

Министерство образования и науки Российской Федерации
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

ОПЕРАТИВНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ДОРОЖНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Методические рекомендации к практическим занятиям

Составили С.И. Романов, А.Ю. Стадник

© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет», 2013

Волгоград
ВолгГАСУ
2013

УДК 625.855.3.032.32 (075.8)

ББК 39.311.45я73

О60

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *В.С. Боровик*, заведующий кафедрой экономики и управления дорожным хозяйством ВолгГАСУ;
кандидат технических наук, профессор *М.М. Девятков*, заведующий кафедрой изысканий и проектирования транспортных сооружений ВолгГАСУ

Оперативное определение шероховатости дорожных асфальтобетонных покрытий [Электронный ресурс] : методические рекомендации к практическим занятиям / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т ; сост. С.И. Романов, А.Ю. Стадник. — Электронные текстовые и графические данные (1,82 Мбайт). — Волгоград: ВолгГАСУ, 2013. — Учебное электронное издание комбинированного распространения : 1 CD-диск. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; 2-скоростной дисковод CD-ROM; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана

Изложен краткий теоретический материал по диагностике шероховатости асфальтобетонных покрытий. Приведены примеры определения средней глубины впадин шероховатости асфальтобетонных дорожных покрытий.

Разработаны для студентов 5-го курса очной формы обучения и 6-го курса заочной формы обучения факультета автомобильных дорог и транспортных сооружений и для дорожных производственных организаций.

УДК 625.855.3.032.32 (075.8)

ББК 39.311.45я73

Нелегальное использование данного продукта запрещено

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», 2013

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения по диагностике шероховатости асфальтобетонных дорожных покрытий.....	4
2. Примеры использования рекомендаций по диагностике средней глубины впадин шероховатости асфальтобетонных покрытий.....	18
3. Список литературы.....	36

1. Общие положения по диагностике шероховатости асфальтобетонных дорожных покрытий.

Шероховатость дорожного покрытия - его геометрическая характеристика поверхности, оцениваемая размером и формой выступов и впадин.

Различают микрошероховатость, создаваемую микронеровностями на поверхности частиц каменного материала, и макрошероховатость, которая образуется выступающими из поверхности покрытия гранями щебня. При оперативном контроле состояния покрытия оценивают только макрошероховатость [1-4].

К макрошероховатости дорожных покрытий предъявляются противоречивые требования. С одной стороны, она должна быть настолько мелкой, чтобы обеспечить наибольшую площадь контакта протектора шины с поверхностью покрытия, а с другой - достаточно грубой, чтобы способствовать быстрому отводу воды из площади контакта. Однако с увеличением макрошероховатости возрастают сопротивление качению, износ шин и уровень шума, создаваемого качением шины по дорожному покрытию. Оптимальное решение находят между этими случаями.

В большинстве случаев используют 3 параметра шероховатости—среднюю высоту (или глубину) неровностей, шаг неровностей и средний угол при вершине выступов [4].

Эти параметры обеспечивают достаточную характеристику поверхности дорожного покрытия. Однако одновременное измерение трех параметров весьма трудоемко. Поэтому шероховатость поверхности дорожных покрытий обычно оценивают показателем средней глубины впадин, измеряемый методом песчаного пятна.

Метод [4,5] основан на том, что при различной шероховатости диаметр определенной порции песка, распределенного на поверхности

покрытия в виде круга, будет разным: при крупнощебеночной смеси диаметр песчаного пятна меньше, чем при мелкощебеночной.

Шероховатость характеризуется средней глубиной впадин между щебенками, выступающими из покрытия:

$$h_{cp} = 10 \frac{V}{F} = 40 \frac{V}{\pi D^2} \quad (1.1)$$

где V — объем песка, распределяемого по шероховатой поверхности на уровне вершин выступов, см^3 ;

F — площадь круга, образованного распределенным песком, см^2 ;

D — диаметр песчаного пятна, см .

Комплект приспособлений для измерения шероховатости состоит из двух мерных металлических стаканчиков для дозирования песка вместимостью 10 и 25 см^3 , диска диаметром 100 мм, обклеенного с нижней стороны резиной, номограммы. Номограмма имеет три шкалы, рассчитанные на объем песка 10 см^3 для мелкошероховатой поверхности покрытия, 25 см^3 — для среднешероховатой и 50 см^3 — для крупношероховатой.

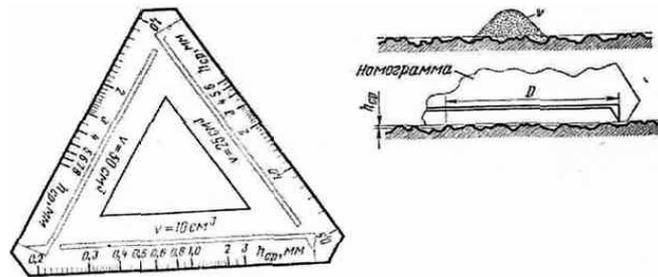


Рис.1. - Прибор «песчаное пятно»

На поверхность покрытия мерным стаканчиком высыпают порцию мелкого сухого песка (размер зерен от 0,14 до 0,315 мм). Обрезиненным диском распределяют песок по поверхности покрытия в виде пятна по возможности круглой формы. Среднюю глубину шероховатости h_{cp} определяют по шкале номограммы, устанавливая острие шкалы на одну сторону пятна. Цифра шкалы, совпадающая с другой стороной пятна, соответствует значению h_{cp} (мм).

Шероховатость покрытий, сдаваемых в эксплуатацию, оценивают по средней глубине шероховатости, измеренной на участках длиной 50 и 100 м. На участке длиной 50 м измерения производят по диагонали полосы движения, причем места измерений размещают равномерно по длине диагонали. На участке длиной 1000 м равномерно размещают шесть участков по 50 м.

Шероховатость покрытий в период эксплуатации дороги определяют на колеях наката и между ними на участках длиной 1; 50 и 1000 м в сечениях, перпендикулярных оси дороги. Число измерений: на участке длиной 1 м - не менее 3; 50 м не менее - 6; 1000 м - не менее 30.

Недостатком является то, что метод не обеспечивает достаточную точность контроля параметров шероховатости ввиду того, что используемый в качестве заполняющего материала природный песок имеет неоднородную структуру, различную геометрическую форму и размеры частиц, а также высокую способность к адгезии (прилипанию), что способствует уменьшению плотности заполнения впадин контролируемой поверхности.

Известен способ контроля шероховатости поверхности с помощью стеклянных шариков. (Патент №2275450) [6].

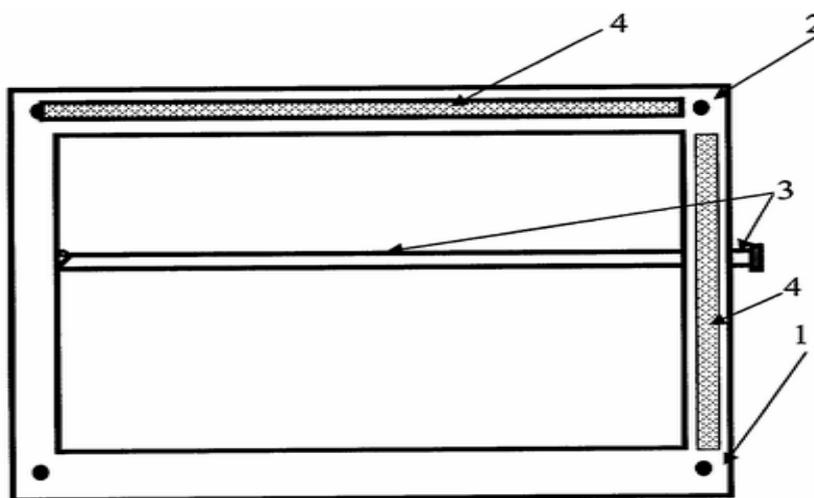


Рис.2. - Рамка при использовании стеклянных шариков.

На контролируемую поверхность устанавливают рамку 1, выполненную в виде прямоугольника и закрепленную на регулируемых опорах 2. Внутрь рамки 1 засыпают 250 см^3 стандартных стеклянных микрошариков диаметром 0,01 мм и разравнивают рейкой 3, закрепленной на рамке с возможностью перемещения ее в горизонтальной плоскости, вровень до появления первого выступа. С помощью масштабных линеек 4, размещенных на внешних горизонтальных плоскостях рамки, определяют площадь контролируемой поверхности. Затем по известной методике определяют среднюю глубину впадин:

$$h_{\text{ср}} = \frac{V_n}{S}, \quad (1.2)$$

где $h_{\text{ср}}$ - средняя глубина впадин;

V_n - объем шариков;

S_3 - площадь контролируемой поверхности.

Также известен еще один способ контроля шероховатости с помощью штангенциркуля и пластины с отверстиями. (Патент 2370589) [7].

На контролируемую поверхность, находящуюся в сухом или мокром состоянии, укладывают пластину 1 с выполненными в ней отверстиями 2. Прямоугольная металлическая пластина с постоянной величиной поперечного сечения не менее 5 мм и размером, равным расчетной площади следа колеса, имеет отверстия, расположенные друг от друга с межосевыми расстояниями, равными 50 мм, и диаметром, равным 5 мм. Через отверстия посредством введения в них подвижной части штангенциркуля измеряется глубина впадин контролируемой поверхности.

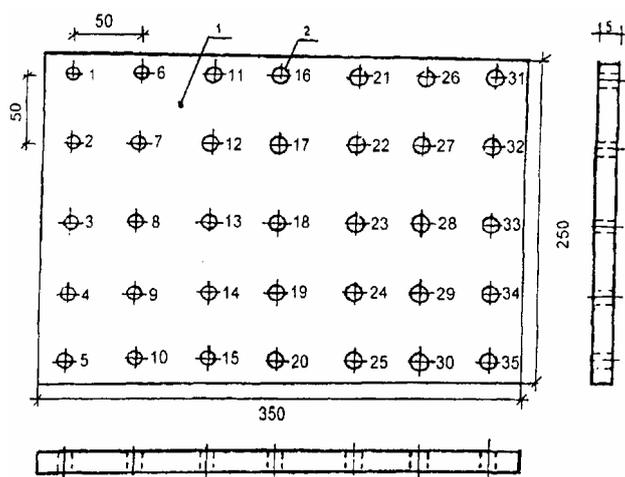


Рис.3. - Пластина с 35 отверстиями.

Результат измерения глубины впадин в каждом из отверстий определяется как разность показаний штангенциркуля и толщины пластины. Заявленный способ позволяет определять глубину впадин с точностью до 0,1 мм, обусловленной ценой деления шкалы нониуса штангенциркуля.

Достоинством этого способа является высокая точность измерений и возможность проводить измерения как на сухой, так и на мокрой поверхности.

Недостатком является высокая трудоемкость способа и очень большие затраты времени.

Асфальтобетонное покрытие, построенное из горячих асфальтобетонных смесей, можно рассматривать как диэлектрик, содержащий компоненты с определенными величинами диэлектрической проницаемости [8,9].

Регистрируют диэлектрические свойства известным емкостным неразрушающим методом, при этом скорость измерений практически мгновенна, что позволяет его использовать в статистическом контроле качества, актуальном для дорожной отрасли.

Диэлектрические свойства – диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь. По изменению этих показателей можно контролировать адгезионные свойства битумов, коэффициент уплотнения, степень шероховатости.

