

Савенко В.Я., д-р техн. наук, Кияшко Д.И.,
Смолянюк Р.В., канд. техн. наук

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ОЦЕНКИ РОВНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Аннотация. В работе проанализирован мировой опыт по оценке ровности дорожных покрытий. Рассмотрено прикладное программное обеспечение, а также показатели, по которым можно оценивать продольную ровность дорожных покрытий, и статистически анализировать данные полученные в результате использования профилометрических систем.

Ключевые слова: прикладное программное обеспечение, профилометрические системы, качество езды (RQ), международный индекс ровности (IRI).

Анотація. У роботі проаналізовано світовий досвід по оцінці рівності дорожніх покриттів. Розглянуто прикладне програмне забезпечення, а також показники, по яких можна оцінювати поздовжню рівність дорожніх покриттів, та статистично аналізувати дані, які отримано у результаті використання профілометричних систем.

Ключові слова: прикладне програмне забезпечення, профілометричні системи, якість їзди (RQ), міжнародний індекс рівності (IRI).

Abstract. The international experience on estimation of pavement smoothness are analyzed in the given article. The software application and indicators by which you can estimate the longitudinal evenness of pavement surfaces, and statistically analyze the data obtained through the use profiling systems are considered.

Keywords: software application, profiling systems, ride quality (RQ), international roughness index (IRI).

В мире накоплен огромный опыт по оценке ровности дорожных покрытий. В последнее десятилетие в большинстве стран для оценки ровности дорожных покрытий, получили развитие установки профилометрического типа,

позволяющие записывать микропрофиль дорожного покрытия [1-3]. Однако сами по себе профилометрические системы не способны оценить ровность дорожных покрытий, поэтому наряду с разработкой профилометрических систем разрабатывалось прикладное программное обеспечение под различные показатели, по которым можно оценивать ровность дорожных покрытий.

Развитие программного обеспечения для оценки ровности дорожных покрытий берет свое начало с научно-исследовательского проекта под названием «Анализ данных про дорожные профили», который проводился с 1992 по 1995 годы в Институте Транспортных Исследований Мичиганского Университета (*University Michigan Transportation Research Institute – UMTRI*) [4]. Исследование финансировалось Федеральной администрацией дорог (*Federal Highway Administration – FHWA*). В рамках проекта, была разработана программа *RoadRuf* [5].

RoadRuf (рис. 1) представляет собой инженерное прикладное программное обеспечение, которое позволяет просматривать продольный микропрофиль проезжей части автомобильных дорог и анализировать его, используя различные показатели ровности.

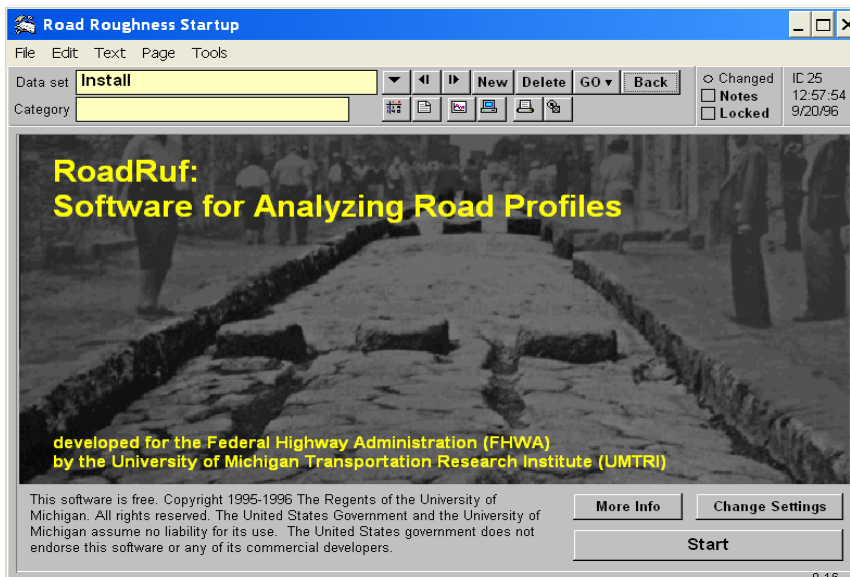


Рис.1. Окно приветствия программы *RoadRuf*

В программный продукт вошли показатели, по которым можно оценивать продольную ровность дорожных покрытий такие как: Международный индекс ровности (*IRI*), индекс езды (*Ride Number – RN*), спектральная плотность дисперсии (*Power Spectral Density – PSD*).

