

Ю.В. Борисов

Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет

А.В. Кочетков

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

С.М. Евтеева

Саратовский государственный технический университет

В.В. Талалай

ООО «НИЦ технического регулирования», г. Саратов

НОРМИРОВАНИЕ МАКРОШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Рассматриваются вопросы совершенствования методов нормирования макрошероховатых покрытий различных материалов, изделий и конструкций на примере геометрии поверхностей дорожных покрытий. Разновысотность активных выступов и разноглубинность впадин макрошероховатости предложено оценивать через дисперсию или среднеквадратическое отклонение, как статистические инварианты, не зависящие от базы измерения. Предлагается использование нового параметра – числа знакопеременований выступов или впадин макрошероховатости относительно их средних линий.

Ключевые слова: макрошероховатые покрытия, автомобильная дорога, разновысотность, разноглубинность, геометрия.

Важнейшим показателем качества различных изделий является шероховатость поверхностей, от которой зависят их эксплуатационные свойства. Подобные вопросы достаточно подробно отрабатывались в технологии машиностроения для изделий из металлов и сплавов, где установлены закономерности увеличения прочности при уменьшении шероховатости; например, с увеличением высоты неровностей прочность снижается [1].

Триботехнические параметры (трение и износ) также зависят от высоты выступов и формы шероховатости поверхности и от направления следов обработки. Изменение величины коэффициента трения (срыва, скольжения, сцепления) также зависит от шероховатости трущихся поверхностей, причем он имеет наименьшее значение при определенном сочетании параметров шероховатости. Также известно, что триботехнические свойства полимеров, материалов и изделий на их основе отличаются от свойств металлических изделий и имеют свою специфику.

Авторами статьи на протяжении последних лет исследуются вопросы макрошероховатостей поверхностей различного вида и назначения: дорожных покрытий, облицовочных плиток, тактильных ковриков, резинотехнических изделий, полимерных лент геотехнических изделий, текстурированных мембран, рулонной гидроизоляции, полимерных форм дорожной разметки, текстурированных металлических листов и др.

В настоящей статье анализ проблемы проводится на примере макрошероховатости дорожных покрытий.

С 1945 г. для оценки шероховатости поверхностей использовался ГОСТ 2789–45 «Шероховатость поверхности», в котором в качестве показателя чистоты (шероховатости) поверхности применялось среднеквадратическое отклонение ее неровностей. В способе определения геометрических параметров шероховатости, используемом в технологии машиностроения, прямое измерение шероховатости производится контактным способом при помощи профилометра, игла которого с заданным радиусом закругления движется по поверхности с постоянной скоростью. При этом количественное значение непосредственно среднеквадратических отклонений определяется по шкале электроизмерительного прибора [2]. Эта особенность способа основана на положениях ГОСТ 2789-45 (использование среднеквадратических отклонений для точек профиля). Фактически закругление иглы огибает шероховатую поверхность по высотам выступов. Это позволило в технологии машиностроения при измерении геометрии шероховатости определять величину, устойчиво коррелирующую с изменением параметров трения.

С 1959 г. в СССР действовала стандартная оценка шероховатости поверхности по ГОСТ 2789–59. Для оценки геометрии поверхности установлены были два параметра: среднеарифметическое отклонение профиля R_a – среднее значение расстояний точек измеряемого профиля от его средней линии и высота неровностей R_z – среднее расстояние

между находившимися в пределах базовой длины пятью высшими и пятью низшими точками поверхности, измеренное от линии, параллельной средней линии [2].

Действующий ГОСТ 2789–73 [3] распространяется на шероховатость поверхности изделий независимо от их материала и способов изготовления или получения поверхности и, соответственно, распространяется на устройство дорожных покрытий с шероховатой поверхностью. Стандарт устанавливает перечень параметров и типов направлений неровностей, которые должны применяться при установлении требований и контроле шероховатости поверхности, числовые значения параметров и общие указания по установлению требований к шероховатости поверхности.

Схема анализа шероховатости поверхности по ГОСТ 2789–73 изображена на рис. 1.

