

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОФИЛОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОДОЛЬНОЙ РОВНОСТИ

Methods of measurement of road roughness of road profiling equipments are described in the article. Method power spectral density of estimation of road profiles are described in the article.

**Введение.** Ровность дорожного покрытия является одним из важнейших показателей транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог.

Неровности на покрытии приводят движущийся автомобиль в колебательное состояние, отрицательно сказываются на эффективности работы автотранспорта: снижается скорость движения, увеличивается время нахождения в пути, возрастает расход топлива, происходит повышенный износ транспортного средства.

На покрытиях автомобильных дорог всегда имеются различные неровности в виде отклонений от идеальной поверхности. Это вызвано тем, что геометрически идеально правильную форму поверхности проезжей части невозможно получить при выполнении технологических процессов с помощью современных машин и механизмов при производстве работ, а также при совместных воздействиях автомобильных нагрузок и погодноклиматических факторов, в результате которых профиль поверхности проезжей части изнашивается, становясь неровным.

**1. Измерение ровности.** В мировой практике известно множество конструкций приборов для измерения ровности покрытий.

В Беларуси нашли применение приборы различных принципов действия. Они позволяют непосредственно измерять неровности поверхности покрытия относительно некоторой условной линии, к которым относятся рейки, нивелиры, профилографы, профилометры, ультразвуковые эхолоты, лазерные измерители и др., а также определять ровность покрытий по амплитуде и ускорению кузова автомобиля при проезде участка дороги. Это различного типа толчкомеры, измеряющие при движении автомобиля сумму прогибов рессор, и акселерометры, регистрирующие вертикальные ускорения.

Толчкомеры получили широкое распространение при измерениях ровности. Однако они обладают следующими основными недостатками: явлениями квантификации и гистерезиса, зависимостью получаемых результатов от скорости движения и многочисленных характеристик автомобиля – параметров подвески, жесткости шин, общей массы автомобиля, месторасположения прибора в кузове и ряда других. Измерения не являются стабильными во времени, для «ровных» дорог погрешности столь значительны, что применение толчкомеров в этом случае не рекомендуется [1, 3], измерения

ровности не репродуцируются на другой прибор при отсутствии корреляции между ними.

Технически более совершенными методами измерений являются профилометрические, основанные на анализе профиля покрытия, получаемого с высокой частотой. Наилучшие результаты при этом достигаются при использовании лазерной техники.

Приборы, измеряющие ровность, по точности разделяются на классы и имеют различную стабильность.

Для планирования ремонтов и оценки качества выполняемых работ значения ровности нормируются [1, 2]. Причем требования к строящимся и ремонтируемым автомобильным дорогам всегда выше, чем к автомобильным дорогам, находящимся в эксплуатации. Это необходимо для обеспечения «запаса» на период эксплуатации автомобильной дороги до следующего ремонта.

Особая ответственность возлагается за измерение ровности по строящимся и ремонтируемым автомобильным дорогам ввиду того, что по результатам измерений принимается решение о вводе дороги в эксплуатацию и оплате выполненных работ. В этом случае для измерения ровности допускаются только профилометрические установки первого и второго класса точности, которые, в свою очередь, должны обладать высокой стабильностью получения повторяемости результатов и возможностью «правильно» зарегистрировать реальный профиль автомобильной дороги в диапазоне длин волн от 0,25 до 50,00 м, соответствующий ее ровности.

Каждое измерительное оборудование обладает собственной, только для него характерной особенностью фиксации линейных перемещений, ускорений и пр. Так, длины волн ниже определенной границы (нередко соответствующей интервалу опроса бесконтактных датчиков или длине контактной поверхности измерительного колеса) не измеряются, как и те, что расположены выше определенной величины. Например, трехметровой рейкой невозможно измерить неровности с длиной волны, превышающей ее собственную. Некоторые методы измерения концентрируются на определенном диапазоне длин волн, при этом преуменьшая значение других. Таким образом, каждому оборудованию присваивается «функция передачи», которая отражает соотношение между зарегистрированной и «истинной» величиной неровности в виде функции длины волны.





Рис. 1. Профилометрические установки: Профилограф (а) и ЛазерПроф (б), применяемые в Беларуси

**2. Проведение исследований.** Для идентификации работы различных профилометрических систем были проведены исследования на двух участках с асфальтобетонным покрытием длиной 1000 и 500 м соответственно. Участки выбраны без дефектов, нарушающих сплошность покрытия.

В исследовании были задействованы различные профилометрические установки: Профилограф и ЛазерПроф производства Дании, применяемые в Беларуси (рис. 1), а также российского производства (рис. 2).

Фиксирование отметок реального продольного профиля автомобильной дороги проводилось путем выполнения измерений методом нивелирования.

