

УДК 625. 855.3

С. И. Романов, А. Ю. Стадник

**УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОЕМКОСТНЫЙ МЕТОД И КОМПАКТНЫЙ ПРИБОР
ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПЛОТНОСТИ И ШЕРОХОВАТОСТИ
АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Показана целесообразность выполнения быстрой диагностики плотности и шероховатости асфальтобетонных покрытий на основе использования косвенных электроемкостных измерений, результаты которых закономерно связаны с результатами традиционных длительных, трудоемких прямых измерений.

К л ю ч е в ы е с л о в а: асфальтобетон, плотность, шероховатость, электроемкость.

The authors prove the reasonability of rapid diagnostic of density and roughness of asphalt concrete pavings based on the use of indirect electric capacitive measurements the result of which are connected with the results of traditional long lasting direct measurements.

К e y w o r d s: asphalt concrete, density, roughness, electric capacity.

Достоверный контроль качества автомобильных дорог в процессах строительства и эксплуатации основан на результатах многочисленных измерений основных контролируемых показателей с учетом правил математической статистики, поскольку площади дорог исчисляются миллионами квадратных метров. В других отраслях строительства контролируемые площади значительно меньше и требуемая достоверность оценки качества выполняемых работ обоснована значительно меньшим числом измеренных и статистически обоснованных показателей.

Большое число измерений основных контролируемых параметров во время строительства дорог приводит к весьма значительным затратам труда и времени, поэтому целесообразна разработка и применение экспресс-методов или автоматического контроля для своевременного соблюдения регламентов технологических операций, качественной оценки выполненных работ во время приемки построенных дорог в эксплуатацию. Необходимость статистического контроля качества в дорожной отрасли отмечена профессором А. Я. Тулаевым и другими многочисленными специалистами-дорожниками [1—4].

Срок службы автомобильных дорог существенно зависит от фактора однородности основных показателей качества, определяемого по результатам статистического контроля. За счет высокой однородности главных параметров качества данной дороги обеспечивается значительное повышение ее надежности и безопасности движения во время эксплуатации. Анализ показателя однородности прочностной характеристики асфальтобетона при его нормировании для массовой продукции на асфальтобетонных заводах [5] следует дополнить оценкой однородности непосредственно в дорожном покрытии, так как колебания технологических условий строительства и климатического фактора неизбежно будут влиять на показатели однородности состава материала, коэффициента уплотнения, шероховатости дорожного покрытия.

Главная задача операционного технологического контроля качества заключается в оптимизации технологии строительства, разработке и реализации мероприятий по устранению и предупреждению выявленных дефектов,

минимизации изменчивости показателей качества на стадиях текущего и приемочного контроля с оценкой качества построенной дороги, прогнозированием ее гарантийного срока службы.

Научные и организационные основы метрологического обеспечения строительства предусматривают использование приборов и лабораторного оборудования, соответствующих установленным стандартным требованиям точности и достоверности измеренных величин. Следует отдавать предпочтение универсальным, компактным средствам измерений, характеризующимся быстроедействием и минимальными трудовыми затратами для получения конечных показателей качества продукции. Особое значение имеют неразрушающие косвенные методы измерений, обладающие вышеотмеченными свойствами и высокой корреляцией, сильной связью с результатами прямых трудоемких и длительных измерений.

Электрофизические свойства материалов и конструкций отличаются быстротой измерений, тесно связаны с составом, плотностью, прочностными показателями, которые необходимо контролировать в соответствии с требованиями материаловедения. Обычно определяют графическую взаимосвязь или находят уравнение регрессии между результатами быстроизмеряемых электрофизических показателей и показателями регламентированных свойств материалов. В случаях сильной корреляционной связи показателей на основе статистически достаточного количества точек на графике, обеспечивающих требуемую достоверность взаимосвязи, график используют в качестве тарировочной зависимости интересующего свойства материала от его электрофизического показателя.

