

14. А.с. 771089 СССР Способ получения алкиларилсульфокислот или кислых алкилсульфатов и устройство для его осуществления [Текст] / Стороженко В. Я., Барвин В. И., Шабрацкий В. И. и др. Опубл. 1980. – Бюл. №38.
15. Шабрацкий, В. И. Изучение экологических показателей хлорирования пассивных органических соединений [Текст] : матер. II Всес. науч.-техн. совещ. / В. И. Шабрацкий, В. И. Роговик и др. // Пути совершенствования, интенсификации и повышение надежности аппаратов в основной химии. – Сумы, 1982. – 260 с.
16. Шабрацкий, В. И. Применение реакторов емкостного типа с всасывающей мешалкой для хлорирования пассивных органических соединений [Текст] : матер. VIII Все. конф. / В. И. Шабрацкий, В. И. Роговик, И. Я. Бедусенко // Химреактор. – Чимкент, 1983. – С. 253–258.
17. Идельчик, И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. [Текст] / И. Е. Идельчик. – М.: «Машиностроение», 1975. – 559 с.
18. Идельчик, И. Е. Определение коэффициентов сопротивления при истечении через отверстия [Текст] / И. Е. Идельчик // Гидротехническое строительство. – 1953. – № 5. – С. 31–36.
19. Стренк, Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками [Текст] / Ф. Стренк. – Л.: Химия, 1975. – 384 с.
20. Брагинский, Л. Н. Перемешивание в жидких средах: Физические основы и инженерные методы расчета. [Текст] / Л. Н. Брагинский, В. И. Бегачев, В. М. Барабаш. – Л.: Химия, 1984. – 336 с.
21. Zlokarnik, M. Auslegung vor Hohlruhreru sur Flussig keits begasung [Text] / M. Zlokarnik // Chem.-Jus.- Techn. – 1966. – Jg 38, № 3. – P. 357–366.
22. Ерофеев, А. А. Газосодержание в жидкости при перемешивании механическими мешалками [Текст] / А. А. Ерофеев, Г. Н. Петыхина // Химическое и нефтехимическое машиностроение. – 1976. – № 10. – С. 18–20.
23. Белкин, Д. И. К расчету эжекционной производительности самовсасывающих мешалок по жидкости [Текст] : матер. 6 міжн. наук.-прак. конф. / Д. И. Белкин, В. И. Шабрацкий, В. И. Барвин, С. В. Шабрацкий. – Полтава, 2010. – С. 41–44.
24. Патент України № 60097 Пристрій для перемішування рідин [Текст] / Шабрацький В. І., Белкін Д. І., Барвін В. І., Шабрацький С. В. – Бюл. № 11, 2011.

Розроблено теоретичні основи методу оцінки стійкості транспортних засобів при розгерметизації їх коліс. Визначено час повної розгерметизації шини автомобільного колеса. Зазначений метод дозволяє визначати величини повертаючого моменту і радіуса повороту автомобіля з різними радіусами коліс з урахуванням тертя в диференціалі

Ключові слова: автомобіль, стійкість, колесо, відведення, прокол, пробій, повертаючий момент, судово експертиза

Разработаны теоретические основы метода оценки устойчивости транспортных средств при разгерметизации их колес. Определено время полной разгерметизации шины автомобильного колеса. Указанный метод позволяет определять величины поворачивающего момента и радиуса поворота автомобиля с различными радиусами колес с учетом трения в дифференциале

Ключевые слова: автомобиль, устойчивость, колесо, увод, прокол, пробой, поворачивающий момент, судебная экспертиза

УДК 343.98

ЭКСПЕРТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ПРИ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ ЕГО КОЛЕСА

М. А. Подригало

Доктор технических наук, профессор*

E-mail: pmikhab@rambler.ru

Д. М. Клец

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: prof_777@mail.ru

*Кафедра технологии

машиностроения и ремонта машин

Харьковский национальный

автомобильно-дорожный университет

ул. Петровского, 25, г. Харьков, Украина, 61002

1. Введение

Расследование дорожно-транспортных происшествий (ДТП) требует от следователей и судей повышения эффективности работы с целью справедливого наказания виновных. Одним из действен-

ных средств улучшения указанной работы является наиболее полное использование возможностей судебных автотехнических и транспортно-трасологических экспертиз. Известные экспертные исследования, посвященные оценке курсовой устойчивости автомобилей [1, 2], не рассматривают влияние раз-

