

## **ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ ЗА ДОПОМОГОЮ НАНОСЕКУНДНИХ ІМПУЛЬСІВ**

Визначено можливості методики оцінки геометричних параметрів дорожніх одягів. Наведено результати експериментальних досліджень щодо відновлення товщини конструктивних шарів дорожніх одягів.

Ключові слова: дорожньо – будівельні матеріали, георадар, діелектрична проникність, геометричні параметри, дорожні одяги, георадіолокація.

Для певного кола задач дорожнього будівництва (позиціонування неоднорідностей, визначення границь шарів із чіткими границями) метод класичної радіолокації залишається досить конкурентоспроможним, особливо коли він використовується в сполученні з іншими методами (метод електророзвідки, буровлення свердловин і ін.). Основна мета методу георадіолокації полягає у визначенні положення границь розділу середовищ. Модель середовища в цьому випадку представляють у вигляді плоскошаруватого середовища з постійними електрофізичними властивостями всередині кожного шару і наявністю лінійних і зосереджених об'єктів, що відрізняються за електрофізичними властивостями від навколишнього середовища. Разом з тим, завдання неруйнівного контролю в дорожньому будівництві пред'являють досить жорсткі та взаємно суперечливі вимоги до апаратури радіохвильового контролю. Справа в тому, що покращення роздільної здатності за часом затримки сигналів, відбитих від внутрішніх неоднорідностей, вимагає зменшення тривалості зондувального імпульсу. З іншого боку, для збільшення глибини зондування необхідно знижувати несучу або центральну частоту сигналу. Найбільш ефективним компромісним рішенням у такому випадку є використання так званих надширокосмугових імпульсів [1], які мають від одного до декількох коливань поля й повторюються, як правило, із частотою в декілька десятків кілогерців для наступного накопичення та усереднення. Такі імпульси іноді називають відео-імпульсами або імпульсами без несучої.

У даній роботі розглянемо можливості застосування таких імпульсів для визначення товщини одношарової конструкції з типових будівельних і природних матеріалів – бетону, залізобетону й суглинку. Джерелом імпульсного сигналу є надширокосмугова антена типу «Метелик» без додаткової штучної дисипації енергії приймально-передавального антенного блоку АБ-0,5н/Р георадару «Одяг». Тривалість імпульсу дорівнює 0,5 нс, а амплітуда – 200В. Максимальна частота повторень – 20кГц. Вид

зондувального сигналу наведений на рисунку 1. Антенна система георадару, як правило, розташовується безпосередньо на поверхні об'єкта зондування, тому його поверхневі шари перебувають у близькій зоні антени й можуть розглядатися як частина самої антени, що формує її основні характеристики: вхідний опір, діаграму спрямованості, частотний діапазон.



Рис. 1. Вид зондувального сигналу

При переміщенні радара вздовж поверхні ділянки, що прилягають до антени можуть змінювати свою діелектричну проникність  $\varepsilon$  і провідність  $\sigma$ , що може змінювати форму випромінюваного зондувального імпульсу. При відбитті від границь зондувальний імпульс міняє свою полярність, якщо хвиля переходить із середовища з меншою діелектричною проникністю або провідністю, у середовище з більшими значеннями цих параметрів, і не міняє полярності в протилежному випадку. Форма відбитого імпульсу (наприклад, його ширина) визначається дисперсією середовища й шириною перехідної зони (границі) між шарами.

Зі сказаного вище випливає, що гарантувати стабільну форму зондувального й відбитих імпульсів не можна, оскільки вони формуються значною мірою самим досліджуванним середовищем. Апріорі передбачити форму зондувального сигналу в кожному конкретному випадку також не представляється можливим, оскільки невідомі характеристики середовища. Із цієї причини одним із завдань експериментальних досліджень була перевірка можливості оцінки затримки відбитих сигналів на основі використання перетворення Гільберта. Справа в тому, що реальна радарограма в загальному випадку складається із суперпозиції багатьох відбитих знакозмінних сигналів, які можуть накладатися один на одній, рисунок 2. Тому проблема тимчасового розподілу сигналів у такому випадку є ключовою.

За основу алгоритму виявлення надширокопasmових георадарних сигналів і визначення їх характеристик пропонується використовувати

специфічну обробку модуля перетворення Гільберта. Для зондувальних і відбитих георадарних імпульсів досить довільної форми це – гладка аналітична однополярна функція, яка має тільки один максимум, тому виявлення сигналу на тимчасовій осі зводиться до пошуку максимумів модуля перетворення Гільберта. Полярність імпульсу визначається за значеннями хвильової функції в момент часу, відповідний до максимуму модуля.

