

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ НЕКОТОРЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЕИ НА ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

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

В статье рассмотрены геометрические параметры колеи на покрытии дороги: ее глубина и средний угол наклона боковой стенки колеи. Предложен способ определения угла наклона. Приведены примеры.
Ключевые слова: повреждения покрытия, колеиность, средний угол наклона боковой стенки колеи.

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 таких повреждений следует отметить колеиность [1, 2]. В вопросах устойчивости и управляемости автомобиля при движении через колею особое значение имеет возникающая при этом боковая сила, действующая на колесо автомобиля [3, 4]. На величину этой силы существенно влияет не только глубина колеи, но и форма ее поперечного сечения [5], которую в первом приближении количественно можно оценить средними углами наклона боковых стенок колеи. В данной статье предложен способ определения таких углов.

Пусть координаты поперечного профиля поверхности дороги, полученные путем измерений, заданы дискретным набором $\{x_k, y_k\}$, $k=1, \dots, n$, где n – число точек профиля. Рассмотрим задачу аппроксимации полученных данных ломаной линией, состоящей из горизонтальных и наклонных отрезков прямых $y=ax+b$. Коэффициенты a , b – неизвестные параметры, которые для каждого отрезка можно определить методом наименьших квадратов, из условия минимума среднеквадратического отклонения такого отрезка от экспериментальных точек:

$$F(a, b) = \sum_{k=1}^n (y_k - (a \cdot x_k + b))^2 \rightarrow \min .$$

Минимум $F(a, b)$ находится из условия:

$$\begin{cases} \partial F / \partial a = 0 \\ \partial F / \partial b = 0 \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} \sum_{k=1}^n (y_k - (a \cdot x_k + b)) \cdot x_k = 0 \\ \sum_{k=1}^n (y_k - (a \cdot x_k + b)) = 0 \end{cases} . \quad (1)$$

Из (1) определяются коэффициенты a, b :

$$a = \frac{n \cdot S_4 - S_1 \cdot S_2}{n \cdot S_3 - S_1^2}, \quad b = \frac{S_2 \cdot S_3 - S_1 \cdot S_4}{n \cdot S_3 - S_1^2}, \quad (2)$$

где

$$S_1 = \sum_{k=1}^n x_k, \quad S_2 = \sum_{k=1}^n y_k, \quad S_3 = \sum_{k=1}^n x_k^2, \quad S_4 = \sum_{k=1}^n x_k \cdot y_k. \quad (3)$$

Всю ломаную, аппроксимирующую измеренный профиль, можно определить, например, методом перебора, варьируя точки излома ломаной.

Предлагаемый способ представлен далее на примере. Для простоты рассмотрен важный для практики случай выезда автомобиля из колеи: при этом, как было отмечено выше, возникает дополнительная боковая сила, влияющая на устойчивость и управляемость его движения [5]. Для расчетов зависимости этой силы от среднего угла наклона боковой стенки колеи можно использовать рассмотренную аппроксимацию поперечного профиля поверхности дороги. На **рис. 1, 2** показаны фрагменты графиков поперечного профиля поверхности дороги и аппроксимирующие ломаные. Угол наклона боковой стенки колеи к горизонтали α определялся как $\pi - \arctg a$, где коэффициент a вычислялся по формуле (2). Приведенные на рисунках исходные графики были получены путем измерений с помощью лаборатории «ЭСКАНДОР» ФАУ «РОСДОРНИИ» на участке автомобильной дороги М9, 50 км – 60 км (точность измерений – около 1 мм).

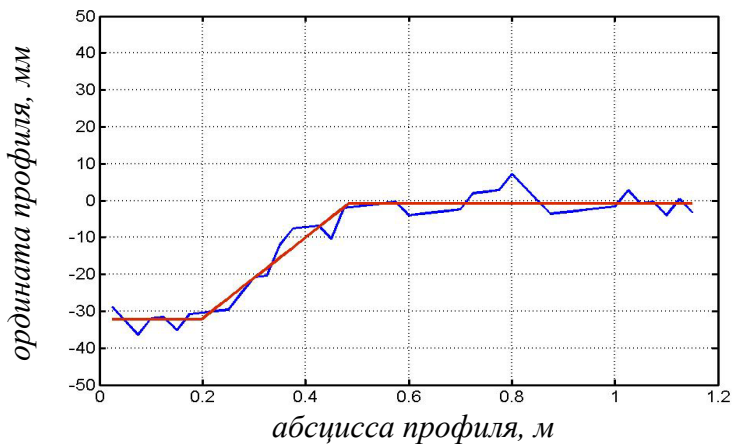


Рис. 1. Фрагмент поперечного профиля поверхности дороги с колеиностью:
 синим цветом изображен измеренный профиль;
 красным – результат аппроксимации профиля ломаной линией;
 средний угол наклона колеи к горизонтали – $172,1^\circ$;
 средняя глубина – 32 мм