ности динамических радиусов ведущих колес на указанное эксплуатационное свойство. В существующих источниках лишь определена критическая скорость, превышение которой свидетельствует о начале заноса. Кроме динамических радиусов на величину поворачивающего момента влияет также трение в дифференциале. В связи с этим, в экспертной практике появляется необходимость установления показателей бокового увода, поворачивающего момента и радиуса поворота транспортного средства (ТС) в плоскости дороги с различными динамическими радиусами колес.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Исследованию вопросов устойчивости движения транспортных средств посвящено большое количество работ. Устойчивость тесно связана с управляемостью и непосредственно с безопасностью дорожного движения [3]. Ряд исследований направлен на оценку устойчивости автомобиля при движении по криволинейной траектории [4], а также при торможении [5, 6]. Недостаточная курсовая или траекторная устойчивость автомобиля, или тенденция хотя бы части параметров движения к самопроизвольному изменению вынуждают водителя пребывать в состоянии постоянной напряженности и готовности реагировать на эти отклонения созданием управляющих воздействий [7].

В судебной автотехнической экспертизе существует ряд методик определения параметров маневренности, устойчивости движения [1, 2], а также исследования шин и колес транспортных средств [2]. Значительную роль при проведении экспертиз играют вопросы исследования характеристик шин транспортных средств, которые относятся к категории сложных вопросов, как в теоретическом, так и в методическом плане.

В работе [8] приведен ряд математических моделей для исследования влияния различных параметров шин на устойчивость и управляемость автомобиля. В работах [9, 10] изучены основы динамики автомобиля с учетом эластичности его шин. Авторы работы [11] приводят оценочные модели сцепления шины с неровной дорожной поверхностью.

Методы исследования шин транспортных средств, которые существуют в практике эксплуатации, не могут быть в «готовом» виде перенесены на процесс экспертного исследования. Экспертное исследование шин транспортных средств требует разработки независимой теоретической и методической базы. В то же время теоретические основы этих исследований недостаточно разработаны, и, связанные с ними проблемы криминалистического и методического характера требуют дальнейшего исследования и совершенствования [12]. Кроме того, в существующих методиках не раскрыт вопрос экспертных исследований устойчивости движения транспортного средства при разгерметизации одного из его колес. Таким образом, данный вопрос требует дополнительных исследований.

3. Цель и задачи работы

Целью исследования является разработка метода оценки устойчивости движения транспортного средства при разгерметизации одного из его колес.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить время полной разгерметизации шины автомобильного колеса;
- обосновать метод экспертного исследования устойчивости транспортных средств при разгерметизации их колес.

4. Определение времени полной разгерметизации шины автомобильного колеса

Воспользуемся выражением для определения времени завершения истечения газа из отверстия, полученным в работе [13]

$$\tau = \frac{\ln \frac{P_H - P_0}{P - P_0}}{\alpha}, \quad (1)$$

где α – коэффициент, равный $\alpha = \frac{R_u \cdot T}{\mu \cdot V} \cdot \frac{\pi \cdot \rho}{4 \cdot \eta \cdot l} \cdot \frac{a_1^3 \cdot b_1^3}{a_1^2 + b_1^2}$;

P – изменяющееся со временем давление в шине, МПа;

P_0 – атмосферное давление, МПа;

V – объем газа в шине, м³;

R_u – универсальная газовая постоянная, равная 8,31 Дж/моль·К;

T – абсолютная температура, равная 293 К;

μ – молярная масса газа, кг/моль;

ρ – плотность газа в отверстии, кг/м³;

η – динамическая вязкость, Па;

a_1 и b_1 – полуоси эллиптического по форме отверстия, м;

l – длина отверстия, м.

В качестве варьируемых параметров выберем следующие: $P_0 = 101325$ Па; $P_H = 303975$ Па; $\rho = 1,2$ кг/м³; $\eta = 1,86 \cdot 10^{-5}$ Па; $l = 9,6 \cdot 10^{-3}$ м; $\mu = 0,02898$ кг/моль; $V_0 = 0,03$ м³. Рассмотрим истечение воздуха из круглых отверстий с диаметрами $2,5 \cdot 10^{-3}$... $3,5 \cdot 10^{-3}$ м. На рис. 1 приведены расчетные зависимости давления воздуха в шине от времени его истечения при различных размерах отверстий.

