средства.

Ключевые слова: двухосное транспортное средство; экстренное торможение; эксплуатационные условия; аэродинамическое сопротивление; нормальная нагрузка; коэффициент изменения.

Назаров О.І., Шпінда Є.М., Руденький В.С., Медведев Ю.М., Трушков Б.А. «Підвищення гальмівної ефективності двохосних транспортних засобів під час виконання екстрених гальмувань у експлуатаційних умовах»

Розглянуто питання підвищення гальмівної ефективності двохосових транспортних засобів в експлуатаційний період.

Для обґрунтування можливості підвищення ефективності гальмування двохосових транспортних засобів в експлуатаційний період використано метод математичного моделювання руху двохосового автотранспортного засобу, загальмовуваного на автомобільних дорогах, що мають поперечний ухил, з урахуванням дії складових сили аеродинамічного опору. Встановлено, що в разі виконання екстреного гальмування двохосовим автотранспортним засобом в початковий момент гальмування є потенційна можливість реалізації більшої за величиною гальмівної сили на задній осі, що в результаті дозволить реалізувати відносно більшу ефективність.

Крім того, в зв'язку з прогнозованим зростанням інтенсивності та швидкості руху транспортних засобів, а також пропускної здатності автомобільних доріг, до забезпечення безпеки дорожнього руху пред'являються підвищені вимоги. Збільшення інтенсивності й швидкості руху, зокрема, двовісних транспортних засобів, як обладнаних, так і не обладнаних електронними системами стеження за процесом гальмування, може бути досягнуто за рахунок ряду заходів, в тому числі забезпечення мінімально допустимої дистанції між окремими транспортними засобами, що рухаються в єдиному потоці.

Теоретичні дослідження проведено на математичній моделі загальмовуваного двовісного транспортного засобу при різних початкових швидкостях руху, що змінюються в межах 60-100 км/год. Встановлено, що залежно від величини початкової швидкості гальмування величина зміни нормального навантаження на колесах задньої осі може досягати 23-32% в початковий момент екстреного гальмування на сухому асфальтобетоні.

Аналіз відносної зміни нормальних навантажень на осях транспортних засобів при екстреному гальмуванні з урахуванням експлуатаційних факторів показує, що нормальні навантаження на задній осі, отримані за уточненими залежностям, відрізняються від нормальних навантажень на цій же осі, визначених за класичною методикою, що створює передумови для посилення задніх гальм транспортного засобу з метою підвищення його гальмівний ефективності. Однак, при цьому повинні бути задіяні електронні пристрої, які відстежують зміну нормального навантаження на колесах транспортного засобу.

Ключові слова: двовісний транспортний засіб; екстрене гальмування; експлуатаційні умови; аеродинамічний опір; нормальне навантаження; коефіцієнт зміни.

Nazarov A.I., Shpinda E.M., Rudenkiy V.S., Medvedev Yu.N., Trushkov B.A. «Improving the braking efficiency of two-axle vehicles when performing emergency braking under operating conditions»

The issues of increasing the braking efficiency of two-axle vehicles during the operational period are considered.

To substantiate the possibility of increasing the braking efficiency of two-axle vehicles during the operational period, the method of mathematical modeling of the movement of a two-axle motor vehicle, braked on roads with a transverse slope, taking into account the action of the components of the aerodynamic drag force, was used. It has been established that in the case of performing emergency braking with a two-axle vehicle, there is a potential for the implementation of a larger braking force on the rear axle at the initial moment of braking, which, as a result, will make it possible to realize a relatively greater efficiency.

In addition, due to the projected growth in the intensity and speed of vehicles, as well as the throughput of highways, increased requirements are imposed on ensuring road safety. An increase in the intensity and speed of movement, in particular, of two-axle vehicles, both equipped and not equipped with electronic braking tracking systems, can be achieved through a number of measures, including ensuring the minimum allowable distance between individual vehicles moving in a single stream.

Theoretical studies were carried out on a mathematical model of a two-axle vehicle being braked at various initial speeds of movement, varying within the range of 60–100 km / h. It was found that, depending on the value of the initial braking speed, the change in the normal load on the rear axle wheels can reach 23–32% at the initial moment of emergency braking on dry asphalt concrete.

Analysis of the relative change in the normal loads on the axles of vehicles during emergency braking, taking into account operational factors, shows that the normal loads on the rear axle, obtained from the refined dependencies, differ from the normal loads on the same axle, determined by the classical method, which creates the preconditions for reinforcing the rear brakes of a vehicle in order to increase its braking efficiency. However, this should involve electronic devices that monitor the change in the normal load on the wheels of the vehicle.

Key words: two-axle vehicle; emergency braking; operating conditions; aerodynamic resistance; normal load; coefficient of change.

