СТЕПЕНЬ КАЧЕСТВА

ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ОДНОРОДНОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ПО ТОЛЩИНЕ

Качество строительства автомобильных дорог определяется количественными оценками, одной из которых является однородность конструктивных слоев дорожной одежды и грунтов земляного полотна. Повышение однородности позволяет существенно увеличить надежность дорожных конструкций и снизить затраты на эксплуатацию автомобильной дороги.

Однородность – это степень неизменчивости физико-механических свойств, геометрических размеров, параметров технологических процессов, условий эксплуатации и производства работ [1].

Различают однородность конструктивных слоев дорожной одежды и грунтов земляного полотна по физико-механическим свойствам материалов (плотность, влажность, коэффициент уплотнения и т. д.), по координатам (толщина, ширина и т. д.), а также по времени.

Одним из наиболее значимых факторов оценки однородности, влияющих на транспортно-эксплуатационные характеристики автомобильной дороги, является толщина конструктивных слоев дорожной одежды.

Высокопроизводительные и неразрушающие георадарные методы, как никакие другие, позволяют оценить однородность конструктивных слоев дорожной одежды по толщине. Целью исследований является оценка однородности конструктивных слоев дорожной одежды по толщине на основе результатов георадарных обследований автомобильных дорог.

При выполнении работ решались следующие задачи:

- оценка эффективности применения георадарных работ для определения однородности асфальтобетона по толщине;
- определение для выборочного контроля минимально необходимой длины анализируемого участка автомобильной дороги и шаг представления толщины слоев асфальтобетона;
- оценка однородности асфальтобетонных слоев по толщине по коэффициенту вариации;
- определение требуемого количества точек для достоверной оценки однородности по толщине;
- сравнение полученной толщины слоев асфальтобетона с требованиями к толщине, приведенными в проектной и нормативной документации.

Наиболее часто изменение толщины конструктивных слоев дорожной одежды оценивается по коэффициенту вариации (C_v).

По результатам исследований проф. В.А. Семенова [1] в 70-80-х годах прошлого столетия при обследовании более 4000 км автомобильных дорог 42 организациями в 10 областях страны было установлено, что по толщине коэффициент вариации асфальтобетонных слоев минимальный 0,17; средний 0,28; максимальный 0,65; для цементобетонных слоев соответственно 0,02; 0,03; 0,05. Уменьшение коэффициента вариации почти на порядок при устройстве цементобетонных слоев объясняется уровнем развития технических средств и контроля качества, применяемых при укладке цементобетона.

При статистической обработке результатов распределения толщины слоев, ровности, упругих деформаций было установлено [1], что при достаточно высокой однородности измеряемого параметра (C_v меньше 0,2) его распределение подчиняется нормальному закону и несколько хуже – закону Вейбулла. При C_v = 0,2–0,3 – одинаково хорошо описываются законами нормальным и Вейбулла с переменными параметрами, при C_v = 0,3–0,8 – законом Вейбулла с переменными параметрами, при C_v более 0,8 – законом экспоненциальным и Вейбулла с переменными параметрами.

Было установлено, что для контроля толщины слоев дорожной одежды при C_v = 0,2 рекомендуемое необходимое количество измерений для автомобильных дорог I–II категорий должно быть 36, для III–IV категорий – 26, для V категории – 18.

За упомянутый период технологии устройства асфальтобетонных слоев существенно улучшились (слои устраиваются не только по копирной струне, но и по длинномерным лыжам, используются системы автоматического управления 3D лазерного типа, применяется технология непрерывной укладки и т. д.) и повысились требования к контролю качества выполнения дорожно-строительных работ.

В XXI веке в дорожное строительство широко внедряются инновационные технологии, однако вопросам исследований однородности дорожно-строительных материалов по толщине не уделяется должного внимания.

В целях определения однородности устройства асфальтобетонных слоев, через 30–40 лет после исследований В.А. Семенова, на ряде автомобильных дорог Российской Федерации (см. табл. 1) были выполнены георадарные работы по государственным контрактам.

