

ГЕОРАДАРНЫЙ МЕТОД ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ И КАЧЕСТВА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

А. В. ГРОМЫКО, А. Ф. РОМАНОВ, А. И. ХОДАСЕВИЧ, И. А. ЧЕРНОБАЙ
НИУ «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ
ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ им. А.Н. Севченко» БГУ
Минск, Беларусь

В настоящее время актуальность приобретают экономичные и мобильные методы и приборы для диагностики качества внутреннего строения дорожных конструкций. Среди этих методов особую популярность приобретают современные высокопроизводительные, неразрушающие и экологически чистые георадарные технологии [1].

Авторами разработан георадарный метод и специализированный георадар для экспресс-контроля толщины и качества дорожных покрытий. Для получения необходимой точности и разрешающей способности по толщине покрытий в 1,0...1,5 см использованы рупорные антенны с полосой пропускания от 2 до 5 ГГц. Динамический диапазон обрабатываемых в георадаре сигналов не менее 100 дБ. Применяется быстродействующий АЦП с частотой выборки до 80 МГц. Эти технические характеристики обеспечивают глубину зондирования до 0,5 м. Важной особенностью георадара является применение двухканальной системы измерений – одна излучающая антенна и две приемные, разнесенные на фиксированные расстояния от излучающей. Это позволяет вычислять диэлектрическую проницаемость ξ контролируемых слоев и, соответственно, получать повышенную точность измерений. Вычисление диэлектрической проницаемости каждого слоя производится с помощью программного обеспечения георадара в соответствии со схемой распространения радиосигнала в многослойной среде (рис. 1).

Измерительным прибором (ИП) измеряется время распространения радиоимпульса, равное:

$$T_1 = \Delta\tau_{\Sigma} + t_1, \quad (1)$$

где $\Delta\tau_{\Sigma}$ – суммарное время задержки сигнала в электронной схеме прибора, соединительных кабелей, приёмоизлучающих антеннах; t_1 – время распространения сигнала в первом асфальтобетонном слое.

Толщину первого слоя h_1 определяем по траектории: антенна 1 – граница слоев – антенна 2 $h_1 = \tau_p \cdot c_1$.

$$\text{При } a=0 \text{ имеем } \tau_p = \frac{t_1}{2}. \text{ При } a=\text{const: } l = \sqrt{\frac{a^2}{4} + h_1^2}. \quad (2)$$

База $l_{1\Sigma} = 2l_1 = 2\sqrt{\frac{a^2}{4} + h_1^2}$, тогда скорость c_1 электромагнитной волны равна:

$$c_1 = \frac{l_{1\Sigma}}{t_1} = \frac{2\sqrt{\frac{a^2}{4} + h_1^2}}{t_1}. \quad (3)$$

Представим, что a изменено до величины b , т. е. приемник 2 переключен электронной схемой ИП на приемник 3. В этом случае фактически организован второй канал измерений. Этот метод измерений предложен и обоснован ранее одним из авторов настоящей работы в [2] на примере двух- и многоканальной схемы измерений.