Применение электрофизических измерений целесообразно при необходимости многочисленных измерений, число которых больше, чем потребовалось для построения тарировочной зависимости. Это условие соответствует статистически обоснованным требованиям большого числа измерений для оценки качества на больших площадях строящихся и эксплуатируемых автомобильных дорог. Например, для 50 км дорожного покрытия необходимо выполнить не менее 500 измерений показателей коэффициента уплотнения, пористости и столько же измерений шероховатости, при этом каждое прямое измерение выполняется отдельным высокотратным методом [2].

Данная работа посвящена теоретическому обоснованию и практическому использованию универсального компактного прибора, предназначенного для косвенных мгновенных измерений влажности материалов, пористости их в сухом состоянии, коэффициентов уплотнения, шероховатости асфальтобетонных покрытий. Прибор выпускается серийно только для измерений влажности строительных материалов в соответствии с паспортными данными.

В результате теоретических предпосылок и экспериментальных исследований в данной работе показана возможность и целесообразность расширения функционального назначения прибора, заключающаяся в измерениях электроемкостных показателей, корреляционно связанных с показателями пористости минеральных материалов, составом, шероховатостью, коэффициентом уплотнения запроектированного асфальтобетонного дорожного покрытия. Для строительства дороги обычно предусматривают определенный постоянный состав асфальтобетона выбранного типа с применением конкретных составляющих материалов. При изменении этого условия следует

определять новые корреляционные параметры взаимосвязи между электроемкостными показателями и вышеотмеченными свойствами дорожного покрытия. Состав асфальтобетона дорожного покрытия предопределяет его свойства, в то же время от него зависят и электроемкостные показатели. Этот тезис положен в основу экспериментальной работы по быстрому определению состава или шероховатости асфальтобетонного покрытия.

В любом случае методология измерений предусматривает построение и анализ графической взаимосвязи между показателями очень быстрых электроемкостных измерений на поверхности дорожного покрытия от датчика прибора и результатами прямых трудоемких измерений определенных показателей качества асфальтобетонного покрытия в тех местах, где выполнены электроемкостные измерения. Таким способом достигается решение задачи охвата достоверным статистическим контролем показателей качества для большой площади асфальтобетонных покрытий на основе предварительно выполненной калибровки $d = f(C)$, т. е. зависимости показателя шероховатости d от электроемкостного показателя C .

Конструкция и размеры электроемкостного датчика должны быть постоянными, экранированными, независимыми от окружающей среды за пределами эффективной зоны электрического поля. Установку на ноль или на минимальное показание электроемкостного прибора выполняют при достаточном отдалении датчика от объекта будущих электроемкостных измерений для нормальных воспроизведений показателей.

Электроемкостный принцип определения влажности строительных материалов положен в основу экспресс-метода для ускоренных анализов с помощью прибора ВИМС-2.21, выпускаемого Челябинским предприятием «Интерприбор» только для измерений влажности. Этот прибор, отличающийся быстроедействием неразрушающего косвенного контроля влажности, градуирован в показателях влажности отдельно для различных материалов с достаточной точностью, в связи с тем что диэлектрическая проницаемость воды значительно больше показателей диэлектрической проницаемости используемых в строительстве материалов. Малая масса (0,4 кг) и малые габариты делают прибор компактным.

Горячие асфальтобетонные смеси не содержат влаги, и компоненты смесей характеризуются различными величинами диэлектрической проницаемости, поэтому имеются предпосылки для использования электроемкостного метода оценки плотности и шероховатости асфальтобетонных покрытий прибором ВИМС-2.21 (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид электроемкостного прибора ВИМС-2.21

Величина электроемкости C датчика прибора функционально связана с диэлектрической проницаемостью среды ϵ , контактирующей с датчиком, т. е. $C = f(\epsilon)$. Нами установлена универсальность косвенных измерений электроемкостным прибором весьма важных в дорожной отрасли показателей плотности, состава, шероховатости асфальтобетонных дорожных покрытий, устраиваемых из горячих смесей при температурах выше 100°C , потенциально находящихся в сухом состоянии. Исходя из известных величин диэлектрических проницаемостей компонентов асфальтобетона (воздуха — 1,0; битума — 2,5; минеральных материалов — 6,5), можно, пренебрегая контактной поляризацией между компонентами, найти диэлектрическую проницаемость ϵ сформировавшегося асфальтобетонного дорожного покрытия:

$$\epsilon = 1,0V_{\text{в}} + 2,5V_{\text{б}} + 6,5V_{\text{м}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{в}}$, $V_{\text{б}}$, $V_{\text{м}}$ — удельные объемы, занимаемые воздухом, битумом, минеральным материалом в асфальтобетонном покрытии с учетом зоны эффективной глубины проникновения электрического поля от электроемкостного датчика соответственно.

