

ИЗМЕРЕНИЕ ГЛУБИНЫ КОЛЕИ НА ПОКРЫТИИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

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

В статье рассмотрены некоторые способы обработки данных измерений поперечного профиля покрытия автомобильной дороги, полученных с использованием лазерного сканера. Показаны результаты сравнительного анализа измерений.

Ключевые слова: колея, поперечный профиль дороги, лазерный сканер, сравнительный анализ, вейвлет.

Повышение плотности транспортных потоков, увеличение скорости движения автомобилей приводит к увеличению механического воздействия автомобиля на дорогу. Одно из негативных последствий такого воздействия – ускоренный рост колеи на покрытии автомобильной дороги. Образование колеи приводит к снижению уровня безопасности движения, сокращению межремонтного срока службы дороги и другим отрицательным последствиям. Поэтому обследование дорог с целью своевременного выявления колеиности является актуальной задачей.

Для решения такой задачи требуется проводить регулярные измерения поперечного профиля покрытия и по его координатам определять параметры колеи, например, ее глубину. Существует несколько наиболее распространенных методов измерений глубины колеи [1]. В данной работе в качестве измерителя был использован лазерный сканер (2D-Lidar). Для определения глубины колеи по измеренным координатам поперечного профиля нужно прежде всего отфильтровать возникающие при измерении случайные погрешности («шумы»), которые могут быть сопоставимы с требуемой точностью измерений – около 1 мм [2].

В данной статье рассмотрены некоторые способы фильтрации профилей и проведен их сравнительный анализ.

Рассмотрим один из таких часто используемых способов – «метод скользящего среднего» [3]. При обработке этим способом ординаты исходного измеренного поперечного профиля преобразуются по следующей формуле:

$$y_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_{n-k} \quad , \quad (1)$$

где

x_n – ординаты исходного профиля (заданного с постоянным шагом);

N – константа осреднения;

y_n – ординаты профиля, полученного в результате обработки.

Этот метод обработки имеет особенность «сглаживать» все локальные неровности кривых, в том числе и образующие колеи, поэтому в результате возникает дополнительная погрешность при определении ее глубины. В связи с этим целесообразнее использовать другие методы, более точно описывающие такие локальные вариации поперечного профиля.

В представленной работе для этой цели были рассмотрены методы обработки с использованием вейвлетов. Теория вейвлетов возникла сравнительно недавно – в конце 20 века, и широко применяется при сжатии изображений, видеофильмов, звука (форматы jpg, mp3, mp3), в теории обработки сигналов и т.д. В переводе с англ. яз. слово «вейвлет» (wavelet) означает «небольшая волна, всплеск».

Вейвлеты представляют собой систему функций, которая получается из одного, базисного, вейвлета, путем операций сжатия-растяжения (масштабирования) и сдвига [4]:

$$\psi_{ab}(s) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{s-b}{a}\right) \quad , \quad (2)$$

где

s – независимая переменная;

$\psi(s)$ – базисный вейвлет;

a – коэффициент растяжения;

b – сдвиг.

Базисный вейвлет – это некоторая функция $\psi(s)$, удовлетворяющая следующим условиям:

$$\|\psi\| = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \psi^2(s) ds} < \infty \text{ – условие конечности среднеквадратичной нормы;}$$
$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(s) ds = 0 \text{ – условие осцилляции.}$$

Один из первых примеров вейвлетов дает ортогональная система функций, описанная А. Хааром в 1910 г. И. Добеши построила вейвлеты, обобщающие систему Хаара. Вейвлеты Добеши порядка n имеют n первых нулевых моментов [4], что позволяет предположить хорошую аппроксимацию ими локальных неровностей. Для обработки исходных измерений поперечного профиля в представленной работе были использованы именно эти вейвлеты.

Рассмотренные методы были апробированы на выбранном участке автомобильной дороги федерального значения М9 «Балтия» (Москва – Волоколамск – граница с Латвийской Республикой), расположенном на км 103 (рис. 1).