Актуальность проблемы

В связи с прогнозируемым ростом интенсивности и скорости движения транспортное средство среднего транспорта, а также пропускной способности автомобильных дорог, к обеспечению безопасности дорожного движения предъявляются повышенные требования. Увеличение интенсивности и скорости движения, в частности, двухосных транспортных средств, как оборудованных, так и не оборудованных электронными системами слежения за процессом торможения, может быть достигнуто за счет ряда мероприятий, в том числе обеспечения минимально

допустимой дистанции между отдельными транспортными средствами, движущимися в едином потоке, при реализации максимально возможного замедления.

В любом случае решение вопроса зависит, прежде всего, от эффективности и стабильности функционирования тормозных систем эксплуатируемых легковых транспортных средств.

Анализ последних публикаций и достижений

Вопросам исследования снижения эффективности торможения в период эксплуатации одиночных транспортных средств, посвящено значительное количество научных работ [1, 2]. Особенно остро стоит проблема повышения эффективности и стабильности функционирования тормозных систем эксплуатируемых транспортных средств при воздействии рабочей тормозной системой, не оборудованной электронными системами слежения за процессом торможения.

Фактическая траектория движения при торможении эксплуатируемого транспортного средства состоит из сопряженных прямолинейных и криволинейных участков. Это вызвано возмущающим воздействием дорожных неровностей, воздушных потоков, биением колес, зазорами в рулевом управлении, неравенством тормозных моментов на колесах и т. д. с последующим управляющим воздействием водителя для сохранения направления движения [4–6].

В литературных источниках [7–9] указывается, что возмущающие факторы, вызывающие изменение тормозных свойств транспортных средств, носят случайный характер и определяются их конструктивными и эксплуатационными параметрами. Наиболее важными из них являются реализация коэффициента сцепления между шиной и опорной поверхностью дороги, коэффициент распределения тормозных, положение центра тяжести транспортного средства, что связано с перераспределением нормальных реакций на колесах при торможениях, и особенности конструкций элементов их тормозных систем.

Реализация предельных по сцеплению тормозных сил на колесах транспортного средства, обеспечивающая одновременное доведение до грани блокирования передних и задних колес при торможении, возможна, как в случае прямолинейного движения по горизонтальной опорной, так и наклонной поверхности, а также по криволинейной с фиксированным радиусом поворота. Эта задача является более актуальной при учете аэродинамической силы [8].

Требованиями действующего российского ГОСТ Р 41.13-99 и украинского стандарта ДСТУ UN / ECE R 13-09:2004, как необходимого критерия оценки работоспособности тормозной системы эксплуатируемого транспортного средства, является обеспечение эффективности и стабильности функционирования всех элементов его тормозной системы при экстренных торможениях [10].

Кроме того, следует четко понимать, что в процессе эксплуатации транспортное средство является частью системы «водитель - транспортное средство - дорога» и его свойства проявляются во взаимодействии с элементами этой системы. Поэтому значимость определенного тормозного свойства зависит от условий, в которых данное свойство проявляется, т.е. от условий эксплуатации [11].

