

## О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ КОЛЕСА АВТОМОБИЛЯ И ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ С КОЛЕЙНОСТЬЮ

Канд. техн. наук **Н.А. Лушников**  
(РУТ (МИИТ)),  
канд. техн. наук **П.А. Лушников**,  
инженер **Д.И. Ковалев**  
(ФАУ «РОСДОРНИИ»),  
д-р техн. наук **В.А. Кретов**  
(РУТ (МИИТ))  
Конт. информация: lab10@mail.ru;  
P.lushnikov@rosdornii.ru

---

*В статье рассмотрен вопрос о взаимодействии колеса автомобиля с дорожным покрытием при выезде автомобиля из колеи. Приведены результаты расчетов величины возникающей при этом дополнительной боковой силы, действующей на колесо со стороны покрытия при различных параметрах колеи. Предложены направления дальнейших исследований по выработке требований к параметрам колеи.*

**Ключевые слова:** дорожное покрытие, колея, колесо автомобиля, устойчивость, управляемость, конечно-элементная модель, соотношения Муни-Ривлина.

---

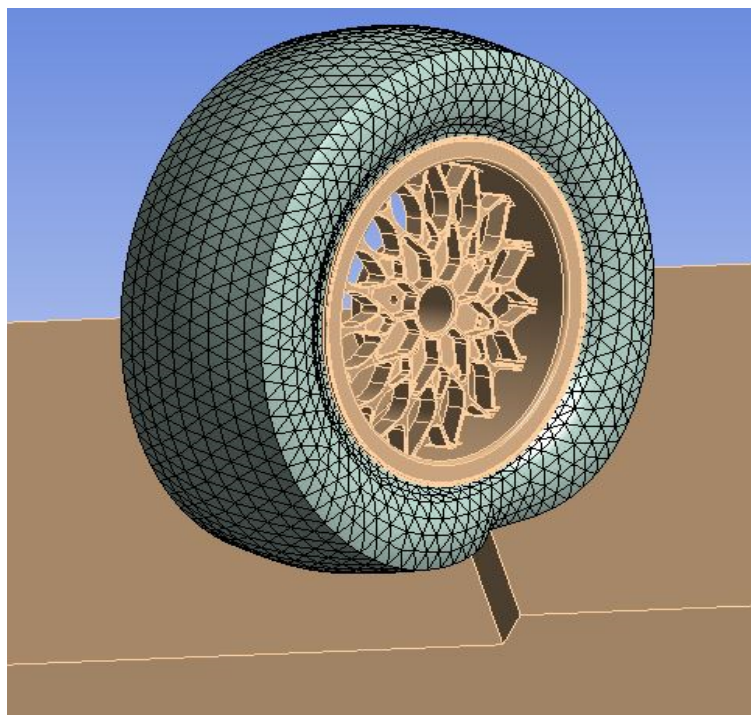
Одним из отрицательных последствий появления на покрытии автомобильной дороги колеи является снижение уровня безопасности движения. Это обусловлено, в частности, тем, что при пересечении автомобилем колеи возникают дополнительные силы, влияющие на управляемость автомобиля и устойчивость его движения. Управляемость автомобиля определяется степенью совпадения действительной траектории движения автомобиля с траекторией, определяемой водителем [1]. Неустойчивость движения проявляется, когда относительно небольшие внешние воздействия приводят к большим изменениям траектории движения [1, 2]. В конечном счете, неустойчивость может привести к заносу или опрокидыванию автомобиля.

В вопросах устойчивости и управляемости автомобиля, в частности при движении через колею, особое значение имеет возникающая при этом боковая сила, действующая на колесо автомобиля [1, 2]. На величину этой силы влияют различные факторы: жесткость шины, скорость движения, закон изменения угла поворота колеса, геометрия поперечного профиля колеи, в частности, ее максимальная глубина, углы наклона боковых стенок колеи. Определение величины боковой силы

осложняется тем, что возникающие при движении через колею деформации шины могут быть достаточно большими, поэтому приходится искать решение задачи в нелинейной постановке.

В данной статье приводятся результаты расчетов влияния на боковую силу одного параметра: угла наклона боковых стенок колеи. Скорость движения, глубина колеи, угол поворота колеса и параметры шины в расчетах приняты постоянными.

В расчетах использовалась конечно-элементная модель, показанная на **рис. 1**.