Георадиолокационные обследования дорожных одежд производились георадарами «ОКО-2» (разработчик ООО «ЛОГиС», г. Раменское) с контактными и рупорными антенными блоками (см. рис. 1).

Для анализа были выбраны участки вновь построенных автомобильных дорог, обследованных сотрудниками ФГБУ «РОСДОРНИИ» за последние три года в г. Сочи, республиках Башкирии и Бурятии. Общая длина обследуемых участков в прямом и обратном направлениях в сумме составила 96,4 км.

Высокопроизводительные и неразрушающие георадарные методы были

выбраны не случайно, поскольку они позволяют получить непрерывные георадиолокационные профили, которые затем пересчитываются с помощью фактической диэлектрической проницаемости в таблицы и графики зависимости толщины слоев по длине обследуемого участка дороги по методике, приведенной в работе [2]. Погрешность определения толщины асфальтобетонных слоев существенно зависит от количества заверочного отбора кернов.

Для определения фактической диэлектрической проницаемости материалов дорожной одежды были отобраны керны. Замеренные толщины по кернам позволяют по программе GeoScan 32 уточнить фактические значения диэлектрической проницаемости и тем самым снизить погрешность определения толщины слоев асфальтобетона по всему обследуемому профилю до 2–5%.

Рис. 1. Мобильная георадиолокационная лаборатория ФГБУ «РОСДОРНИИ» на базе автомобиля Hyundai H-1

При выполнении георадарных работ нет проблемы с вышеуказанным необходимым количеством измерений (18–36 в зависимости от категории автомобильной дороги), так как толщины слоев могут определяться с заданным шагом реализаций без большого количества отбора кернов. Например, шаг измерений устанавливается в диапазоне от 0,05 м до 0,50 м, а результаты определения толщины слоев выводятся в табличной форме – в зависимости от требований заказчика, с шагом представления, например, от 1 до 50 м.

Достаточное количество измерений в этом случае может быть определено при длине профиля от 50 до 5000 м. Вместе с тем количество учитываемых измерений при вычислении коэффициента вариации может быть увеличено в разы.

Достоверность оценки однородности по толщине асфальтобетона будет наибольшей, если будет выполнен сплошной контроль. То есть будет проанализирован весь построенный участок автомобильной дороги с минимальным шагом определения толщины слоев, например, 1–5 м. Однако, как показывает опыт выполнения упомянутых работ, это потребует большого количества времени на расчеты. Более того, не будет существенного изменения оценки однородности по толщине асфальтобетона по сравнению, например, с выборочным контролем качества.

На сегодняшний день разработан целый ряд документов, регламентирующих процедуру выборочного контроля качества, например, ГОСТ 18321-73 [3], ГОСТ Р ИСО 8423-2011 [4], ГОСТ Р 50779.71-99 [5], ГОСТ ИСО Р 2859-1-2007 [6], ГОСТ Р ИСО 11648-2009 [7] и т. д. Однако данные документы, хотя и опираются на вероятностные статистические методы и являются универсальными, тем не менее, они разработаны не применительно к линейным объектам, к которым относятся участки автомобильных дорог. Их использование в повседневной практике контроля качества в дорож-

Автомобильная дорога	Антенный блок	Шаг реализаций, см	Характеристика обследуемого участка, м		Характеристика рассчитываемого участка, м	
			Длина	Шаг определения толщины	Выборочная длина	Шаг представления толщины
А-340 Улан-Удэ – Кяхта, Республика Бурятия	АБ-1700У	30	13 800	10	1000	20
М-55 «Байкал», Республика Бурятия	АБ-1700У	30	8 000	10	1000	20
Дублер Курортного проспекта, г. Сочи	АБ-1700Р	30	5 700	10	1000	20
М-7 «Волга», Республика Башкирия	АБ - 1700Р,АБ-1700У	10–30	20 700	50	2500	50

Табл. 1. Параметры обследуемых участков и характеристика георадарного оборудования