Основное достоинство данной программы заключается в том, что она служила эталоном для разработчиков аналогичного программного обеспечения. Данный программный продукт совершенно бесплатный и до определенного времени его можно было скачать в интернете в открытом доступе. Однако из-за неудобного интерфейса программа *RoadRuf* не получила широкого распространения.

Исходя из этого, для адаптации программного продукта под более широкое практическое применение Федеральной администрацией дорог (*FHWA*) на основе долгосрочной программы улучшения качества проезжей части (*LTPP*) была поставлена задача группе Транстек (*The Transtec Group Inc.*) разработать программный продукт более удобный для конечного пользователя.

В 2001 г. [6] разработана программа *ProVAL* (*Profile Viewing and Analysis*) (рис. 2), которая является более приемлемой в процессе использования, а также очень мощной для выполнения подробного анализа дорожного микропрофиля.

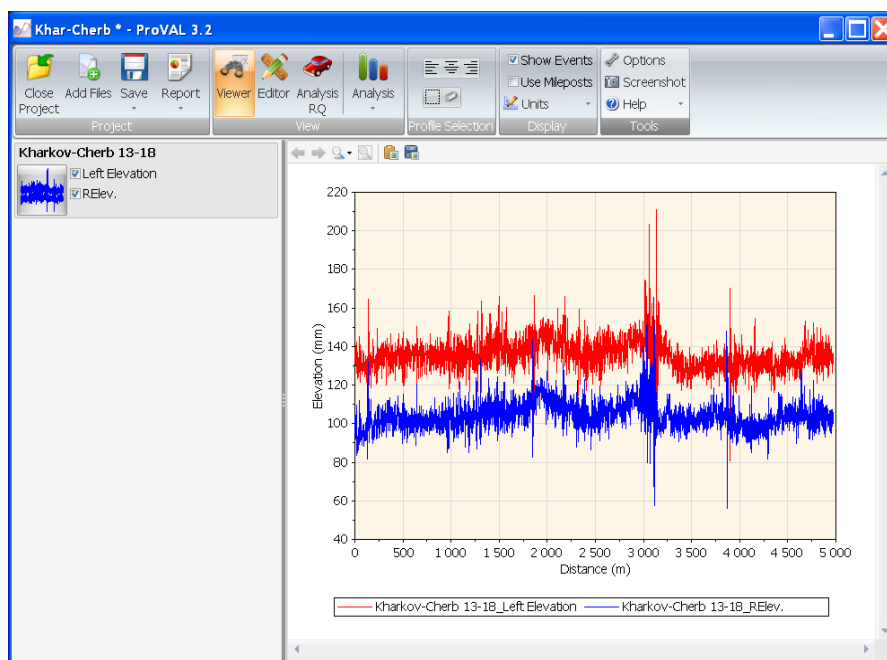


Рис. 2. Окно анализа и обработки профилей программы *ProVAL*

В программный продукт вошли новые показатели, по которым можно оценивать продольную ровность дорожных покрытий, а также модули статического анализа данных полученных в результате использования профилометрических систем [7]:

– автоматизированный анализ швов (*Automated Faulting Measurements – AFM*);

- взаимная - корреляция (*Cross-correlation – CC*),
- точность и смещение (*Precision and bias – PB*);
- модуль сертификации профилометрических систем (*Profiler Certification Module – PCM*);
- моделирование профилографа (*Profilograph Simulation – PS*);
- качество езды (*Ride Quality – RQ*);
- двухопорная рейка (*Rolling Straightedge – RS*);
- модуль обеспечения плавности (*Smoothness Assurance Module – SAM*);
- оптимальное расположение системы измерения массы транспортного средства в движении (*Optimal Weigh-In-Motion Site Locator – OWL*).

Новые функции делают *ProVAL* основным программным продуктом для оценки ровности дорожных покрытий при приемке выполненных дорожно-строительных и ремонтных работ, а также для оценки ровности на стадии эксплуатации. Рассмотрим все показатели по отдельности.