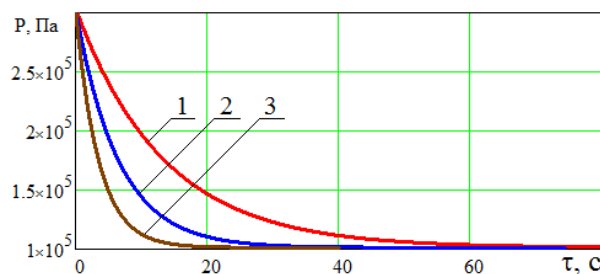


Рис. 1. Зависимости давления воздуха в шине от времени его истечения: 1 – отверстие $\varnothing 2,5 \cdot 10^{-3}$ м; 2 – $\varnothing 3,0 \cdot 10^{-3}$ м; 3 – $\varnothing 3,5 \cdot 10^{-3}$ м

Различия между теоретическим значением ($\tau_1 = 40$ с) для отверстия диаметром $\varnothing 3,5 \cdot 10^{-3}$ м и экспериментальным ($\tau_2 = 52$ с), полученным в работе [12], обусловлены тем, что при проколе шины может образовываться отверстие, отличающееся по форме от окружности и падение давления воздуха в данном случае происходит медленнее. Данное обстоятельство необходимо учитывать при оценке времени падения давления путем задания корректных геометрических характеристик отверстия прокола при проведении автотехнических и транспортно-трассологических экспертиз.

5. Теоретическое обоснование метода экспертного исследования устойчивости транспортных средств при разгерметизации их колес

Исследуем динамику переднеприводного автомобиля при разгерметизации одного из колес его передней оси (рис. 2).

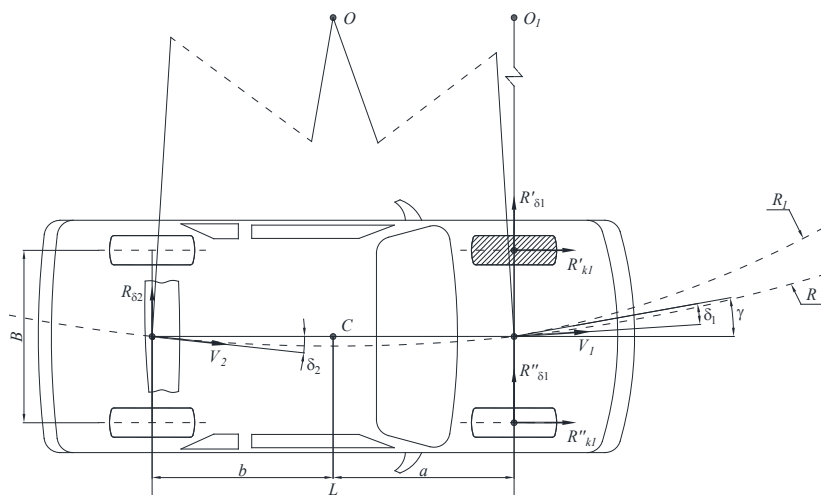


Рис. 2. Схема сил, действующих на колеса автомобиля при разгерметизации его колеса (разгерметизированное колесо заштриховано)

Поворачивающий момент, возникающий на оси автомобиля

$$M_{пов} = \frac{B}{2} \cdot (R''_{k1} - R'_{k1}) = R_{\delta 1} \cdot L, \tag{2}$$

где B, L – колея и продольная колесная база;

R'_{k1}, R''_{k1} – касательные реакции в контакте разгерметизированного и целого колес передней оси с дорогой.

Момент сопротивления повороту

$$M_{сопр} = R_{\delta 2} \cdot L, \tag{3}$$

где $R_{\delta 2}$ – боковая реакция дороги на задней оси автомобиля.

Радиус поворота автомобиля в данном случае можно определить следующим образом

$$R = \frac{L}{\delta_1 + \delta_2}, \tag{4}$$

где δ_1, δ_2 – суммарные углы увода колес передней и задней оси.