Увеличение расстояния между разноименными обкладками конденсатора-датчика способствует увеличению эффективной глубины проникновения поля, а также толщины слоя контролируемой плотности дорожного покрытия в связи с изменением соотношения удельных объемов трех отмеченных в (1) компонентов асфальтобетона.

Для косвенного измерения показателя глубины впадин шероховатости асфальтобетонного покрытия минимизировано расстояние между разноименными обкладками конденсатора: в этом случае будет преобладать эффект влияния воздушного зазора между поверхностью асфальтобетонного покрытия и контактирующей с покрытием плоскостью датчика. Тогда уменьшится величина измеряемой электроемкости за счет разницы удельных объемов воздушного зазора и уменьшенной толщины асфальтобетонного покрытия при малой глубине проникновения электрического поля и минимальной диэлектрической проницаемости воздушной прослойки между поверхностями контролируемого покрытия и электроемкостного датчика.

При комплексном определении шероховатости и плотности асфальтобетонного покрытия целесообразна особая конструкция датчика и способа индикации электроемкости прибором. На местах электроемкостных измерений площадь контакта датчика с контролируемым покрытием следует увеличить до площади следа расчетного автомобиля, но не более, так как при большей площади сказывается фактор влияния возможных изменений ровности дорожного покрытия.

Удобен для текущих измерений вариант датчика в виде санок, жестко связанных с измерителем, протаскиваемых на контролируемом покрытии, и стрелочный способ непрерывной индикации электроемкостных показателей.

Для регулирования расстояния между разноименными обкладками датчика-конденсатора предложен вариант применения коммутационной системы, позволяющей сначала более точно косвенно измерить этим прибором шероховатость, затем плотность асфальтобетона после коммутации датчика. Если поставлена задача определения только шероховатости и ее однородности для сухого покрытия, то вполне приемлем выше отмеченный прибор ВИМС-2.21 при соответствующей калибровке его показаний, как показано далее в эксперименте.

На стадии приготовления асфальтобетонных смесей требуемая максимальная плотность минеральной части будет соответствовать максимальной электроемкости датчика, заполненного минеральным материалом при постоянной степени уплотнения. В результате измерения электрических емкостей между обкладками объемного электроемкостного датчика, где помещали отдельные фракции известняка и гранита в одинаково рыхлом состоянии, выполнены расчеты величин диэлектрических проницаемостей этих фракций, между зернами которых находился воздух. В расчете использована формула для бинарной смеси, без битума:

$$\varepsilon = \varepsilon_m V_m + \varepsilon_b V_b. \quad (2)$$

Результаты измерений и расчета ε по (2) свидетельствуют о снижении диэлектрической проницаемости фракций менее 0,14 мм в связи с их более высокой пористостью и пустотностью. Известно, что величины пустотности отдельных стандартных фракций щебня (5...10), (10...20), (20...40) и дробленого песка не мельче 0,14 мм не имеют существенных различий, что согласуется с незначительным различием диэлектрических показателей (табл. 1).

Таблица 1

Показатели диэлектрической проницаемости отдельных фракций минеральных материалов в рыхлом сухом состоянии

Материал	Размеры фракций, мм					
	2,5...1,25	1,25...0,63	0,63...0,315	0,315...0,14	0,14...0,071	менее 0,071
Известняк	4,74	4,74	4,72	4,70	4,45	3,26
Гранит	4,20	4,10	4,18	4,15	3,89	3,03

Пример ориентировочного поверочного расчета для известняка фракцией 2,5...1,25 мм с целью определения удельного объема пор данной фракции при известном удельном объеме 0,68 плотного состояния известняка:

$$V_b = \varepsilon - \varepsilon_m V_m = 4,74 - 6,5 \cdot 0,68 = 0,32; 0,68 + 0,32 = 1,0.$$

В температурном диапазоне 20...160 °С наблюдается незначительный рост электроемкости датчика с минеральным материалом крупнее 0,14 мм.