Автомобильная дорога	Характеристика направления, отбор проб	Толщина слоя, см				Среднее квадратичное отклонение, см	Коэффициент вариации, доли единицы
		проектная	минимальная	средняя	максимальная		
А-340 Улан-Удэ – Кяхта, Республика Бурятия	прямое обратное по отбору проб*	23,0 23,0	12,7 16,3	19,4 21,5 19,2	26,0 30,1	3,68 3,23	0,19 0,15
М-55 «Байкал», Республика Бурятия	прямое обратное по отбору проб*	11,0 11,0	8,9 8,8	12,4 11,2 10,0	17,0 17,3	1,87 1,78	0,15 0,16
Дублер Курортного проспекта, г. Сочи	прямое обратное по всему участку: прямое обратное	18,0 1 8,0	14,4 15,4	19,1 18,0 18,4 18,2	26,0 23,3	2,15 1,80	0,11 0,10
М-7 «Волга», Республика Башкирия	прямое обратное по отбору проб	20,0 20,0	17,3 19,0	21,5 23,6 24,2	25,9 27,1	1,92 1,68	0,09 0,07

Табл. 2. Результаты выборочной оценки однородности асфальтобетона по толщине
** – пробы отбирались по результатам георадарных обследований на участках с заниженной толщиной асфальтобетона*

ном строительстве очень затруднено, так как требуется большая работа по выбору и закреплению случайно расположенных участков. Предлагаемые стандартными документами методы не оценивают должным образом однородность по толщине асфальтобетонных слоев.

В подтверждение вышесказанного следует отметить, что ни в одном действующем нормативно-техническом документе дорожной отрасли вышеприведенные ГОСТы не прописаны. Так, в соответствии с ОДМ 218.7.001-2009 [8] объем выборочного контроля находится в компетенции заказчика (застройщика) и назначается по усмотрению последнего.

В связи с вышеизложенным необходимо в дальнейшем разработать методику выборочного контроля применительно к автомобильным дорогам.

По нашему мнению, длина выборочного контроля может составлять 5–30% от протяженности построенного участка автомобильной дороги: при малой длине построенного участка – 20-30%, при большой длине – 5–20%.

Согласно ТР 94.14-01 [9], определение толщины слоев асфальтобетона следует производить при выборочном контроле, шаг промеров толщины равен 20 м.

Параметры обследуемых участков автомобильных дорог георадарными методами и участков, подлежащих детальному математическому анализу, а также применяемое георадарное оборудование приведены в табл. 1.

В табл. 2 приведены результаты выборочной оценки однородности асфальтобетона по суммарной толщине слоев по 50 обсчитываемым точкам при протяженности участка от 1000 до 2500 м.

Смежные слои из асфальтобетона во многих случаях (например, при применении технологии одновременного формирования двух слоев) имеют практически одинаковую диэлектрическую проницаемость, что не позволяет достаточно уверенно по всей длине определить границу между ними на построенных уже участках дорог или требует больших затрат времени при интерпретации. В процессе же строительства каждый вновь устроенный слой может быть легко оценен по толщине георадиолокационными методами.

Границы разделения высокоплотного, плотного, пористого и высокопористого асфальтобетона на радарограммах уже построенных дорог просматриваются по всей длине достаточно четко далеко не во всех случаях. На выделение границ на радарограммах оказывают влияние следующие факторы: время укладки смежных слоев, пористость и минералогический состав материалов смежных слоев, частота применяемых антенных блоков, наличие или отсутствие подгрунтовки и т. д.

В связи с этим выводы по обследованию методами георадиолокации в данной работе сделаны для суммарной толщины асфальтобетонных слоев.

Среднеквадратичное отклонение и коэффициент вариации определены в соответствии с законом нормального распределения по методике, приведенной в научной работе [1].

Получены коэффициенты вариации толщины асфальтобетонных слоев в пределах 0,07–0,19. Коэффициенты вариации достаточно точно отражают однородность асфальтобетона по толщине. Меньшие коэффициенты вариации характеризуют высокую однородность асфальтобетона по толщине, большие значения – более низкую однородность.