Рис. 1. Опытный участок автомобильной дороги М9 «Балтия», расположенный на 103 км

На **рис. 2** показан пример – результаты обработки одного измеренного поперечного профиля с применением различных методов: скользящего среднего и вейвлетов Добеши. Сравнение результатов позволяет сделать вывод, что аппроксимация вейвлетами образующей колеи, с целью определения ее глубины, выполнена на 2-3 мм точнее.

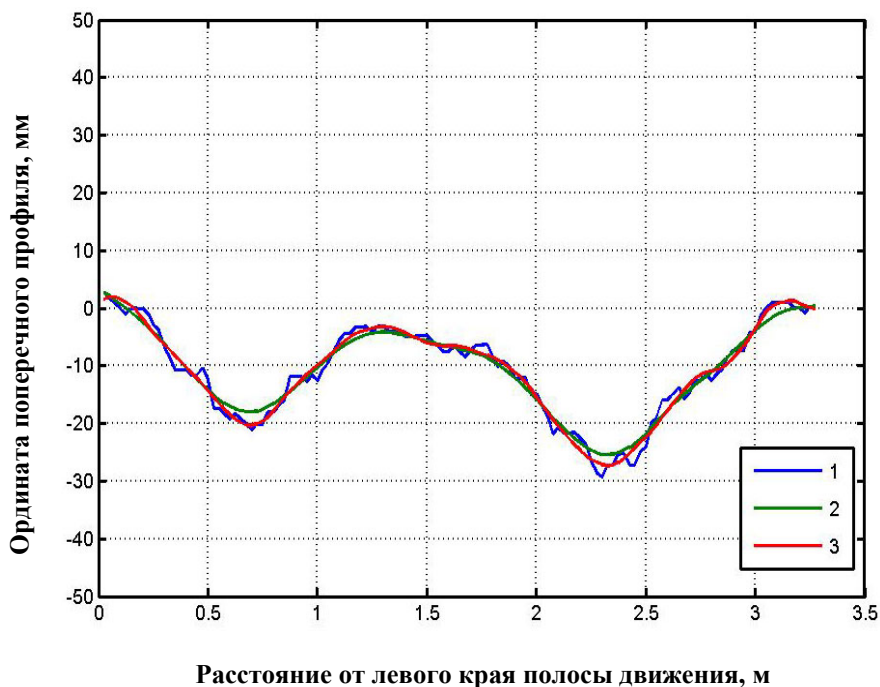


Рис. 2. Результаты измерения координат поперечного профиля поверхности покрытия автомобильной дороги (1), обработанных с применением различных способов: методом скользящего среднего с константой осреднения 7 (2) и с помощью вейвлетов Добеши 5 порядка (3)

На **рис. 3** показаны результаты замеров глубины колеи по правой полосе наката в 7 последовательно измеренных створах проезжей части, расположенных, в данном случае, через 10 метров друг от друга. Показано сравнение с эталонными значениями результатов определения глубины колеи, с использованием методов скользящего среднего (2), вейвлетов Добеши (3) и полученных непосредственно с лазерного ска-

нера, без процедуры сглаживания измеренных профилей (1). Эталонные значения были получены путем измерений с помощью трехметровой рейки (4).

