

# СУДОВА ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНА ЕКСПЕРТИЗА: МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ

УДК 629.017

**Д. М. Клец**, професор кафедри автомобілей і транспортної інфраструктури Національного аерокосмічного університета ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ», доктор технічних наук, доцент,

**В. Н. Болдовский**, доцент кафедри автомобілей і транспортної інфраструктури Національного аерокосмічного університета ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ», кандидат технічних наук,

**В. А. Варлахов**, старший научний співробітник Харківського НІИСЭ

## ЕКСПЕРТНА ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕАКЦИЙ ДОРОГИ МЕЖДУ КОЛЕСАМИ АВТОМОБИЛЯ

*Разработана экспертная методика оценки распределения реакций дороги между колесами автомобиля, которая позволяет определять максимальные значения скорости, угла поворота управляемых колес и радиуса поворота автомобиля по условию безопасного движения, а также момент времени потери устойчивости при входе и выходе из поворота.*

*Ключевые слова: экспертная оценка, устойчивость, автомобиль, поворот, реакции дороги, безопасность движения.*

Значительная часть дорожно-транспортных происшествий связана с потерей устойчивости движения и положения автотранспортных средств<sup>1</sup>. На эти эксплуатационные свойства существенное влияние оказывает распределение нормальных и боковых реакций дороги между колесами одной оси автомобиля<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> См.: Клец Д. М. Концепція забезпечення стабільності показників стійкості та керованості автомобілів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту» / Д. М. Клец. — Х., 2015. — 40 с.

<sup>2</sup> См.: Подригало М. А. Распределение реакций дороги между колесами одной оси автомобиля / М. А. Подригало, Д. М. Клец, О. А. Назарько // Вісник СНУ ім. В. Даля. — 2010. — № 6(148). — С. 26–30.

В настоящее время в экспертной практике отсутствуют методические положения, связанные с исследованием зависимости нормальных реакций дороги от важнейших конструктивных и эксплуатационных характеристик автомобиля, а также параметров его движения. В связи с этим актуальным является вопрос оценивания устойчивости автомобиля при выполнении маневра, с учетом распределения реакций дороги между его колесами.

Оценочные показатели устойчивости транспортных средств и методы оценки результатов испытаний определены РД 37.001.005-86 «Методика испытаний и оценки устойчивости управления транспортными средствами»<sup>1</sup>. Однако, этот документ уже не удовлетворяет возрастающим требованиям активной безопасности автомобиля и не соответствует ряду современных международных стандартов<sup>2</sup>.

В работах Е. А. Чудакова и Я. М. Певзнера предложена методика оценивания распределения боковых реакций между колесами одной оси автомобиля. При этом распределение боковых реакций в плоскости дороги рассматривается с точки зрения достижения ими предельных величин по сцеплению<sup>3</sup>.

Учеными Харьковского национального автомобильно-дорожного университета<sup>4</sup> предложена расчетная схема (рис. 1) для определения нормальных и боковых реакций на колесах одной оси (на различных бортах) автомобиля путем составления уравнений статики.

На рис. 1 приняты следующие обозначения:  $P_{\text{ц}}$  – центростремительная сила;  $m$  – масса автомобиля, приходящаяся на ось;  $V$  – линейная скорость автомобиля;  $R$  – радиус поворота автомобиля;  $R'_x$  – нормальная реакция дороги на внутреннем, менее нагруженном колесе;  $R''_x$  – нормальная реакция дороги на наружном, более нагруженном колесе;  $\beta$  – угол поперечного уклона дороги;  $h$  – высота центра масс автомобиля;  $B$  – колея колес;  $\alpha$  – угол поперечной устойчивости машины;  $R'_y$  – боковая реакция дороги на внутреннем, менее нагруженном колесе;  $R''_y$  – боковая реакция дороги на наружном, более нагруженном колесе;  $P_{\Sigma}$  – суммарная сила;  $R'$  и  $R''$  – составляющие нормальной реакции дороги соответственно на внутреннем, менее нагруженном колесе, и на наружном, более нагруженном колесе;  $G$  – сила тяжести.