Следует отметить, что за последние 30–40 лет коэффициенты вариации для слоев асфальтобетона существенно уменьшились с 0,17–0,65 до 0,07–0,19, что характеризует повышение качества устройства асфальтобетонных слоев современными технологиями укладки асфальтобетона.

Направление движения	Коэффициент вариации, при количестве рассчитываемых точек										Среднее значение
	500	450	400	350	300	250	200	150	100	50	
прямое	0,182	0,187	0,187	0,194	0,182	0,193	0,173	0,184	0,186	0,197	0,186
обратное	0,161	0,160	0,160	0,143	0,147	0,144	0,145	0,142	0,150	0,139	0,149

Табл. 3. Коэффициент вариации по толщине асфальтобетона при разном количестве учитываемых точек от 50 до 500

Наименование дороги, направление движения	Коэффициент вариации, при количестве рассчитываемых точек				Среднее значение коэффициента вариации
	200	150	100	50	
М-7 «Волга», Республика Башкирия прямое обратное	0,092 0,083	0,090 0,084	0,088 0,090	0,084 0,071	0,088 0,082
Дублер Курортного проспекта, г. Сочи прямое обратное	0,104 0,106	0,106 0,116	0,111 0,117	0,124 0,129	0,111 0,117

Табл. 4. Коэффициент вариации по толщине асфальтобетона при разном количестве учитываемых точек от 50 до 200

Выявленные средние толщины слоев в редких случаях совпадают с проектными значениями (см. табл. 2), исключение составила только толщина асфальтобетона в обратном направлении на Дублере Курортного проспекта, г. Сочи. В остальных случаях отклонения зафиксированы как в большую (до 3,6 см), так и в меньшую сторону (также до 3,6 см). При этом оценка однородности по толщине по коэффициенту вариации может не отражать соответствие толщины слоя проектному значению, то есть, например, слой асфальтобетона однороден по толщине, но значение толщины меньше или больше проектного. На рис. 2, 3 приведены примеры радарограмм с соответственно низкой и высокой однородностью асфальтобетона по толщине.

В целях определения оптимального количества точек для оценки однородности асфальтобетона по толщине коэффициент вариации на участке автомобильной дороги А-340 Улан-Удэ – Кяхта был рассчитан по количеству точек от 50 до 500 (см. табл. 3). Результаты расчетов показали, что нет необходимости в выполнении сплошного контроля по всему участку. В прямом