В соответствии со схемой, приведенной в авторском свидетельстве № 391478 «Способ корректировки дозирования составляющих асфальтобетонной смеси» [6], на выходе высушенного горячего песка из бункера в зоне весового дозирования установили электроемкостный датчик для выполнения измерений насыпной плотности и электроемкости песчаной фракции.

По результатам практических измерений, выполненных в производственных условиях, найдена корреляция между отмеченными измеренными показателями. Уравнение регрессии и показатель корреляции:

$$\gamma = -1,147 + 0,004C; \quad (3)$$

$$r^2 = 0,70,$$

где γ — насыпная плотность песчаной фракции, г/см³; C — электроемкость, пФ.

Известное положение о снижении плотности минерального порошка с повышением тонкости помола, т. е. с увеличением содержания частиц мельче 0,071 мм, согласуется со снижением электроемкости лабораторного электроемкостного датчика, заполненного минеральным порошком.

Уравнение регрессии:

$$Q(< 0,071) = -37,48 + 3550,61 / C; \quad (4)$$

$$r^2 = 0,97,$$

где $Q(< 0,071)$ — содержание частиц минерального порошка мельче 0,071 мм; C — электроемкость датчика, заполненного минеральным порошком, пФ; r — показатель корреляции.

Состав асфальтобетонной смеси проектируют для данного типа асфальтобетона, соблюдая два основных принципа: максимально возможная плотность минеральной части; оптимальное содержание битума в смеси с минеральным материалом.

Предварительно устанавливают оптимальные пределы электроемкости, соответствующие требуемым значениям пористости минеральной части и количества битума в асфальтобетонной смеси. Если происходит отклонение от установленных значений электроемкостных параметров, то выполняют корректировку гранулометрии и содержания битума в соответствии с (1).

При обработке битумом минерального материала увеличение содержания вяжущего сопровождается изменением электроемкости. Раздвижка минеральных зерен за счет увеличения толщины битумной пленки несколько снижает величину электроемкости, так как диэлектрическая проницаемость минерального материала в плотном состоянии выше, чем у битума и воздуха. Оптимальный состав асфальтобетонной смеси, соответствующий определенному значению электроемкостного показателя, устанавливают экспериментально, и оператор смесительного агрегата периодически следит за стабильностью величины электроемкости в процессе приготовления смеси.

Конструктивная схема датчика для измерений коэффициента уплотнения асфальтобетонного покрытия и глубины шероховатости предусматривает коммутацию, т. е. переключение соединений разноименных обкладок конденсатора-датчика. По схеме соединений сближенных обкладок прибор предназначен для косвенных измерений глубины впадин шероховатости [7].

Фактор увеличения расстояния между обкладками способствует более глубокому проникновению электрического поля в асфальтобетонное покрытие для определения коэффициента уплотнения верхнего слоя асфальтобетона. В этом режиме, согласно (1), удельный объем воздуха значительно меньше удельного объема минерального материала с битумом.

Первичное определение глубины шероховатости покрытия соответствует минимальной глубине проникновения электрического поля в асфальтобетонное покрытие, удельный объем воздушного зазора или средняя глубина шероховатости d по сравнению с объемом асфальтобетона в контролируемой зоне возрастает. Зависимость $d = f(C)$ криволинейна (рис. 2). Значение d используется по номограмме определения коэффициента уплотнения K_y данного асфальтобетонного покрытия. Стрелками на номограмме показано направление для определения коэффициента уплотнения асфальтобетона с учетом графика определения шероховатости.