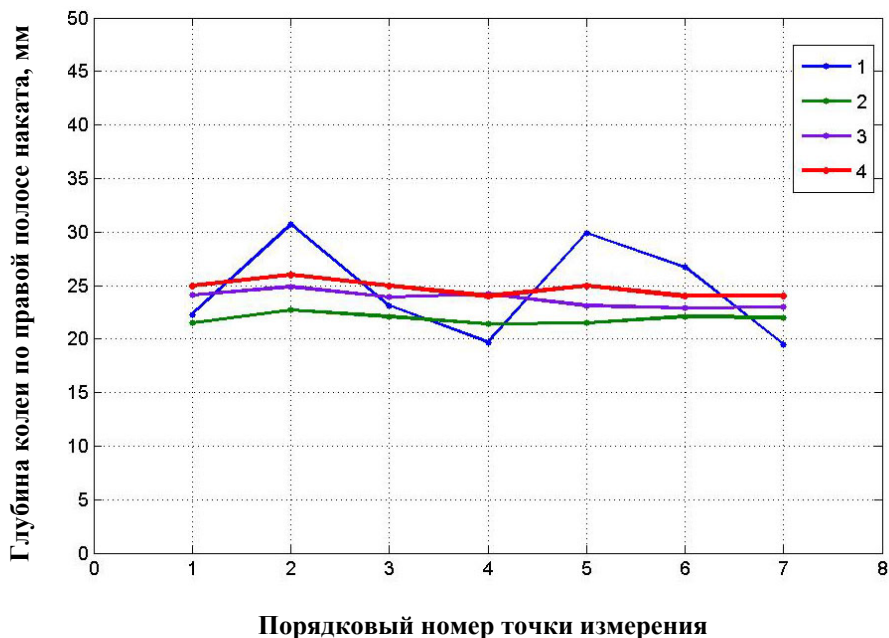


Рис. 3. Сравнение с эталоном результатов определения глубины колеи, полученных различными способами: без обработки измеренных данных (1); путем обработки методом скользящего среднего (2); с использованием вейвлетов (3); эталонные значения, полученные с помощью измерений трехметровой рейкой (4)

ВЫВОДЫ

Изложенное позволяет сделать следующие выводы.

1. Для достижения приемлемой точности определения глубины колеи по измеренным координатам профиля требуется предварительно отфильтровать возникающие при измерении случайные погрешности.

2. Применение вейвлетов для обработки измеренных координат поперечных профилей дает лучшие результаты по сравнению с использованием метода скользящего среднего, обеспечивая точность измерений порядка 1 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев Д.И. Некоторые методы измерения параметров колеи на дорожных покрытиях / Д.И. Ковалев, П.А. Лушников, В.А. Кретов, Н.А. Лушников // ДОРОГИ И МОСТЫ. – 2019. – № 42/2 – С. 104-110.
2. ГОСТ 32825-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Дорожные покрытия. Методы измерения геометрических размеров повреждений. – М.: Стандартинформ, 2015. – 16 с.
3. Рабинер Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер, Б. Гоулд. – М.: Мир, 1978. – 848 с.
4. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши. – Ижевск: НИЦ «Хаотическая и регулярная динамика», 2001. – 461 с.

L I T E R A T U R A

1. Kovalev D.I. Nekotorye metody izmereniya parametrov kolei na dorozhnyh pokrytiyah / D.I. Kovalev, P.A. Lushnikov, V.A. Kretov, N.A. Lushnikov // DOROGI I MOSTY. – 2019. – № 42/2 – S. 104-110.
2. GOST 32825-2014. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Dorozhnye pokrytiya. Metody izmereniya geometricheskikh razmerov povrezhdenij. – M.: Standartinform, 2015. – 16 s.
3. Rabiner L. Teoriya i primeneniye cifrovoj obrabotki signalov / L. Rabiner, B. Gould. – M.: Mir, 1978. – 848 s.
4. Dobeshi I. Desyat' lekcij po vejvletam / I. Dobeshi. – Izhevsk: NIC «Haoticheskaya i regul'yarnaya dinamika», 2001. – 461 s.

.....
**MEASURING THE RUT DEPTH OF ROAD PAVEMENT
BY LASER SCANNING METHOD**

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

The article considers some methods of processing the measurements data of the road pavement transverse profile obtained by laser scanning. The comparative analysis results of measurements are done.

Key words: *rut, road transverse profile, laser scanner, comparative analysis, wavelet.*

Рецензент: канд. техн. наук М.Л. Ермаков (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 03.12.2020 г.