

## ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДОПУСТИМЫХ УГЛОВ НАКЛОНА БОКОВЫХ СТенок КОЛЕИ ПО УСЛОВИЮ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМОБИЛЯ ПРОТИВ ЗАНОСА НА МОКРОМ ПОКРЫТИИ

Канд. техн. наук **Н.А. Лушников**  
(Российский университет транспорта (МИИТ)),  
канд. техн. наук **П.А. Лушников**,  
инженер **Д.И. Ковалев**  
(ФАУ «РОСДОРНИИ»)  
Контактная информация: lab10@mail.ru;  
P.lushnikov@rosdornii.ru

---

*В статье рассмотрен случай движения автомобиля по траектории, пересекающей колею на покрытии автомобильной дороги. Дано сравнение экспериментальных и расчетных значений величины, возникающей при этом боковой силы. Исходя из допустимых значений коэффициента поперечной силы по условию устойчивости автомобиля против заноса на мокром покрытии, приведена оценка предельных средних углов наклона боковых стенок колеи при различных значениях скорости движения автомобиля.*

**Ключевые слова:** *колейность, средний угол наклона боковой стенки колеи, коэффициент поперечной силы, скорость движения автомобиля.*

---

Постоянное увеличение скоростей движения автомобилей и повышение плотности транспортных потоков, наблюдаемое на автомобильных дорогах, приводит к ускоренному образованию различных повреждений на покрытии. Среди наиболее часто встречающихся повреждений следует отметить колеюность [1, 2]. В вопросах устойчивости и управляемости автомобиля при движении его по траектории, пересекающей колею под некоторым углом, особое значение имеет возникающая при этом боковая сила, которая действует на автомобиль [3-5].

На величину этой силы существенное влияние оказывает не только глубина колеи, но и форма ее поперечного сечения [6], которую в первом приближении количественно можно оценить средними углами наклона боковых стенок колеи [7].

Ниже рассмотрены результаты экспериментов по оценке величины боковой силы, а также средних углов наклона боковых стенок колеи при различных значениях скорости движения автомобиля по условию устойчивости к заносу [5, 8].

Для оценки экспериментальной боковой силы использовали диагностическую лабораторию – Автомобильно-дорожный комплекс АДК-М (рис. 1).



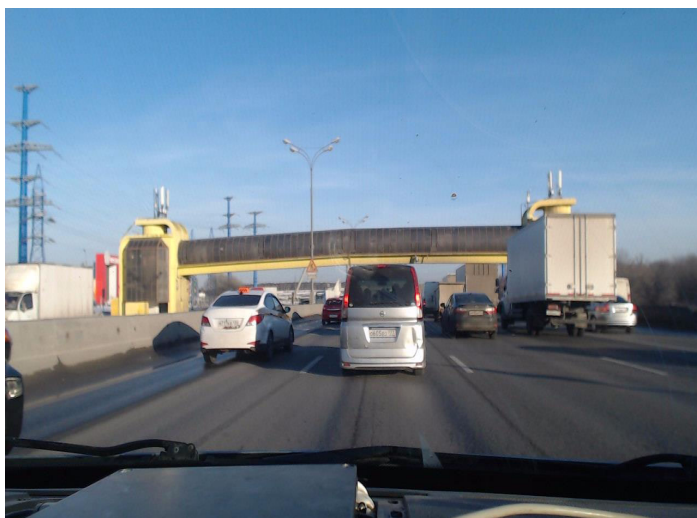
*Рис. 1. Автомобильно-дорожный комплекс АДК-М на базе автомобиля Ford*

Данный лабораторный комплекс был оснащен акселерометрами для измерения поперечных ускорений, возникающих при его движении по траектории, которая пересекает колею под некоторым углом (рис. 2).

Боковая сила определялась умножением ускорений на массу, полученную путем измерения нагрузки на задние колеса автомобиля. Измерения ускорений и поперечных профилей поверхности покрытия были проведены на участках км 81 – км 86 Московской кольцевой автомобильной дороги (МКАД) (рис. 3) и км 50 – км 55 Новорижского шоссе (М9) при скорости движения лаборатории около 90 км/ч.