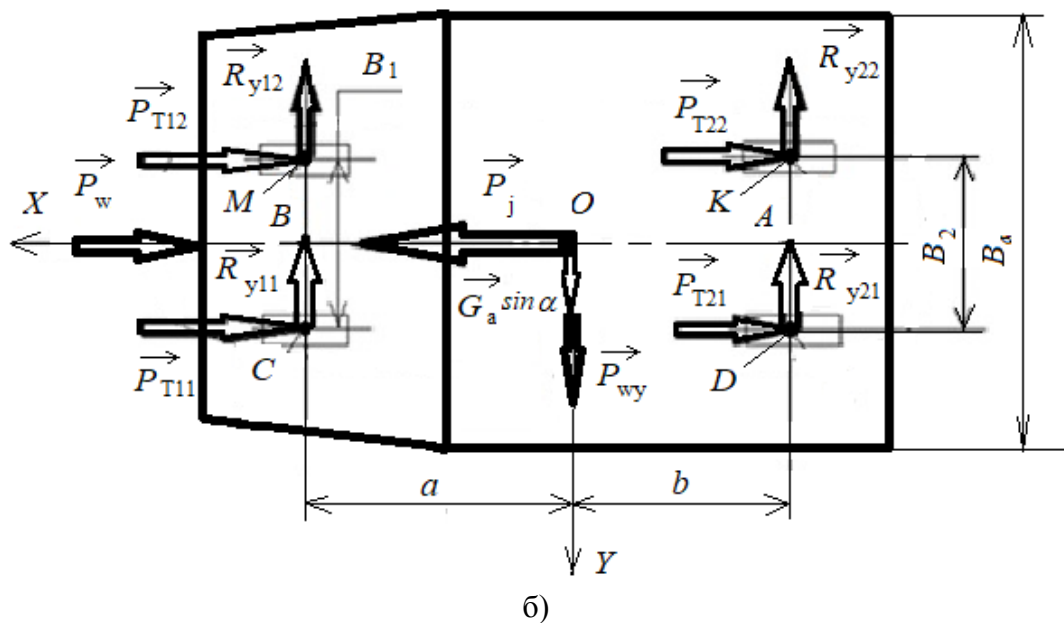
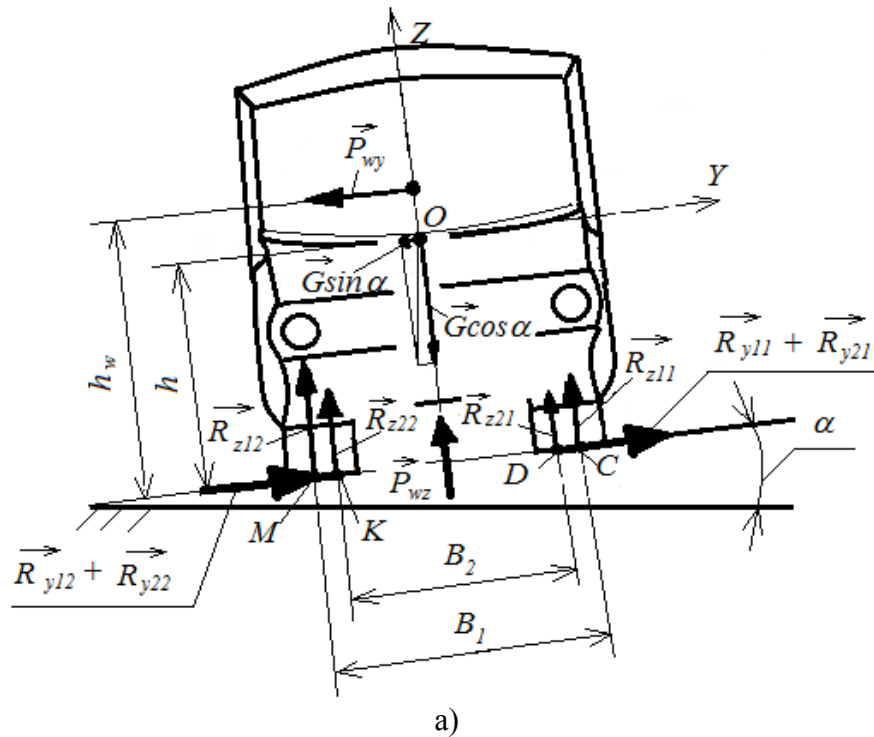
В наибольшей степени на тормозные свойства легковых транспортных средств влияют дорожные условия, к которым относятся элементы профиля и плана дорог, рельеф местности, вид и ровность покрытия, интенсивность и режим движения по дороге.

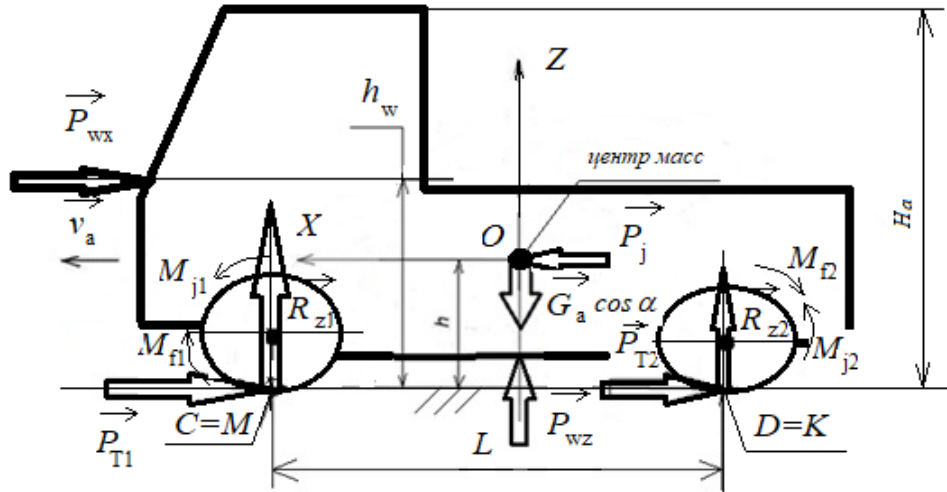
Так как условия эксплуатации транспортных средств существенно влияют на их тормозные свойства, то это необходимо учитывать с целью обеспечения безопасной эксплуатации.

Цель и постановка задачи. Целью работы является повышение тормозной эффективности двухосных транспортных средств, для чего следует оценить изменение нормальных осевых (колесных) реакций двухосных транспортных средств, затормаживаемых в различных эксплуатационных условиях.