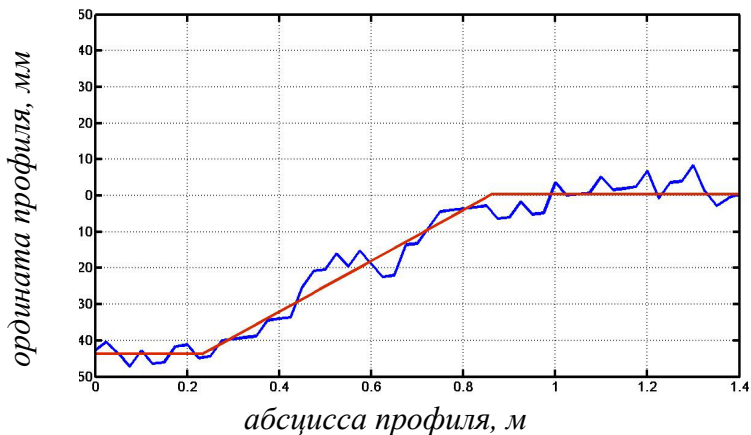


Рис. 2. Фрагмент поперечного профиля поверхности дороги с колеиностью:
 синим цветом изображен измеренный профиль;
 красным – результат аппроксимации профиля ломаной линией;
 средний угол наклона колеи к горизонтали – $176,2^\circ$;
 средняя глубина – 42 мм

Предложенный способ определения углов наклона стенок колеи можно положить в основу алгоритма для написания соответствующей программы для ЭВМ и в дальнейшем использовать для расчета величины критической боковой силы, действующей на автомобиль при выезде из колеи.

ВЫВОДЫ

1. Форму поперечного сечения поверхности дороги с колеиностью в первом приближении количественно можно оценить глубиной колеи и средними углами наклона ее боковых стенок.
2. Средние величины углов наклона боковых стенок колеи, а также ее глубины можно определить путем аппроксимации поперечного профиля поверхности дороги ломаной линией, состоящей из горизонтальных и наклонных отрезков прямых, параметры которых определяются методом наименьших квадратов, из условия минимума среднеквадратического отклонения отрезков от экспериментальных точек.
3. Результаты определения величин средних углов наклона боковых стенок колеи могут быть использованы при расчете боковой силы, возникающей при выезде автомобиля из колеи.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 32825-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Дорожные покрытия. Методы измерения геометрических размеров повреждений. – М.: Стандартинформ, 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.: Стандартинформ, 2017. – 28 с.
3. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля и его колебания / Р.В. Ротенберг. – М.: Машигиз, 1960. – 356 с.
4. Певзнер Я.М. Теория устойчивости автомобиля / Я.М. Певзнер. – М.: Машигиз, 1947. – 275 с.
5. 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.

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.* – M.: 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.* – M.: Standartinform, 2017. – 28 s.
3. Rotenberg R.V. *Podveska avtomobilya i ego kolebaniya* / R.V. Rotenberg. – M.: Mashgiz, 1960. – 356 s.
4. Pevzner Ya.M. *Teoriya ustojchivosti avtomobilya* / Ya.M. Pevzner. – M.: Mashgiz, 1947. – 275 s.
5. Lushnikov N.A. *O vzaimodejstvii koleesa avtomobilya i dorozhnogo pokrytiya s kolejnost'yu*// N.A. Lushnikov, P.A. Lushnikov, D.I. Kovalev, V.A. Kretov // DOROГИ I MOSTY. – № 45/1. – 2021. – С. 75-80.

ABOUT THE DETERMINATION OF SOME GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE RUT ON THE ROAD CARRIAGEWAY

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

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

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

The article considers the geometric parameters of the rut on the road pavement: its depth and the average slope angle of rut's side wall. The method for determining the slope angle is proposed. The examples are given.

Key words: *pavement distress, rutting, average slope angle of rut's side wall.*

Рецензент: канд. техн. наук А.М. Стрижевский (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 22.10.2021 г.