

УДК 625.7.08

## ГЕОРАДАРНОАКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД И АППАРАТУРА ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

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

Научно-исследовательское учреждение  
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ  
им. А. Н. Севченко» БГУ  
Минск, Беларусь

Наиболее важной составляющей обеспечения безопасности дорожного движения является качество автомобильных дорог, определяемое прочностью дорожных покрытий. На сегодняшний день не существует ни георадарных, ни акустических, ни каких-либо других методов глубинного контроля, позволяющих послойно определять качество слоев дорожных покрытий путем отдельного измерения их прочностных характеристик, в том числе устанавливать наличие пустот, водяных включений, неоднородностей, внутренних провалов и т. п.

Авторами разработан комбинированный метод и технология экспресс-контроля прочности дорожных покрытий, которые базируются на применении георадарного и акустического способов, причем применяемая комбинация сочетает в себе достоинства георадарного и акустического методов. Это позволяет получить новый качественный результат как по определению толщины, так и прочности каждого слоя покрытия автомобильной дороги. Функционирование предлагаемого георадарноакустического метода заключается в одновременном излучении в слои дорожных покрытий акустических импульсов и излучении коротких зондирующих радиоимпульсных сигналов с последующим приемом и детектированием радиосигналов, отраженных внутренними неоднородностями слоев дорожных покрытий. Метод позволяет измерять толщину каждого слоя покрытия и время распространения акустических импульсов в каждом слое дорожных покрытий, и на основании этого вычислять скорость распространения акустической волны в каждом слое покрытия, что дает возможность определять модуль упругости  $E$  каждого слоя:  $E = v^2 \cdot \rho$ , где  $v$  и  $\rho$  – скорость распространения звука в слое и плотность слоя соответственно. На основании этого производится экспресс-контроль качества и прочности слоев дорожных одежд (СДО) автомобильных дорог.

Разработанный аппаратный комплекс содержит антенный блок с рупорной излучающей антенной (РИА) и рупорной приемной антенной (РПА), которые подключены к измерительному блоку с амплитудно-цифровым преобразователем (ИБ АЦП). В свою очередь, ИБ АЦП связан по интерфейсу USB 2.0 с управляющим персональным компьютером (ПК), имеющим установленное прикладное программное обеспечение (ПО).

При этом измерительный блок АЦП обеспечивает: оцифровку данных на сигнальном входе блока; передачу полученных и оцифрованных массивов результатов измерений в управляющий компьютер; передачу соответствующих команд и сигналов управления в ВЧ-блок комплекса по локальной шине управления.

Посредством ПО управляющего компьютера осуществляется управление функционированием основных блоков и модулей измерительного комплекса. Назначением ВЧ блока также является формирование синхросигналов для запуска процедуры оцифровки запускающих и выходных сигналов, формирование тактовых частот (~40МГц) для измерительного блока АЦП. Управление моментом излучения в модуле формирования импульсов излучения с периодом на частоте 2,5 ГГц и выделение из команд локальной шины управления сигналов, предназначенных для функционирования системы измерения, также является функцией блока ВЧ.

Функционирование ВЧ-блока с измерительным блоком АЦП обеспечивает как измерение разности времен распространения радиолокационных импульсных сигналов, что необходимо для измерения толщины покрытий, так и детектирование мгновенных флуктуаций радиолокационных сигналов, что необходимо для измерения времен распространения акустических волн в СДО.

Для определения модуля упругости  $E$  с использованием разработанной аппаратуры георадарноакустического комплекса в каждом слое дорожной одежды измеряется скорость  $v$  распространения акустических волн. Для этого, по временам распространения отраженных электромагнитных импульсов, определяются толщины  $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$  каждого слоя, а затем измеряется время распространения  $T_P$  акустических волн в каждом слое. Численные значения времен  $T_P$  распространения акустических волн представляются в виде:

$$T_{P1} = \frac{l_1}{v_1}; T_{P2} = \frac{l_2}{v_2} + T_{P1}; T_{P3} = \frac{l_3}{v_3} + T_{P2}; \dots; T_{Pn} = \frac{l_n}{v_n} + T_{Pn-1}.$$

В приведенных формулах величины  $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$  представляют собой скорости распространения акустических волн в первом, втором или  $n$ -ом слое дорожной одежды. По скоростям распространения акустических волн в первом, втором, третьем и  $n$ -ом слоях, в соответствии с формулой модуля упругости, находятся точные значения  $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$  модулей упругости, связанных с прочностью материалов слоев дорожных одежд.

Проведенные испытания показали работоспособность георадарноакустического метода и, созданного на его основе, макета аппаратного комплекса. Сравнение результатов измерений модуля упругости СДО посредством георадарноакустического комплекса с результатами лабораторных испытаний показали схожесть результатов, что характеризует высокую разрешающую способность разработанного метода и созданного на его основе аппаратного комплекса.