Угловая скорость поворота автомобиля

$$\omega_z = V_a \cdot \frac{\delta_1 + \delta_2}{L}. \tag{5}$$

Поскольку поворот автомобиля происходит за счет поворачивающего момента, суммарные боковые реакции на колесах передней и задней оси равны

$$R_{\delta 1} = R_{\delta 2} = R_{\delta}. \tag{6}$$

Суммарные углы увода колес передней и задней оси определяются следующим образом

$$\delta_1 = \frac{R_{\delta}}{\sum K_{y1}} = \frac{R_{\delta}}{K'_{y1} + K''_{y1}}; \tag{7}$$

$$\delta_2 = \frac{R_{\delta}}{\sum K_{y2}} = \frac{R_{\delta}}{2 \cdot K_{y2}}, \tag{8}$$

где K'_{y1}, K''_{y1} – коэффициенты сопротивления уводу разгерметизированного и герметичного колес передней оси автомобиля;

K_{y2} – коэффициент сопротивления уводу колеса задней оси автомобиля.

При отсутствии данных о величине коэффициента сопротивления уводу, ее можно приблизительно определить по методике, изложенной в работе [14]

$$K_y = K_{yH} \cdot q_x \cdot q_z, \tag{9}$$

где $K_{yH} = 780 \cdot B_k \cdot (d + 2 \cdot B_k) \cdot (1000 \cdot P + 98)$

– для радиальных шин, $K_{yH} = 500 \cdot B_k \cdot (d + 2 \cdot B_k) \cdot (1000 \cdot P + 98)$

– для диагональных шин;
 B_k – ширина профиля шины, м;
 d – посадочный диаметр шины, м.

Поправочные коэффициенты от касательной и нормальной реакции в данном случае определяются из следующих выражений

$$q_x = \sqrt{1 - \left(\frac{R_k}{\phi_x \cdot R_z} \right)^2}; \tag{10}$$

$$q_z = 2,4 \cdot \frac{R_z}{R_{zH}} - 1,8 \cdot \left(\frac{R_z}{R_{zH}} \right)^2 + 0,4 \cdot \left(\frac{R_z}{R_{zH}} \right)^3, \tag{11}$$

где ϕ_x – продольный коэффициент сцепления;
 R_{zH} – номинальная нормальная реакция (нагрузка), Н.

Подставляя в зависимость (5) выражения (7) и (8), получим

$$\omega_z = V_a \cdot \frac{R_{\delta}}{L} \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot K_{y2}} + \frac{1}{K'_{y1} + K''_{y1}} \right) \quad (12)$$

С учетом (2) и (6), выражение (12) примет следующий вид

$$\omega_z = V_a \cdot \frac{M_{нов}}{L^2} \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot K_{y2}} + \frac{1}{K'_{y1} + K''_{y1}} \right) \quad (13)$$

или

$$\omega_z = V_a \cdot \frac{B}{2 \cdot L^2} \cdot (R''_{k1} - R'_{k1}) \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot K_{y2}} + \frac{1}{K'_{y1} + K''_{y1}} \right) \quad (14)$$

Радиус поворота автомобиля с учетом зависимости (14)

$$R = \frac{V_a}{\omega_z} = \frac{2 \cdot L^2}{B} \cdot \frac{1}{(R''_{k1} - R'_{k1}) \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot K_{y2}} + \frac{1}{K'_{y1} + K''_{y1}} \right)} \quad (15)$$

или

$$R = \frac{2 \cdot L^2}{B} \cdot \frac{K_{y2}}{(R''_{k1} - R'_{k1}) \cdot \left(0,5 + \frac{K_{y2}}{K'_{y1} + K''_{y1}} \right)} \quad (16)$$

Принимая, что $K''_{y1} = K_{y2}$, преобразуем выражение (16) к следующему виду

$$= \frac{2 \cdot L}{(R''_{k1} - R'_{k1}) \cdot \left(0,5 + \frac{y_2}{1 \cdot K'_{y1}/K_{y2}} \right)} \quad (17)$$

Касательные реакции на ведущих колесах

$$R''_{k1} = 0,5 \cdot (\phi + f) \cdot R_{z1} = 0,5 \cdot (\phi + f) \cdot m_a \cdot g \cdot \frac{b}{L}; \quad (18)$$

$$\begin{aligned} R'_{k1} &= 0,5(\phi + f) \cdot R_{z1} \cdot \frac{r'_a}{r''_a} \cdot \lambda_{\phi a1} - 0,5f \cdot R_{z1} = \\ &= 0,5(\phi + f) \cdot m \cdot g \cdot \frac{r'_a}{r''_a} \cdot \lambda_{\phi a1} - 0,5f \cdot m_a \cdot g \cdot \frac{b}{L}, \end{aligned} \quad (19)$$

где $\lambda_{\phi a1}$ – коэффициент блокировки дифференциала;
 f – коэффициент сопротивления качению;
 m_a – масса автомобиля.