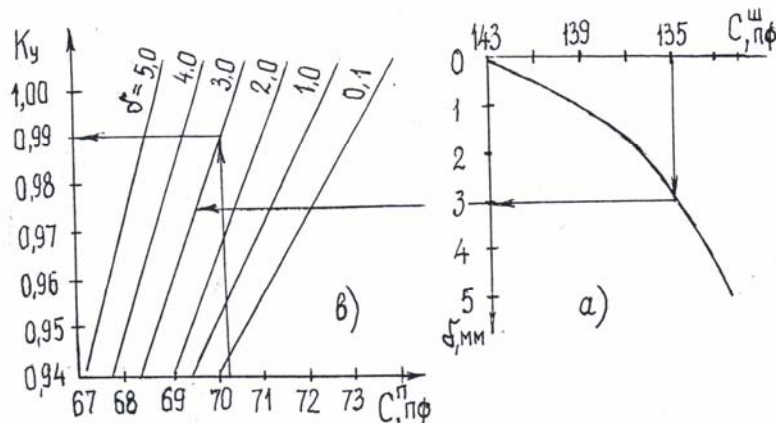


Рис. 2. Номограмма для определения шероховатости d и коэффициента уплотнения K_y дорожного покрытия

Теоретические предпосылки применения электроемкостного метода для косвенного определения показателя шероховатости по средней глубине впадин поверхности асфальтобетонного покрытия относительно плоскости контакта датчика-конденсатора с верхними выступами покрытия основаны на значительном различии диэлектрических проницаемостей воздуха и асфальтобетона. Для оценки шероховатости впервые предложено применение электроемкостного метода, апробированного на различных типах асфальтобетона в дорожных покрытиях.

Шероховатость по глубине впадин покрытия — это усредненный воздушный зазор между плоскостью датчика и контактирующей с ней поверхностью асфальтобетона. Чем больше этот зазор, тем меньше электроемкость датчика, от которого электрическое поле наиболее интенсивно в зоне контакта, где находится воздушный зазор. Принципиальную аналогию по результатам измерений можно увидеть во взаимосвязи показателей пористости минеральных материалов и электроемкости.

Экспериментально установлена достаточно тесная корреляция между мгновенными автоматическими электроемкостными измерениями и результатами шероховатости по методу песчаного пятна.

Глубина впадин шероховатости зависит от количества крупных фракций щебня в асфальтобетоне. Чем больше щебня в каркасной структуре асфальтобетонного покрытия, тем больше у него глубина впадин шероховатости. Наряду с этим можно полагать, что показатель однородности состава асфальтобетона и шероховатости в дорожном покрытии следует минимизировать во избежание появления локальных разрушений на покрытии в местах значительных отклонений от стандартизированных свойств асфальтобетона.

В процессе эксплуатации асфальтобетонных покрытий происходит износ асфальтобетона и полировка минерального материала на поверхности дороги, при этом шероховатость и коэффициент сцепления колес движущегося транспорта уменьшаются. Для мониторинга шероховатости целесообразно использовать универсальный низкзатратный автоматический электроемкостный метод измерений.

К настоящему времени стандартизирована однородность массовой продукции горячих асфальтобетонных смесей минимальными величинами коэффициентов вариации прочности асфальтобетонных образцов различных марок при 50 °С. Однако пока не установлены нормативы шероховатости для различных типов асфальтобетона в покрытиях на стадиях строительства и эксплуатации. Случайные колебания технологического режима строительства, износ покрытия в процессе эксплуатации влияют на состояние асфальтобетонного покрытия, способствуя изменению показателя однородности шероховатости, важного для срока службы и безопасности движения по дороге.

Параметры шероховатости дорожных покрытий должны обеспечивать достаточную характеристику поверхности дорожного покрытия по условиям безопасности движения и высокой однородности состояния покрытия. Шероховатость оценивают по параметрам средней высоты выступов или средней глубины впадин на покрытии. Методы контроля шероховатости выбирают в зависимости от принятого подхода к решению поставленной задачи с учетом быстродействия и минимальных затрат.