При этом задача нахождения боковых реакций на колесах становится статически определимой. Предложенные зависимости позволяют определять

<sup>1</sup> См.: Методика испытаний и оценки устойчивости управления автотранспортными средствами : РД 37.001.005-86. — М. : Минавтопром, 1986. — 24 с.

<sup>2</sup> См.: *Шадрин С. С.* Методика расчетной оценки управляемости и устойчивости автомобиля на основе результатов полигонных испытаний : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины» / С. С. Шадрин. — М., 2009. — 32 с.

<sup>3</sup> См.: *Певзнер Я. М.* Исследование движения автомобиля при заносе : дис. ... канд. техн. наук : 02.02.02 / Певзнер Яков Мануилович. — М., 1937. — 100 с.; *Чудаков Е. А.* Боковая устойчивость автомобиля при торможении / Е. А. Чудаков. — М. : Машгиз, 1952. — 183 с.

<sup>4</sup> См.: *Подригало М. А., Клец Д. М., Назарько О. А.* Указ. работа.

нормальные и боковые реакции дороги на колесах для случая движения автомобиля на поперечном уклоне и повороте. Однако задача определения момента потери устойчивости автомобиля против опрокидывания не ставилась.

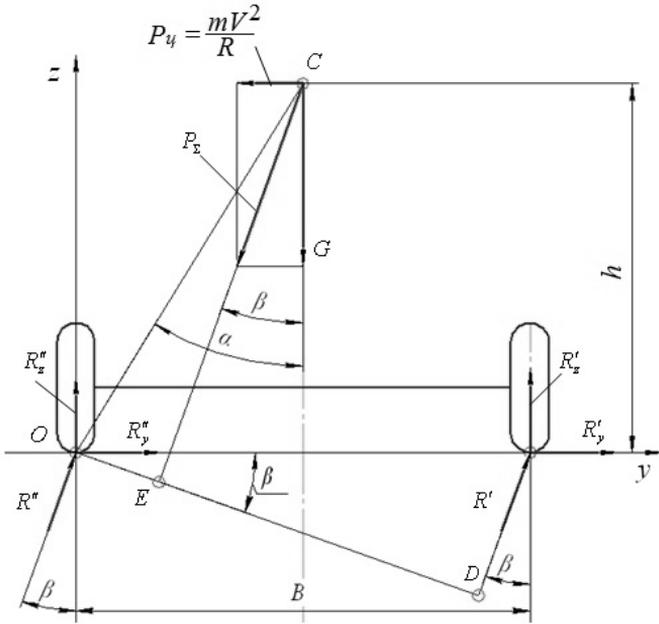


Рис. 1. Расчетная схема сил, действующих на автомобиль при движении на повороте

Таким образом, вопросы определения соотношения реакций дороги на колесах автомобиля при выполнении маневра и оценки его устойчивости требуют дополнительных исследований. Ни соотношение реакций, ни устойчивость при выполнении маневра в экспертной практике ранее не рассматривались.

Целью нашего исследования является разработка экспертной методики определения соотношения нормальных и боковых реакций дороги на колесах автомобиля при движении на повороте.

Нормальные реакции дороги на колесах автомобиля при движении на повороте определяются из следующих выражений:<sup>1</sup>

$$R'_z = \frac{h}{B} \left( \operatorname{tg} \alpha - \frac{V^2}{gR} \right) G; \quad (1)$$

<sup>1</sup> См.: Подригало М. А., Клец Д. М., Назарько О. А. Указ. работа.

$$R_z'' = \left[ 1 - \frac{h}{B} \left( \operatorname{tg} \alpha - \frac{V^2}{gR} \right) \right] G, \quad (2)$$

а боковые реакции дороги на колесах автомобиля при движении на повороте:

$$R_y' = \frac{h}{B} \left( \operatorname{tg} \alpha - \frac{V^2}{gR} \right) \cdot \frac{mV^2}{R}; \quad (3)$$

$$R_y'' = \left[ 1 - \frac{h}{B} \left( \operatorname{tg} \alpha - \frac{V^2}{gR} \right) \right] \cdot \frac{mV^2}{R}, \quad (4)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения.