В случае, когда не используется дифференциал повышенного трения, $\lambda_{\phi a1} = 1$. Если допустить, что $f \ll \phi$, то можно принять $f \cong 0$, и

$$(R''_{k1} - R'_{k1}) = 0,5 \cdot \phi \cdot m_a \cdot g \cdot \frac{b}{L} \cdot \left(1 - \frac{r'_a}{r''_a} \right). \quad (20)$$

Уравнение (17) в данном случае примет вид

$$R = \frac{4 \cdot L^2}{B} \cdot \frac{K_{y2}}{\phi \cdot m_a \cdot g \cdot \frac{b}{L} \cdot \left(1 - \frac{r'_a}{r''_a} \right) \cdot \left(0,5 + \frac{1}{1 + K'_{y1}/K_{y2}} \right)}. \quad (21)$$

Полученные зависимости могут быть использованы для определения параметров устойчивости автомобиля как с разгерметизированной, так и со спущенной шиной. Для стабилизации автомобиля, который движется с различными радиусами колес, водитель может применить поворот направляющих колес на некоторый угол γ . Радиус поворота автомобиля в данном случае определяется из выражения

$$R = \frac{L}{\gamma - \delta_1 + \delta_2}. \quad (22)$$

Необходимый угол поворота направляющих колес для стабилизации движения переднеприводного автомобиля с разгерметизированной шиной переднего моста получим, подставляя зависимость (21) в (22)

$$\gamma = \frac{\phi \cdot m_a \cdot g \cdot b}{2 \cdot K_{y2} \cdot L} \times \left[\frac{B}{2 \cdot L} \cdot \left(1 - \frac{r'_a}{r''_a} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 + K'_{y1}/K_{y2}} + 0,5 \right) + \sqrt{1 - \left(\frac{r'_a}{r''_a} \right)^2} \cdot \left(\frac{1}{1 + K'_{y1}/K_{y2}} - 0,5 \right) \right]. \quad (23)$$

Зная радиус поворота автомобиля со спущенной шиной, можно определить его боковое смещение в плоскости дороги. При определении радиуса поворота автомобиля с разгерметизированной шиной сложность заключается в оценке соотношения коэффициентов сопротивления уводу разгерметизированного и целого колес. Определение указанных коэффициентов удобно выполнять, если имеются результаты экспериментальных исследований для данного автомобиля. Отношение коэффициентов сопротивления уводу разгерметизированного и целого колес в данном случае определяется из выражения (21) и имеет вид

$$\frac{K'_{y1}}{K_{y2}} = - \frac{1}{0,5 + \frac{4 \cdot L^3}{B \cdot b \cdot R} \cdot \frac{K_{y2}}{\phi \cdot m_a \cdot g \cdot \left(r'/r'' - 1 \right)}} - 1. \quad (24)$$

6. Апробация результатов исследований

Определим с помощью зависимостей (7), (8), (21), (23) параметры движения автомобиля Skoda Fabia с разгерметизированной шиной передней оси

и сравним их с экспериментальными значениями, полученными авторами совместно с сотрудниками ХНИИСЭ им. Засл. проф. М.С. Бокариуса в рамках НИР «Экспертне дослідження стійкості руху транспортного засобу при розгерметизації його колеса» в 2013 г. С целью выполнения программы и методики эксперимента использованы следующие материально-технические средства: автомобиль Skoda Fabia; рулетка измерительная металлическая Р50УЗК ДСТУ 4179-2003; комплект шин NokianW 185/65 R14 86TM+S; фотокамера Nikon D5000; секундомер с допустимой погрешностью измерения 0,2 с; манометр автомобильный ГОСТ 1701-75; компрессор автомобильный Mio1 81-115; доска 1000×120×20 мм для крепления штырей; острые штыри Ø 3,5-16 мм. Для регистрации данных во время проведения эксперимента использован разработанный на кафедре технологии машиностроения и ремонта машин ХНАДУ мобильный регистрационно-измерительный комплекс (МРИК). МРИК состоит из двух датчиков ускорений Freescale Semiconductor модели MMA7260QT, а также персональной электронно-вычислительной машины для снятия и архивации данных. Погрешность значений ускорений, полученных с помощью МРИК, составляет не более 4 % (1 % – погрешность акселерометров по паспорту и до 3 % – погрешность установки). На рис. 3 приведена зависимость бокового смещения автомобиля от пройденного пути при различных значениях давления воздуха в шине.