Характеристика шероховатости по снятым профилограммам уступает по значимости оценкам на площадях поверхности дороги, равновеликих отпечатку следа колеса расчетного автомобиля. Шероховатость на площади покрытия определяют методом песчаного пятна [3] или прямых измерений штангенциркулем в 35 отверстиях плоской пластины, укладываемой на контролируемое место [8]. Значительная трудоемкость и длительность одного измерения являются главными недостатками таких методов для большого числа измерений. Нормирование шероховатости покрытий из различных типов асфальтобетона и ее однородности желательно осуществлять, используя один параметр на определенной площади покрытия. Способ регистрации профилограмм на основе лазерного приборного обеспечения с анализом нескольких различных параметров [9] усложняет определение оценки шероховатости на практике. Ускоренная и упрощенная методология оценки, изложенная в работе [10], более практична и приемлема.

Теоретические положения, основанные на различии величин диэлектрических проницаемостей компонентов асфальтобетона и методологии измерений на поверхности покрытия, дают основание выдвинуть гипотезу о возможности оценки шероховатости электроемкостным прибором, выполняющим автоматически мгновенные измерения в цифровой индикации, при плотном контакте датчика с дорожным покрытием.

Для проверки выдвинутой гипотезы проводились серии измерений методом песчаного пятна и электроемкостным методом на поверхности различных асфальтобетонных покрытий, при этом выяснялась взаимосвязь между результатами измерений, выполненных двумя методами. Установлены достаточно высокие индексы детерминации между измеренными величинами. Индексы детерминации, характеризующие долю влияния C на d , близки для различных типов асфальтобетонов в дорожных покрытиях. Уравнения взаимосвязи соответствуют гиперболе с определенными коэффициентами для всех типов плотного асфальтобетона (табл. 2).

Состояние поверхности покрытия данной дороги необходимо оценивать на основе статистического контроля при достаточном числе измерений в различных местах покрытия с заданной достоверностью.

Таблица 2

Уравнения взаимосвязи между результатами измерений шероховатости методами песчаного пятна d и емкостным методом C

Тип асфальтобетона дорожного покрытия	Уравнение взаимосвязи при использовании прибора ВИМС-2.21	Индекс детерминации
ЩМА-20	$d = -3,2781 + 87,3813 / C$	0,85
Б	$d = -0,7616 + 26,1583 / C$	0,88
В	$d = -0,7087 + 18,6681 / C$	0,87
Г	$d = -0,6119 + 20,5361 / C$	0,81

Минимально необходимое число измерений:

$$N_{\min} = C_v^2 t^2 / \rho^2,$$

где C_v — коэффициент вариации, $C_v = \sigma / \bar{x}$; σ — среднее квадратическое отклонение; $\bar{x}$ — среднее значение шероховатости; t — нормируемое отклонение, равное 2,00 при числе измерений 60; ρ — показатель точности измерений, $\rho = \Delta / \bar{x}$; Δ — абсолютная ошибка метода измерения.

Доверительный интервал

$$\xi = \bar{x} \pm t\sigma / n^{0,5}; P = 0,95.$$

Рассмотрим пример статистического анализа для асфальтобетонного покрытия ЩМА-20, у которого минимальное число измерений шероховатости равно 60. Показатели определяли методом песчаного пятна d , мм, и на тех же местах регистрировали величины емкости C , ед., серийно выпускаемым прибором ВИМС-2.21 (табл. 3). Протяженность участка диагностики 1450 метров. Оптимальную величину интервалов определяем для составления интервальных вариационных рядов измеренных показателей:

$$H = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{1 + 3,21 \lg n}; H_d = \frac{1,35 - 0,84}{1 + 3,21 \lg 60} = 0,07 \text{ мм};$$

$$H_c = \frac{21,4 - 19,1}{1 + 3,21 \lg 60} = 0,34 \text{ ед.}$$

Таблица 3

Частоты попаданий измеренных величин в установленные интервалы

Границы интервалов	Значения середины	Частота	Границы интервалов	Значения середины	Частота
0,84...0,91	0,875	13	19,10...19,44	19,27	7
0,92...0,99	0,955	18	19,45...19,79	19,62	7
1,00...1,07	1,035	10	19,80...20,14	19,97	9
1,08...1,15	1,115	5	20,15...20,49	20,2	12
1,16...1,23	1,195	5	20,50...20,84	20,85	10
1,24...1,31	1,275	7	20,85...21,19	21,02	9
1,32...1,39	1,275	2	20,20...21,50	21,35	6