Диэлектрик (изолятор) — материал, плохо проводящий или совсем не проводящий электрический ток [10].

Показания электроемкостных приборов C являются функцией диэлектрической проницаемости ε анализируемой зоны, то есть:

$$C = f_1(\varepsilon); h = f_2(C); \quad (1.3)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_M v_M + \varepsilon_G v_G + \varepsilon_B v_B. \quad (1.4)$$

где $\varepsilon_M \approx 6$; $\varepsilon_G \approx 2,3$; $\varepsilon_B = 1,0$ — соответственно диэлектрические проницаемости минерального материала, битума и воздуха; h — глубина впадин шероховатости; v_M , v_G , v_B — удельные объемы, занимаемые минеральным материалом, битумом, воздушной остаточной пористостью асфальтобетона с учетом преобладающего объема воздуха между плоскостью датчика и поверхностью асфальтобетонного покрытия [11].

Большие площади асфальтобетонных покрытий требуют большого числа измерений шероховатости с их последующей статистической обработкой для обеспечения достаточной достоверности результатов. При этом рекомендуем использовать экспресс-метод электроемкостных, практически мгновенных косвенных измерений общей шероховатости, включающей макро- и микрошероховатость. Для таких измерений следует использовать сертифицированный, компактный, не дорогостоящий прибор ВИМС-2.21 с планарным датчиком, выпускаемый отечественной приборостроительной промышленностью [12,13].

ВИМС-2.21 (Рис.4) предназначен для измерения влажности широкой номенклатуры материалов по ГОСТ 21718 песка, бетона (тяжелого, ячеистого с плотностью 400, 600, 800 и 1000, легкого с плотностью 1000, 1200, 1600, и 1800), раствора, кирпича и древесины, в том числе в изделиях и конструкциях. Для измерений косвенных показателей шероховатости устанавливают ячеистый бетон с плотностью 400 кг/м^3 .

Основной областью применения прибора являются различные виды строительного производства и технологии, в которых влажность материалов регламентируется нормативно-технической или технологической документацией.



Рис.4. - Общий вид электроемкостного прибора ВИМС-2.21.

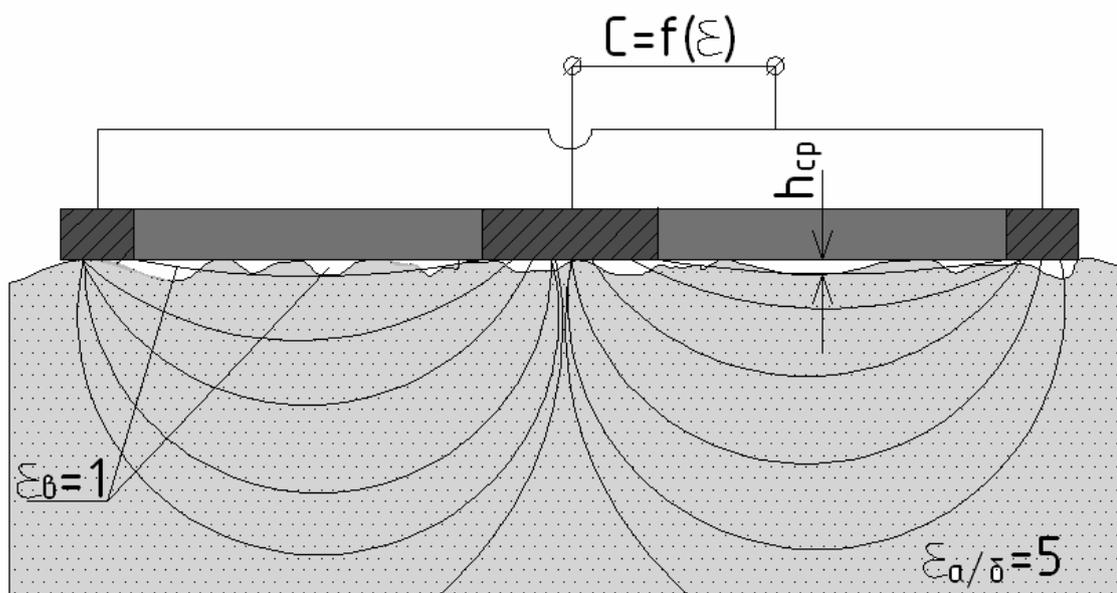


Рис.5. - Схема электроемкостных измерений на асфальтобетонном покрытии.

Прибор индицирует: влажность и вид контролируемого материала, номер, время, и дату измерения. Пользователь имеет возможность самостоятельно провести испытания и ввести в прибор более 20 индивидуальных градуировочных зависимостей для нужных ему материалов.

Влагомер состоит из: измерительного блока, имеющего на лицевой панели 9-ти клавишную клавиатуру и графический дисплей, в верхней торцевой части корпуса установлен разъем для подключения датчика, слева от него расположены элементы инфракрасного канала связи с компьютером для передачи и обработки информации. Датчик измерительного блока имеет диаметр 10 см., поэтому приходится делать 5 замеров по площади, равновеликой следу колеса на покрытии, а далее находить среднее значение. На одно измерение требуется 5 секунд [14].

Искусственный подъем датчика прибора ВИМС-2.21 над поверхностью асфальтобетонного покрытия показал наибольшую чувствительность и точность измерений шероховатости прибором для минимальных значений подъема (рис. 6). График построен с применением программы для ЭВМ «Table Curve 2D».

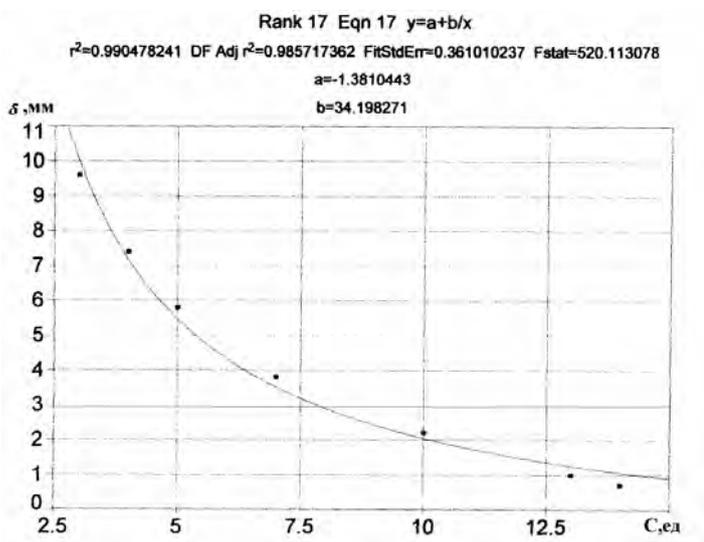


Рис.6. Изменение чувствительности S емкостного прибора ВИМС-2.21 при искусственном подъеме датчика над анализируемой поверхностью δ .

Чувствительность достаточна для регистрации в широком диапазоне косвенных показателей шероховатости от 0 до 10 мм по установленному

экспериментально уравнению регрессии. Значительная потеря чувствительности наблюдается при высоте подъема датчика более 20 мм, так как с подъемом датчика в воздух над асфальтобетонным покрытием наблюдается снижение общей диэлектрической проницаемости в эффективной зоне электрического поля.

Для каждого типа асфальтобетона (*А, Б, В, Г, ЩМА* и литой асфальтобетон с втопленным щебнем) построена корреляционная взаимосвязь между показателями по известному методу «песчаного пятна» и прибора ВИМС-2.21.

Вначале на сухой контролируемой поверхности дорожного покрытия, равной расчетной площади следа колеса, в нескольких местах методом «песчаного пятна» определяют среднюю глубину шероховатости (h_{cp}). Затем на тех же участках посредством датчика электроемкостного прибора ВИМС-2.21, при укладывании его на контролируемую поверхность при небольшом нажатии, необходимом для обеспечения плотного контакта с контролируемой поверхностью, в нескольких местах делают замеры электроемкости воздушного зазора, образованного между поверхностью дорожного покрытия и поверхностью датчика прибора. Данные испытаний заносят в таблицу и находят усредненные значения электроемкости C . Для статистической достоверности при определении усредненных значений h_{cp} и (C) таких «парных» измерений должно быть не менее 30. В соответствии с полученными экспериментальными данными с помощью программы для ЭВМ «Table Curve 2D», предназначенной для построения теоретических моделей для эмпирически полученных данных, строится график линейной функциональной зависимости [15];

$$h_{cp} = a + b / C, \quad (1.5)$$

где: h_{cp} – величина средней глубины впадин по методу песчаного пятна, мм;

a, b – коэффициенты, соответствующие тарировочной зависимости;

C - показатели измерений экспресс-методом по прибору ВИМС-2.21.

Индексы детерминации (r^2), характеризующие долю влияния (C) на (h_{cp}) для отмеченных типов асфальтобетонов, находятся в диапазоне 0,81 - 0,88. Достаточно сильная теснота связи между показателями (C) и (h_{cp}) позволяет использовать косвенный экспресс-метод определения шероховатости покрытия вместо метода песчаного пятна в соответствии с установленным уравнением (1.5).

Для всех типов асфальтобетона определены уравнения взаимосвязи между результатами измерений шероховатости методом песчаного пятна (h_{cp}) и электроемкостным методом (C) по программе *Table Curve 2D*.

Таблица 1

Тип асфальтобетона дорожного покрытия	Уравнения взаимосвязи при использовании прибора ВИМС-2.21	Индекс детерминации
А	$h_{cp} = - 3,6951 + 89, 01788/C$	0,88
Б	$h_{cp} = - 0,7616 + 26,1583/C$	0,88
В	$h_{cp} = - 0,7087 + 18, 6681/C$	0, 87
Г	$h_{cp} = - 0,6119 + 20, 5361/C$	0,81
ЩМА-20	$h_{cp} = - 3,2781 + 87, 3813/C$	0,85
Литой асфальтобетон с втопленным щебнем	$h_{cp} = -1.16625+26,6883/C$	0,68

Высокий индекс детерминации (табл.1.) свидетельствует о достаточно тесной связи между показателями методом песчаного пятна и показателями прибора ВИМС-2.21. Это свидетельствует о том, что прибор ВИМС- 2.21 можно использовать для косвенных измерений средней глубины шероховатости. Пониженный индекс детерминации у литого асфальтобетона обусловлен не достаточно однородным распределением втопленного щебня.

Во время строительства дорожного покрытия целесообразно регистрировать показатель однородности шероховатости через 50-100 метров на уплотненном остывшем покрытии с помощью экспресс-метода. При нарушении однородности шероховатости следует оперативно выявлять причины с целью обеспечения наименьшего коэффициента вариации. Аналогичная регистрация шероховатости возможна и для сдаваемого в эксплуатацию покрытия данной дороги. Высокая стабильность состава асфальтобетона в дорожном покрытии согласуется с минимальной величиной дисперсии или коэффициента вариации шероховатости, быструю регистрацию которой рекомендуем осуществлять экспресс-методом с последующей обработкой результатов измерений методами математической статистики. Минимизация коэффициента вариации может стать стимулирующим фактором для производителей в процессе строительства.