Для обеспечения первого класса точности [1] на участках выполнено нивелирование высокоточным (точность 0,1 мм) электронным нивелиром с шагом в продольном направлении 25 см. Для этого участки исследований были предварительно промаркированы. Для исключения влияния неровностей с короткой длиной волны рейка, применяемая при нивелировании, была оснащена специально-разработанной опорной частью на шарнире в виде диска диаметром 10 см (рис. 3). В процессе измерений рейка устанавливалась «абсолютно» вертикально с контролем по круглому пузырьковому уровню. Электронный нивелир фильтровал от-

счеты при малейшем колебании рейки, фиксируя только те, при которых рейка занимала вертикальное положение.

Процесс измерения продольного профиля в движении носит случайный характер. Поэтому передвижные установки при проведении исследований двигались со скоростью 80 м/ч, не меняя траектории движения, выполняя серии заездов каждой измерительной установкой. Для того чтобы минимизировать фактор случайности начала измерений и в дальнейшем иметь возможность синхронизировать измеренные продольные профили, створ начала измерений фиксировали специальными марками на автомобильной дороге.

**3. Обработка данных.** Продольные профили, полученные по результатам измерений, дополнительно синхронизировались для их согласования при компьютерной обработке. Это позволило получить отрезки продольных профилей с наивысшей перекрестной корреляцией для различных измерительных систем (рис. 4) и применить их для дальнейшего анализа.

Учитывая тот факт, что два профилометра могут выдавать одинаковый IRI, даже если профили совершенно различны, необходимо произвести анализ, позволяющий оценить возможность профилометрического устройства «правильно» зарегистрировать реальный профиль автомобильной дороги.

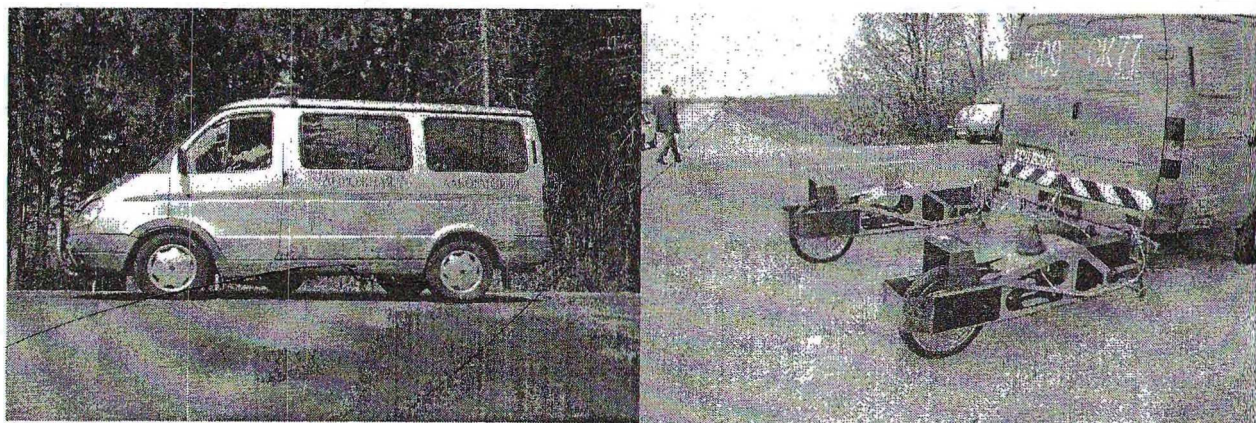


Рис. 2. Профилометрические установки России





Рис. 3. Маркировка и нивелирование участка исследования

Для этих целей анализ спектральной плотности распределения дисперсии амплитуд и уклонов продольного профиля является одним из наилучших диагностических методов.

Данный анализ показывает характеристику ровности дороги, при котором можно установить типичные длины волн неровностей покрытия, т. е. «длину их волны», очень важной в понимании некоторых проблем, связанных с измерениями, и отражает отношение между амплитудой и волновым числом как свойство каждого продольного профиля.

Для автомобильных дорог амплитуда спектральной плотности распределения дисперсии обратно пропорциональна квадрату волнового числа. Поскольку амплитуды спектральной плотности распределения возведены в квадрат,

то для «схожих» графиков в определенном диапазоне длин волн разница в ровности будет отличаться в два раза, что весьма значительно. Поэтому при анализе также рассматривают спектральную плотность распределения дисперсии уклона продольного профиля, обратно пропорционального волновому числу.

Функции спектральной плотности распределения дисперсии амплитуд и уклонов помогают показывать ошибки измерения при сравнении их графиков в разрезе применяемых измерительных устройств, а также выявить возможные ошибки работы акселерометров, датчиков высоты (лазерный, механический и т. д.) или ошибки в программном обеспечении, применяющемся для обработки данных этих датчиков.