Математическая модель и алгоритм решения задачи

Для оценки величины изменения нормальных реакций на колесах какой-либо оси двухосного транспортного средства при торможении рассмотрим движение по горизонтальной дороге с поперечным уклоном (рис. 1).





в)

Рис.1. Схема сил, действующих на автомобиль при торможении на горизонтальной дороге с поперечным уклоном:
а) вид спереди; б) вид сверху; в) вид сбоку

Сумма моментов от всех сил (см. рис. 1, а), с учетом действия возмущающих факторов, действующих в поперечной плоскости транспортного средства, относительно точки M

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

где P_{wy} – боковая составляющая аэродинамической силы ветра;

α – угол поперечного уклона дороги, град [6].

Обозначив через

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

получим выражение

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

Рассматривая равновесие относительно точки K (см. рис. 1, а)

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

Откуда

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

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

Аналогично, рассматривая сумму моментов всех сил, действующих в

горизонтальной плоскости транспортного средства (вид сверху, см. рис.1, б), относительно точек B и A , находящихся на пересечении его продольной плоскости с передней и задней осью, имеем соответственно следующие уравнения:

- относительно точки B

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

- относительно точки A

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

С учетом полученных выражений для тормозных сил на колесах транспортного средства и их боковых реакций зависимости (6) и (7) преобразуются соответственно

$$\begin{aligned} & -R_{z11} \cdot \varphi_{11} \cdot B_1 + R_{z12} \cdot \varphi_{12} \cdot B_1 - R_{z21} \cdot (2f_{21} \cdot L + \varphi_{21} \cdot B_2) - \\ & -R_{z22} \cdot (2f_{22} \cdot L - \varphi_{22} \cdot B_2) + C = 0, \end{aligned} \quad (8)$$

где $C = 2a \cdot (P_{wy} + m_a \cdot g \cdot \sin \alpha)$;

$$\begin{aligned} & R_{z11} \cdot (\varphi_{11} \cdot B_1 - 2f_{11} \cdot L) - R_{z12} \cdot (\varphi_{12} \cdot B_2 + 2f_{12} \cdot L) + \\ & + R_{z21} \cdot \varphi_{21} \cdot B_2 - R_{z22} \cdot \varphi_{22} \cdot B_2 + D = 0, \end{aligned} \quad (9)$$

где $D = 2b \cdot (P_{wy} + m_a \cdot g \cdot \sin \alpha)$.

Сложив уравнения (3) и (5), (8) и (9), получим систему из двух уравнений с четырьмя неизвестными, после решения и преобразования которой получаем новую систему уравнений с двумя неизвестными, решая которую в итоге имеем:

- нормальную реакцию на переднем правом колесе транспортного средства

$$R_{z12} = \frac{1}{4B_1} \cdot [(3B_1 + B_2) \cdot R_{z1} + (3B_2 + B_1) \cdot R_{z2} - 4B_2 \cdot R_{z22} + 2C_3]; \quad (10)$$

- нормальную реакцию на заднем правом колесе транспортного средства

$$R_{z22} = \frac{2B_2}{3B_1 - B_2} \cdot \left[\frac{B_1 - B_2}{8B_1 \cdot B_2} \cdot ((B_1 + B_2) \cdot R_{z1} - (B_1 - 3B_2) \cdot R_{z2} + 2C_3) - \frac{C_4}{2B_2} \right], \quad (11)$$

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

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

С учетом того, что суммарные нормальные реакции на передней R_{z1} и задней R_{z2} оси транспортного средства определяются по выше полученным выражениям, принимая во внимание то, что в данном случае (см. рис.1, а) в продольной плоскости транспортного средства действует вертикальная составляющая веса $G_a \cdot \cos \alpha$, получим:

- суммарная нормальная реакция на передней оси транспортного средства

$$R_{z1} = \frac{1}{L} \cdot E_{z1}, \quad (12)$$

$$E_{z1} = m_a \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot (b + z \cdot h) - m_a \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot [f_a \cdot r_{\text{ст}} + r_k \cdot (z - \varphi)] + \\ + \frac{j}{r_k} \cdot \sum I_i - K_0 \cdot H_a \cdot B_a \cdot \vartheta_0^2 \cdot [h_w - r_k \cdot (1 - \lambda_z \cdot \varphi) + \lambda_z \cdot (b - f_a \cdot r_{\text{ст}})]$$