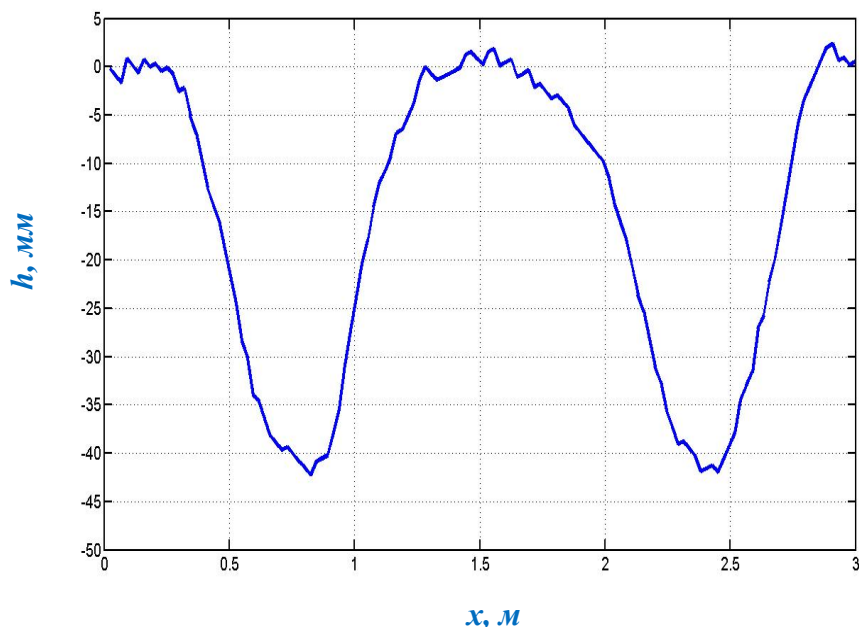
*Рис. 2. Датчик для измерения ускорений на автомобиле Ford (АДК-М)*



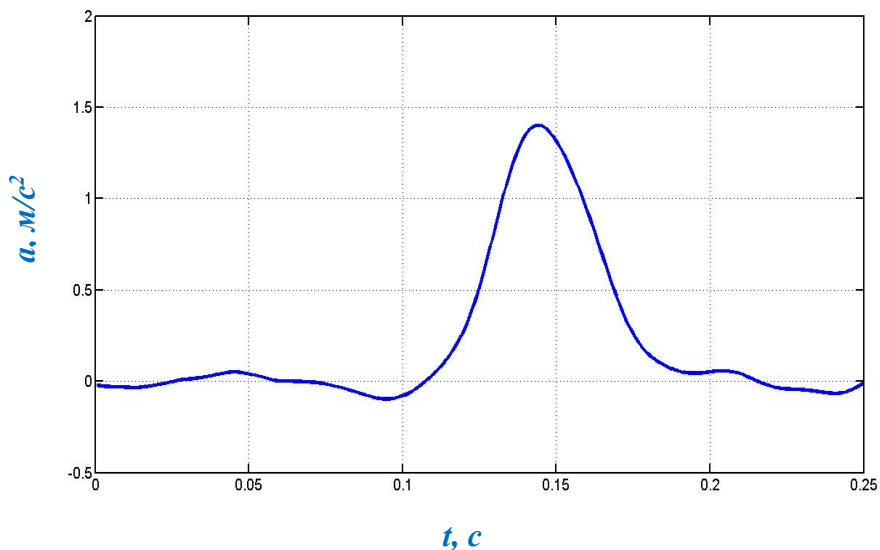
*Рис. 3. Отрезок экспериментального участка дороги (МКАД, км 81 – км 86)*

На **рис. 4** и **5** приведены примеры графиков измеренного поперечного профиля поверхности покрытия с колеей на рассматриваемом участке МКАД и соответствующих ускорений.