На стадии эксплуатации происходит износ асфальтобетонного покрытия, интенсивность которого достаточно точно регистрируется в большей мере на полосах наката, отстоящих на определенном расстоянии от кромок покрытия. Измерения шероховатости предложенным экспресс-методом показали заметное ее снижение на полосах наката для покрытий, построенных в 2004 - 2011г. Дорожные асфальтобетонные покрытия из асфальтобетонов типов *A, B, Г, ЩМА-20* обеспечивают шероховатость, соответствующую мелкошероховатым покрытиям, у которых средняя глубина впадин находится в диапазоне от 0,48 до 1,32 мм. Закономерно возрастает шероховатость при увеличении содержания щебня в асфальтобетоне, а во время эксплуатации за счет износа уменьшается в некоторой мере коэффициент вариации шероховатости покрытия.

Диагностику средней глубины впадин шероховатости сухого асфальтобетонного покрытия любой протяженности, построенного из принятого проектного состава асфальтобетона выполняют в две стадии:

- определяют коэффициенты (a) и (b) в уравнении (1.5) на основе не менее 20 парных измерений (h_{cp}) и (C) в продольном направлении покрытия с шагом 50-100м, используя программу «Table Curve 2D». Полученное уравнение предназначено для дальнейшей градуировки показателей (C) в величинах (h_{cp}) диагностируемого участка покрытия;

- на второй стадии измеряют только показатели (C) без натуральных измерений (h_{cp}), величины которой определяют из уравнения, полученного на первой стадии.

При изменении состава асфальтобетона в дорожном покрытии необходимо снова выполнить первый этап для корректировки уравнения $h=f(C)$.

Шероховатость асфальтобетонного покрытия зависит от типа асфальтобетона. При обследовании шероховатости различных асфальтобетонных покрытий Волгоградской области установлено: покрытие из асфальтобетона типа *B* относится по классификации к гладким покрытиям, требующим повышения шероховатости, поскольку средняя глубина впадин находится в интервале от 0,15 до 0,27 мм; к мелкошероховатым относятся покрытия из асфальтобетонов типов *A, Б, Г, ЩМА*, характеризующихся средней глубиной впадин от 0,48 до 1,5 мм. Литой асфальтобетон с втопленным щебнем должен дополнительно характеризоваться достаточной шероховатостью при обоснованном минимальном коэффициенте ее вариации.

Для дорожных покрытий из различных типов асфальтобетонов наиболее высокая однородность шероховатости свойственна типу *B*, у которого коэффициент вариации минимален. Наибольший коэффициент вариации зарегистрирован на покрытии из литого асфальтобетона с втоплением щебня на мосту через Волгу. Причина повышенной изменчивости шероховатости заключается в недоброкачественном выполнении технологии втопления щебня. Минимизация коэффициента вариации важнейших показателей качества дорожного покрытия, в том числе

достаточной шероховатости при строительстве, способствуют повышению надежности, срока службы, безопасности движения.

Чем меньше коэффициент вариации, тем меньше изменчивость показателя шероховатости и однороднее состояние покрытия, способствующее лучшей уверенности водителя при движении машины по дороге. На величину коэффициента вариации шероховатости влияют следующие факторы: соблюдение стандартного (ГОСТ 9128-2009) [16] нормативного коэффициента вариации прочности данной марки асфальтобетона на АБЗ, использованного для строительства данного покрытия; степень уплотнения асфальтобетона; зерновая и температурная сегрегация асфальтобетонной смеси, происходящая при выгрузке из накопительного бункера, а также при транспортировке смеси. Наряду с отмеченными факторами при диагностике шероховатости покрытия необходимо указывать продолжительность его эксплуатации, так как со временем происходит износ, сопровождающийся заметным снижением коэффициента вариации шероховатости.

Во время строительства дорожного покрытия целесообразно регистрировать показатель однородности шероховатости через 50-100 метров на уплотненном остывшем покрытии с помощью экспресс-метода. При нарушении однородности шероховатости следует оперативно выявлять причины с целью обеспечения наименьшего коэффициента вариации. Аналогичная регистрация шероховатости возможна и для сдаваемого в эксплуатацию покрытия данной дороги. Высокая стабильность состава асфальтобетона в дорожном покрытии согласуется с минимальной величиной дисперсии или коэффициента вариации шероховатости, быструю регистрацию которой рекомендуем осуществлять экспресс-методом с последующей обработкой результатов измерений методами математической статистики. Минимизация коэффициента вариации может стать стимулирующим фактором для производителей в процессе строительства.

На стадии эксплуатации происходит износ асфальтобетонного покрытия, интенсивность которого достаточно точно регистрируется в большей мере на полосах наката, отстоящих на определенном расстоянии от кромок покрытия. Измерения шероховатости предложенным экспресс-методом показали заметное ее снижение на полосах наката для покрытий, построенных в 2004 - 2011г. Дорожные асфальтобетонные покрытия из асфальтобетонов типов *А, Б, Г, ЩМА-20* обеспечивают шероховатость, соответствующую мелкошероховатым покрытиям, у которых средняя глубина впадин находится в диапазоне от 0,48 до 1,32 мм [15]. Закономерно возрастает шероховатость при увеличении содержания щебня в асфальтобетоне, а во время эксплуатации за счет износа уменьшается в некоторой мере коэффициент вариации шероховатости покрытия.

2. Примеры использования Рекомендаций по диагностике средней глубины впадин шероховатости асфальтобетонных покрытий.

Дорожное покрытие из асфальтобетона типа В, построенное в 2008 году, протяженностью 5600 м. На покрытии всей протяженности принят подобранный по ГОСТу 9128-2009 постоянный состав асфальтобетона. Диагностика выполнена через 2 года эксплуатации данной дороги IV технической категории. Требуется определить среднюю глубину впадин шероховатости поверхности покрытия и коэффициент вариации шероховатости для всей дороги с принятым шагом измерений в продольном направлении 100 м на расстоянии от кромки 1,2,3 м.

Для минимизации трудоемкости и затрат времени на измерения целесообразно использовать наряду с методом песчаного пятна косвенный экспресс-метод электроемкостных измерений с применением сертифицированного прибора ВИМС- 2.21.

Диагностику средней глубины впадин шероховатости асфальтобетонных дорожных покрытий выполняют в две стадии.

На первой стадии необходимо определить уравнение взаимосвязи парных (на каждом месте покрытия) показателей, измеренных методом песчаного пятна и электроемкостным прибором. На каждом месте парных измерений выполняют по 4-5 измерений методом песчаного пятна и по 5 измерений электроемкостным методом, равномерно охватывая площадку, равновеликую следу колеса расчетного автомобиля. При этом для определения уравнения продольный шаг можно уменьшить до 50 м, так как состав асфальтобетона на всей дороге не изменялся. Выполнено статистически достаточное количество парных измерений, обеспечивающих достоверность взаимосвязи по величине индекса детерминации. По данным первой стадии определяют уравнение с помощью компьютерной программы *Table Curve 2D*.

Рис.7. Исходные данные по прибору ВИМС-2.21 (X) и песчаному пятну (Y) в программе *Table Curve 2D*. (102 измерения)

TableCurve 2D Editor

XY#	Ex	X	Y	Weights
1	<input type="checkbox"/>	19.2	0.28	1
2	<input type="checkbox"/>	19.2	0.27	1
3	<input type="checkbox"/>	19.48	0.27	1
4	<input type="checkbox"/>	19.04	0.3	1
5	<input type="checkbox"/>	20.08	0.21	1
6	<input type="checkbox"/>	20.5	0.18	1
7	<input type="checkbox"/>	19.52	0.26	1
8	<input type="checkbox"/>	20.26	0.21	1
9	<input type="checkbox"/>	19.7	0.26	1
10	<input type="checkbox"/>	20.3	0.19	1
11	<input type="checkbox"/>	20.92	0.18	1
12	<input type="checkbox"/>	19.82	0.24	1
13	<input type="checkbox"/>	19.5	0.25	1
14	<input type="checkbox"/>	19.84	0.22	1
15	<input type="checkbox"/>	19.78	0.25	1
16	<input type="checkbox"/>	20.4	0.19	1
17	<input type="checkbox"/>	20.34	0.19	1
18	<input type="checkbox"/>	20.08	0.21	1
19	<input type="checkbox"/>	20.34	0.2	1
20	<input type="checkbox"/>	20.14	0.22	1

Buttons: OK, Cancel, Help, AutoEntry X, AutoEntry Y, AutoEntry W, Calculation, Apply New, Save, Graph, Titles, Sort Table, Reverse X,Y, Clear All.

1

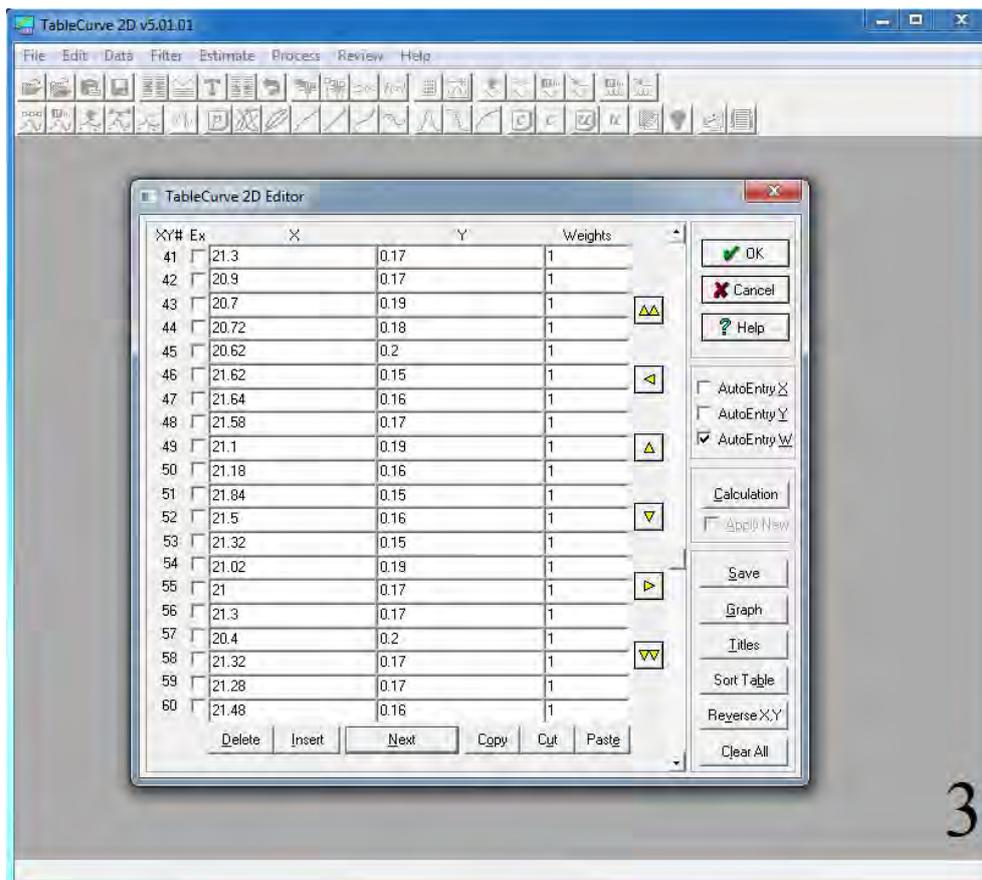
TableCurve 2D Editor

XY#	Ex	X	Y	Weights
21	<input type="checkbox"/>	20.48	0.21	1
22	<input type="checkbox"/>	19.92	0.23	1
23	<input type="checkbox"/>	20.82	0.17	1
24	<input type="checkbox"/>	20.78	0.18	1
25	<input type="checkbox"/>	20.26	0.21	1
26	<input type="checkbox"/>	20.26	0.19	1
27	<input type="checkbox"/>	20.68	0.17	1
28	<input type="checkbox"/>	20.68	0.19	1
29	<input type="checkbox"/>	21.26	0.16	1
30	<input type="checkbox"/>	20.6	0.2	1
31	<input type="checkbox"/>	20.84	0.2	1
32	<input type="checkbox"/>	20.32	0.21	1
33	<input type="checkbox"/>	20.32	0.22	1
34	<input type="checkbox"/>	20.72	0.18	1
35	<input type="checkbox"/>	20.8	0.19	1
36	<input type="checkbox"/>	19.84	0.21	1
37	<input type="checkbox"/>	20.88	0.18	1
38	<input type="checkbox"/>	20.64	0.21	1
39	<input type="checkbox"/>	20.78	0.19	1
40	<input type="checkbox"/>	21.08	0.19	1