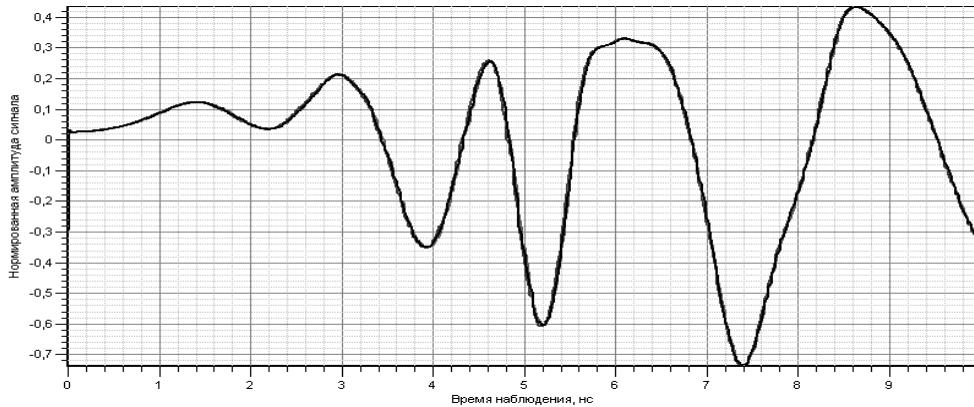


Рис. 2. Сигнал, отриманий при обстеженні двошарової конструкції дорожнього одягу

Перетворення Гільберта звичайно представляють у комплексній формі  $h(t) = x(t) + iy(t)$ . У теорії аналітичних сигналів через модуль перетворення Гільберта  $|h(t)|$  визначають обгинаючу імпульсу  $A(t)$  [2]:

$$A(t) = |h(t)| = \sqrt{x^2(t) + y^2(t)}. \quad (1)$$

У нашому випадку додаткова функція  $y(t)$  має цілком визначене фізичне значення – це «відновлена» магнітна компонента електромагнітного імпульсу. Хоча ми й не реєструємо магнітну компоненту зондувального імпульсу, за законами електродинаміки вона в радіохвилі обов'язково існує, причому її спектральні компоненти, дійсно, повернені по фазі на  $90^\circ$  стосовно електричної компоненти. Таким чином, квадрат модуля перетворення Гільберта можна розглядати як нормовану функцію щільності повної електромагнітної енергії зондувального й відбитих імпульсів.

Перевірка адекватності розроблених алгоритмів проводилася на одно - і двошарових моделях конструкцій дорожніх одягів як у лабораторних умовах, так і в польових умовах при обстеженні реальних конструкцій дорожніх одягів. Розглянемо приклад лабораторної апробації роботи алгоритму. У якості вихідної моделі прийнята модель шару піску товщиною 25 см. Розгортка реєстрації імпульсу становить 10 нс. При обробці результатів вимірів діелектрична проникність (її дійсна частина) сухого піску була прийнятої рівної  $\varepsilon' = 3$ . Обробка результатів вимірів (рисунок 3) дозволила відновити товщину досліджуваного шару. За результатами обробки

відновлене значення товщини шару становить 24,98 см.

Багатошарові моделі є більш складними з погляду інтерпретації отриманих радарограм, оскільки відбувається багаторазове перевідбиття сигналу від границі розділу середовищ, що призводить до викривлення форми й амплітуди сигналу.

Приведемо приклад відновлення товщини конструктивних шарів двошарової моделі дорожнього одягу. Модель являє собою конструкцію, яка складається з нижнього шару піску товщиною 24 см і шару дрібнозернистого асфальтобетону товщиною 4,5 см.

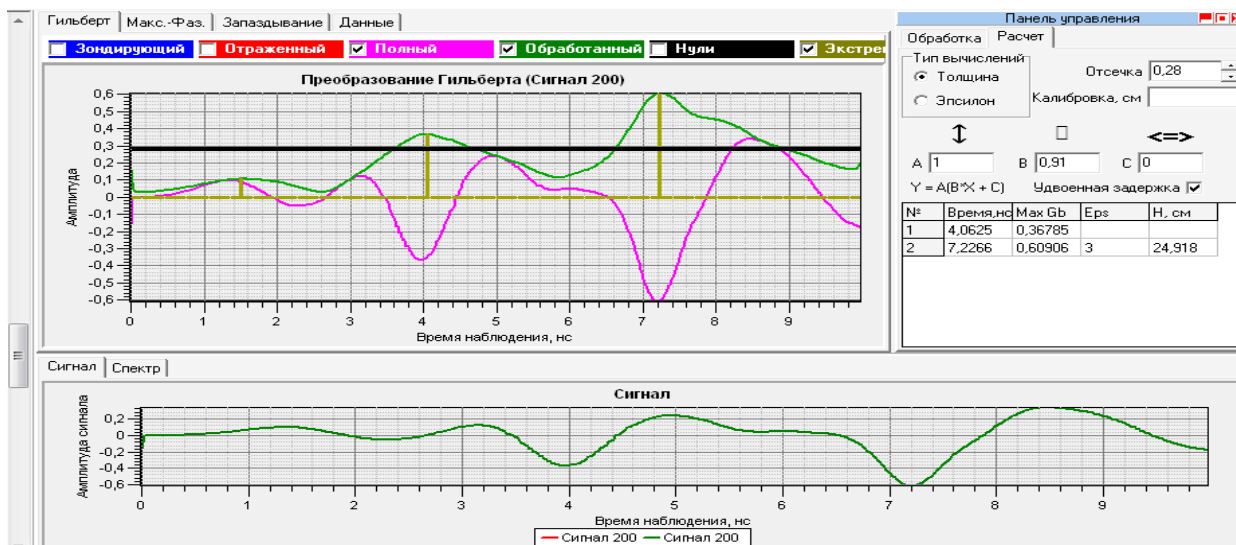


Рис. 3. Вікно програми, яка реалізує алгоритм визначення тимчасової затримки по Гільберту для одношарової моделі.