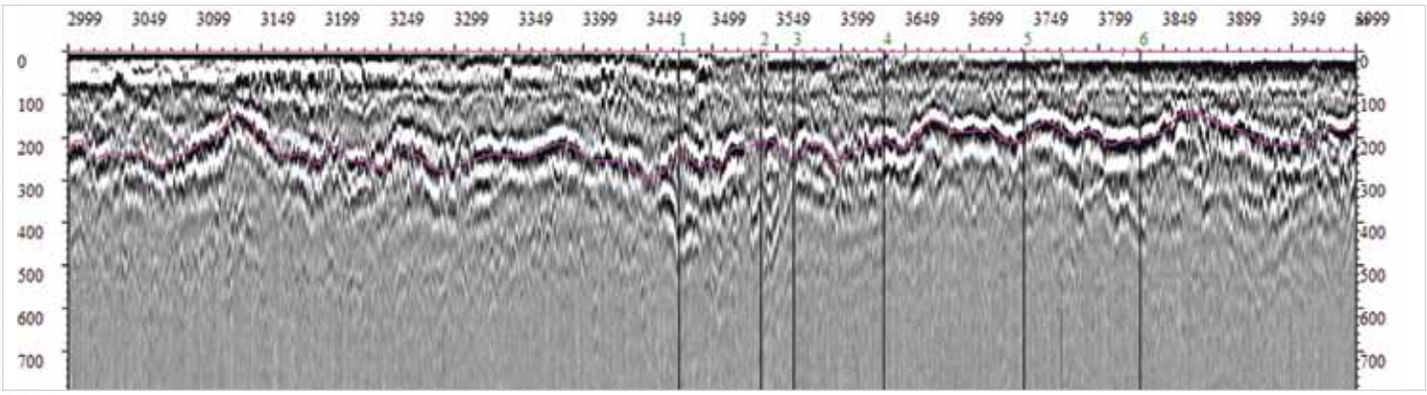

Рис. 2. Низкая однородность асфальтобетона по толщине на участке автомобильной дороги А-340 Улан-Удэ – Кяхта, Республика Бурятия (розовая линия – подошва асфальтобетона), выявленная по результатам георадарных обследований антенным блоком АБ-1700У

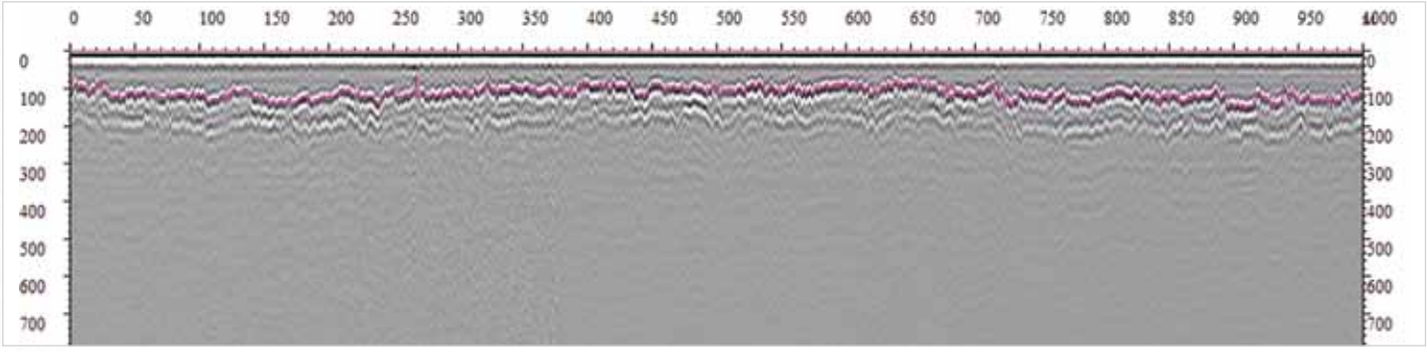

Рис. 3. Высокая однородность асфальтобетона по толщине на участке автомобильной дороги «Дублер Курортного проспекта», г. Сочи (розовая линия подошва верхнего слоя асфальтобетона), выявленная по результатам георадарных обследований антенным блоком АБ-1700Р

направлении коэффициент вариации изменяется от 0,173 до 0,197; в обратном – от 0,139 до 0,161, что соответствует изменению коэффициента вариации соответственно на 2,4% и 2,2%. При 100 учитываемых точках коэффициент вариации, как в прямом, так и в обратном направлениях равен среднему значению.

Для подтверждения достаточности 100 точек были выполнены расчеты коэффициентов вариации толщины асфальтобетона по количеству точек от 50 до 200 для участков двух других автомобильных дорог (см. табл. 4).

Табл. 4 также свидетельствует, что 100 учитываемых точек достаточно для определения коэффициента вариации по толщине слоя, так как в трех случаях из четырех при 100 точках были получены значения, равные среднему.

Следовательно, оценку однородности по толщине рекомендуется вести по 100 точкам, расстояние между которыми равно 20 м. В этом случае длина обследуемого участка будет равна 2 км.

Согласно действующей нормативной документации, а именно п. 2.3. табл. А.1 Приложения А СП 78.13330.2012 [10], толщина асфальтобетонного слоя покрытия и основания может иметь отклонения от проектных значений ±10% не более чем для 10% результатов определений и не более чем ±5% для остальных. Безусловно, георадиолокационными методами можно эффективно осуществить вышеуказанный контроль. Следует отметить, что оценка однородности по коэффициенту вариации СП 78.13330.2012 [10] не предусматривается.