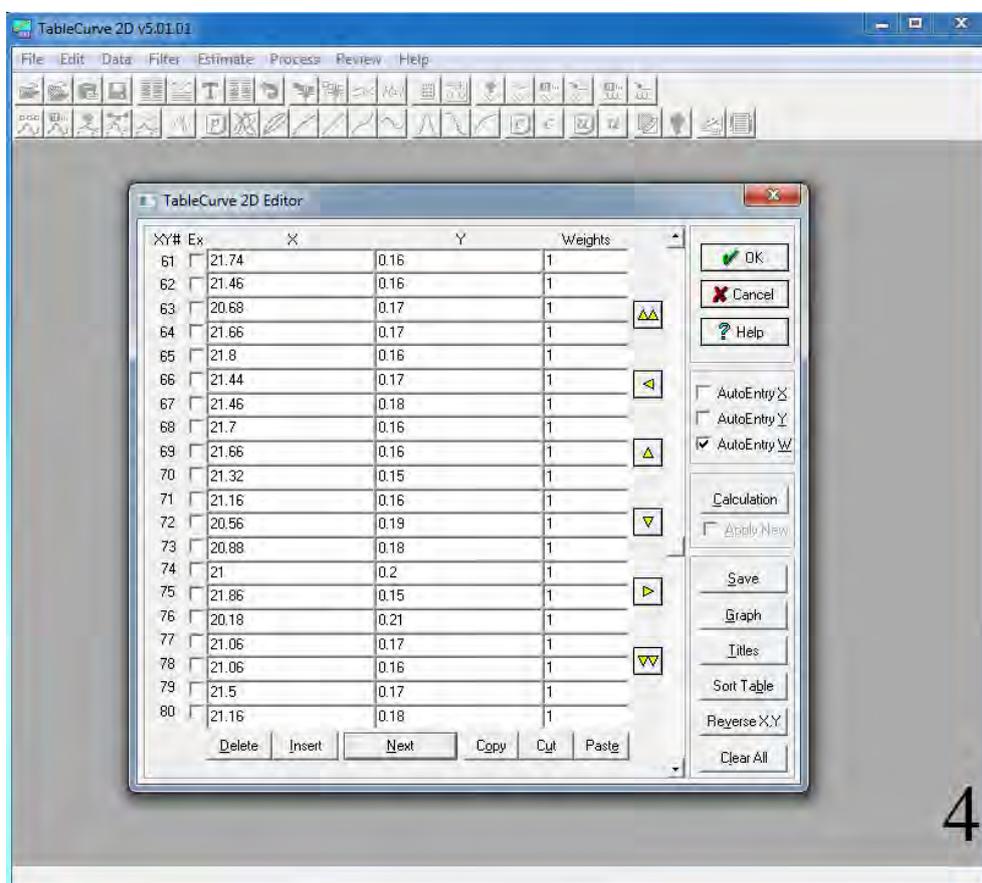
Buttons: OK, Cancel, Help, AutoEntry X, AutoEntry Y, AutoEntry W, Calculation, Apply New, Save, Graph, Titles, Sort Table, Reverse X,Y, Clear All.

2

Продолжение рис.7.

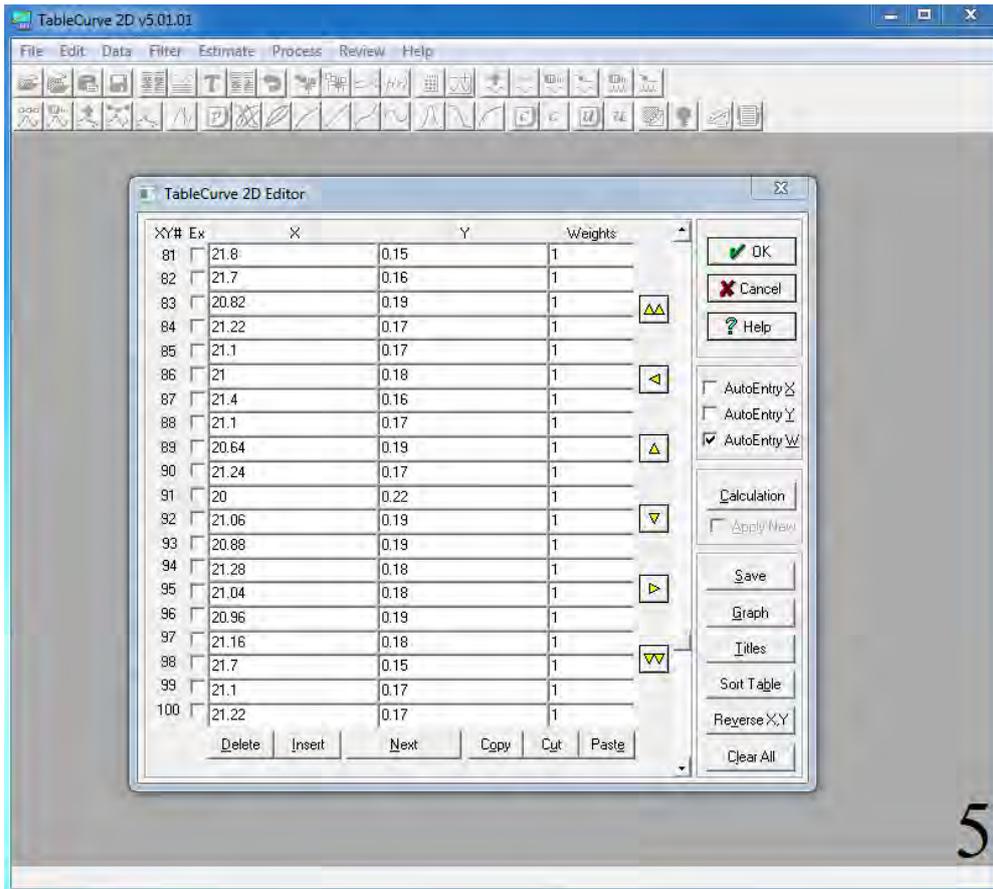


3

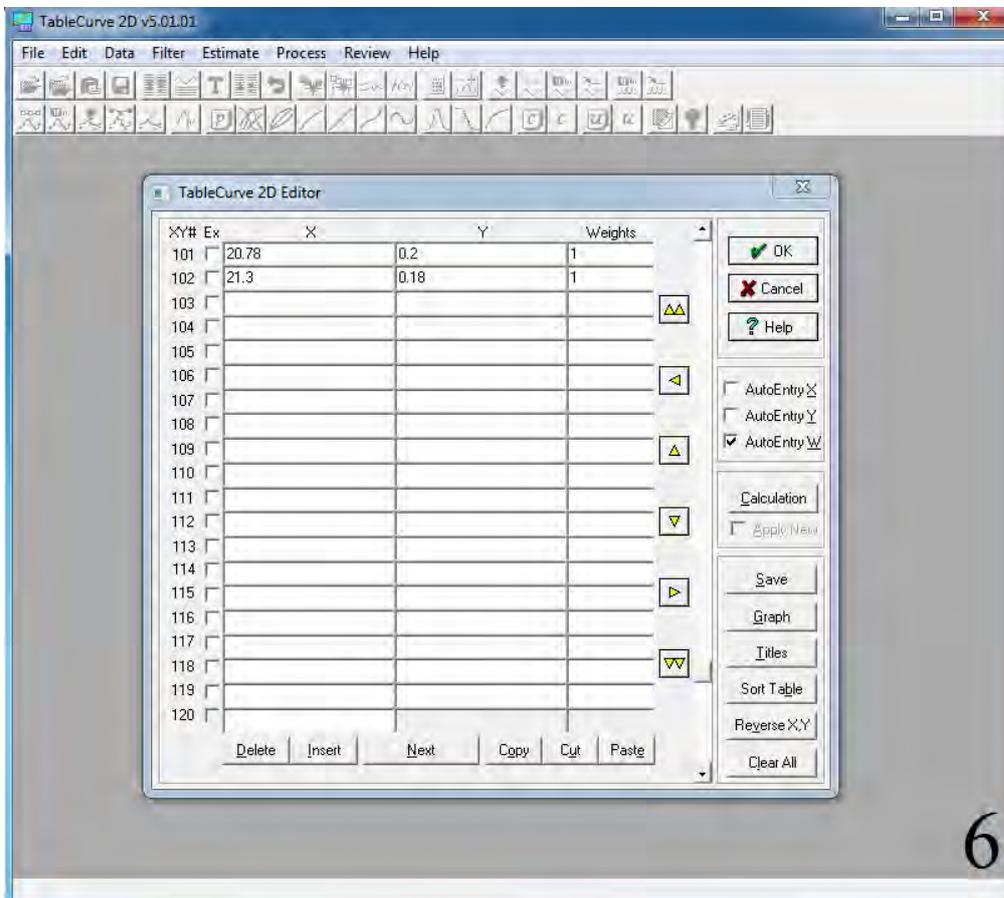


4

Окончание рис.7.

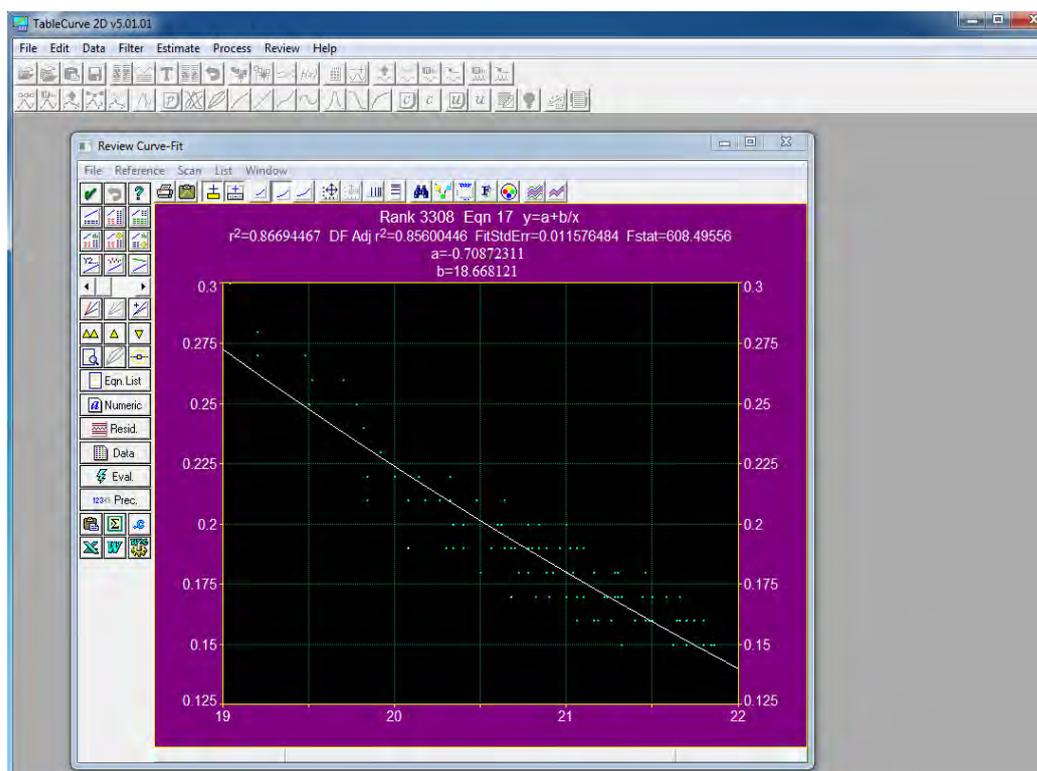


5



6

Рис.8. Гиперболическая зависимость показателей песчаного пятна от электроемкостных показателей по программе *Table Curve 2D*.