Угол поперечной устойчивости машины определяется из известного соотношения<sup>1</sup>

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{B}{2 \cdot h}. \quad (5)$$

Отношение боковых реакций на колесах равно отношению нормальных реакций и равно отношению суммарных реакций на колесах одной оси автомобиля<sup>2</sup>. Используя зависимости (1) и (2), запишем выражение для определения отношения нормальных реакций на колесах в следующем виде

$$\frac{R_z'}{R_z''} = \frac{\frac{h}{B} \left( \operatorname{tg} \alpha - \frac{V^2}{gR} \right) G}{\left[ 1 - \frac{h}{B} \left( \operatorname{tg} \alpha - \frac{V^2}{gR} \right) \right] G}. \quad (6)$$

Потеря устойчивости автомобиля против опрокидывания в этом случае будет происходить при выполнении условия  $R_z' / R_z'' \leq 0$ . При  $R_z' / R_z'' = 0$  автомобиль будет находиться в состоянии безразличного равновесия, на грани потери устойчивости.

Определим, при каком радиусе  $R_0$  поворота автомобиля отношение нормальных реакций будет равняться нулю, т. е. нормальная реакция дороги на внутреннем, менее нагруженном колесе  $R_z' = 0$ . Для этого приравняем правую часть выражения (6) к нулю

$$\frac{\frac{h}{B} \left( \operatorname{tg} \alpha - \frac{V^2}{g \cdot R_0} \right) G}{\left[ 1 - \frac{h}{B} \left( \operatorname{tg} \alpha - \frac{V^2}{g \cdot R_0} \right) \right] G} = 0. \quad (7)$$

<sup>1</sup> См.: Методика испытаний и оценки устойчивости управления автотранспортными средствами : РД 37.001.005-86.

<sup>2</sup> См.: Подригало М. А., Клец Д. М., Назарько О. А. Указ. работа.

Решая выражение (7) относительно радиуса поворота автомобиля, получим

$$R_0 = \frac{V^2}{g \cdot \operatorname{tg} \alpha}. \quad (8)$$

Принимая, что радиус поворота автомобиля равен отношению его колесной базы  $L$  к тангенсу среднего угла поворота управляемых колес  $\theta$ , преобразуем выражение (8) к следующему виду

$$\frac{L}{\operatorname{tg} \theta} = \frac{V^2}{g \cdot \operatorname{tg} \alpha}. \quad (9)$$

Определим с помощью выражения (9) угол поворота управляемых колес автомобиля  $\theta_0$ , при котором будет выполняться условие  $R_z' / R_z'' = 0$

$$\theta_0 = \operatorname{arctg} \left( \frac{L \cdot g \cdot \operatorname{tg} \alpha}{V^2} \right). \quad (10)$$

С учетом зависимости (5) запишем выражение (10) в следующем виде

$$\theta_0 = \operatorname{arctg} \left( \frac{L \cdot g \cdot B}{2 \cdot h \cdot V^2} \right). \quad (11)$$

При синусоидальном законе изменения угла поворота управляемых колес справедливо соотношение<sup>1</sup>

$$\theta = A_\alpha \cdot \sin(\Omega \cdot t); \quad (12)$$

где  $A_\alpha$  – амплитуда поворота управляемых колес;  $\Omega$  – круговая частота изменения угловой скорости поворота управляемых колес

$$\Omega = 2 \frac{\pi}{t_M}; \quad (13)$$

$t_M$  – полное время выполнения маневра.