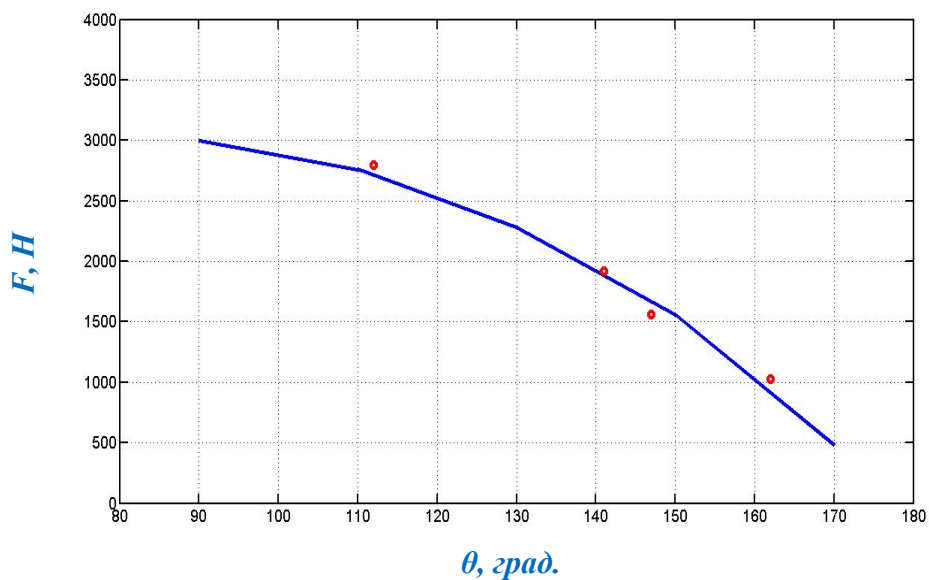
Из полученного массива измеренных данных были выбраны поперечные профили с глубиной колеи около 4 см и различными наклонами боковых стенок колеи, для которых путем вычислений были получены оценки боковой силы. На **рис. 6** приведены результаты вычислений наряду с расчетными значениями боковой силы, определенными методом конечных элементов [6]. При этом угол между траекторией движения автомобиля и направлением колеи составлял  $20^\circ$ ; скорость движения автомобиля – 90 км/ч; диаметр колеса  $D = 0,55$  м; диаметр диска  $d = 0,32$  м; ширина шины  $L = 0,16$  м. Экспериментальная боковая сила определялась умножением измеренных поперечных ускорений на массу задней части лаборатории, полученную взвешиванием (около 750 кг).



**Рис. 4. Пример графика поперечного профиля поверхности автомобильной дороги (МКАД, 84 км – 85 км):**  
*h (мм) – вертикальная координата профиля;*  
*x (м) – поперечная координата профиля*



*Рис. 5. Пример графика поперечного ускорения  $a$ , возникающего при выезде автомобиля из колеи*



*Рис. 6. Зависимость боковой силы  $F$ , действующей на автомобиль при выезде его из колеи, от угла наклона боковой стенки колеи к горизонтالي  $\theta$ : скорость движения автомобиля – 90 км/ч; расчетные данные показаны синим цветом, экспериментальные – красным*

С целью оценки предельных значений углов наклона боковых стенок колеи при данной скорости движения автомобиля по условиям устойчивости против заноса на мокром покрытии были использованы максимально допустимые значения коэффициента поперечной силы  $\mu \sim 0,18$  [8]:

$$\mu = Y/mg \quad , \quad (1)$$

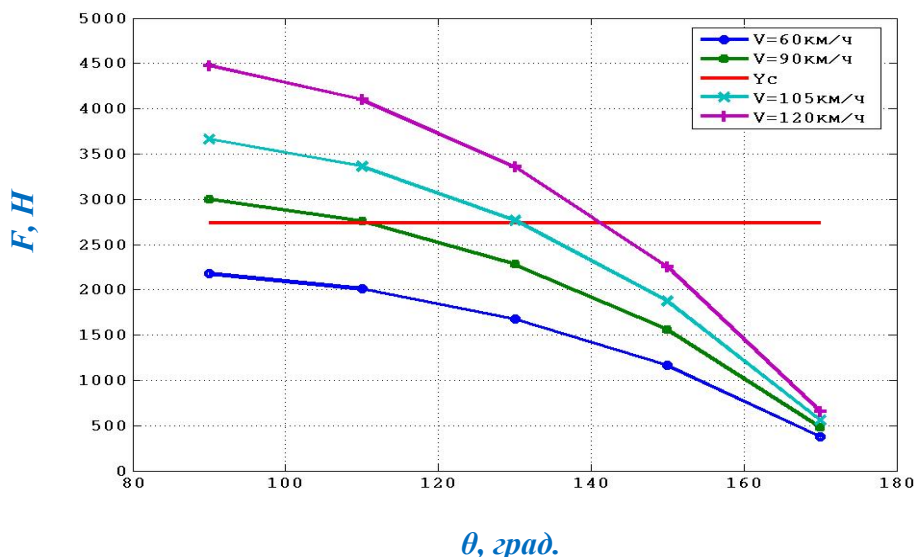
где

$Y$  – боковая сила;  
 $mg$  – вес автомобиля.