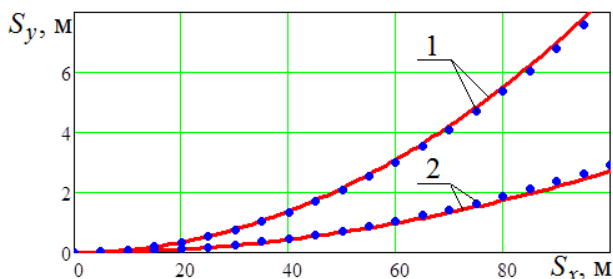


Рис. 3. Зависимость бокового смещения автомобиля от пройденного пути при различных значениях давления воздуха в шине автомобиля Skoda Fabia: — расчетные данные; •••• экспериментальные данные; 1 – P = 0,02 МПа; 2 – P = 0,12 МПа

Зависимость углов увода колес от соотношения их радиусов, а также зависимость коэффициента сопротивления уводу шин колес от соотношения их радиусов приведена на рис. 4, рис. 5. Зависимость радиуса поворота автомобиля от соотношения радиусов колес приведена на рис. 6. Зависимость необходимого угла поворота направляющих колес для стабилизации движения автомобиля с разгерметизированной шиной, а также соотношения радиусов колес от избыточного давления в шине показана на рис. 7.

В табл. 1 приведены критерии сходимости экспериментальных и расчетных данных величины радиуса поворота автомобиля, определенных с помощью зависимости (21).

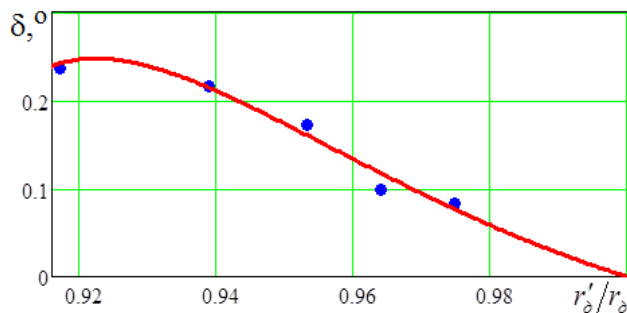


Рис. 4. Зависимость суммарного угла увода шин колес переднего моста от соотношения их радиусов: — расчетные данные; •••• экспериментальные данные

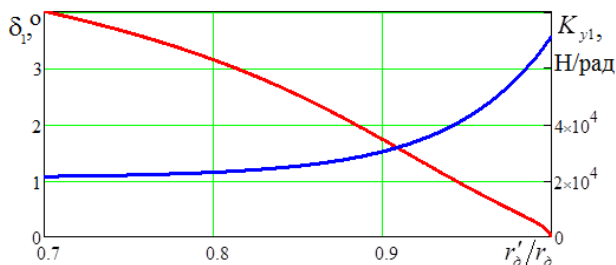


Рис. 5. Зависимость суммарного угла увода и коэффициента сопротивления увода оси с герметичными шинами от r'_d/r''_d

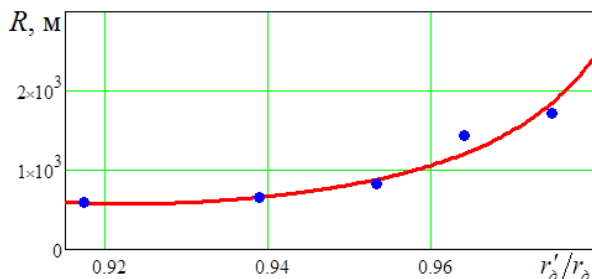


Рис. 6. Зависимость радиуса поворота автомобиля от соотношения радиусов колес его переднего моста: — расчетные данные; •••• экспериментальные данные

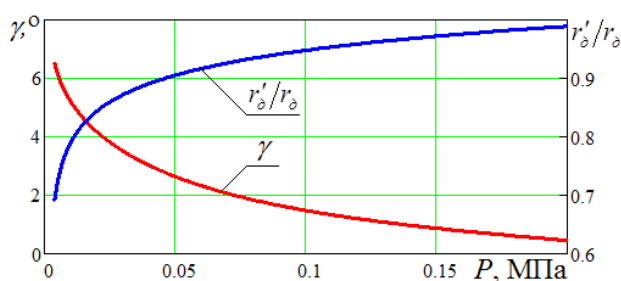


Рис. 7. Зависимость необходимого угла поворота направляющих колес для стабилизации движения автомобиля с разгерметизированной шиной от избыточного давления в ней

