

Меньшиков Александр Михайлович, доцент, к.т.н.

Косков Даниэль Николаевич, студент

Кафедра автомобильных дорог и строительного производства

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г.

Архангельск, Россия

ДИАГНОСТИКА И ОЦЕНКА ПРОДОЛЬНОЙ РОВНОСТИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

Аннотация: в статье оценивается статистическое качество первичных данных диагностики продольной ровности участка автомобильной дороги общего пользования с покрытием переходного типа, выполненной передвижной дорожной лабораторией по методу *IRI*.

Ключевые слова: автомобильные дороги, микропрофиль, продольная ровность по *IRI*, передвижная дорожная лаборатория, статистическое качество измерений.

Abstract: the article evaluates the statistical quality of the primary data from the longitudinal flatness diagnostics of a public road with a transitional type of pavement, performed by a mobile road laboratory using the *IRI* method.

Keywords: highways, microprofile, longitudinal flatness according to *IRI*, mobile road laboratory, statistical quality of measurements.

В настоящее время в дорожной диагностике применяются передвижные дорожные лаборатории (далее – ПДЛ), оснащенные комплексами измерительно-вычислительной аппаратуры, которые дорожной диагностики обеспечивают получение больших объемов объективной и достоверной информации об эксплуатационном состоянии ездовых поверхностей автодорог. При этом, как показывает собственный опыт проведения работ по дорожной диагностике с применением ПДЛ «ТРАССА» [1,2,4], статистическое качество полученной информации в силу различных причин нередко является неудовлетворительным. Исходные данные могут содержать систематические погрешности и случайные ошибки измерений, включая грубые промахи и выбросы, которые критично искажают описательную статистику и отрицательно влияют на значения центральной тенденции транспортно-эксплуатационных показателей обследуемого участка автодороги.

В качестве оценочного показателя продольной ровности дорожного покрытия по результатам диагностики используется усредненное значение Международного индекса ровности – International Roughness Index (далее – *IRI*), вычисляемое в программном комплексе ПДЛ. При этом полагают, что микропрофиль участка автодороги с однородным покрытием –

гауссовский стационарный процесс, где ряды ординат уровней микропрофилей являются абсолютно случайными и обладают распределением плотности вероятности, близким к нормальному распределению (график в виде симметричной колоколообразной кривой). Однако нужно учитывать, что среднее арифметическое чувствительно к выбросам, и даже одно экстремальное значение ряда уровней ординат может значительно изменить среднюю величину, что представляет этот показатель как не вполне надежную метрику.

Эффективным и широко известным способом экспресс-проверки статистического качества данных измерений является сопоставление распределения их эмпирической плотности вероятности с теоретической кривой плотности стандартного нормального распределения. Процедура экспресс-проверки в общем случае предполагает исключение пропусков и выбросов, построение гистограммы распределения выборки, оценку формы и расчет параметров распределения, проверку принятой нулевой статистической гипотезы.

В случае распределения выборки по нормальному закону, экспресс-проверку наличия в ней выбросов производят методом «трехсигмовых пределов»:

$$x_i \in [\bar{X} - 3\sigma; \bar{X} + 3\sigma], \quad (1)$$

где σ – стандартное отклонение значения случайной величины от среднего арифметического $\bar{X}$,

При этом используют правило 68-95-99,7, которое гласит, что в стандартизованном нормальном распределении 68% значений случайной величины x находятся в пределах одного среднеквадратичного отклонения σ , т.е. $\bar{X} \pm \sigma$; 95% – в пределах $\bar{X} \pm 2\sigma$, а 99,7% – в пределах $\bar{X} \pm 3\sigma$. Центром группирования выборки служит среднее арифметическое значение исследуемого показателя $\bar{X}$, в данном случае продольной ровности по методу *IRI*, приведенного к 100 м или к 1 км. Значения *IRI*, выходящие за пределы указанного диапазона, при таком подходе считают выбросами.

В случае значительной асимметрии вида распределения эмпирической плотности вероятности для исключения выбросов применяют известный метод межквартильных диапазонов – метод Д. Тьюки Interquartile Range (далее – *IQR*). Здесь предполагаемый выброс с использованием критерия межквартильного размаха *IQR* с центром группирования у медианы определяется из соотношения

$$[Q_{0,25} - \Delta \cdot IQR; Q_{0,75} + \Delta \cdot IQR], \quad (2)$$

где Δ – коэффициент, принимаемый равным 1,5 при «мягкой» фильтрации, равным 3,0 – при «жесткой» фильтрации выборки.