Автоматизированный анализ швов (AFM). Поскольку состояние поперечных деформационных швов на цементобетонных покрытиях существенно влияет на комфортность и плавность хода автомобиля, а также соответственно на общий показатель ровности, был разработан специальный модуль *AFM*. Использование данного модуля позволяет выявить поперечные деформационные швы цементобетонного покрытия, показать их расположение по длине исследуемого участка, выявить величину вертикального смещения плит (уступы, просадки), местное смятие и обрушение поверхности кромок в зоне деформационных швов, разрушение заполнителя швов.

Взаимная-корреляция (CC) является статистическим методом измерения корреляционной связи между двумя случайными микропрофилями дорожного покрытия. Этот показатель используют для оценки повторяемости и точности испытаний.

Для анализа используются два микропрофиля одного участка измерений. Поскольку два измеренных профиля не являются точными копиями друг друга и начальные точки данных в измеряемых профилях не всегда совпадают, была разработана методика взаимной-корреляции. Для определения оптимальной величины смещения второго профиля в соответствии с начальной точкой первого профиля программное обеспечение использует статистические методы анализа данных.

Оптимальное расположение системы измерения массы транспортного средства в движении (*OWL*). Повреждения наносимые дорожному покрытию транспортными средствами с сверхнормативными нагрузками, представляют собой серьезную угрозу межремонтному сроку службы дорожной одежды и покрытия, поэтому в последнее время во всем мире получила распространение система измерения массы транспортного средства в движении (*Weigh-In-Motion – WIM*). Поскольку на погрешность динамических замеров веса существенно влияет величина ускорения транспортного средства вызванного ровностью дорожного покрытия, для повышения надежности и точности данных систем, в частности для определения оптимального расположения системы измерения массы транспортного средства в движении *WIM* был разработан модуль *OWL*.

Спектральная плотность дисперсии (*PSD*). Данный показатель характеризует как амплитуды неровностей, так и их распределение по длинам волн. Поскольку микропрофиль проезжей части представляет собой стационарную случайную функцию, он может быть разложен на ряд синусоид с использованием различных методов (таких, как быстрое преобразование Фурье или дискретное преобразование Фурье). При классификации по уровню спектральной плотности принято, что очень малый уровень имеют неровности, при движении по которым колебания автомобиля почти не ощущаются даже на большой скорости, а очень большой уровень спектральной плотности характерен для неровностей, по которым движение автомобиля невозможно даже с малой скоростью [8]. В международной практике для оценки ровности по спектральной плотности дисперсии используют классификацию дорог принятую в международном стандарте ISO 8608:1995 [9].

Точность и смещение (*PB*).

Данный модуль, основан на положениях, изложенных в стандарте ASTM E 950-98. Его используют с целью определения, к какому классу относится профилометрическая система, и в какой степени она соответствует требованиям, предъявляемым к точности данного оборудования.

Для проведения анализа выбирается эталонный участок автомобильной дороги 321,8 м по длине. На нем выполняется продольное нивелирование с шагом 0,3048 м. Результаты нивелирования принимаются за эталонные. Также при помощи профилометрической системы измеряют 10 профилей эталонного участка. Чем ближе показания профилометра, полученные на этом участке, к результатам нивелирования, тем выше класс точности данной установки. В

результате рассматриваемый модуль предоставляет значения по точности и по смещению и определяет класс профилометрической системы.

Модуль сертификации профилометрических систем (PCM)

Модуль позволяет сравнивать несколько вариаций микропрофилей дорожных покрытий с основным профилем.

В результате программа выводит следующие табличные данные:

- сходимость результатов;
- точность результата измерений;
- статистические данные – сводка по статистике (в том числе: сравнение отсчетов, процент попадания, среднее значение, минимум, максимум, стандартное отклонение, и класс точности).

Моделирование профилографа (PS). В данном модуле, возможно выполнить эмулирование отчетов для профилографов с различной колесной базой и количеством колес (2, 4, 6, 8, 10, 12), полученных путем его движения по микропрофилю дорожных покрытий. На рис. 3 показана модель профилографа типа «Калифорния».