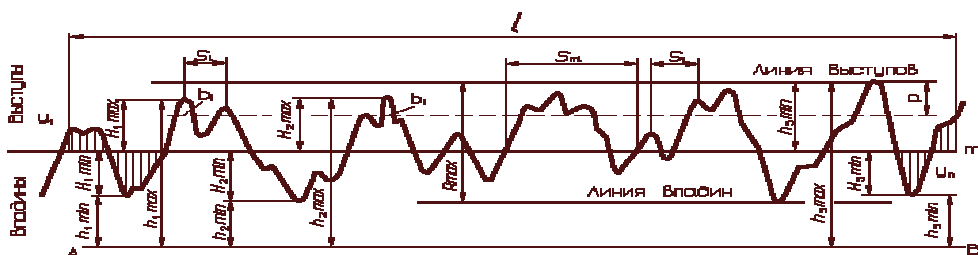


Рис. 1. Схема анализа шероховатости поверхности по ГОСТ 2789–73

Требования по шероховатости устанавливаются из функционального назначения поверхности для обеспечения заданного качества указанием параметра шероховатости и базовых длин, на которых происходит определение параметров. Устанавливаются требования к направлению неровностей поверхности, к способу или последовательности способов получения поверхности. В качестве параметров шероховатости выбираются среднее арифметическое отклонение профиля, высота неровностей по десяти точкам, наибольшая высота профиля, средний шаг неровностей, средний шаг местных выступов профиля и относительная опорная длина профиля.

Проведенными исследованиями [4] установлено, что факторами, реально влияющими на триботехнику из параметров существующего ГОСТ 2789–73, являются средний шаг неровностей и средний шаг местных выступов профиля. Остальные параметры отвечают за распределение рабочей жидкости и ряд особенностей эксплуатации шерохова-

той поверхности либо не отвечают условию воспроизводимости результатов измерения. Поэтому потребовалось провести дополнительный анализ проблемы.

Известный государственный стандарт Украины ДСТУ Б В.2.3-8-2003 «Дорожные покрытия. Методы измерения сцепных качеств» устанавливает методы измерения сцепных качеств дорожного покрытия и применяется при операционном контроле для корректирования технологических процессов устройства дорожных покрытий, при приемочном контроле для оценки качества работ; при эксплуатационном контроле для выявления участков дорожных покрытий с недостаточными сцепными качествами. Под сцепными качествами дорожного покрытия понимают совокупность свойств, которые определяют способность дорожного покрытия обеспечивать устойчивое движение транспортного средства без заноса и скольжения колес, а в случае возникновения последнего – способность оказывать сопротивление скольжению. Среди параметров сцепных качеств выделяют материально-структурные, которые характеризуют дорожное покрытие с геометрической точки зрения и определяются параметрами ее шероховатости. При этом используются следующие понятия: реальная поверхность – поверхность, которая отделяет покрытие от окружающей среды; шероховатость – совокупность неровностей реальной поверхности, расстояние между вершинами которых не превышает 40 мм; профиль – линия пересечения реальной поверхности с вертикальной поверхностью; базовая линия – линия заданной геометрической формы, базовая длина – длина базовой линии, которая используется для выделения неровностей; выступ шероховатости – участок, который находится между двумя соседними минимумами профиля; впадина шероховатости – участок, который находится между двумя соседними максимумами профиля; линия выступов – прямая, которая проходит через две самые высокие вершины выступов профиля; линия впадин – прямая, которая проходит через самую низкую точку профиля параллельно линии выступов; наибольшая высота неровностей – параметр, который определяется как расстояние между линией выступов и линией впадин в границах базовой длины (рис. 2, а); глубина точки профиля – расстояние от линии выступов к точке профиля; средняя глубина впадин – параметр, который определяется как среднеарифметическое значение глубин точек профиля; средняя плотность выступов – параметр, который определяется отношением количества выступов в границах базовой линии к ее длине; радиус выступа – радиус окружности, вписанный в выступ (рис. 2, б); средний

радиус выступов – параметр, определяемый как среднеарифметическое значение радиусов выступов; секущая прямая – прямая, которая пересекает профиль параллельно линии выступов; уровень пересечения профиля – расстояние между линией выступов профиля и секущей прямой; опорная длина – сумма длин отрезков, в границах которых секущая прямая проходит через материал профиля; относительная опорная длина – отношение опорной длины к базовой длине; относительная опорная кривая – графическое изображение зависимости относительной опорной длины от уровня пересечения профиля.