Первая стадия.

Данные для асфальтобетона типа – В.

Длина пройденного участка – 1650 метров. Шаг-50м.

Таблица 2.

№	Расст	ПЕСЧАНОЕ ПЯТНО, диаметр, см.				Среднее по пятну	h _{ср} (мм)	Измерения по прибору ВИМС-2.21 (ед)					С (ед)
1	1М	29,5	36,0	33,0	22,5	30,25	0,28	18,9	19,0	18,7	19,7	19,7	19,2
	2М	30,0	37,0	33,0	23,0	30,75	0,27	19,2	19,1	19,0	19,4	19,3	19,2
	3М	30,0	36,5	29,0	28,0	30,875	0,27	19,2	19,7	19,2	19,7	19,6	19,48
2	1М	25,0	31,0	32,5	29,0	29,375	0,30	19,3	18,2	18,8	19,5	19,4	19,04
	2М	28,0	40,0	34,5	36,0	34,625	0,21	20,0	20,4	19,8	20,1	20,1	20,08
	3М	28,0	44,5	42,0	38,0	38,125	0,18	20,3	20,1	20,8	20,7	20,6	20,5
3	1М	23,0	36,0	33,0	33,0	31,25	0,26	20,1	19,8	19,4	19,1	19,2	19,52
	2М	38,0	31,0	37,0	33,0	34,75	0,21	19,7	20,6	20,6	20,0	20,4	20,26
	3М	27,0	33,0	32,0	33,5	31,375	0,26	19,8	20,1	20,0	19,2	19,4	19,7
4	1М	37,0	37,0	37,0	36,0	36,75	0,19	20,6	19,7	20,2	20,6	20,4	20,3
	2М	27,0	44,0	42,0	38,0	37,75	0,18	20,9	20,9	20,8	21,6	20,4	20,92
	3М	25,5	37,0	34,0	35,0	32,875	0,24	19,6	19,8	19,9	19,6	20,2	19,82
5	1М	26,0	35,0	33,0	33,0	31,75	0,25	18,8	19,8	19,8	19,4	19,7	19,5
	2М	32,0	32,0	36,5	35,5	34,0	0,22	20,0	19,7	19,4	20,1	20,0	19,84
	3М	34,0	34,0	26,0	33,0	31,75	0,25	19,5	20,5	19,7	19,9	19,3	19,78
6	1М	28,0	43,0	40,5	35,5	36,75	0,19	20,5	20,4	20,9	19,9	20,3	20,4
	2М	30,0	40,0	39,0	36,0	36,25	0,19	20,9	20,6	20,0	20,1	20,1	20,34
	3М	31,0	36,5	37,0	36,0	35,125	0,21	19,8	19,8	20,1	20,8	19,9	20,08

Продолжение таблицы 2.

7	1М	29,5	38,0	39,0	37,0	35,875	0,20	20,3	20,3	20,6	20,2	20,3	20,34
	2М	32,0	36,0	35,0	34,0	34,25	0,22	20,5	19,9	20,2	19,9	20,2	20,14
	3М	31,0	37,5	36,0	34,0	34,625	0,21	20,8	20,2	20,6	20,4	20,4	20,48
8	1М	29,0	37,0	35,0	33,0	33,5	0,23	20,3	20,0	19,7	19,9	19,7	19,92
	2М	28,0	44,0	40,0	42,0	38,5	0,17	21,0	21,1	20,4	20,8	20,8	20,82
	3М	34,0	40,0	40,0	38,5	38,125	0,18	20,0	22,2	20,9	19,9	20,9	20,78
9	1М	32,0	36,0	36,5	34,0	34,625	0,21	20,4	20,1	20,0	20,1	20,7	20,26
	2М	38,0	37,0	35,5	36,5	36,75	0,19	20,4	20,6	20,8	20,7	21,0	20,7
	3М	29,0	42,0	42,5	42,0	38,875	0,17	20,2	20,9	21,1	20,1	21,1	20,68
10	1М	36,0	40,0	36,0	35,5	36,875	0,19	20,7	20,7	20,8	20,4	20,8	20,68
	2М	30,0	44,0	42,0	42,0	39,5	0,16	21,1	21,8	20,6	21,0	21,8	21,26
	3М	29,5	39,0	38,0	37,5	36,0	0,20	20,2	21,1	21,0	20,2	20,5	20,6
11	1М	30,0	38,0	38,5	37,5	36,0	0,20	21,0	20,6	21,0	20,8	20,8	20,82
	2М	28,0	39,0	35,0	36,5	34,625	0,21	20,2	20,1	20,7	20,4	20,2	20,32
	3М	32,0	36,0	35,0	34,0	34,25	0,22	20,4	20,7	20,2	20,0	20,3	20,32
12	1М	29,0	43,0	41,0	39,0	38,0	0,18	21,2	20,1	20,3	21,7	20,3	20,72
	2М	29,0	41,0	36,0	39,0	36,25	0,19	20,5	20,6	21,2	20,0	21,7	20,8
	3М	31,0	36,5	37,0	34,0	34,625	0,21	19,3	20,1	19,9	20,3	19,6	19,84
13	1М	29,0	43,5	40,0	40,0	38,125	0,18	21,1	20,8	20,8	20,5	21,2	20,88
	2М	28,0	39,0	37,0	35,0	34,75	0,21	20,6	21,2	20,6	20,9	19,9	20,64
	3М	28,0	40,0	43,0	36,0	36,75	0,19	20,7	20,3	20,7	21,4	20,8	20,78
14	1М	37,0	39,0	36,0	35,5	36,875	0,19	20,9	21,3	21,1	21,0	21,1	21,08
	2М	30,0	43,0	43,0	38,0	38,5	0,17	21,3	21,5	21,7	21,0	21,0	21,3
	3М	31,0	44,0	42,5	37,5	38,75	0,17	20,9	21,1	20,8	20,4	21,3	20,9
15	1М	38,0	37,0	36,0	36,0	36,75	0,19	20,7	20,9	20,8	20,5	20,6	20,7
	2М	29,0	43,0	39,0	40,5	37,875	0,18	20,4	20,7	20,8	20,4	21,3	20,72
	3М	29,0	39,5	38,5	37,0	36,0	0,20	20,7	20,3	21,3	20,2	20,6	20,62
16	1М	34,0	42,0	44,0	43,0	40,75	0,15	21,4	21,8	21,7	21,7	21,5	21,62
	2М	29,0	43,0	43,0	43,0	39,5	0,16	21,5	21,4	21,6	21,8	21,9	21,64
	3М	28,0	43,0	42,0	41,0	38,5	0,17	21,9	21,1	21,1	21,9	22,0	21,58
17	1М	38,0	39,0	35,0	35,5	36,875	0,19	21,0	20,4	21,1	21,7	21,0	21,1
	2М	29,5	44,0	42,5	43,0	39,75	0,16	21,2	21,2	21,4	20,9	21,2	21,18
	3М	34,5	43,0	43,0	42,0	40,625	0,15	21,7	22,1	22,2	21,5	21,7	21,84
18	1М	29,0	43,0	42,0	44,0	39,5	0,16	21,0	21,4	21,6	21,6	21,9	21,5
	2М	35,0	43,0	42,5	42,5	40,75	0,15	21,8	20,7	21,2	21,5	21,4	21,32
	3М	28,0	43,0	40,0	36,0	36,75	0,19	21,0	21,1	21,0	21,4	20,6	21,02
19	1М	27,0	43,0	42,0	42,0	38,5	0,17	20,5	20,9	21,2	21,2	21,2	21,0
	2М	26,0	45,0	41,0	42,5	38,625	0,17	21,4	21,5	21,1	21,1	21,4	21,3
	3М	30,0	38,0	39,0	36,5	35,875	0,20	20,8	20,1	20,7	20,6	19,8	20,4
20	1М	29,0	44,0	43,0	38,5	38,75	0,17	21,1	20,8	21,8	21,0	21,9	21,32
	2М	28,0	44,0	42,0	40,0	38,5	0,17	20,6	21,2	21,8	21,4	21,4	21,28
	3М	30,0	43,0	42,5	42,5	39,5	0,16	21,7	21,8	21,5	21,3	21,1	21,48
21	1М	28,0	45,0	43,0	43,0	39,75	0,16	21,8	22,0	21,6	21,6	21,7	21,74
	2М	30,0	44,0	43,0	42,0	39,75	0,16	21,6	21,3	21,6	21,1	21,7	21,46
	3М	29,0	44,0	41,0	41,0	38,75	0,17	20,6	20,7	20,9	20,5	20,7	20,68
22	1М	29,0	46,0	42,0	38,0	38,75	0,17	22,3	21,7	21,4	21,6	21,3	21,66
	2М	29,0	45,0	42,0	42,0	39,5	0,16	22,1	22,1	22,2	21,3	21,3	21,8
	3М	28,5	42,0	43,0	42,0	38,875	0,17	21,2	21,8	22,1	21,2	20,9	21,44

Окончание таблицы 2.