- суммарная нормальная реакция на задней оси транспортного средства

$$R_{z2} = \frac{1}{L} \cdot E_{z2}, \quad (13)$$

$$E_{z2} = m_a \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot (a - z \cdot h) - m_a \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot [f_a \cdot r_{\text{ст}} + r_k \cdot (z - \varphi)] - \\ - \frac{j}{r_k} \cdot \sum I_i + K_0 \cdot H_a \cdot B_a \cdot \vartheta_0^2 \cdot [h_w - r_k \cdot (1 - \lambda_z \cdot \varphi) - \lambda_z \cdot (a + f_a \cdot r_{\text{ст}})]$$

где K_0 - коэффициент обтекаемости кузова транспортного средства;

H_a, B_a - высота и ширина транспортного средства.

m_a - масса транспортного средства;

f_a - коэффициент сопротивления качению колес передней и задней оси;

$r_{\text{ст}}$ - статический радиус колеса;

$\sum I_i$ - суммарные моменты инерции вращающихся масс на i -ой оси транспортного средства;

ω - угловая скорость вращения колес i -ой оси на момент торможения автомобиля;

λ_z - доля вертикальной составляющей аэродинамической силы.

Если в выражениях (12) и (13) ввести обозначение через Δ_{R1} и Δ_{R2} , то в итоге получаем выражения для оценки нормальных реакций на передней и задней осях в виде

$$\Delta_{R1} = -\frac{1}{L} \cdot \left(m_a \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot [f_a \cdot r_{\text{ст}} + r_k \cdot (z - \varphi)] - \frac{j}{r_k} \cdot \sum I_i + \right. \\ \left. + K_0 \cdot H_a \cdot B_a \cdot \vartheta_0^2 \cdot [h_w - r_k \cdot (1 - \lambda_z \cdot \varphi) + \lambda_z \cdot (b - f_a \cdot r_{\text{ст}})] \right), \quad (12)$$

$$\Delta_{R2} = \frac{1}{L} \cdot \left(m_a \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot (f_a \cdot r_{\text{ст}} + r_k \cdot (z - \varphi)) - \frac{j}{r_k} \cdot \sum I_i + \right. \\ \left. + K_0 \cdot H_a \cdot B_a \cdot \vartheta_0^2 \cdot [h_w - r_k \cdot (1 - \lambda_z \cdot \varphi) - \lambda_z \cdot (a + f_a \cdot r_{\text{ст}})] \right). \quad (13)$$

Как следует из (12) и (13) $\Delta_{R1} \leq 0, \Delta_{R2} \geq 0$.

В таком случае нормальные осевые реакции будут определяться, как

$$R_{z1} = \frac{1}{L} \cdot [m_a \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot (b + z \cdot h) + \Delta_{R1}], \quad (14)$$

$$R_{z2} = \frac{1}{L} \cdot [m_a \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot (a - z \cdot h) + \Delta_{R2}]. \quad (15)$$

Пренебрегая поперечным уклоном дороги ($\alpha = 0$) получим зависимости для определения нормальных реакций на колесах транспортного средства, движущегося по горизонтальной дороге при действии аэродинамического сопротивления.

Рассматривая равенство моментов относительно точки A (рис.1, в), имеем

$$P_{T1} \cdot r_d + P_{T2} \cdot r_d + P_j \cdot (h - r_d) + G_a \cdot b - P_{wz} \cdot b - P_{wx} \cdot (h_w - r_d) - \\ - R_{z1} \cdot L + \sum M_j - \sum M_f = 0, \quad (16)$$

где r_d - динамический радиус колес передней и задней оси;

b, h - координаты центра масс транспортного средства;

h_w – высотная координата метацентра транспортного средства;
 L – продольная база транспортного средства;
 P_{wx} – сила лобового сопротивления транспортного средства;
 P_{wz} – подъемная аэродинамическая сила транспортного средства;
 R_{z1} – нормальная реакция на колесах передней оси транспортного средства;
 $\sum M_j$ – суммарный момент инерции вращающихся масс на передней и задней оси;
 $\sum M_f$ – суммарный момент сопротивления качению колес на передней и задней оси;
 P_j – сила инерции транспортного средства;
 G_a – вес транспортного средства.

Откуда

$$R_{z1} \cdot L = P_{T1} \cdot r_d + P_{T2} \cdot r_d + P_j \cdot (h - r_d) + G_a \cdot b - P_{wz} \cdot b - P_{wx} \cdot (h_w - r_d) + \sum M_j - \sum M_f. \quad (17)$$

После известных преобразований получим выражение в виде

$$R_{z1} \cdot L = r_d \cdot \varphi \cdot (m_a \cdot g - \lambda_z \cdot P_{wx}) + m_a \cdot j \cdot (h - r_d) + m_a \cdot g \cdot b - \lambda_z \cdot P_{wx} \cdot b - P_{wx} \cdot (h_w - r_d) + \sum I_i \cdot \frac{d\omega}{dt} - f_a \cdot r_{ct} \cdot (m_a \cdot g - \lambda_z \cdot P_{wx}). \quad (18)$$

