

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ГЕОРАДАРНОАКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

И. А. ЧЕРНОБАЙ, А. И. ХОДАСЕВИЧ, А. Ф. РОМАНОВ

Научно-исследовательское учреждение

«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

им. А. Н. Севченко» БГУ

Минск, Беларусь

Проведены теоретические и экспериментальные исследования нового, предложенного авторами настоящей работы, метода и аппаратного комплекса определения параметров дорожных покрытий путем измерения скорости распространения акустических колебаний в слоях дорожных одежд посредством радиолокационных волн. Синхронное детектирование принятых радиолокационных сигналов относительно задержанных зондирующих опорных сигналов позволяет проводить детектирование акустических волн, распространяющихся в многослойной структуре – слоях дорожных одежд (СДО). По выделенным и обработанным сигналам модуляции радиолокационных волн с привязкой к толщине СДО, измеряемым по времени распространения акустических сигналов, определяются прочностные характеристики слоев дорожных покрытий. Основной формулой предложенного алгоритма является:

$$E = \rho \cdot v^2, \quad (1)$$

где E – модуль упругости строительного материала дорожных одежд; ρ – плотность материала; v – скорость распространения акустических волн.

В свою очередь, модуль упругости в прямой зависимости связан с прочностью материала. Для его определения по радиолокационным сигналам измеряются и формируются отметки времени $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$, соответствующие границам слоев дорожных одежд. По полученным отметкам определяются толщины $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ слоев дорожных одежд:

$$l_1 = \frac{30t_1}{2\sqrt{\xi_1}}; l_2 = \frac{30(t_2 - t_1)}{2\sqrt{\xi_2}}; l_3 = \frac{30(t_3 - t_1)}{2\sqrt{\xi_3}}; \dots; l_n = \frac{30(t_n - t_{n-1})}{2\sqrt{\xi_n}}. \quad (2)$$

Далее, посредством режима анализа изменений амплитуды радиолокационного сигнала, в каждой выделенной точке осуществляется временное детектирование акустических волн в каждом контролируемом слое:

$$T_{p1} = \frac{l_1}{v_1}; T_{p2} = \frac{l_2}{v_2} + T_{p1}; T_{p3} = \frac{l_3}{v_3} + T_{p2}; \dots; T_{pn} = \frac{l_n}{v_n} + T_{pn-1}. \quad (3)$$

Затем из формул (3) вычисляются скорости распространения акустических волн в первом, втором и n -ом слоях:

$$v_1 = \frac{l_1}{T_{p1}}; v_2 = \frac{l_2}{T_{p2} - T_{p1}}; v_3 = \frac{l_3}{T_{p3} - T_{p2}}; \dots; v_n = \frac{l_n}{T_{pn} - T_{pn-1}}. \quad (4)$$

На основании этого в соответствии с уравнением (1) вычисляются модули упругости в каждом слое и определяется прочность каждого слоя.

Для повышения точности диагностики применена адаптивная обработка сигналов георадарноакустических измерений. Существенным методическим приемом реализации метода является то, что, наряду с основным зондированием автомобильной дороги, осуществляют предварительное опорное зондирование покрытий дороги импульсными радиолокационными сигналами. По разности между моментами формирования мгновенных фазоамплитудных флуктуаций, отраженных радиолокационных сигналов от каждой границы между слоями, формируют и запоминают как комплексный опорный шумовой, так и основной измерительный георадарноакустические профили:

$$P_u(t) = \sum_{i=1}^{i=n} G(j\varpi)_u; P_o(t) = \sum_{i=1}^{i=n} G(j\varpi)_o, \quad (5)$$

где i – количество границ между слоями дорожных одежд, $i=n$; G – функция интенсивности сигнала; $j\varpi$ – комплексный спектр частот, перекрывающий диапазон резонансных частот дорожных покрытий от $i=1$ до $i=n$.

Опорный шумовой $P_u(t)$ и основной измерительный $P_o(t)$ георадарноакустические профили, соответствующие выражению (5), преобразуют в цифровой вид. Профиль $P_u(t)$ по логике минимизации погрешности измерений задерживают на время $\tau(n)$, равное времени движения мобильного транспортного средства от центра опорного зондирования до центра основного зондирования. Затем из профиля $P_o(t)$ непрерывно вычитают опорный шумовой георадарноакустический профиль $P_u(t)$, причем полученный разностный георадарноакустический профиль является искомым измерительным профилем $P_u(t)$:

$$P_u(t) = P_o(t) - P_u(t) = \sum_{i=1}^{i=n} G(j\varpi)_o - \sum_{i=1}^{i=n} G(j\varpi)_u = \sum_{i=1}^{i=n} G(j\varpi)_u. \quad (6)$$

Полученный в соответствии с выражением (6) разностный георадарноакустический профиль $P_u(t)$ имеет значительно более стабильные сигналы, очищенные от случайных помех и шумов. По этим сигналам уточняются в соответствии с уравнениями (2) толщины $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ каждого слоя, измеренного посредством определения разности времен $t_{p1}, t_{p2}, t_{p3}, \dots, t_{pn}$ распространения отраженных от границ слоев радиолокационных сигналов с поправкой на диэлектрическую проницаемость слоя. Затем по методике, изложенной выше, вычисляют и определяют по формулам (4) скорости $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ распространения акустических волн в каждом слое дорожной одежды. По полученным величинам скоростей распространения акустических волн уточняют плотность $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots, \rho_n$ материала слоев и вычисляют по формулам (1) модули упругости $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ в каждом из этих слоев, по которым оценивают и определяют их прочности.