23	1М	28,0	43,0	40,0	38,0	37,25	0,18	21,6	21,2	21,5	21,5	21,5	21,46
	2М	29,0	44,5	41,0	44,0	39,625	0,16	22,0	21,6	21,7	21,4	21,8	21,7
	3М	29,0	46,0	41,0	42,0	39,5	0,16	21,5	21,5	22,2	21,6	21,5	21,66
24	1М	34,0	44,0	42,0	43,0	40,75	0,15	21,2	21,2	21,6	21,5	21,1	21,32
	2М	29,5	45,0	42,0	42,5	39,75	0,16	21,1	21,1	21,5	20,9	21,2	21,16
	3М	29,0	41,0	36,0	39,0	36,25	0,19	20,5	21,1	21,1	20,8	19,3	20,56
25	1М	28,0	42,5	38,0	40,5	37,25	0,18	21,5	20,9	21,2	20,9	19,9	20,88
	2М	32,0	37,0	38,0	37,0	36,0	0,20	20,9	21,2	21,1	21,3	20,5	21,0
	3М	38,0	42,0	42,0	41,0	40,75	0,15	21,7	22,0	22,5	21,8	21,3	21,86
26	1М	29,0	38,0	34,0	38,0	34,75	0,21	20,2	20,4	19,8	20,6	19,9	20,18
	2М	30,0	43,0	39,0	43,0	38,75	0,17	21,0	21,5	19,9	21,1	21,8	21,06
	3М	29,0	44,0	44,0	41,0	39,5	0,16	21,4	21,2	21,1	21,1	20,5	21,06
27	1М	27,0	42,0	43,0	42,0	38,5	0,17	22,0	21,8	21,4	21,7	20,6	21,5
	2М	30,0	40,0	41,0	38,0	37,25	0,18	21,5	21,2	20,8	20,9	21,4	21,16
	3М	36,0	42,0	41,0	44,0	40,75	0,15	22,0	22,3	21,5	21,4	21,8	21,8
28	1М	30,0	44,0	43,0	41,5	39,625	0,16	22,2	22,1	21,4	21,3	21,5	21,7
	2М	29,0	41,0	38,0	39,0	36,75	0,19	20,9	21,2	20,5	20,7	20,8	20,82
	3М	30,5	43,0	44,0	38,0	38,875	0,17	21,2	21,2	21,1	21,3	21,3	21,22
29	1М	29,0	43,0	43,0	40,0	38,75	0,17	21,1	21,1	21,2	21,1	21,0	21,1
	2М	28,0	43,0	41,0	37,0	37,25	0,18	21,5	21,0	21,3	20,3	20,9	21,0
	3М	30,0	43,0	43,0	42,0	39,5	0,16	21,5	21,3	21,2	22,0	21,0	21,4
30	1М	29,0	42,0	41,0	42,0	38,5	0,17	21,2	21,0	21,0	21,2	21,1	21,1
	2М	27,0	41,0	40,0	39,0	36,75	0,19	20,5	20,4	20,8	20,7	20,8	20,64
	3М	29,0	43,0	41,0	41,5	38,625	0,17	22,1	21,3	21,1	21,0	20,7	21,24
31	1М	32,0	33,0	36,0	35,5	34,125	0,22	19,8	19,9	20,1	20,2	20,0	20,0
	2М	30,0	40,0	37,0	38,0	36,25	0,19	21,0	21,2	21,4	20,8	20,9	21,06
	3М	30,0	39,0	39,0	38,0	36,5	0,19	20,9	20,7	21,0	21,2	20,6	20,88
32	1М	29,0	42,0	42,0	39,0	38,0	0,18	21,2	21,2	21,3	21,1	21,6	21,28
	2М	28,0	42,0	41,0	40,0	37,75	0,18	21,1	21,3	21,1	20,9	20,8	21,04
	3М	29,0	40,0	39,0	39,0	36,75	0,19	20,8	21,2	21,5	20,6	20,7	20,96
33	1М	30,0	41,0	40,0	38,0	37,25	0,18	21,5	21,4	20,7	21,0	21,2	21,16
	2М	32,0	43,0	44,5	43,5	40,75	0,15	21,5	21,6	21,8	21,9	21,7	21,7
	3М	30,0	44,0	43,0	38,0	38,75	0,17	21,0	21,1	21,0	21,2	21,2	21,1
34	1М	29,0	42,0	43,0	41,0	38,75	0,17	21,6	21,5	21,0	20,9	21,1	21,22
	2М	29,0	38,0	37,0	39,5	35,875	0,20	20,5	20,8	20,9	20,9	20,8	20,78
	3М	33,0	42,0	39,0	38,5	38,125	0,18	21,1	21,9	21,1	21,2	21,2	21,3

На второй стадии выполняют измерения одним электроемкостным методом с продольным шагом 100 м, результаты которых находят в величинах средних глубин впадин шероховатости по уравнению $h_{cp} = a + b/C$,

где a и b коэффициенты полученные по программе *Table Curve 2D* (рис.8.)

Коэффициенты $a=-0,78087$; $b=18,6681$

Журнал диагностики для всей дороги оформляют в виде таблицы 3, содержащей средние глубины впадин шероховатости с шагом 100 м.

Вторая стадия.

Данные для асфальтобетона типа – В.

Длина пройденного участка – 5600 метров.

Таблица 3.

№	h _{ср}	Измерения по прибору ВИМС-2.21 (ед)					С (ед)
0	0,26	18,9	19	18,7	19,7	19,7	19,2
	0,26	19,2	19,1	19,0	19,4	19,3	19,2
	0,25	19,2	19,7	19,2	19,7	19,6	19,48
1	0,25	20,1	19,8	19,4	19,1	19,2	19,52
	0,21	19,7	20,6	20,6	20,0	20,4	20,26
	0,24	19,8	20,1	20,0	19,2	19,4	19,7
2	0,25	18,8	19,8	19,8	19,4	19,7	19,5
	0,23	20,0	19,7	19,4	20,1	20,0	19,84
	0,24	19,5	20,5	19,7	19,9	19,3	19,78
3	0,21	20,3	20,3	20,6	20,2	20,3	20,34
	0,22	20,5	19,9	20,2	19,9	20,2	20,14
	0,20	20,8	20,2	20,6	20,4	20,4	20,48
4	0,21	20,4	20,1	20,0	20,1	20,7	20,26
	0,19	20,4	20,6	20,8	20,7	21,0	20,7
	0,19	20,2	20,9	21,1	20,1	21,1	20,68
5	0,19	21,0	20,6	21,0	20,8	20,8	20,84
	0,21	20,2	20,1	20,7	20,4	20,2	20,32
	0,21	20,4	20,7	20,2	20,0	20,3	20,32
6	0,19	21,1	20,8	20,8	20,5	21,2	20,88
	0,20	20,6	21,2	20,6	20,9	19,9	20,64
	0,19	20,7	20,3	20,7	21,4	20,8	20,78
7	0,19	20,7	20,9	20,8	20,5	20,6	20,7
	0,19	20,4	20,7	20,8	20,4	21,3	20,72
	0,20	20,7	20,3	21,3	20,2	20,6	20,62
8	0,18	21,0	20,7	21,1	21,7	21,0	21,1
	0,17	21,2	21,2	21,4	20,9	21,2	21,18
	0,15	21,7	22,1	22,2	21,5	21,7	21,84
9	0,18	20,5	20,9	21,2	21,2	21,2	21,0
	0,17	21,4	21,5	21,1	21,1	21,4	21,3
	0,21	20,8	20,1	20,7	20,6	19,8	20,4
10	0,15	21,8	22,0	21,6	21,6	21,7	21,74
	0,16	21,6	21,3	21,6	21,1	21,7	21,46
	0,19	20,6	20,7	20,9	20,5	20,7	20,68
11	0,16	21,6	21,2	21,5	21,5	21,5	21,46
	0,15	22,0	21,6	21,7	21,4	21,8	21,7
	0,15	21,5	21,5	22,2	21,6	21,5	21,66
12	0,19	21,5	20,9	21,2	20,9	19,9	20,88
	0,18	20,9	21,2	21,1	21,3	20,5	21,0
	0,15	21,7	22,0	22,5	21,8	21,3	21,86
13	0,16	22,0	21,8	21,4	21,7	20,6	21,5
	0,17	21,5	21,2	20,8	20,9	21,4	21,16
	0,15	22,0	22,3	21,5	21,4	21,8	21,8

Продолжение таблицы 3.

14	0,18	21,1	21,1	21,2	21,1	21,0	21,1
	0,18	21,5	21,0	21,3	20,3	20,9	21,0
	0,16	21,5	21,3	21,2	22,0	21,0	21,4
15	0,22	19,8	19,9	20,1	20,2	20,0	20,0
	0,18	21,0	21,2	21,4	20,8	20,9	21,06
	0,19	20,9	20,7	21,0	21,2	20,6	20,88
16	0,17	21,5	21,4	20,7	21,0	21,2	21,16
	0,15	21,5	21,6	21,8	21,9	21,7	21,7
	0,18	21,0	21,1	21,0	21,2	21,2	21,1
17	0,21	19,8	20,8	20,3	20,1	20,6	20,32
	0,22	20,4	20,1	20,1	20,2	20,1	20,18
	0,23	20,3	19,4	19,9	19,7	19,6	19,78
18	0,17	21,0	21,0	21,4	21,9	20,4	21,44
	0,19	20,8	20,6	20,9	20,7	20,7	20,74
	0,21	19,7	20,7	19,7	20,4	20,8	20,26
19	0,18	20,8	20,9	21,3	21,3	20,7	21,0
	0,15	22,3	21,6	21,2	22,0	21,6	21,47
	0,17	21,5	20,7	21,4	20,8	22,0	21,28
20	0,15	21,7	21,4	22,0	22,2	21,0	21,66
	0,16	21,4	22,2	21,5	21,0	21,3	21,48
	0,17	21,6	21,6	21,1	21,5	20,9	21,34
21	0,19	21,9	20,2	21,3	21,1	19,1	20,72
	0,17	21,4	22,1	21,6	20,2	21,3	21,32
	0,21	20,8	20,5	19,7	21,7	19,3	20,4
22	0,16	21,1	21,6	21,7	21,7	20,7	21,36
	0,17	21,6	21,1	20,8	21,5	21,0	21,2
	0,20	21,1	21,1	20,7	20,1	20,1	20,62
23	0,18	21,3	20,6	21,6	21,2	21,1	21,16
	0,17	21,1	21,4	21,1	21,3	21,6	21,3
	0,22	21,2	20,2	19,7	19,9	19,3	20,06
24	0,18	21,6	20,8	21,7	21,6	20,6	21,04
	0,18	21,3	21,2	21,2	21,3	19,6	20,92
	0,21	20,9	20,3	20,1	20,3	20,0	20,32
25	0,19	20,9	20,6	20,9	21,1	20,5	20,8
	0,17	21,9	21,3	21,0	21,6	20,2	21,2
	0,18	21,6	21,6	19,1	20,2	21,9	20,88
26	0,15	21,6	21,7	21,8	21,8	21,9	21,76
	0,17	21,0	21,9	21,4	21,2	20,5	21,2
	0,17	21,5	21,5	21,2	21,8	20,6	21,32
27	0,18	20,6	21,5	21,4	21,4	20,5	21,08
	0,21	20,5	20,1	20,7	20,9	19,8	20,4
	0,19	20,8	21,0	21,0	21,2	20,2	20,84
28	0,20	20,6	20,7	19,9	20,7	20,5	20,48
	0,23	19,6	19,3	20,6	19,4	20,0	19,78
	0,24	20,1	19,6	18,9	19,9	20,2	19,74
29	0,16	21,9	21,9	21,9	21,6	20,5	21,56
	0,17	21,8	21,8	21,5	20,4	20,6	21,22
	0,20	20,8	19,4	20,5	21,2	20,2	20,62

Продолжение таблицы 3.