Принимая во внимание, что $\vartheta_a = \vartheta_0$, $r_d = r_k$, $F_w = H_a \cdot B_a$, из формулы (3) в итоге получаем зависимость для оценки нормальной реакции на передней оси

$$R_{z1} = \frac{1}{L} \cdot \left[m_a \cdot g \cdot [b + z \cdot h] - m_a \cdot g \cdot (f_a \cdot r_{ct} + r_k \cdot (z - \varphi)) + \frac{j}{r_k} \cdot \sum I_i - \right. \\ \left. - K_0 \cdot H_a \cdot B_a \cdot \vartheta_0^2 \cdot [h_w - r_k \cdot (1 - \lambda_z \cdot \varphi) + \lambda_z \cdot (b - f_a \cdot r_{ct})] \right]. \quad (19)$$

Рассматривая равенство моментов относительно точки B при $\alpha = 0$ (см. рис.1, в), имеем с учетом выше представленных выражений в развернутом виде

$$R_{z2} \cdot L = -r_d \cdot \varphi \cdot (m_a \cdot g - \lambda_z \cdot P_{wx}) - m_a \cdot j \cdot (h - r_d) + m_a \cdot g \cdot a - \lambda_z \cdot P_{wx} \cdot a + P_{wx} \cdot (h_w - r_d) - \frac{j}{r_d} \cdot \sum I_i + f_a \cdot r_{ct} \cdot (m_a \cdot g - \lambda_z \cdot P_{wx}). \quad (20)$$

Откуда в итоге получаем выражение для оценки нормальной реакции на задней оси

$$R_{z2} = \frac{1}{L} \cdot \left[m_a \cdot g \cdot [a - z \cdot h] + m_a \cdot g \cdot (f_a \cdot r_{ct} + r_k \cdot (z - \varphi)) - \frac{j}{r_k} \cdot \sum I_i + \right. \\ \left. + K_0 \cdot H_a \cdot B_a \cdot \vartheta_0^2 \cdot [h_w - r_k \cdot (1 - \lambda_z \cdot \varphi) - \lambda_z \cdot (a + f_a \cdot r_{ct})] \right], \quad (21)$$

где a – координата центра масс транспортного средства.

Если в выражении (19) ввести обозначение изменения нормальной реакции как

$$\Delta_{R1} = -\frac{1}{L} \cdot \left(m_a \cdot g \cdot [f_a \cdot r_{ct} + r_k \cdot (z - \varphi)] - \frac{j}{r_k} \cdot \sum I_i + \right. \\ \left. + K_0 \cdot H_a \cdot B_a \cdot \vartheta_0^2 \cdot [h_w - r_k \cdot (1 - \lambda_z \cdot \varphi) + \lambda_z \cdot (b - f_a \cdot r_{ct})] \right), \quad (22)$$

а в выражении (21) как

$$\Delta_{R2} = \frac{1}{L} \cdot \left(m_a \cdot g \cdot (f_a \cdot r_{ct} + r_k \cdot (z - \varphi)) - \frac{j}{r_k} \cdot \sum I_i + \right. \\ \left. + K_0 \cdot H_a \cdot B_a \cdot \vartheta_0^2 \cdot [h_w - r_k \cdot (1 - \lambda_z \cdot \varphi) - \lambda_z \cdot (a + f_a \cdot r_{ct})] \right), \quad (23)$$

то в таком случае нормальные осевые реакции будут определяться, как

$$R_{z1} = \frac{1}{L} \cdot [m_a \cdot g \cdot [b + z \cdot h] + \Delta_{R1}], \quad (24)$$

$$R_{z2} = \frac{1}{L} \cdot [m_a \cdot g \cdot [a - z \cdot h] + \Delta_{R2}]. \quad (25)$$

Откуда следует, что с учетом возмущающих факторов при торможении транспортного средства нормальные осевые реакции, определенные по новым зависимостям, по сравнению с нормальными реакциями, определяемыми по классической теории, на задней оси увеличиваются на величину Δ_{R2} , тогда, как на передней оси уменьшаются на Δ_{R1} . Это не приведет к изменению общей тормозной силы, однако уменьшит коэффициент распределения тормозных сил, что позволит реализовать большие на величину $\Delta_{R2} \cdot \varphi$ тормозные силы на колесах задней оси транспортного средства в начальный момент торможения.

Оценку изменения нормальных осевых реакций автотранспортного средства будем производить по отношению величины ее изменения на какой-либо оси к величине статической нагрузки на эту же ось при различных начальных скоростях торможения.