На сегодняшний день нормативная база СП 78.13330.2012 [10] распространяется только на методы контроля качества работ посредством отбора кернов (вырубок), из расчета не менее трех вырубок на 3000 м^2 покрытия. В то время как метод георадиолокации в данном документе не прописан, и обоснованные выводы с вытекающими последствиями по результатам контроля методом георадиолокации делать преждевременно – из-за отсутствия утвержденной нормативной базы.

В связи с изложенным выше, по нашему мнению, требуется разработка альтернативного отраслевого нормативного документа по оценке методами георадиолокации качества уложенных слоев дорожной одежды по толщине с определением их однородности по коэффициенту вариации.

Выводы

1. Высокопроизводительные и неразрушающие георадарные методы являются наиболее эффективными для определения однородности конструктивных слоев дорожной одежды по толщине.
2. Оценка однородности асфальтобетона по толщине георадиолокационными методами была выполнена на четырех участках вновь построенных автомобильных дорог. Для выборочного контроля минимальная длина анализируемого участка каждой автомобильной дороги была выбрана 1000–2500 м, шаг определения толщины слоев асфальтобетона – соответственно 20–50 м.
3. Результаты расчетов показали, что коэффициенты вариации толщины асфальтобетонных слоев на анализируемых участках автомобильных дорог находятся в пределах 0,07–0,19 (см. табл. 2), а распределение толщины подчиняется закону нормального распределения.
4. Оценку однородности по толщине асфальтобетона рекомендуется проводить выборочно на двухкилометровом участке по 100 точкам, расположенным на расстоянии 20 м друг от друга.
5. Выявленные средние толщины слоев в редких случаях совпадают с проектными значениями (см. табл. 2). Отклонения средних значений толщин слоев по сравнению с проектными зафиксированы до 3,6 см, как в большую, так и в меньшую сторону. При этом оценка однородности по толщине по коэффициенту вариации может не отражать соответствие толщины слоя проектному значению.
6. Нормативная база по контролю качества толщины слоев асфальтобетона, приведенная в СП 78.13330.2012 [10], не предусматривает использования георадиолокационных методов. Представляется целесообразным разработка альтернативного отраслевого нормативного документа по оценке методами георадиолокации качества уложенных слоев дорожной одежды по толщине с определением их однородности по коэффициенту вариации.

А.М. Кулижников,
д-р техн. наук,
Р.А. Еремин,
канд. техн. наук
(ФГБУ «РОСДОРНИИ»)

Библиография

1. Семенов В.А. Качество и однородность автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1989. – 125 с.
2. Кулижников А.М. Повышение точности определения толщины конструктивных слоев дорожной одежды по результатам георадарных обследований // Дороги и мосты: сб. статей / ФГУП «РОСДОРНИИ» – М.: 2014. – Вып. 31. – С. 95–112.
3. ГОСТ 18321-73 Статистический контроль качества. Методы случайного отбора выборок штучной продукции.
4. ГОСТ Р ИСО 8423-2011 Статистические методы. Последовательные планы выборочного контроля по количественному признаку несоответствующих единиц продукции (стандартные отклонения известны).
5. ГОСТ Р 50779.71-99 Статистические методы. Процедура выборочного контроля по альтернативному признаку.
6. ГОСТ ИСО Р 2859-1-2007 Статистические методы выборочного контроля по альтернативному признаку.
7. ГОСТ Р ИСО 11648-2009 Статистические методы выборочного контроля нештучной продукции.
8. ОДМ 218.7.001-2009 Рекомендации по осуществлению строительного контроля на федеральных автомобильных дорогах.
9. ТР 94.14-01 Технический регламент операционного контроля качества строительно-монтажных и специальных работ при возведении зданий и сооружений. – ГУП «НИИМосстрой», 2001.
10. СП 78.13330.2012 Автомобильные дороги (Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85).