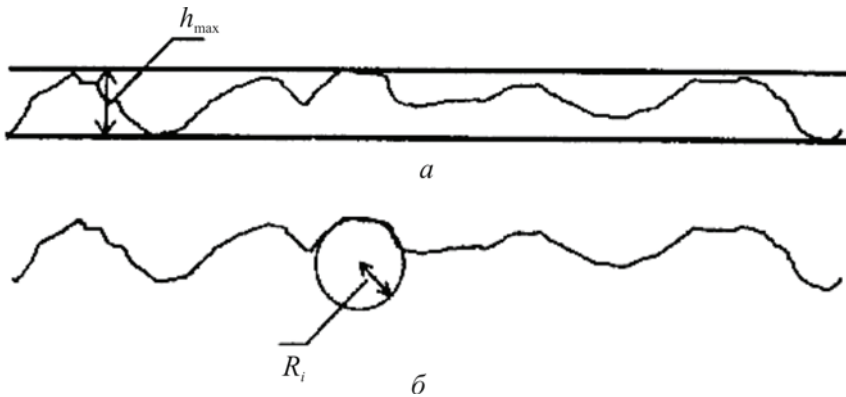


Рис. 2. Схемы анализа параметров шероховатости согласно ГОСТ Украины ДСТУ Б В.2.3-8-2003

Определяют глубину i -х выступов $[h_{pi}]$ и j -х впадин профиля $[h_{vj}]$. Действительное значение средней глубины впадин шероховатости h_{cp} определяют по формуле

$$h_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n [h_{pi}] + \sum_{j=1}^m [h_{vj}]}{(n+m)\gamma}, \quad (1)$$

где n – количество выступов шероховатости; m – количество впадин шероховатости; γ – увеличение дорожного профилографа.

Если взять в качестве базовой поверхности поверхность необработанного покрытия, то можно представить два диаметрально противоположных состояния шероховатой поверхности:

1. Путем нанесения элементов макрошероховатости на поверхность (поверхностная обработка) по схеме на рис. 3.



Рис. 3. Схема нанесения элементов макрошероховатости на поверхность

2. Путем нанесения борозд или углублений на поверхности покрытия по схеме на рис. 4.



Рис. 4. Характерные элементы макрошероховатости в зоне контакта шины с поверхностью покрытия

Авторами статьи макрошероховатость дорожного покрытия рассматривается как совокупность неровностей относительно базовой плоскости покрытия на уровне контакта шины автомобиля с поверхностью дорожного покрытия. Параметры, используемые для оценки степени шероховатости дорожных покрытий, исходя из требований ГОСТ 2789–73 с некоторыми специфическими дополнениями представлены на рис. 5.

Предлагается использовать параметры максимальной относительной макрошероховатости активных выступов и максимальной относительной разноступинности глубин впадин.

Проведена адаптация ГОСТ 2789–73 к оценке показателей макрошероховатости дорожного покрытия с учетом порядка и соотношения масштабирования площади контакта колеса автомобиля и размеров структурных элементов.

Для оценки уровня макрошероховатости дорожных покрытий в практических целях в процессе строительства или эксплуатации автомобильных дорог достаточно определять пять основных характеристик макрошероховатых структур: среднюю глубину впадин (высоту неровностей); средний шаг макрошероховатости; относительную степень активности макрошероховатости; разноступинность активных выступов макрошероховатости; разноступинность впадин макрошероховатости.

Замер параметров макрошероховатости дорожного покрытия производится в нескольких точках поверхности (в продольном и поперечном направлениях). Разноступинность выступов и разноступинность впадин предложено оценивать через дисперсию или среднеквадратиче-

ское отклонение, как статистические инварианты, что было реализовано в модернизированной прикладной программе «Шероховатость-2008» портативного переносного измерительного комплекса.