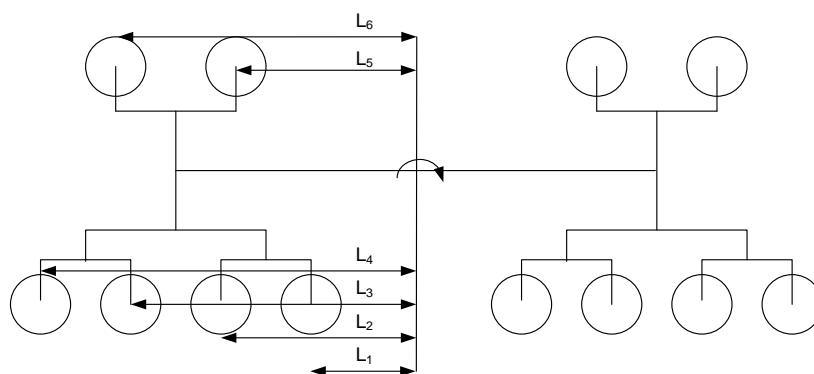


Рис. 3. Модель профилографа типа «Калифорния»

Модуль качества езды (RQ) включает четыре показателя, по которым оценивается продольная ровность: Международный индекс ровности *IRI*, индекс ровности половины автомобиля (*Half-car Roughness Index – HRI*), осредненный индекс ровности (*Mean Roughness Index – MRI*), индекс езды *RN*.

Индекс *IRI* - это расчетный показатель, полученный путем моделирования движения линейной модели четверти автомобиля, которая движется с постоянной скоростью 80 км/ч по поверхности проезжей части участка автомобильной дороги.

Индекс *HRI* определяется путем осреднения ординат микропрофилей полученных для левой и правой полосы наката, по которым в дальнейшем рассчитывается показатель *IRI*. Однако данный показатель не получил широкого распространения т.к. используя его не возможно оценить ровность отдельно для левой и правой полосы наката, поэтому его предпочтительнее использовать для оценки ровности вновь построенных дорог, поскольку микропрофили поверхности покрытия под правым и левым колесом при проезде автомобиля существенно не отличаются.

Индекс *MRI* определяется путем осреднения показателей *IRI* полученных от микропрофилей дорожных покрытий под левым и правым колесом автомобиля. Также как и индекс *HRI* его предпочтительнее использовать для оценки ровности вновь построенных или отремонтированных дорожных покрытий дорог.

Индекс *RN* представляет собой нелинейного преобразования индекса профиля (*Profile Index – PI*). *RN* определяется с использованием привычной для нас шкалой в пять баллов. Значение *RN* равное 5 соответствует совершенно гладкому профилю, а 0 максимально неровному покрытию. Для расчета индекса профиля *PI* используется те же уравнения, как и в методе *IRI*. Тем не менее, меняются параметры модели [10]:

$$\frac{C_1}{m_n} = 390 \text{ с}^{-2}; \frac{C_2}{m_n} = 5120 \text{ с}^{-2}; \frac{B}{m_n} = 17 \text{ с}^{-1}; \frac{m_k}{m_n} = 0,036 \quad (1)$$

где m_n – подрессоренная масса, кг;

m_k – неподрессоренная масса, кг;

C_1 – жесткость подвески, Н/м;

C_2 – жесткость шины, Н/м;

B – коэффициент вязкого трения подвески, Н·с/м.

После моделирования получаем среднеквадратическое значение величины отклонения подрессоренной массы автомобиля от неподрессоренной. Показатель *PI* имеет безразмерные единицы измерения (фут/фут, м/м и др.), и рассчитывается по следующей формуле:

$$PI = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L (z - y)^2 dl}, \quad (2)$$

где z – вертикальные перемещения подрессоренной массы, м;

y – вертикальные перемещения неподрессоренной массы, м;

l – шаг расчета, м;

L – длина участка дороги, м.

Показатель RN определяется согласно формуле [7]:

$$RN = 5e^{-160(P^b)} \quad (3)$$

Двухопорная рейка (RS)

Модуль эмулирует, отчеты передвижной двухопорной рейки по предварительно полученным данным микропрофиля проезжей части. При помощи его можно определить вертикальное отклонение h (рис. 4) между центром рейки и микропрофилем. Для моделирования задаются основные показатели: порог отклонения (T) и длина рейки (S).