Результаты теоретических исследований

На примере двухосного автотранспортного средства КамАЗ 5325 в соответствии с методикой, представленной выше, с использованием компьютерной программы, были получены расчетные данные относительного изменения нормальных реакций на осях при снаряженной массе автомобиля, затормаживаемого на горизонтальной дороге с сухим асфальтобетонным покрытием при скорости движения, изменяемой в пределах 60–100 км/час, на основании которых построены графические зависимости относительного изменения нормальных реакций на осях от коэффициента торможения, представленные на рис. 2.

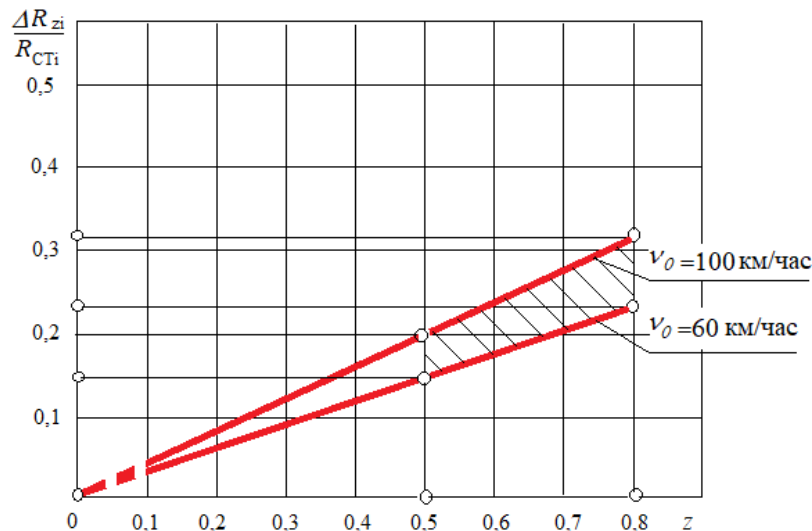


Рис.2. Зависимость относительного изменения нормальных реакций на задней оси КамАЗ 5325 от коэффициента торможения

Анализ полученных характеристик показывает, что требуемая при эксплуатации минимальная тормозная эффективность транспортного средства КамАЗ 5325 ($z=0,5$) может быть обеспечена при реализации относительного изменения нормальных реакций на задней оси в пределах 0,15–0,2, тогда, как максимальное значение ($z=0,8$) достигается в пределах 0,23–0,32.

Выводы

Анализ относительного изменения нормальных нагрузок на задней оси транспортного средства КамАЗ 5325 при экстренном торможении с учетом эксплуатационных факторов показывает, что имеет место прирост нормальных нагрузок на задней оси в начальный момент торможения на 23–32%.

Значения нормальных нагрузок, полученные по уточненным зависимостям, имеют большие значения, чем нормальные нагрузки на этой же оси, полученные по классическим формулам, что создает предпосылки для усиления задних тормозов транспортного средства в начальный момент торможения с целью повышения тормозной эффективности. Однако, при этом должны быть установлены электронные устройства, отслеживающие изменение нормальной нагрузки на колесах транспортного средства.

Список использованных источников

1. Маневренность и тормозные свойства колесных машин / [Подригало М.А., Волков В.П., Кирчатый В.И., Бобошко А.А.]; под ред. М.А. Подригало. – Харьков: ХНАДУ, 2003. – 403 с.
2. Стабильность эксплуатационных свойств колесных машин / [Подригало М.А., Волков В.П., Карпенко В.А. и др.]; под ред. М.А. Подригало. – Харьков: ХНАДУ, 2003. – 614 с.
3. Ярещенко Н.В. Довгострокове прогнозування швидкостей руху на автомобільних дорогах [Текст]: автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.11 «Автомобільні дороги та аеродроми» / Н.В. Ярещенко. – Харків, 1999.
4. Исследование потенциальных возможностей автомобиля при действии боковой силы в процессе торможения / А.С. Федосов, М.А. Подригало // *Автомобильный транспорт*. – Киев: Техника, 1980. – Вып.17. – с. 73-78.
5. Бобошко А.А. Оценка предельных по условиям сцепления колес с дорогой, показателей управляемости автомобилей и тракторов / Бобошко А.А. // *Автомобильный транспорт*. – Х., 2001. – Вып. 7. – с. 92-94.
6. Бобошко А.А. Оценка предельных по сцеплению колес с дорогой показателей поворотливости автомобилей / Бобошко А.А. // *Вестник СевГТУ*. – Севастополь, 2002. – Вып. 36. – с. 131-134.
6. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування: ДБН В.2.3-4:2007. – [Чинні від 2008-03-01]. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2007. – 91 с.
7. Агейкин Я.С. Теория автомобиля [Электронный ресурс]: учеб. пособ. / Я.С. Агейкин, Н.С. Вольская. – М.: МГИУ, 2008. – 318 с. – Режим доступа: <http://www.books.google.com.ua/books>.
8. Гухо В.Г. Аэродинамика автомобиля / Гухо В.Г.; [пер. с немец.]. – М.: Машиностроение, 1987. – 403 с.
9. Назаров В.И. Перераспределение вертикальных нагрузок при экстренном торможении легкового автомобиля, движущегося в воздушном потоке на горизонтальном участке дороги / Назаров В.И. // *Вісник НТУ «ХПИ»: Серія «Механіка та машинобудування»*. – Харків, 2015. - №1. – С. 102-110.

10. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів категорій М, N, і О стосовно гальмування (Правила ЕЭК ООН N 13-09:2000, IDT): ДСТУ UN/ECE R 13-09-2002. – [Чинний від 01.07.2005]. – Офіц. вид. – (Державний стандарт України).

11. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання (БЗ №11-12-2010/436): ДСТУ 3649: 2010. – Офіц. вид. – [Чинний від 28.11.2010]. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 26 с. – (Національний стандарт України).

References

1. Manevrennost i tormoznyye svoystva kolesnykh mashin / [Podrigalo M.A., Volkov V.P., Kirchaty V.I., Boboshko A.A.]; pod red. M.A. Podrigalo. – Kharkov: KhNADU. 2003. – 403 s.

2. Stabilnost ekspluatatsionnykh svoystv kolesnykh mashin / [Podrigalo M.A., Volkov V.P., Karpenko V.A. i dr.]; pod red. M.A. Podrigalo. – Kharkov: KhNADU. 2003. – 614 s.

3. Yareshchenko N.V. Dvougostrokove prognozuvannya shvidkостей rukhu na avtomobilnikh dorogakh [Tekst]: avtoref. dis. na zdobuttya stupenya kand. tekhn. nauk: spets. 05.22.11 «Avtomobilni dorogi ta ayerodromi» / N.V. Yareshchenko. – Kharkiv. 1999.

4. Issledovaniye potentsialnykh vozmozhnostey avtomobilya pri deystvii bokovoy sily v protsesse tormozheniya / A.S. Fedosov, M.A. Podrigalo // *Avtomobilnyy transport*. – Kiyev: Tekhnika. 1980. – Vyp.17. – s. 73-78.

5. Boboshko A.A. Otsenka predelnykh po usloviyam stsepleniya koles s dorogoy. pokazateley upravlyayemosti avtomobiley i traktorov / Boboshko A.A. // *Avtomobilnyy transport*. – Kh.. 2001. – Vyp. 7. – s. 92-94.

6. Boboshko A.A. Otsenka predelnykh po stseplenyu koles s dorogoy pokazateley povorotlivosti avtomobiley / Boboshko A.A. // *Vestnik SevGTU*. – Sevastopol. 2002. – Vyp. 36. – s. 131-134.

6. Derzhavni budivelni normi Ukraїni. Sporudi transportu. Avtomobilni dorogi. Chastina I. Proyektuvannya: DBN V.2.3-4:2007. – [Chinni vid 2008-03-01]. – Kiїv: Minregionbud Ukraїni. 2007. – 91 s.

7. Ageykin Ya.S. Teoriya avtomobilya [Elektronnyy resurs]: ucheb. posob. / Ya.S. Ageykin, N.S. Volskaya. – M.: MGIU. 2008. – 318 s. – Rezhim dostupa: <http://www.books.google.com.ua/books>.

8. Gukho V.G. Aerodinamika avtomobilya / Gukho V.G.; [per. s nemets.]. – M.: Mashinostroyeniye. 1987. – 403 s.

9. Nazarov V.I. Pereraspredeleniye vertikalnykh nagruzok pri ekstrennom tormozhenii legkovogo avtomobilya. dvizhushchegosya v vozdushnom potoke na gorizontalmom uchastke dorogi / Nazarov V.I. // *Visnik NTU «KhPI»: Seriya «Mekhanika ta mashinobuduvannya»*. – Kharkiv. 2015. - №1. – S. 102-110.

10. Єдині технічні приписи shchodo ofitsiynogo zatverdzhennya dorozhnikh transportnikh zasobiv kategoriy M, N, i O stosovno galmuvannya (Pravila EEK OON N 13-09:2000, IDT): DSTU UN/ECE R 13-09-2002. – [Chinniy vid 01.07.2005]. – Ofits. vid. – (Derzhavniy standart Ukraїni).

11. Kolisni transportni zasobi. Vimogi shchodo bezpechnosti tekhnichnogo stanu ta metodi kontrolyuvannya (BZ №11-12-2010/436): DSTU 3649: 2010. – Ofits. vid. – [Chinniy vid 28.11.2010]. – K.: Derzhspozhivstandart Ukraїni. 2011. – 26 s. – (Natsionalniy standart Ukraїni).