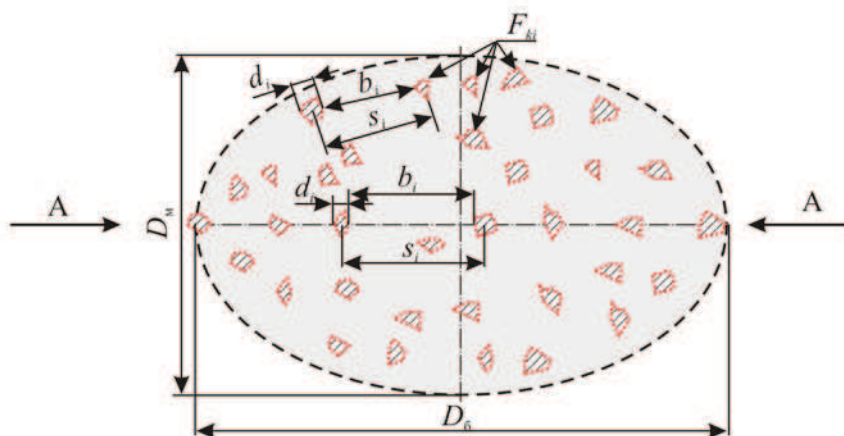
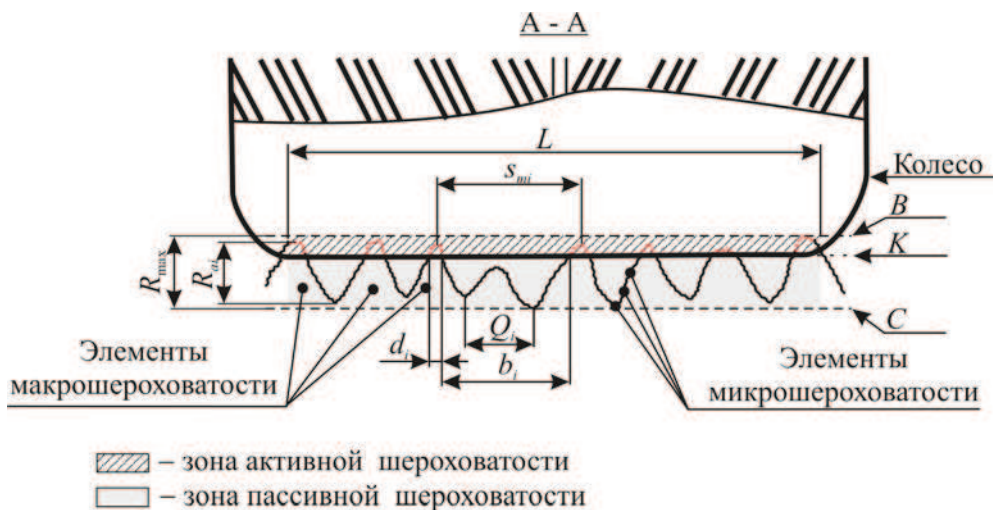


Рис. 5. Схема нанесения борозд или углублений на поверхности покрытия: K – плоскость контакта поверхности колеса автомобиля с элементами шероховатости; C – плоскость наибольших впадин профиля шероховатости в зоне контакта поверхности колеса; B – плоскость наибольших выступов профиля шероховатости в зоне контакта поверхности колеса; l – базовая длина (180), мм; D_m – диаметр отпечатка протектора колеса расчетного автомобиля, мм; s_i – шаг местных выступов макрошероховатости в пределах базовой длины, мм; s_{mi} – шаг контакта шины автомобиля с поверхностью покрытия в пределах базовой длины, мм; R_{ai} – частная глубина впадин макрошероховатости, являющаяся вертикальным расстоянием между смежными вершиной и впадиной макроэлемента шероховатости, мм