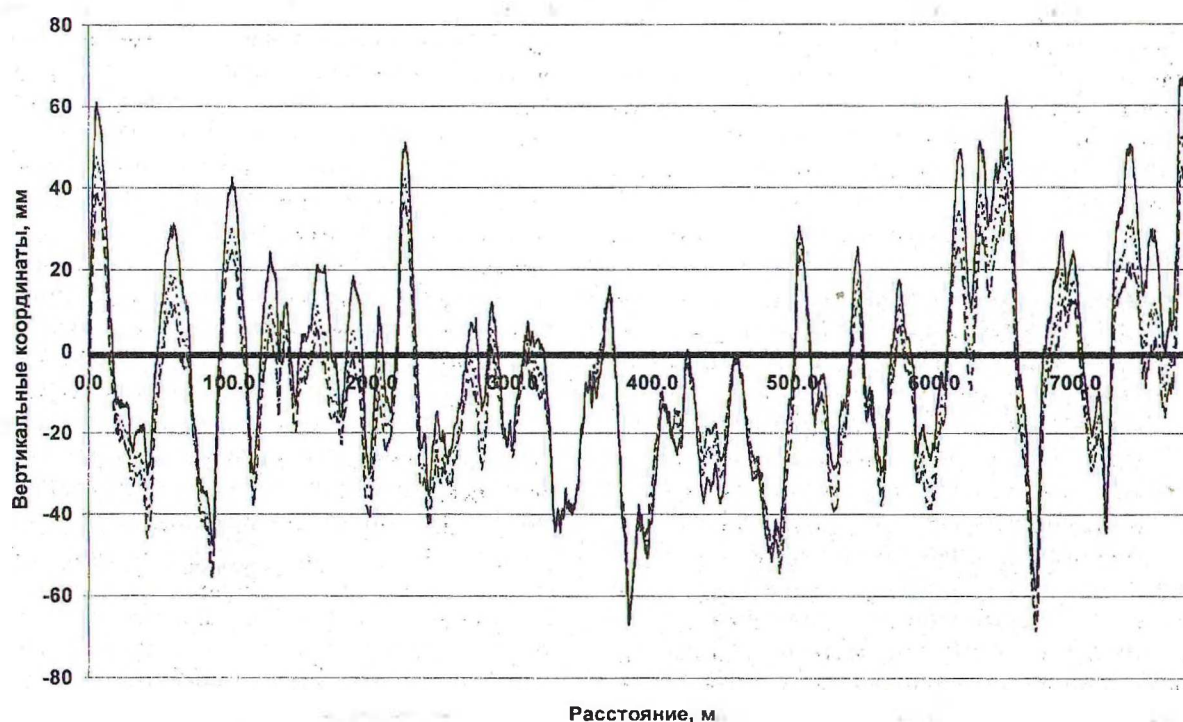


Рис. 4. Синхронизация продольных профилей



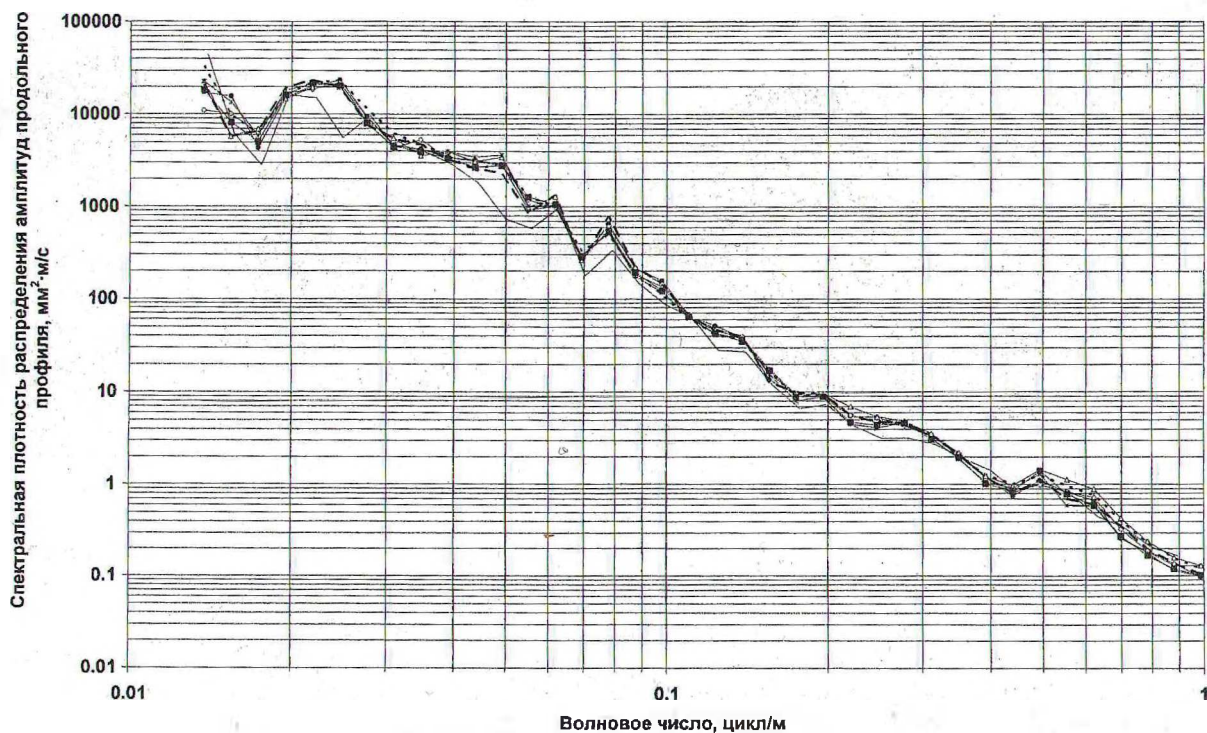


Рис. 5. График спектральной плотности распределения амплитуд продольного профиля

Все математические расчеты, связанные с анализом продольного профиля, вычислением плотности распределения дисперсии амплитуд и уклона профиля дорог, отличаются значительной громоздкостью и сложностью, что наглядно видно из анализа литературных источников [4, 5, 6, 7]. До недавнего времени широкое использование такого вида расчетов сдерживалось именно по причине вычислительных трудностей. Для выполнения работ нами использовано специализированное программное обеспечение RoadRuf [8], которое позволило в значительной мере упростить и ускорить все расчеты.

При выполнении анализа за эталон был принят профиль, полученный статическим путем методом высокоточного нивелирования. На рис. 5 показан график спектральной плотности распределения дисперсии амплитуд, на котором жирной линией отражена функция продольного профиля, полученная методом нивелирования в сравнении с функциями продольных профилей профилометрического устройства. График показывает, что профилометрическое устройство смогло точнее определить амплитуды продольного профиля по сравнению с методом нивелирования для различных волновых чисел (рис. 5). По результатам анализа установлено, что ряд измерительных систем имеет хорошую корреляцию со статическим методом измерения — нивелированием во всем диапазоне длин волн продольного профиля, относящихся к ровности автомобильной дороги.

Были определены приборы, зафиксировавшие значительный разброс показаний для диапазона различных волновых чисел в сравнении со статическим методом измерения.

Таким образом, при проведении сравнения различных профилировочных устройств функции спектральной плотности распределения позволяют выполнить более детальный анализ продольных профилей, чем индекс IRI, выявить ошибки в измерениях и оценить корректность работы профилометрических устройств для различных волновых чисел.