*Рис. 1. Конечно-элементная модель, использованная для расчета параметров взаимодействия колеса автомобиля с поверхностью дорожного покрытия при выезде из колеи*

Материал шины считался гиперупругим, т.е. малосжимаемым и хорошо деформируемым. Для моделирования материала использовались соотношения Муни-Ривлина [3]:

$$W = A(I_1 - 3) + B(I_2 - 3) + C(I_3^{-2} - 1) + D(I_3 - 1)^2 ,$$

где

$W$  – потенциал энергии деформаций;  
 $I_1, I_2, I_3$  – инварианты тензора деформаций [4];

$$C = 0,5A + B;$$

$$D = \frac{A(5\nu - 2) + B(11\nu - 5)}{2(1 - 2\nu)},$$

где

$\nu$  – коэффициент Пуассона,  
 $A, B$  – константы материала.

Компоненты тензора напряжений  $S_{ij}$  связаны с энергетическим потенциалом  $W$  соотношениями:

$$S_{ij} = \partial W / \partial E_{ij},$$

где

$E_{ij}$  – компоненты тензора деформаций:

$$E_{ij} = 0.5(F_{ik}F_{kj} - \delta_{ij}), \quad F_{ij} = \partial u_i / \partial x_j,$$

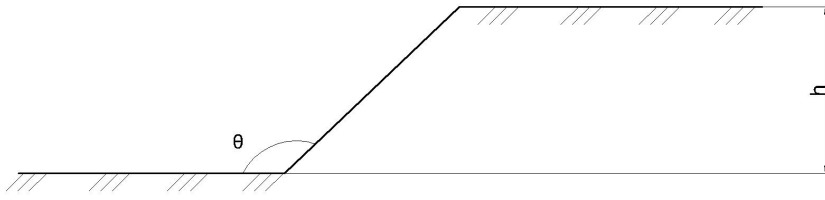
где

$u_i$  – вектор перемещений;  
 $x_j$  – координаты;  
 $\delta_{ij}$  – символ Кронекера:

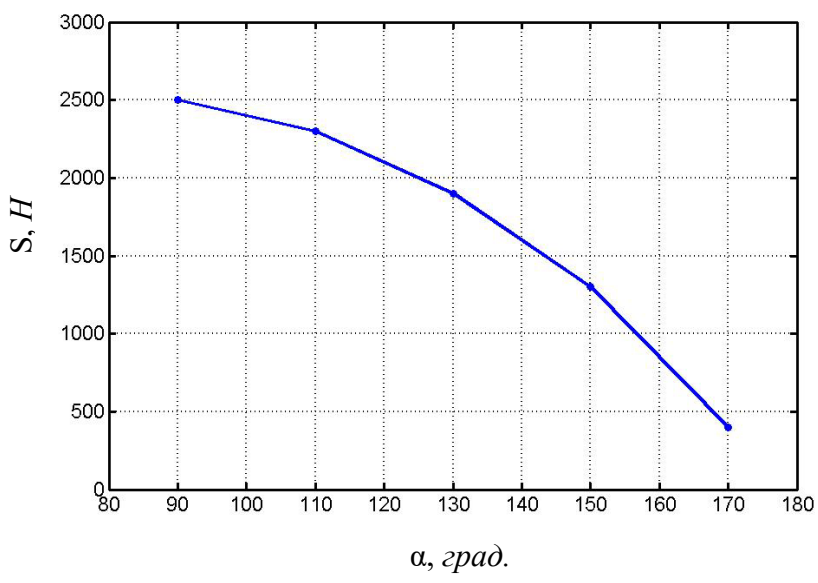
$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}.$$

В расчетах поперечное сечение колеи было принято имеющим форму трапеции (**рис. 2**), высота трапеции (глубина колеи)  $h = 4$  см, угол поворота колеса при выезде из колеи  $\theta = 30^\circ$ , вертикальная нагрузка на колесо – 4000 Н, скорость движения автомобиля – 90 км/ч, диаметр колеса  $D = 0,6$  м, диаметр диска  $d = 0,36$  м, ширина шины  $L = 0,195$  м.

На **рис. 3** приведены результаты расчетов.