Момент времени, в который будет выполняться условие  $R_z' / R_z'' = 0$ , определим, приравнявая выражения (11) и (12)

$$A_\alpha \cdot \sin(\Omega \cdot t) = \operatorname{arctg} \left( \frac{L \cdot g \cdot B}{2 \cdot h \cdot V^2} \right). \quad (14)$$

Решение уравнения (14) имеет следующий вид

<sup>1</sup> См.: Бобошко А. А. Нетрадиционные способы маневрирования колесных машин / А. А. Бобошко — Х. : Изд-во ХНАДУ, 2006. — 172 с.

$$t_1 = \frac{1}{\Omega} \cdot \arcsin \left( \frac{\arctg \left( \frac{L \cdot g \cdot B}{2 \cdot h \cdot V^2} \right)}{A_\alpha} \right); \quad (15)$$

$$t_2 = -\frac{1}{\Omega} \cdot \arcsin \left( \frac{\arctg \left( \frac{L \cdot g \cdot B}{2 \cdot h \cdot V^2} \right) - \pi}{A_\alpha} \right). \quad (16)$$

Момент времени  $t_1$  соответствует входу автомобиля в поворот, а момент времени  $t_2$  – выходу автомобиля из поворота.

Определим, при какой скорости  $V_0$  движения автомобиля на повороте отношение нормальных реакций будет равняться нулю, т. е. нормальная реакция дороги на внутреннем, менее нагруженном колесе  $R_z' = 0$ . Решая выражение (7) относительно  $V_0$ , получим

$$V_0 = \sqrt{R \cdot g \cdot \operatorname{tg} \alpha}; \quad (17)$$

откуда

$$V_0 = \sqrt{\frac{L}{\operatorname{tg} \theta} \cdot g \cdot \frac{B}{2 \cdot h}}. \quad (18)$$

Определим зависимость отношения нормальных реакций на колесах автомобиля от радиуса поворота и скорости его движения на примере Mercedes-Benz E 350 4Matic (рис. 2).

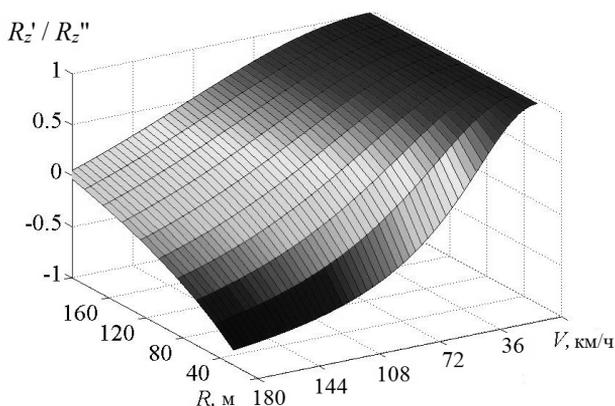


Рис. 2. 3D-поверхность, отображающая взаимосвязь  $R_z' / R_z''$  ( $R, V$ )

Анализ рис. 2 показывает, что при вхождении исследуемого автомобиля в поворот радиусом 200 м и более, устойчивость по условию  $R_z' / R_z'' \geq 0$  сохраняется при любой скорости движения. Максимальное значение скорости по условию безопасного движения исследуемого автомобиля на повороте радиусом 100 м составляет 130 км/ч, 50 м – 90 км/ч, 30 м – 68 км/ч. Погрешность результатов моделирования, по сравнению с результатами, полученными шведскими исследователями<sup>1</sup>, не превышает 7 %.

Таким образом, предложенная экспертная методика оценки распределения реакций дороги между колесами автомобиля позволяет определять максимальные значения скорости, угла поворота управляемых колес и радиуса поворота автомобиля по условию безопасного движения, а также момент времени потери устойчивости при входе и выходе из поворота.

### ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА РОЗПОДІЛУ РЕАКЦІЙ ДОРОГИ МІЖ КОЛЕСАМИ АВТОМОБІЛЯ

*Клець Д. М., Болдовський В. М., Варлахов В. О.*

*Розроблено експертну методіку оцінювання розподілу реакцій дороги між колесами автомобіля, яка дозволяє визначати максимальні значення швидкості, кута повороту керованих коліс і радіуса повороту автомобіля за умовою безпечного руху, а також момент часу втрати стійкості при вході та виході з повороту.*

*Ключові слова: експертна оцінка, стійкість, автомобіль, поворот, реакції дороги, безпека руху.*