**Выводы.** Толчкомеры имеют ряд недостатков, не позволяющих применять данный тип приборов для контроля ровности вновь построенных и отремонтированных дорог.

1. Для контроля ровности вновь построенных и отремонтированных дорог целесообразно применять профилометрические приборы.

2. Для профилометрических проборов следует производить сличительные испытания с методом высокоточного нивелирования.

3. Для выявления возможных ошибок работы профилометров следует применять функции спектральной плотности распределения дисперсии амплитуд и уклонов.

#### Литература

1. Руководство по диагностике автомобильных дорог общего пользования, оценке их состояния и назначению ремонтных мероприятий: утв. Департаментом «Белавтодор» Мини-

стерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь 22.12.2005, приказ № 260 Департамента «Белавтодор» Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. – Минск, 2005. – 90 с.

2. Автомобильные дороги. Правила устройства: ТКП 45-3.03-43-2006 (02250). – Минск: Минстройархитектуры, 2006.

3. Нестерович, И. В. Критерии ровности асфальтобетонных дорожных покрытий и их использование при оценке эксплуатационного состояния автомобильных дорог: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / И. В. Нестерович; БНТУ. – Минск, 2004. – 22 с.

4. Силаев, А. А. Спектральная теория подпрессоривания транспортных машин. – М.: Машгиз, 1972. – 174 с.

5. Афанасьев, В. Л. Статистические характеристики микропрофиля автомобильных дорог и колебаний автомобиля / В. Л. Афанасьев, А. А. Хачатуров // Автомобильная промышленность. – 1966. – № 2. – С. 19–25.

6. Нестерович, И. В. Диагностика ровности автомобильных дорог методом спектральной плотности / И. В. Нестерович // Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и мостов: сб. науч. трудов: РУП «БелдорНИИ». – Минск, 2002. – Ч. I, II. – С. 37–44.

7. Interpretation Of Road Roughness Profile Data: Final Report. UMTRI 96-19/ Sayers M. W., Karamihas S. M. Prepared for Federal Highway Administration, 1996. – 166 p.

8. Road RUF User Reference Manual // University of Michigan. – 1997. – P. 112.