**Рис. 2. Поперечное сечение расчетной колеи:**  
 глубина колеи  $h = 4$  см,  $\theta$  – угол наклона боковой стенки колеи



**Рис. 3. Зависимость боковой силы  $S$ , действующей на колесо при выезде автомобиля из колеи, от угла наклона боковой стенки колеи к горизонтали**

Таким образом, результаты расчетов показывают, что угол наклона боковой стенки колеи оказывает достаточно существенное влияние на величину боковой силы, возникающей при пересечении автомобилем колеи, а значит и на устойчивость и управляемость автомобиля. Поэтому можно предложить в качестве уточнения требований к допустимым параметрам колеи [4, 5], ввести также ограничения на угол наклона боковой стенки колеи в зависимости от максимальной разрешенной скорости движения.

В рамках рассмотренной тематики в дальнейшем планируется провести следующие работы:

- измерения ускорений, возникающих на колесе при пересечении автомобилем колеи, с целью экспериментальной оценки боковой силы для проверки проведенных расчетов;
- расчетные исследования влияния на составляющие силы, действующей на колесо, следующих факторов: скорости движения автомобиля, глубины колеи, угла поворота колеса и параметров шины.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, изложенное позволяет сделать следующие выводы:

1. Боковая сила, действующая на колесо при выезде автомобиля из колеи, существенно зависит от угла наклона боковой стенки колеи к горизонтали. Расчеты показывают, что при изменении угла наклона от 90 до 170 градусов величина этой силы может меняться в пределах от 10 до 60 % от величины нагрузки на колесо.
2. Требуется провести экспериментальную проверку проведенных расчетов.
3. Для более полного изучения вопросов, касающихся взаимодействия колеса автомобиля с дорожным покрытием при выезде автомобиля из колеи, необходимо провести дополнительные расчеты по исследованию влияния на боковую силу скорости движения, глубины колеи, угла поворота колеса и параметров шины.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля и его колебания / Р.В. Ротенберг. – М.: Машигиз, 1960. – 356 с.
2. Певзнер Я.М. Теория устойчивости автомобиля / Я.М. Певзнер. – М.: Машигиз, 1947. – 275 с.
3. Лурье А.И. Нелинейная теория упругости / А.И. Лурье. – М.: Наука, 1980. – 512 с.
4. ГОСТ Р 50597 – 2017. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля. – М.: Стандартинформ, 2017. – 26 с.
5. ОДН 218.0.006-2002. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог / Росавтодор. Минтранс РФ. – М., 2002. – 138 с.

## LITERATURA

1. Rotenberg R.V. Podveska avtomobilya i ego kolebaniya / R.V. Rotenberg. – M.: Mashgiz, 1960. – 356 s.
2. Pevzner YA.M. Teoriya ustojchivosti avtomobilya / YA.M. Pevzner – M.: Mshgiz, 1947. – 275 s.
3. Lur'e A.I. Nelinejnaya teoriya uprugosti / A.I. Lur'e. – M.: Nauka, 1980. – 512 s.
4. GOST R 50597 – 2017. Dorogi avtomobil'nye i ulicy. Trebovaniya k ekspluatacionnomu sostoyaniyu, dopustimomu pousloviyam obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya. Metody kontrolya. – M.: Standartinform, 2017. – 26 s.
5. ODN 218.0.006-2002. Pravila diagnostiki i ocenki sostoyaniya avtomobil'nyh dorog / Rosavtodor. Mintrans RF. – M., 2002. – 138 s.

---

### ABOUT THE INTERACTION OF THE CAR WHEEL WITH THE RUT

Ph. D. (Tech.) **N.A. Lushnikov**  
(RUT (MIIT)),

Ph. D. (Tech.) **P.A. Lushnikov**,  
Engineer **D.I. Kovalev**  
(FAI «ROSDORNII»),

Ph. D. (Tech.) **V.A. Kretov**  
(RUT (MIIT))

Contact information: lab10@mail.ru;  
P.lushnikov@rosdornii.ru

*The article deals with the interaction of the car wheel with the road pavement when the automobile leaves the rut. The results of calculations of the value of the additional lateral force that occurs in this case, acting on the wheel from the pavement side at different rut parameters, are presented. The directions of further research on the development of requirements for rut parameters are proposed.*

**Key words:** road pavement, rut, car wheel, road surface, stability, roadability, finite element model, Mooney-Rivlin relations.

---

Рецензенты: канд. техн. наук М.Л. Ермаков,  
канд. техн. наук Р.А. Еремин (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 09.04.2021 г.