### EXPERT EVALUATION OF ROAD RESPONSES DISTRIBUTION BETWEEN VEHICLE WHEELS

*Klets D. M., Boldovskiy V. N., Varlakhov V. A.*

*A considerable part of road traffic accidents is related to the loss of the motion and position stability of vehicles. Distribution of road normal and lateral responses between the wheels of vehicle one axle significantly affects upon these operating properties. Currently, in expert practice there are no methodological provisions related to the investigation of road normal responses dependence on the vehicle most important constructive and operational characteristics, as well as on the parameters of its motion. In this regard, the pressing issue is the evaluation of vehicle sustainability when maneuvering, taking into account road responses distribution between its wheels. Scientists of Kharkiv National Automobile and Highway University proposed a calculation scheme for determining normal and lateral responses on the vehicle wheels of one axle (on different boards) by compiling static equations. Thus the problem of determining side responses on wheels becomes statically determinable. Proposed dependences allow to determine the road normal and lateral responses on the wheels in the case of vehicle motion on the cross slope and on the turn. However, the problem of establishing the moment of vehicle rollover stability loss was not raised. Thus, the issues of determining ratio of road responses on vehicle wheels when maneuvering and evaluation of its stability require additional research. The aim of*

<sup>1</sup> См.: Resultat i Teknikens Världs älgtest [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://teknikensvarld.se/algtest/>.

*the research is the development of methods for determining ratio of road normal and lateral responses on the vehicle wheels when cornering. An expert estimation technique of road responses distribution between the vehicle wheels, which allows to determine the maximum values of vehicle speed, steering angle and turning radius on the condition for safe driving, as well the moment of stability loss at the entrance and exit from the turn is developed.*

*Keywords: expert evaluation, stability, vehicle, turn, road responses, traffic safety.*

УДК 343.98

**А. В. Лубенцов**, завідувач лабораторії  
Харківського НДІСЕ,

**О. О. Свідерський**, заступник директо-  
ра з експертної роботи Харківського  
НДІСЕ

### **ТЕХНІЧНА ОЦІНКА ДІЙ ВОДІЇВ НА РЕГУЛЬОВАНОМУ ПЕРЕХРЕСТІ ПРИ ЗМІНЕННІ СИГНАЛУ СВІТЛОФОРА З ДОЗВОЛЯЮЧОГО РУХ НА ЗАБОРОНЯЮЧИЙ**

*Розглянуто питання, які виникають у експертів під час проведення судових автотехнічних експертиз (експертних досліджень) при технічному аналізі дій водіїв транспортних засобів на регульованих перехрестях, при змінненні сигналу світлофора з дозволяючого рух по перехрестю на забороняючий рух (жовтий), з урахуванням наданого відеозапису дорожньо-транспортної пригоди.*

*Ключові слова: дорожньо-транспортна пригода, сигнали світлофора, перехрестя, транспортний засіб, відеозапис.*

У зв'язку з тим, що зараз на транспортних засобах водії почали встановлювати відеореєстратори, а на будівлях, спорудах установлюватися камери зовнішнього спостереження, то при проведенні судової автотехнічної експертизи (експертного дослідження) виникає потреба в технічному аналізі дорожньо-транспортних ситуацій з урахуванням відеозаписів, які надходять на дослідження. Ця стаття, на нашу думку, уперше торкається досить важливого питання, що виникає під час проведення технічної оцінки дій водіїв транспортних засобів, які стали учасниками дорожньо-транспортної пригоди з урахуванням механізму розвитку дорожньо-транспортної пригоди, зафіксованого на відеозапису.

Визначення, класифікація та порядок обліку дорожньо-транспортних пригод (ДТП) регламентовані спеціальними Правилами обліку дорожньо-транспортних пригод, затверджених постановою № 595 Кабінету Міністрів України від 3 серпня 1993 р. Вони встановлюють єдиний порядок державного й відомчого обліку ДТП і є обов'язковими для виконання на всій території України. Так, згідно з цією постановою ДТП називається подія, що сталася під час руху транспортного засобу (ТЗ), унаслідок якої загинули або поранені люди чи завдані матеріальні збитки. Слід зазначити, що в цьому