В 2023 г. проектируемому капитальному ремонту участка автодороги Архангельск-Белогорский-Пинега-Кимжа-Мезень км 272+351 – км 285+787 предшествовали работы по диагностике его продольной ровности по методу *IRI*. Измерения ординат микропрофиля производились лазерным профилометром с горизонтальной инерционной базой отсчета, входящим в измерительно-вычислительный комплекс оборудования передвижной дорожной лаборатории разработки НПО «Регион» (далее – ПДЛ), принадлежащей ГКУ «Архангельскавтодор», рисунок 1.

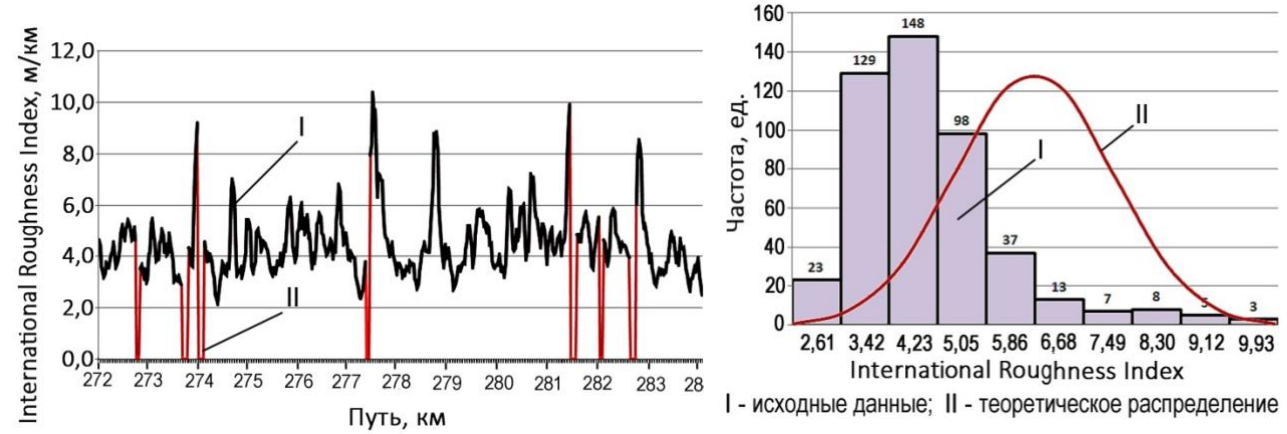


Рисунок 1 – Общий вид передвижной дорожной лаборатории ГКУ «Архангельскавтодор»

	A	B	C	D	E
803		274	20000	3,21	
804		274,025	20025	2,96	
805		274,05	20050	2,9	
806		274,075	20075	0	
807		274,1	20100	0	
808		274,125	20125	0	
809		274,15	20150	0	
810		274,175	20175	0	
811		274,2	20200	4,34	
812		274,225	20225	4,28	
813		274,25	20250	3,7	
814		274,275	20275	3,62	
815		274,3	20300	5,16	
816		274,325	20325	7,26	
817		274,35	20350	8,08	
818		274,375	20375	9,21	
819		274,4	20400	0	
820		274,425	20425	0	
821		274,45	20450	0	
822		274,475	20475	0	
823		274,5	20500	0	
824		274,525	20525	4,57	
825		274,55	20550	4,26	

Рисунок 2 – Фрагмент ведомости продольной ровности по IRI

После пропускания исходного ряда ординат микропрофиля через полосовые фильтры низких и высоких частот аналогично использовавшейся методике [1], результаты измерений были экспортированы в MS Excel, где был построен и затем визуально оценивался график последовательных уровней ординат *IRI*. Фрагмент итоговой ведомости исходных данных представлен на рисунке 2, график оценок микропрофиля по *IRI* – на рисунке 3.



I - исходные данные; II - теоретическое распределение

Рисунок 3 – Микропрофиль участка автодороги
АБПКМ км 272+351 – км 285+787:

I – центральная тенденция; II – выбросы

Рисунок 4 – Проверка условия
нормальности распределения:

I – исходные данные; II – теоретическая
кривая стандартизованного распределения

При изучении ведомости и графика *IRI* в MS Excel внимание привлекло низкое статистическое качество уровней ряда, в частности, многочисленные пропуски в измерениях, которые в итоговой ведомости оценки продольной ровности участка отражены как серии из «нулевых» значений показателя *IRI* (рисунок 2).