Товщина вихідного шару 25 см. Величина діелектричної проникності піску прийнята рівної  $\varepsilon' = 3$ , асфальтобетону -  $\varepsilon' = 7$ . Виміри виконувалися на тимчасовій розгортці сигналу 25 нс.

Обробка результатів вимірювань (рис. 4) дозволила відновити товщину шарів: для шару піску – 22,68 см, для шару асфальтобетону – 4,7 см.

Отримані результати відповідають точності, що допускається чинними нормативними документами, при визначенні товщини конструктивних шарів дорожнього одягу.

Таким чином, проведені теоретичні дослідження й лабораторні випробування підтвердили можливість відновлення геометричних параметрів дорожніх одягів при використанні алгоритму інтерпретації результатів вимірів, заснованого на обробці модуля перетворення Гільберта.

Крім того, запропонований алгоритм обробки імпульсних сигналів може надалі стати основою для побудови більш складних методів комплексного визначення фізико-геометричних характеристик конструктивних шарів

дорожніх одягів.

Слід зазначити також, що точність відновлення геометричних параметрів істотно буде залежати від знання величини діелектричної проникності матеріалів. Тому подальші дослідження в цьому напрямку повинні бути спрямовані також на визначення електрофізичних характеристик матеріалів.

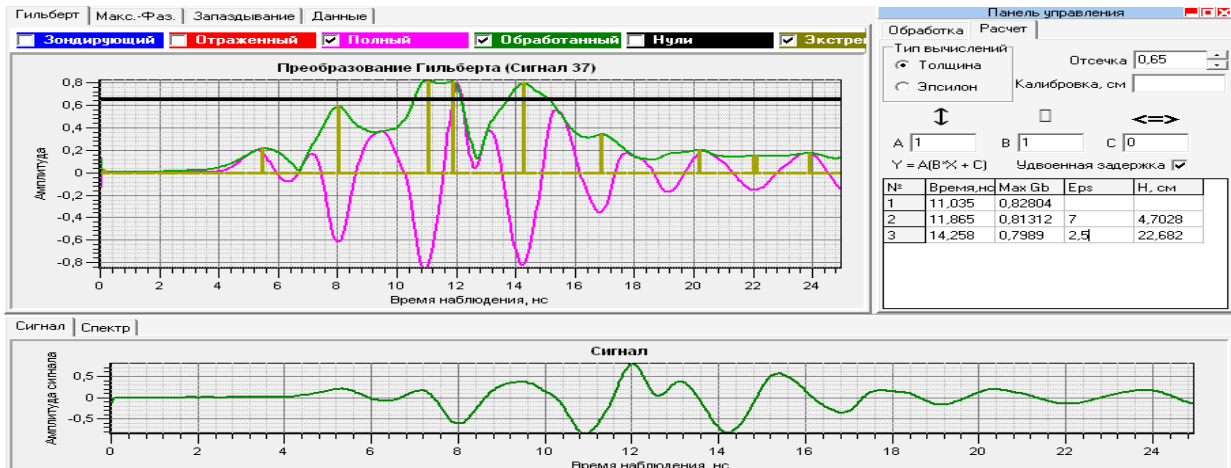


Рис. 4. Вікно програми яка реалізує алгоритм визначення тимчасової затримки по Гільберту для двошарової моделі

### Список використаних джерел

1. Финкельштейн М.И., Мендельсон В.Л., Кутев В.А. Радиолокация шаруватих земних покривів. Під ред. М.И. Финкельштейна. М., Сов. Радіо, 1977, 176с.
2. Батраков Д.О., Головін Д.В., Греков С.В., Батракова А.Г. Алгоритм визначення затримки імпульсних сигналів, заснований на перетворенні Гільберта // Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна: Радіофізика та електроніка – 2009. - № 853, вип. 14, с. 68-73

### Аннотация

Определены возможности методики оценки геометрических параметров строительных конструкций. Приведены результаты экспериментальных данных по восстановлению толщины конструктивных слоев дорожных одежд.

Ключевые слова: дорожно - строительные материалы, георадар, диэлектрическая проницаемость, геометрические параметры, дорожные одежды, георадиолокация.

### Annotation

Defined methodology for assessing the possibility of geometrical parameters of building structures. The results of experimental data on the thickness of the restoration of the structural layers pavement.

Key words: road - building materials, georadar, dielectric constant, geometrical parameters, pavement, georadiolokatsiya