30	0,16	21,9	21,9	21,0	21,5	21,0	21,46
	0,19	21,0	21,0	20,6	21,0	20,0	20,72
	0,20	19,8	20,6	19,8	20,8	21,6	20,52
31	0,18	21,7	19,8	21,3	21,4	20,9	21,02
	0,19	20,3	21,5	21,7	20,0	20,0	20,7
	0,18	20,2	21,4	21,4	21,4	20,4	20,96
32	0,20	20,1	20,3	20,7	21,0	21,0	20,62
	0,17	21,6	21,5	21,1	21,0	21,0	21,24
	0,19	21,1	21,6	19,9	20,5	20,9	20,8
33	0,23	19,0	19,9	18,9	19,9	21,1	19,76
	0,21	19,6	20,4	20,7	20,8	21,1	19,76
	0,18	20,4	20,9	21,5	20,5	21,3	20,92
34	0,16	21,7	22,0	21,3	21,9	21,0	21,58
	0,16	21,9	21,9	21,2	20,5	21,7	21,44
	0,17	21,6	21,7	20,9	21,0	21,5	21,34
35	0,17	21,4	21,0	21,2	21,6	21,2	21,28
	0,17	21,2	21,1	20,9	21,5	21,2	21,18
	0,18	21,1	20,5	21,8	21,1	20,7	21,04
36	0,22	21,0	19,7	20,8	19,3	19,7	20,1
	0,24	20,0	20,7	19,4	19,7	18,8	19,72
	0,21	19,9	20,2	20,4	20,3	20,7	20,3
37	0,22	20,4	20,0	19,4	20,4	20,5	20,14
	0,20	20,9	20,4	20,8	20,2	20,9	20,64
	0,19	21,7	21,1	20,2	20,0	20,5	20,7
38	0,21	20,5	20,2	20,7	20,1	20,1	20,32
	0,17	21,8	20,2	21,0	21,0	21,9	21,18
	0,16	21,8	21,6	21,1	21,7	21,2	21,48
39	0,16	21,9	21,4	21,4	21,4	21,3	21,48
	0,17	21,6	21,1	20,9	21,1	21,7	21,28
	0,19	20,9	20,2	20,6	20,8	21,1	20,72
40	0,20	20,5	20,8	20,0	20,8	20,5	20,52
	0,17	21,7	21,5	21,8	21,6	19,8	21,28
	0,16	21,1	21,5	21,9	21,5	21,1	21,42
41	0,15	21,6	21,9	22,0	21,3	21,8	21,72
	0,16	21,4	21,6	21,0	21,5	21,3	21,36
	0,20	20,6	20,1	20,9	20,1	20,8	20,5
42	0,18	21,9	21,1	21,1	20,6	20,4	21,02
	0,20	21,1	20,2	20,1	20,2	20,9	20,5
	0,22	20,7	20,8	20,8	19,9	19,0	20,24
43	0,22	20,6	18,9	20,2	20,1	20,2	20,0
	0,18	21,8	21,0	21,2	21,2	20,2	21,08
	0,18	21,7	21,8	20,0	20,5	20,3	20,86
44	0,22	20,5	19,4	19,6	20,7	19,8	20,0
	0,16	21,5	21,9	21,9	21,7	20,6	21,5
	0,24	18,5	21,1	20,3	18,4	20,2	19,7
45	0,24	19,5	17,9	19,5	19,9	21,1	19,58
	0,17	20,8	21,6	21,3	21,2	21,3	21,24
	0,17	21,7	21,8	20,7	20,9	21,4	21,3

Окончание таблицы 3.

46	0,19	20,4	20,3	21,0	21,1	20,5	20,66
	0,16	21,9	21,8	21,6	21,6	20,7	20,52
	0,19	21,3	20,6	20,5	20,8	20,2	20,68
47	0,17	21,1	21,1	20,3	21,6	21,6	21,34
	0,15	21,6	21,9	21,7	21,9	21,6	21,74
	0,18	21,2	20,0	21,3	20,3	21,9	20,94
48	0,18	21,7	21,0	21,1	20,6	20,2	20,92
	0,15	21,7	21,8	21,8	21,9	21,4	21,72
	0,18	21,6	20,3	20,7	20,9	20,9	20,88
49	0,18	20,6	20,4	20,4	21,9	21,8	21,02
	0,22	20,0	19,9	19,9	20,1	20,0	19,98
	0,22	19,8	20,1	20,4	20,6	19,7	20,12
50	0,19	20,7	20,5	21,0	21,2	20,8	20,84
	0,21	20,4	20,4	20,7	20,5	20,1	20,42
	0,22	19,8	20,8	20,1	20,2	19,9	20,16
51	0,20	20,6	20,8	20,1	20,7	20,1	20,46
	0,18	21,0	21,2	21,1	20,5	20,8	20,92
	0,18	21,0	21,0	21,1	20,9	21,6	21,12
52	0,16	21,5	21,4	21,4	21,8	21,1	21,44
	0,21	20,7	20,1	20,3	20,2	20,3	20,32
	0,20	20,2	20,3	20,8	20,6	20,5	20,48
53	0,16	20,7	20,6	20,5	20,1	20,9	20,56
	0,18	20,1	21,8	20,9	21,0	21,0	20,96
	0,18	20,3	20,8	20,6	21,0	21,7	20,88
54	0,21	20,5	20,4	20,1	20,1	20,3	20,28
	0,21	20,8	19,9	20,7	19,9	20,0	20,26
	0,17	21,2	21,1	21,0	21,7	20,8	21,16
55	0,16	21,1	21,6	21,5	21,4	21,9	21,5
	0,16	21,8	21,5	21,5	21,3	20,9	21,4
	0,18	20,7	20,8	21,5	21,3	20,9	21,04
56	0,17	20,8	20,9	21,5	21,4	21,7	21,26
	0,16	21,7	21,8	21,9	20,9	21,0	21,46
	0,17	21,8	21,5	21,1	21,0	21,3	21,34

Для всех типов асфальтобетона определены уравнения взаимосвязи между результатами измерений шероховатости методом песчаного пятна (h_{cp}) и электроемкостным методом (C) по программе *Table Curve 2D*.

По диагностируемой дороге (*тип В*) протяженностью 5600 м задействовано 1650 м для парных измерений и $5600-1650 = 3950$ м косвенных автоматических мгновенных измерений, по которым с помощью уравнения определяют среднее значение ряда (H_{cp}), среднее квадратическое отклонение (σ) и коэффициент вариации (K_e), характеризующий однородность измеряемого параметра через 2 года эксплуатации покрытия.

$$H_{cp} = \sum_{i=1}^n h_i / n ; \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - H_{cp})^2}{n - 1}} ; \quad K_g = \sigma / H_{cp}, \quad (2.1)$$

где H_{cp} - среднее значение ряда;

n – число измерений;

σ – среднее квадратическое отклонение

K_g - коэффициент вариации

H_i – средняя глубина впадин шероховатости

Для типа *B* асфальтобетона (1650 метров):

По данным песчаного пятна (таблица 1.); $H_{cp} = 0,188$ мм

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - H_{cp})^2}{n - 1}} = 0,031 ; \quad K_g^n = \sigma / H_{cp} = 0,031 / 0,188 = 0,165.$$

По данным прибора ВИМС-2.21 (таблица 1.); $C_{cp} = 20,83$ ед

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - C_{cp})^2}{n - 1}} = 0,647 ; \quad K_g^c = \sigma / C_{cp} = 0,647 / 20,83 = 0,031$$

Для типа *B* асфальтобетона (5600 метров):

По данным песчаного пятна (таблица 2.); $H_{cp} = 0,188$ мм

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - H_{cp})^2}{n - 1}} = 0,0259 ; \quad K_g^n = \sigma / H_{cp} = 0,0259 / 0,188 = 0,138.$$

По данным прибора ВИМС-2.21 (таблица 2.); $C_{cp} = 20,8236$ ед

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - C_{cp})^2}{n - 1}} = 0,594 ; \quad K_g^c = \sigma / C_{cp} = 0,594 / 20,8236 = 0,029$$

В процессе эксплуатации асфальтобетонного покрытия наблюдается повышение однородности шероховатости покрытия. В данном примере через 3 года эксплуатации показатель K_g^n уменьшился с 0,165 до 0,138 за счет износа. Для асфальтобетона типа *B* при увеличении срока эксплуатации с 5

до 6 лет коэффициент вариации снизился с 0,087 до 0,078; для типа ЩМА-20 при увеличении срока эксплуатации с 2 до 3 лет коэффициент вариации уменьшился с 0,130 до 0,107.

Показатель H_{cp} снижается во время эксплуатации в меньшей мере, чем K_g . Сопоставление показателей средней глубины впадин покрытий, обследованных в Волгоградской области, с нормированными параметрами шероховатости позволяет отнести покрытие из асфальтобетона типа *B* к гладким шероховатым покрытиям. При этом для легких условий движения минимально допустимые в течение всего срока службы величины средней глубины впадин шероховатости должны быть не менее 0,30 – 0,35 мм. Фактически измеренный показатель шероховатости по уравнению у асфальтобетона типа *B* через 2 и 3 года эксплуатации равен 0,19 мм. Следовательно, обследованное покрытие дороги Березовская – Деминский – Ярыженский протяженностью 5,6 км нуждается в поверхностной обработке или других известных способах увеличения шероховатости.

Быстрый контроль стабильности технологического процесса строительства асфальтобетонного покрытия можно осуществлять на основе построения контрольных карт «среднее – размах» [17] по результатам измерений средних глубин впадин шероховатости и размахов в виде разности между максимальной и минимальной величинами шероховатости с определенным продольным шагом на расстояниях 1,2,3 м от кромки покрытия.

Продольный шаг на первой стадии контроля для определения уравнения математической взаимосвязи между показателями песчаного пятна и емкости принимают равным 50 м. Определив уравнение, переходят к шагу измерений, равному длине фактической сменной захватки, но не менее 100 м. Для построения карты среднего наносят горизонтальную центральную линию, верхний и нижний контрольные пределы; для карты размаха – центральную линию и верхний контрольный предел.

\bar{h}_{cp} - карта.

Центральная линия:

$$ЦЛ = \bar{h} \quad (2.2)$$

Верхний контрольный предел:

$$ВКП = \bar{h} + A_2 \cdot \bar{R} \quad (2.3)$$

Нижний контрольный предел:

$$НКП = \bar{h} - A_2 \cdot \bar{R} \quad (2.4)$$

R – карта.

Центральная линия:

$$ЦЛ = \bar{R} \quad (2.5)$$

Верхний контрольный предел:

$$ВКП = D_4 \cdot \bar{R} \quad (2.6)$$

Нижний контрольный предел:

$$НКП = D_3 \cdot \bar{R} \quad (2.7)$$

Нижний предел не рассматривается, когда n меньше 6.

\bar{h} - общее среднее значение шероховатости для подгрупп, \bar{R} - средний размах для подгруппы.

Константы A_2 , D_4 и D_3 - коэффициенты, определяемые объемом подгрупп (n). Эти коэффициенты приведены в таблице 4.

Перечень коэффициентов для (\bar{h}_{cp} - R) – карты (таблица 4).