По сути «нулевые» значения *IRI* – это выбросы, существенно искажающие общую оценку продольной ровности обследуемого участка дороги и объемы проектируемых на нем дорожно-ремонтных работ. На данном участке число уровней с «нулевыми» значениями *IRI* составило 4,6 % от общего числа измерений, в связи с чем возникла необходимость проведения экспресс-проверки и первичной обработки массива данных измерений, включая проверку нормальности плотности распределения и удаление «нулевых» серий уровней ряда.

У гистограммы эмпирического распределения плотности вероятности имеет место положительная асимметрия, отличная от свойственной симметричному нормальному распределению, рисунок 4. Поэтому проверку нормальности выполняли применением многостороннего *W*-критерия Шапиро-Уилка, как наиболее мощного из критериев проверки гипотезы о принадлежности выборки к нормальному закону распределения по алгоритму [3]. В качестве нулевой принималась гипотеза, состоящая в том, что исследуемая выборка содержит *n* значений независимых измерений, подчиняющихся одному и тому же нормальному распределению.

W-критерий вычислялся по упорядоченным независимым измерениям $x_1, x_2, \dots, x_n$ выборки, расположенным в порядке не убывания, то есть $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$:

$$S = \sum_k a_k [x_{(n-1-k)} - x_{(k)}], \quad (3)$$

$$W = S^2 / \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2, \quad (4)$$

где *k* – порядковый номер значений *x* в выборке, упорядоченной по не убыванию уровней. Принимает значения от 1 до *n*/2 или от 1 до (*n* - 1)/2 при четном и нечетном *n* соответственно;

a_k – коэффициенты *W*-критерия Шапиро-Уилка. Принимались из таблицы 10 [3];

n – объем выборки;

W – статистика критерия Шапиро-Уилка;

S – вспомогательная величина для критерия Шапиро-Уилка;

α – уровень значимости результатов.

Критическая T -статистика Шапиро-Уилка при уровне значимости $\alpha = 0,05$, то есть при вероятности $p = 1 - \alpha = 0,95$, принята из таблицы 11 [3]: $T=0,842$. Поскольку величина T значительно превосходит вычисленный W -критерий, равный 0,167, нулевая гипотеза о нормальности распределения отклоняется и по формальному признаку. Из этого следует, что в качестве директивного значения показателя IRI в отчете о результатах диагностики следует указать не среднее арифметическое, а медианное значение исследуемой выборки IRI .

Результаты исследования статистического качества первичных данных продольной ровности участка автодороги по IRI , наряду с ранее проводившимися нами тематическими исследованиями [1,2,4], приводят к следующему заключению.

Современные лазерные профилометры, устанавливаемые на передвижных дорожных лабораториях, обеспечивают высокую производительность и точность при измерении ординат микропрофилей автомобильных дорог. Но при этом статистические характеристики последовательных уровней рядов микропрофилей в различной степени искажаются под влиянием аппаратных погрешностей и внутренних импульсных шумов, имеющих место в измерительно-вычислительных комплексах ПДЛ. Алгоритмы проверки статистического качества данных измерений, за исключением, наверное, только частотной фильтрации рядов по Баттерворту, в программном обеспечении профилометров не предусматриваются. С учетом этого, после конвертирования машинограмм исходных данных в потребительские форматы, необходимо проводить экспресс-проверку их статистического качества и корректировку результатов до оформления итоговых отчетов о выполнении дорожной диагностики с применением передвижных дорожных лабораторий.

Список источников

1. Меньшиков, А. М. Исследование микропрофиля автодороги федерального значения М8 «Холмогоры» [Текст] /А.М. Меньшиков, Д.С. Зиновьев // Новые материалы и технологии в машиностроении / Под общей редакцией Е.А. Памфилова: сб. научных трудов по итогам Международной научно-технической конференции. Вып.19. – Брянск: Изд-во БГИТА, 2014. – С.140-143.

2. Меньшиков, А. М. Методика определения продольной ровности дорожных покрытий на основе кросс-спектрального анализа [Текст] / А.М. Меньшиков, И.С. Ванюшаник // Научное обозрение. Вып.17. – Саратов: Изд-во ООО «Буква», 2015. – С.156-159.

3. ГОСТ Р ИСО 5479-2002 Статистические методы. Проверка отклонений распределения вероятностей от нормального распределения [Текст]. – Москва: Госстандарт России, 2002. – 31 с.

4. Menshikov, A. M. Research of statistical qualities microprofiles of road surfaces [Text] / A.M. Menshikov, E.A. Nikolaeva // Materials of the Third International Conference «Process Management and Scientific Developments». – Birmingham, United Kingdom, 2017. – P.62-67.