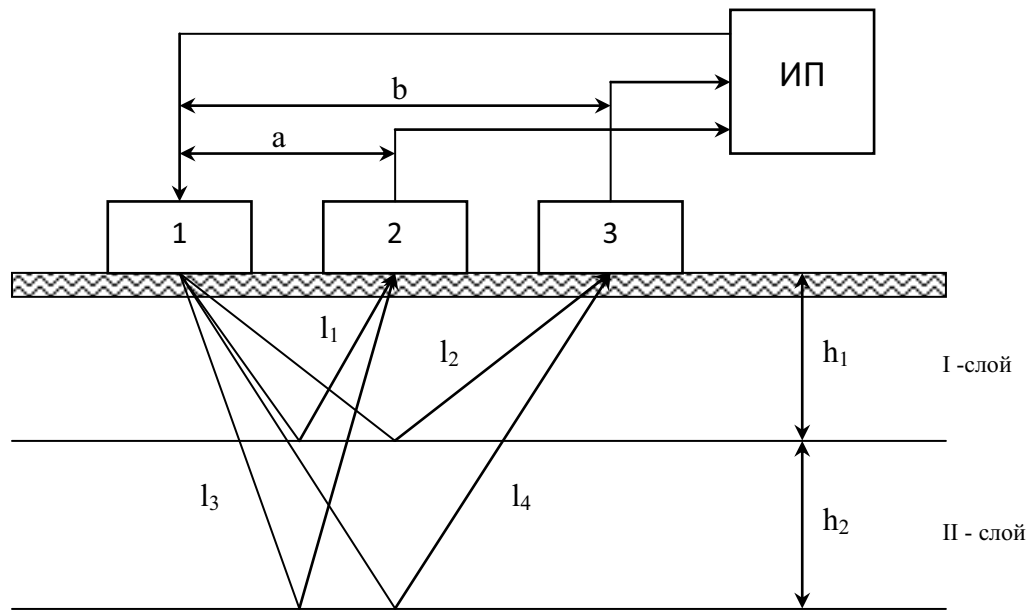


Рис. 1. Функциональная схема георадарного измерителя применительно к определению толщины двух верхних слоев: 1 – излучающая антенна; 2, 3 – приёмники электромагнитных волн (приемной антенны); a – расстояние между центрами излучающей и первой приёмной антеннами; b – расстояние между центрами излучающей и второй приёмной антеннами; ИП – измерительный прибор; $l_1 \div l_4$ – пути распространения электромагнитных сигналов; h_1, h_2 – измеряемые толщины 1-ого и 2-ого слоев покрытий

Тогда справедливо $T'_1 = \tau_\Sigma + t'_1$; $T''_1 = \tau_\Sigma + t''_1$ и можно записать систему двух уравнений:

$$\left. \begin{aligned} c_1^2 &= \frac{a^2 + 4h_1^2}{(t'_1)^2}; \\ c_1^2 &= \frac{b^2 + 4h_1^2}{(t''_1)^2}; \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Систему уравнений (4) возможно однозначно разрешить относительно искомой толщины слоя h_1 :

$$\begin{aligned}\frac{a^2 + 4h_1^2}{(t_1')^2} &= \frac{b^2 + 4h_1^2}{(t_1'')^2}; \\ (t_1'')^2 (A^2 + 4h_1^2) &= (t_1')^2 (b^2 + 4h_1^2); \\ a^2 (t_1'')^2 + 4h_1^2 (t_1'')^2 &= b^2 (t_1')^2 + 4h_1^2 (t_1')^2; \\ 4h_1^2 [(t_1'')^2 - (t_1')^2] &= b^2 (t_1')^2 - a^2 (t_1'')^2; \\ h_1 &= \sqrt{\frac{b^2 (t_1')^2 - a^2 (t_1'')^2}{4[(t_1'')^2 - (t_1')^2]}}.\end{aligned}\quad (5)$$

Уравнение (5) определяет толщину h_1 искомого слоя и не зависит от скорости c распространения электромагнитной волны, и, следовательно, не зависит ни от диэлектрической проницаемости среды ξ и ни от тангенса угла диэлектрических потерь, т. е. затухания электромагнитной волны в среде. Другими словами, предлагаемый метод георадарной технологии является индифферентным относительно электрических характеристик асфальтобетонного слоя.

Аналогично можно получить систему уравнений для второго, третьего и n – ого слоев дорожных покрытий:

$$h_n = \sqrt{\frac{b^2 (t_n')^2 - a^2 (t_n'')^2}{4[(t_n'')^2 - (t_n')^2]}} ,$$

где t_n' , t_n'' – время распространения электромагнитных волн в соответствующих слоях.

Для измерений, по предложенной методике, система должна анализировать четкие переотраженные радиолокационные сигналы от границ слоев дорожных покрытий, что обеспечивается параметрами разработанного георадара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Георадары в дорожном строительстве. Тематическая подборка. Информационный центр по автомобильным дорогам // Министерство транспорта РФ. – Москва, 2003. – 72 с.
2. **Чернобай, И. А.** Метод определения глубины залегания подповерхностных неоднородностей / А. В. Сергеев // Доклады Академии наук Беларуси. – Минск, 1997. – Т. 41 – № 4.

E-mail: khadali2007@gmail.com
ramanau.a@gmail.com
tchival@mail.ru