Таблица 1

Критерии сходимости экспериментальных и расчетных данных

Критерий сходимости	Значение критерия
SSE	0,8824
R-square	0,9991
Adjusted R-square	0,9964
RMSE	0,2971

Анализ рис. 6 и табл. 1 показывает, что предложенная модель определения радиуса поворота автомобиля с разгерметизированной шиной является адекватной, о чем свидетельствует высокая сходимость экспериментальных и расчетных данных.

7. Выводы

Теоретически обоснован метод определения параметров устойчивости транспортного средства при движении его с разгерметизированным колесом, позволяющий устанавливать показатели бокового увода, поворачивающего момента, действующего на транспортное средство в плоскости дороги с учетом трения в дифференциале.

Предложенная модель определения радиуса поворота автомобиля с различными радиусами колес является адекватной, о чем свидетельствует высокая сходимость экспериментальных и расчетных данных (критерий R-square = 0,9991).

Внедрение в экспертную практику предложенного специального метода исследования устойчивости движения транспортного средства при разгерметизации колеса с целью определения параметров его движения на момент ДТП позволит повысить доказательную роль вывода автотехнической экспертизы.

Литература

1. Корчан, Н. С. Экспертное исследование устойчивости движения транспортных средств [Текст] / Н. С. Корчан, М. А. Подригало, В. Н. Павленко, Д. М. Клец // Теорія та практика судової експертизи та криміналістики. – 2007. – № 7. – С. 288–289.
2. Реєстр методик проведення судових експертиз Міністерства Юстиції України [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://rmpse.minjust.gov.ua/search>.
3. Electronic Stability Control Systems: Federal Motor Vehicle Safety Standard No. 126 [Text] / Office of Regulatory Analysis and Evaluation, National Center for Statistics and Analysis, 2006. – 142 p.
4. Yamakawa, J. Nihon kikai gakkai ronbunshu [Text] / J. Yamakawa, K. Watanabe, T. Sasaki // C-Trans Jap. Soc. Mech. Eng. – 2006. – № 723. – P. 3548–3554.
5. Радєйка, Н. В. Tire and Vehicle Dynamics [Text] / Н. В. Радєйка // Society of Automotive Engineers, 2002. – 642 p.
6. Балакина, Е. В. Оценка целесообразности учета крена и дифферента кузова в задачах устойчивости движения автомобиля при торможении [Текст] : матер. междуна. науч.-техн. конф. / Е. В. Балакина, Н. М. Зотов // Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров, посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ», 2011. – С. 7–15.
7. Клец, Д. М. Вплив експлуатаційних факторів та технічного стану автомобіля на його стійкість проти заносу [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.20 / Д. М. Клец // Експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Харків, 2009. – 20 с.
8. Danielson, K. T. Computational strategies for tire modeling and analysis [Text] / K. T. Danielson, A. K. Noor, J. S. Green // Computers & Structures. – 1996. – 61 (4). – P. 673–693.
9. Gillespie, T. Fundamentals of Vehicle Dynamics [Text] / T. Gillespie // SAE International, 1992. – 495 p.
10. Rajamani, R. Vehicle Dynamics and Control [Text] / R. Rajamani // Mechanical Engineering Series, Springer Verlag, 2005. – 470 p.
11. Bui, Q. V. Estimation of rubber sliding friction from asperity interaction modeling [Text] / Q. V. Bui, J. P. Ponthot // Wear. – 2002. – № 252. – P. 150–160.
12. Корчан, М. С. Експертне дослідження шин транспортних засобів [Текст] / М. С. Корчан, А. М. Пантюшенко, В. М. Ковкін, В. О. Лабінцев. – Х.: ХНДІСЕ, 2005. – 92 с.
13. Билей, Д. В. Исследование изменения давления газа в сосудах при его истечении из трещин в стенках [Текст] / Д. В. Билей, М. В. Максимов, О. А. Назаренко, Р. В. Протопопов // Труды Одесского политехнического университета. – 1998. – № 6. – С. 87–91.
14. Хусаинов, А. Ш. Эксплуатационные свойства автомобиля [Текст] / А. Ш. Хусаинов. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 109 с.