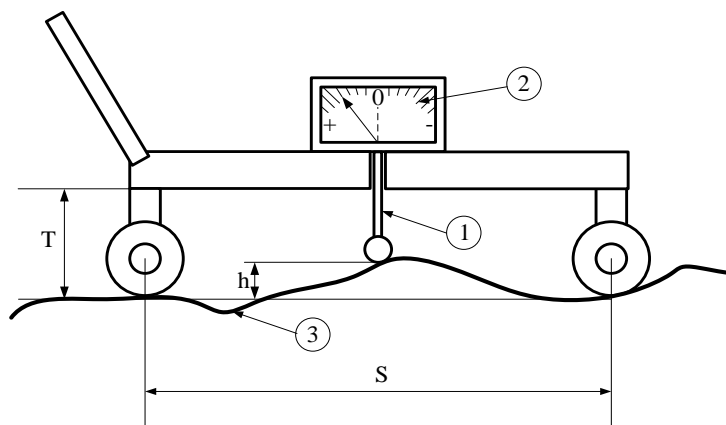


Рис. 4. Передвижная двухопорная рейка:

1 – колесо индикатор; 2 – шкала замера неровностей; 3 – микропрофиль дороги

Данный показатель обычно используют для контроля ровности дорожной поверхности после выполнения дорожно-строительных или ремонтных работ.

Модуль обеспечения плавности (SAM). Данный модуль может быть использован для формирования отчетов о состоянии проезжей части дорожных покрытий по ровности, а также для оптимизации стратегии выравнивания поверхности покрытия. С его помощью, возможно, определить места обязательные для выравнивания. Рекомендации могут включать значения по ровности покрытий до и после их выравнивания. Для выравнивания профиля моделируется работа дорожной фрезы колесная база, которой принимается в используемой программе равной 5,48м и 7,62м, либо задается самим пользователем программного обеспечения.

Выводы

Включение большинства из выше перечисленных показателей в практическое использование позволит более рационально использовать финансовые потоки, выделяемые на ремонт и содержание автомобильных дорог, особенно в условиях дефицита денежных средств, а также повысить точность и надежность оценки ровности дорожных покрытий, что положительно повлияет на управление состоянием покрытий всей сети автомобильных дорог.

Литература

1. Речмедин М. «Загадки» ровности. Проблема оценки ровности дорожного покрытия. Часть 1 // Строительная техника и технологии. – 2008. – №5(57). – С. 102 – 115.
2. Кіяшко І.В. Розвиток й удосконалення сучасних технологій оцінки рівності дорожніх покриттів/ Р.В. Смолянук, І.В.Кіяшко // Автошляховик України. – К. : Держ. автотр. наук.досл. і проектн. ін-т, 2007. – № 5. – С. 39–42.
3. Смолянук Р.В. Використання системи ЛВС-2-ХНАДУ для оцінки рівності дорожніх покриттів / І.В.Кіяшко, Р.В. Смолянук // Автошляховик України. – К. : Держ. автотр. наук.досл. і проектн. ін-т, 2009. – № 5. – С. 24–26.
4. Sayers M. W. The little Book of Profiling. Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles / M. W. Sayers, S. M. Karamihas. – Michigan : The University of Michigan Transportation Research Institute, 1998. – 306 p.
5. Рекомендації щодо оцінки рівності дорожніх покриттів у відповідності з міжнародним індексом рівності IRI : РВ.2.3.-218-02071168-385-2004. – [Чинний від 2004-01-01). – К.: Укравтодор, 2004. – 31 с.
6. ProVAL Paves the Way to Smoother Roads-November 2006-FHWA-HRT-07-008: Режим доступа : <http://www.fhwa.dot.gov/publications/focus/06nov/01.cfm>
7. ProVAL User's Guide. Austin: Режим доступа : <http://www.roadprofile.com/download/ProVAL-3.2-Users-Guide.pdf>
8. Хачатуров А. А. Динамика системы дорога-шина-автомобиль-водитель [Текст] / А. А. Хачатуров, В. Л. Афанасьев, В. С. Васильев. – М. : Машиностроение, 1976. – 535 с.
9. Вибрация механическая. Профили дорожного покрытия. Представление результатов измерений : ISO 8608:1995. – 29 с.
10. National Cooperative Highway Research Program. Project 1-31. Smoothness Specifications for Pavements. Final Report / K. L. Smith, K. D. Smith, J.H. Woodstrom – Washington : Transportation Research Board, 1997. – 567 p.