Основными параметрами были выбраны разновысотность активных выступов шероховатости, контактирующих с колесами транспортных средств, и разноглубинность впадин покрытия, отвечающие за различность объемов раствора противогололедного материала в пространстве между зернами щебня. Аналогично методическому обеспечению государственного стандарта ГОСТ 2789–73 «Шероховатость поверхности» предлагается дополнительно использовать ручной способ оценки среднеквадратического отклонения разновысотности и разноглубинности макрошероховатости через показания десяти измерений активных выступов и десяти выступов на основе формул:

$$\bar{x}_\sigma = \frac{\sum_{i=1}^5 x_{i\text{верх}} - \sum_{i=1}^5 x_{i\text{нижн}}}{5}, \quad \bar{z}_\sigma = \frac{\sum_{i=1}^5 z_{i\text{верх}} - \sum_{i=1}^5 z_{i\text{нижн}}}{5}, \quad (2)$$

где \bar{x}_σ – оценка среднеквадратического отклонения разновысотности активных выступов; $x_{i\text{верх}}$, $x_{i\text{нижн}}$ – результаты измерений пяти верхних и пяти нижних выступов; \bar{z}_σ – оценка среднеквадратического отклонения разноглубинности впадин; $z_{i\text{верх}}$, $z_{i\text{нижн}}$ – результаты измерений пяти верхних и пяти нижних впадин.

Определено, что образцы антигололедного дорожного покрытия отличаются повышенной разноглубинностью и разновысотностью.

Результаты тестовых испытаний формул для ручной оценки показали хорошее соответствие вычислениям с помощью статистических формул вычисления среднеквадратического отклонения и программы «Шероховатость–2008». Получено, что среднеквадратическое отклонение разновысотности и разноглубинности оказалось максимальным (4 и более мм) по отношению к аналогичным дорожным покрытиям с шероховатой поверхностью (шероховатая поверхностная обработка, шероховатые тонкослойные покрытия, литой асфальтобетон на основе полимерно-битумных вяжущих, слой износа и др.).

Пример математического построения средней линии (прямой и аппроксимирующим полиномом) на графике шероховатой поверхности приведен на рис. 6.

Аналогично строятся средние линии относительно активных выступов и глубин впадин.

Автоматизированными средствами измерений при использовании профильного метода являются дорожные портативные профилографы, которые, как средства измерительной техники, относятся к измерительным преобразователям и регистрирующим приборам. Дорожные профилографы записывают профиль поверхности покрытия на бумагу в виде профилограммы. Авторами предлагается способ паспортизации и измерения геометрических параметров макрошероховатости на основе лазерной мыши (поставленной с ковриком вертикально по отношению к измеряемой поверхности) ноутбука.