Таблица 4

Объем подгруппы, n	\bar{h}_{cp} - карта	R – карта		
	A_2	D_3	D_4	d_2
2	1,880	-	3,267	1,128
3	1,023	-	2,575	1,693
4	0,729	-	2,282	2,059
5	0,577	-	2,115	2,326
6	0,483	-	2,004	2,534

Представлены контрольные карты для типа «В» асфальтобетона по 1, 2, 3 метрам от кромки проезжей части:

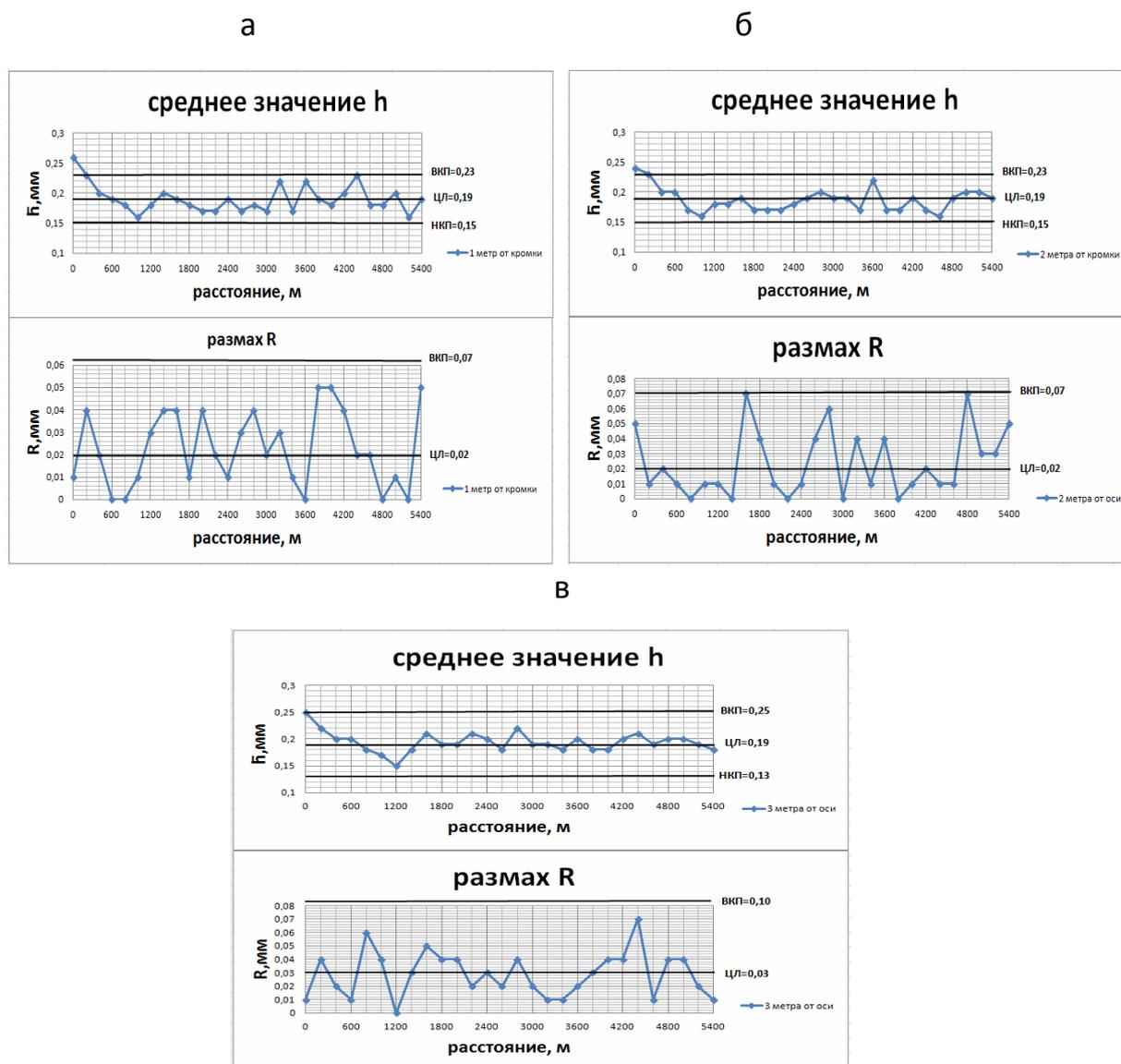


Рис. 9. - Контрольные карты ($\bar{h}_{cp} - R$).

а – на одном метре от кромки, б – на двух метрах от кромки, в – на трех метрах от кромки.

Фактические измеренные величины среднего и размаха представлены в виде точек, образующих ломаную линию. На покрытии из асфальтобетона типа В наблюдалось в одном месте малое отклонение средней глубины впадин в начале участка от 0 до 200 м на расстоянии от кромки 1 и 2 м. Размах шероховатости при этом остался в пределах допуска. Причинами

отклонения можно предположить наладку технологии и не достаточное уплотнение асфальтобетона. По условию обеспечения безопасности движения весь обследованный участок 5,6 км из асфальтобетона типа *B* нуждается в повышении шероховатости, поскольку через 2 года эксплуатации дороги произошел износ с полировкой весьма мало прочного известнякового материала на поверхности асфальтобетонного покрытия, средняя глубина впадин на котором 0,19 мм значительно меньше величин 0,30 – 0,35 мм, установленных для легких условий движения.

Практически точки на контрольных картах «среднее – размах» не должны выходить за контрольные пределы. Если нарушается контролируемое состояние, наблюдаются выходы за пределы, то в этих, быстро обнаруженных электроемкостным прибором местах, анализируют возможные причины отклонений и своевременно устраняют случайные нарушения во время строительства. На основе исследований установлены некоторые причины нарушений за счет: снижения нормируемой однородности прочности асфальтобетона, установленной для различных марок асфальтобетона; отклонения по содержанию щебня; сегрегация асфальтобетонной смеси на месте укладки. Таким образом, быстрая оперативность контроля качества электроемкостным прибором позволяет своевременно, в нужном направлении корректировать технологию строительства покрытия.

На стадии эксплуатации покрытия в продольных створах, находящихся на расстоянии 1, 2, 3 метров от кромки, построенные полигоны распределения частот попадания определенных средних глубин впадин дают представления об изменении шероховатости в поперечном направлении. В данном примере для асфальтобетона типа *B* наблюдается максимальная частота средней глубины впадин 0,165 мм (рис.10), подтверждающая необходимость повышения шероховатости на покрытии.

Оптимальную величину интервалов распределения на полигоне определили по формуле:

$$h = \frac{h_{cp}^{\max} - h_{cp}^{\min}}{1 + 3,2 \cdot \lg n} \quad (2.8)$$

где h_{cp}^{\max} , h_{cp}^{\min} - максимальное и минимальное значение средней глубины шероховатости, n – общее число измерений.



Рис.10. - Полигон распределения показателей шероховатости построенный для типа В асфальтобетона на расстояниях 1, 2 и 3 метра от кромки покрытия.

Дорога IV технической категории с покрытием из асфальтобетона типа Г с применением гранитного отсева обеспечивает преобладающую шероховатость на уровне 0,82 мм и не менее 0,72 мм. Эти данные показывают применимость такого асфальтобетонного покрытия для легких, затрудненных и опасных участков движения по дороге. На обследованной дороге протяженностью 5,6 км (асфальтобетон типа Г) зарегистрировано превышение размаха шероховатости на расстоянии 0,4 км от нулевого километра. В целом покрытие эксплуатируется 6 лет, сохранив достаточно высокую шероховатость за счет высоко прочного абразивного гранитного материала в составе асфальтобетона.

Обследовано покрытие из щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА-20) дороги третьей технической категории протяженностью 5 км. Принят для всего покрытия постоянный подобранный в лаборатории состав асфальтобетона. На первой стадии через 2 года эксплуатации покрытия

выполнены парные измерения шероховатости методом песчаного пятна и электроемкостным прибором ВИМС-2.21 на участке 1500 м с продольным шагом 50 м на расстоянии от кромки 1,2,3 м. Определено корреляционно-регрессионное уравнение гиперболической взаимосвязи между показателями шероховатости и электроемкости. Через 3 года эксплуатации проведены только электроемкостные измерения на покрытии с продольным шагом 100 м. Затем на основе уравнения рассчитаны величины средних глубин впадин шероховатости и определены коэффициенты вариации шероховатости. Средняя глубина впадин через 2 года эксплуатации равна 1,03 мм, коэффициент вариации 0,130; через 3 года соответственно – 1,01 мм и 0,107.

Контрольные карты «среднее-размах» не имеют выходов за пределы допусков. Полигон распределения средних глубин впадин шероховатости характеризуется максимальной частотой шероховатости от 0,90 до 1,07 мм. Минимальные частоты шероховатости от 0,85 до 1,25 мм.

Из всех обследованных дорожных покрытий лучшими по состоянию параметров шероховатости, представленным средней глубиной впадин и коэффициентом вариации, являются покрытия из асфальтобетонов типов *Б*, *Г*, *ЩМА*. Снижение коэффициента вариации в основном происходит за счет соблюдения стабильного состава асфальтобетона и технологических регламентов при строительстве покрытия. Влияние износа на снижение коэффициента вариации наблюдается в значительно меньшей мере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры, характеристики и обозначения / Госстандарт СССР. Взамен ГОСТ 2789-59 ; введ. 01.01.75. М. : Изд-во стандартов, 1980. 10 с.
2. ГОСТ 2.309-73. Обозначение шероховатости поверхности. Взамен ГОСТ 2.309-68. Издание (апрель 2000 г.) с изменениями №1,2 утвержденными в июне 1980 г., август 1984 г. 7 с.
3. ГОСТ 25142-82. Шероховатость поверхности. Термины и определения / Госстандарт СССР от 18 февраля 1982 г. 22 с.
4. Операционный контроль качества земляного полотна и дорожных одежд / под ред. А. Я. Тулаева. М. : Транспорт, 1985. С. 205-208.
5. СНиП 3.06.03-85. Автомобильные дороги. Взамен СНиП III-40-78 ; введ. 01.01.86. М. : Госстрой СССР, 1986. 112 с.
6. Пат. 2275450 Рос. Федерация. Способ контроля шероховатости поверхности дорожного покрытия. № 2004128502/03 ; заявл. 27.09.04 ; опубл. 27.04.06.
7. Пат. 2370589 РФ №. Рос. Федерация. Способ контроля шероховатости поверхности дорожного покрытия. № 2007143727 ; заявл. 26.11.07 ; опубл. 20.10.09.
8. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т. 3. Электричество. М. : Наука, 1977. 687 с.
9. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т. III. Электричество. 4-е изд., стер. М. : Изд-во МФТИ, 2004. 656 с.
10. Теория диэлектриков / Н. П. Богородицкий [и др.]. М. : Энергия, 1965 344 с.
11. Стадник А. Ю. Електроємкостні вимірювання шероховатості і щільності дорожніх асфальтобетонних покриттів // XIV Регіональна конференція молодих дослідників Волгоградської області, Волгоград, 10-13 нояб. 2009 г. : напівлення № 16 "Архітектура, стр-во і екол. проблеми" : тез. докл. Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2011. С. 11-15.

12. Измеритель влажности ВИМС-2.21. Руководство по эксплуатации. 31 с.
13. Стадник А. Ю. Косвенные измерения показателей средней глубины шероховатости асфальтобетонных дорожных покрытий // Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли Юга России : материалы V науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, 11-13 мая 2011 г., Волгоград. Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2011. С. 55-58
14. Романов С. И., Стадник А. Ю. Обоснование применения электроемкостного экспресс-метода для определения шероховатости асфальтобетонных дорожных покрытий // Вестн. ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архитектура. 2011. Вып. 21 (40). С. 47-51.
15. Романов С. И., Стадник А. Ю. Показатели шероховатости асфальтобетонных дорожных покрытий // Строит. материалы. 2010. № 10. С. 30-31.
16. ГОСТ 9128-2009. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Принят Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС) 10 декабря 1997 г. 27 с.
17. Статистические методы повышения качества : пер. с англ. / под ред. Х. Кумэ. М. : Финансы и статистика, 1990. 304 с. : ил.

Подписано в свет 20.05.2013
Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 2,4. Объем данных 1,82 Мбайт

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
<http://www.vgasu.ru>, info@vgasu.ru