Результаты расчета средних измеренных величин, дисперсий и стандарта:

$$d_{\text{ср}} = 1,03 \text{ мм}; \sigma_d^2 = 0,0194 \text{ мм}^2; \sigma_d = 0,139 \text{ мм};$$

$$C_{\text{ср}} = 20,292 \text{ ед.}; \sigma_c^2 = 0,363 \text{ ед.}; \sigma_c = 0,603 \text{ ед.}$$

$$\text{Коэффициенты вариации } C_v^c = 0,03; C_v^d = 0,13 \text{ мм.}$$

Причины повышенной вариации C_v^d заключаются в значительных случайных ошибках определения площади песчаного пятна, а также зернистости песка.

По-видимому, эти же причины привели к отклонению распределения d от нормального закона, в то время как распределение C вполне согласуется с нормальным законом в соответствии с критерием Пирсона.

Калибровка выполнена по уравнению для ЩМА-20 (см. табл. 2):

C , ед.	19,0	19,5	20,0	20,5	21,0	21,5
d , мм	1,32	1,20	1,09	0,98	0,88	0,79

Для данного состава асфальтобетона в дорожном покрытии можно выполнять диагностику средней глубины впадин шероховатости d по всей площади дорожного покрытия неограниченной протяженности, используя соответствующее уравнение взаимосвязи (см. табл. 2). По фактической дисперсии и средней величине шероховатости можно с определенной надежностью характеризовать качественную однородность поверхности проезжей части данной дороги в целом, а также получать представление об изменчивости состава асфальтобетона в дорожном покрытии, прогнозируя его срок службы.

Параметры шероховатости по средней глубине впадин поверхности покрытия были установлены для различных типов шероховатости от 0,02 до 7 мм, но при этом нет разграничений для различных типов асфальтобетонов. Диаметр датчика прибора ВИМС-2.21 равен 10 см, поэтому для измерений шероховатости на поверхности, равновеликой следу расчетного автомобиля, с целью повышения точности выполняли по пять измерений на каждом месте, охватывая принятую площадь. Среднее значение пяти измерений принимали за результат косвенного измерения на одном контролируемом месте покрытия с переводом в миллиметры средней глубины впадин шероховатости, исходя из установленной тарифовочной зависимости по единому уравнению гиперболы. Достоверность результатов измерений соответствует вероятности 0,95.

Показатели шероховатости измеряли методами песчаного пятна и емкостным методом, используя приборы ВолгГАСУ и ВИМС-2.21 на дорогах Волгограда и Волгоградской области, учитывая различные типы асфальтобетонов. Увеличение содержания щебня в асфальтобетоне способствует повышению шероховатости покрытия при соответствующих величинах размаха измеренных величин:

0,15...0,27 мм для асфальтобетона типа В (30...40 % щебня);

0,48...0,62 мм для асфальтобетона типа Б (40...50 % щебня);

0,84...1,32 мм для щебеночно-мастичного асфальтобетона ЩМА-20 (60...70 % щебня).

Минимальный коэффициент вариации шероховатости обследованных покрытий, свидетельствующий о лучшей однородности асфальтобетона типа Б, согласуется с меньшим размахом измеренных величин. В местах измерений на расстоянии 1 м от кромки покрытия из различных типов асфальтобетона зарегистрирована пониженная однородность шероховатости, что согласуется с известной опубликованной тенденцией пониженной температуры и недостаточного уплотнения асфальтобетона в зоне кромки покрытия [4]. В местах локальных повышений коэффициента вариации в продольном и поперечном направлениях диагностики дорожного покрытия следует принимать меры по снижению изменчивости шероховатости.