В рассматриваемом случае масса автомобиля составляла 1550 кг. Из (1) было найдено критическое значение боковой силы:

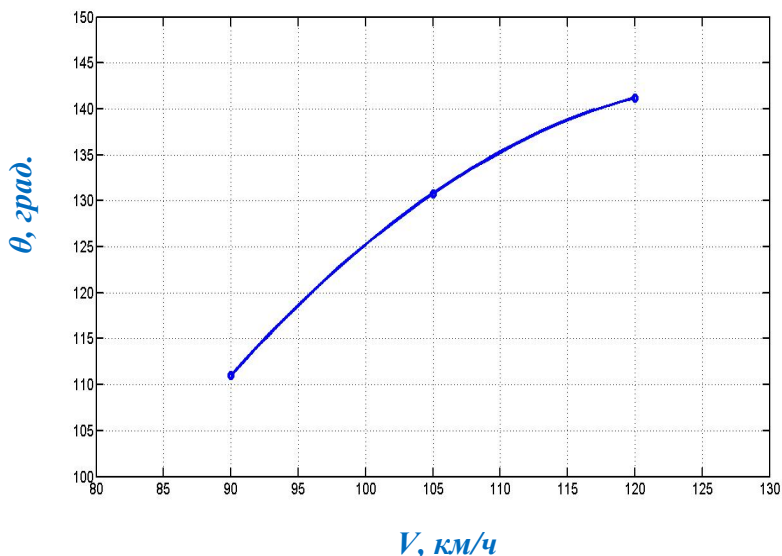
$$Y_c = \mu * mg = 0,18 * 1550 * 9,8 \text{ Н} = 2734 \text{ Н}. \quad (2)$$

Далее были проведены расчеты зависимостей боковой силы от угла наклона боковых стенок колеи для дополнительных значений скорости движения автомобиля (рис. 7).



**Рис. 7. Зависимость боковой силы  $F$ , действующей на автомобиль при выезде его из колеи, от угла наклона стенки колеи  $\theta$ , при различных скоростях движения: красной линией отмечено критическое значение боковой силы  $Y_c = 2734$  Н по условию устойчивости против заноса на мокром покрытии**

По этим данным, с использованием (2), получены предельные (критические) значения углов наклона боковых стенок колеи для различных скоростей (рис. 8).



*Рис. 8. Зависимость критического угла наклона боковых стенок колеи  $\theta$  от скорости движения автомобиля  $V$*

Предложенная схема определения предельно допустимого угла наклона боковых стенок колеи может быть использована для назначения ремонта участков дорог и для ограничения скорости движения автомобилей по дорогам с колеиностью.

## ВЫВОДЫ

1. Сравнение результатов расчетов и экспериментов по определению боковой силы, возникающей при движении автомобиля по траектории, пересекающей колею, показало их удовлетворительную сходимость.
2. Предложен способ оценки предельных значений углов наклона боковых стенок колеи при заданной скорости движения автомобиля по условию устойчивости против заноса на мокром покрытии.
3. Получены оценки критических углов наклона боковых стенок колеи глубиной 4 см для диапазона скоростей 90 км/ч – 120 км/ч, при движении автомобиля по траектории, пересекающей колею под углом  $20^\circ$ .



## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 32825-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Дорожные покрытия. Методы измерения геометрических размеров повреждений. – М.: Стандартиформ, 2019. – 15 с.
2. ГОСТ Р 50597 – 2017. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля. – М.: Стандартиформ, 2017. – 27 с.
3. Чудаков Е.А. Теория автомобиля / Е.А. Чудаков. – М.: Машигиз, 1950. – 343 с.
4. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля и его колебания / Р.В. Ротенберг. – М.: Машигиз, 1960. – 356 с.
5. Певзнер Я.М. Теория устойчивости автомобиля / Я.М. Певзнер. – М.: Машигиз, 1947. – 275 с.
6. Лушников Н.А. О взаимодействии колеса автомобиля и дорожного покрытия с колеиностью / Н.А. Лушников, П.А. Лушников, Д.И. Ковалев, В.А. Кретов // ДОРОГИ И МОСТЫ. – № 45/1. – 2021. – С. 75-80.
7. Лушников Н.А. Об определении некоторых геометрических характеристик колеи на проезжей части автомобильной дороги / Н.А. Лушников, П.А. Лушников, Д.И. Ковалев, В.А. Кретов // ДОРОГИ И МОСТЫ. – № 46/2. – 2022. – С. 95-99.
8. Федотов Г.А. Изыскания и проектирование автомобильных дорог / Г.А. Федотов, П.И. Поспелов. – М.: Высшая школа, 2009. – 648 с.

## L I T E R A T U R A

1. GOST 32825-2014. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Dorozhnye pokrytiya. Metody izmereniya geometricheskikh razmerov povrezhdenij. – М.: Standartinform, 2019. – 15 s.
2. GOST R 50597 – 2017. Dorogi avtomobil'nye i ulicy. Trebovaniya k ekspluatacionnomu sostoyaniyu, dopustimomu po usloviyam obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya. Metody kontrolya. – М.: Standartinform, 2017. – 27 s.



3. Chudakov E.A. *Teoriya avtomobilya* / E.A. Chudakov. – M.: Mashgiz, 1950. – 343 s.
4. Rotenberg R.V. *Podveska avtomobilya i ego kolebaniya* / R.V. Rotenberg. – M.: Mashgiz, 1960. – 356 s.
5. Pevzner Ya.M. *Teoriya ustojchivosti avtomobilya* / Ya.M. Pevzner. – M.: Mashgiz, 1947. – 275 s.
6. Lushnikov N.A. *O vzaimodejstvii koleasa avtomobilya i dorozhnogo pokrytiya s kolejnost'yu* / N.A. Lushnikov, P.A. Lushnikov, D.I. Kovalev, V.A. Kretov // *DOROGI I MOSTY*. – № 45/1. – 2021. – S. 75-80.
7. Lushnikov N.A. *Ob opredelenii nekotorykh geometricheskikh harakteristik kolei na proezzhej chasti avtomobil'noj dorogi* / N.A. Lushnikov, P.A. Lushnikov, D.I. Kovalev, V.A. Kretov // *DOROGI I MOSTY*. – № 46/2. – 2022. – S. 95-99.
8. Fedotov G.A. *Izyskaniya i proektirovanie avtomobil'nyh dorog* / G.A. Fedotov, P.I. Pospelov. – M.: Vysshaya shkola, 2009. – 648 s.

.....

**ABOUT DETERMINING ACCEPTABLE SLOPE ANGLES OF RUT SIDE WALLS ACCORDING TO THE VEHICLE STABILITY FROM SKIDDING ON A WET ROAD PAVEMENT**

*Ph. D. (Tech.) N.A. Lushnikov*  
*(Russian University of Transport (RUT (MIIT))),*  
*Ph. D. (Tech.) P.A. Lushnikov,*  
*Engineer D.I. Kovalev*  
*(FAI «ROSDORNII»)*  
 Contact information: [lab@rosdornii.ru](mailto:lab@rosdornii.ru);  
[P.lushnikov@rosdornii.ru](mailto:P.lushnikov@rosdornii.ru)

*The article considers the case of vehicle movement along a trajectory crossing the rut on a road pavement. Comparison of experimental and calculated values of the magnitude of the skid force arising in this case is given. Based on the allowed values of side force coefficient, according to vehicle stability from skidding on a wet road pavement, the estimation of the limit average slope angles of rut side walls at different values of vehicle speed is given.*

**Key words:** rutting, average slope angle of rut side wall, side force coefficient, vehicle.

---

Рецензент: канд. техн. наук А.М. Стрижевский (ФАУ «РОСДОРНИИ»).  
 Статья поступила в редакцию: 10.03.2022 г.