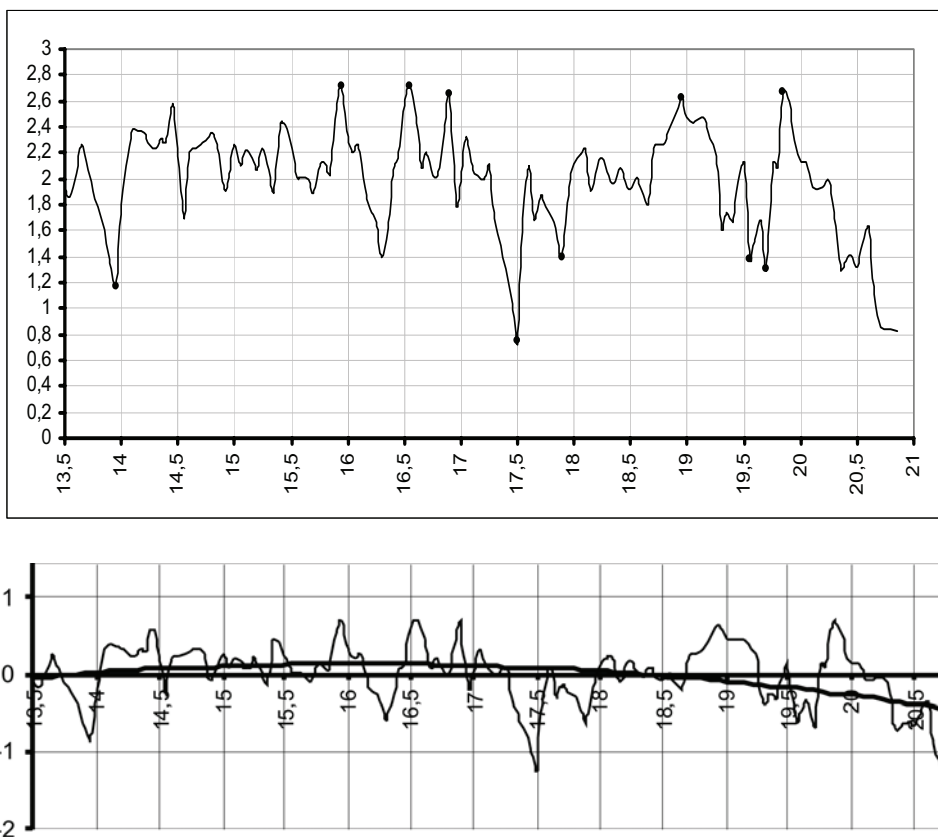


Рис. 6. Пример построения средней линии макрошероховатости

При обработке профилограмм в качестве вспомогательных устройств используют линейки измерительные, соответствующие требованиям ГОСТ 427, или линейки чертежные, соответствующие требованиям ГОСТ 17435.

В развитие направления, разработанного А.В. Чвановым и В.В. Каменевым, предлагается использование нового параметра – числа знакопеременований выступов или впадин макрошероховатости относительно их средних линий.

Корреляционный анализ позволяет оценить сегрегацию щебня при транспортировании и распределении.

Число пересечений профиля поверхности $En(u)$ согласно работе [1] относительно уровня u определяется через корреляционную функцию $K(\tau)$ и ее вторую производную выражением

$$En(u) = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{K''(0)}{K(0)}} e^{-\frac{u^2}{2K(0)}}. \quad (3)$$

Математическое ожидание числа нулей на единичном интервале для условия корреляционной функции процесса $Ex(t)x'(t+\tau) = K'(\tau)$

$$En(0) = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{K''(0)}{K(0)}},$$

где u – горизонтальный уровень; $En(u)$ – математическое ожидание функционала.

С учетом того что данная формула относится к непрерывной функции, а значения высот выступов и глубин впадин есть числовые ряды, авторами синтезированы формулы для расчета числа знакопеременований:

$$z_i = \prod_{i=1}^{n-1} \text{sign}(x_i - u) \text{sign}(x_{i+1} - u),$$

$$f_i = \frac{z_i + 1}{2}, \quad y_j = l - \sum_{i=j}^{j+l-1} f_i,$$

где x_i – значение высоты выступа или глубины впадин; z_i, f_i – служебные параметры; y_j – число знакопеременований.

Метод успешно апробирован при анализе статистических свойств антигололедного макрошероховатого покрытия SafeLane™.

На практике параметры макрошероховатых дорожных покрытий определяются с помощью автоматизированных дорожных сканеров «АДС-МАДИ» (рис. 7).



Рис. 7. Автоматизированный дорожный сканер «АДС-МАДИ»

Список литературы

1. Хусу А.П., Виттенберг Ю.Р., Пальмов В.А. Шероховатость поверхностей (теоретико-вероятностный подход). – М.: Наука, 1975. – 344 с.
2. Кочетков А.В., Суслиганов П.С. Устройство шероховатых поверхностных слоев на покрытиях автомобильных дорог и мостовых сооружений // Автомобильные дороги и мосты обзорная информация. Вып. 3. – М.: ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР», 2005. – 100 с.
3. ГОСТ 2789–73 (СТ СЭВ 638-77). Шероховатость поверхности. – М.: Гос. Комитет СССР по стандартам, 1980.
4. Кочетков А.В., Чванов А.В., Аржанухина С.П. Научные основы нормирования шероховатых поверхностей дорожных покрытий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2009. – Вып. 14 (33). – С. 80–86.

5. ОДМ. Методические рекомендации по устройству одиночной шероховатой поверхностной обработки техникой с одновременным распределением битума и щебня / Росавтодор, ФГУП СНПЦ РОСДОРТЕХ. – М., 2001.

6. ОДМ. Рекомендации по устройству дорожных поверхностей с шероховатой поверхностью (взамен ВСН 38–90). – М.: Росавтодор, ФГУП СНПЦ РОСДОРТЕХ, 2003.

Получено 15.09.2011