Технико-экономический и социальный эффект используемого электроемкостного универсального метода для автоматической регистрации плотности минерального материала, корректировки дозирования составляющих компонентов асфальтобетонной смеси, оценки коэффициента уплотнения и шероховатости асфальтобетонных дорожных покрытий состоит в многократном снижении затрат на контроль качества, своевременное регулирование свойств с целью повышения срока службы автомобильных дорог.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семенов В. А., Рокас С. Ю. Управление качеством в дорожном строительстве. М., 1981. 256 с.
2. Руководство по статистическому контролю и регулированию качества при строительстве и капитальном ремонте автомобильных дорог. М., 1981. 30 с.
3. Операционный контроль качества земляного полотна и дорожных одежд / под ред. А. Я. Тулаева. М. : Транспорт, 1985. 224 с.
4. Семенов В. А. Качество и однородность автомобильных дорог. М. : Транспорт, 1989. 125 с.
5. ГОСТ 9128—2009. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. М. : Стандартинформ, 2010.
6. Способ корректировки дозирования составляющих асфальтобетонной смеси : авт. свидетельство № 391478 Рос. Федерация / Романов С. И., Ермолаев Е. И., Духовный Г. С., Щавелев Ю. А.
7. Способ контроля уплотнения асфальтобетонных покрытий и устройство для его осуществления : пат. № 2165078 Рос. Федерация / Агаянц И. М., Романов С. И., Усов В. Н.
8. Способ контроля шероховатости поверхности дорожного покрытия : пат. № 2370589 Рос. Федерация / Банатов А. В.
9. Кочетков А. В., Чванов А. В., Аржанухина С. П. Научные основы нормирования шероховатых поверхностей дорожных покрытий // Вестн. ВолгГАСУ. 2009. Вып. 14(33). С. 80—86.
10. Романов С. И., Стадник А. Ю. Показатели шероховатости асфальтобетонных дорожных покрытий // Строительные материалы. 2010. № 10. С. 30—31.

1. Semenov V. A., Rokas S. Yu. Upravlenie kachestvom v dorozhnom stroitel'stve. M., 1981. 256 s.
2. Rukovodstvo po statisticheskomu kontrolyu i regulirovaniyu kachestva pri stroitel'stve i kapital'nom remonte avtomobil'nykh dorog. M., 1981. 30 s.
3. Operatsionnyy kontrol' kachestva zemlyanogo polotna i dorozhnykh odezhd / pod red. A. Ya. Tulaeva. M. : Transport, 1985. 224 s.
4. Semenov V. A. Kachestvo i odnorodnost' avtomobil'nykh dorog. M. : Transport, 1989. 125 s.
5. GOST 9128—2009. Smesi asfal'tobetonnye dorozhnye, aerodromnye i asfal'tobeton. M. : Standartinform, 2010.
6. Sposob korrekcirovki dozirovaniya sostavlyayushchikh asfal'tobetonnoy smesi : avt. svidetel'stvo № 391478 Ros. Federatsiya / Romanov S. I., Ermolaev E. I., Dukhovnyy G. S., Shchavlev Yu. A.
7. Sposob kontrolya uplotneniya asfal'tobetonnykh pokrytiy i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya : pat. № 2165078 Ros. Federatsiya / Agayants I. M., Romanov S. I., Usov V. N.

8. Sposob kontrolya sherokhovatosti poverkhnosti dorozhnogo pokrytiya : pat. № 2370589 Ros. Federatsiya / Banatov A. V.
9. Kochetkov A. V., Chvanov A. V., Arzhanukhina S. P. Nauchnye osnovy normirovaniya sherokhovatykh poverkhnostey dorozhnykh pokrytiy // Vestn. VolgGASU. 2009. Вып. 14(33). S. 80—86.
10. Romanov S. I., Stadnik A. Yu. Pokazateli sherokhovatosti asfal'tobetonnykh dorozhnykh pokrytiy // Stroitel'nye materialy. 2010. № 10. S. 30—31.

© Романов С. И., Стадник А. Ю., 2013

*Поступила в редакцию
в сентябре 2013 г.*

Ссылка для цитирования:

Романов С. И., Стадник А. Ю. Универсальный электроемкостный метод и компактный прибор для автоматического контроля плотности и шероховатости асфальтобетонных дорожных покрытий // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 2(27). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/RomanovStadnik-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/RomanovStadnik-2013_2(27).pdf)