

ФОРМУВАННЯ АКУСТИЧНОГО СИГНАЛУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ УЩІЛЬНЕНОГО ШАРУ ҐРУНТУ (ПЛУЖНОЇ ПІДОШВИ)

Антипчук Б. О., аспірант

*Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації
сільського господарства» НААН України*

Основною метою акустичного контролю визначення глибини залягання плужної підшви є оцінка фізико-механічних властивостей пластів ґрунту. Для цього застосовано активний, найбільш розповсюджений, універсальний акустичний метод, що базується на характері відбиття акустичних хвиль, а саме – ехо-метод. Інформативним параметром такого методу є час надходження імпульсу, що характеризує глибину плужної підшви.

Для точного визначення глибини залягання плужної підшви потрібно дотримуватись таких умов (рис. 1):

$$1. \quad l_p + l_b = 2 \times \operatorname{tg} \varphi_p \quad (2, \text{ с. } 124), \quad (1)$$

де l_p та l_b – відстань проходження імпульсу від датчика до плужної підшви і назад до датчика, x – відстань від датчика-перетворювача до плужної підшви, φ_p – кут падіння променю.

$$2. \quad t = \frac{2H_{\max}}{c} \quad (1, \text{ с. } 7), \quad (2)$$

де t – час проходження імпульсу від датчика до плужної підшви і назад, $H_{\max}$ – максимальна глибина зондування, c – швидкість звуку у верхньому пласті ґрунту.

$$3. \quad F = \frac{1}{T} = \frac{c}{N \cdot 2H_{\max}} \quad (3, \text{ с. } 33), \quad (3)$$

де F – максимальна частота слідування зондуючих імпульсів, T – період зондуючого імпульсу, $H_{\max}$ – максимальна глибина зондування, N – кількість ультразвукових імпульсів.

4. Період проходження імпульсів формується таким чином, що до отримання відбитого з максимальної глибини сигналу повторне випромінювання не відбувається. Формула періоду зондуючого імпульсу така:

$$T = \frac{2H_{max}}{t} \quad (4, \text{ с.36}), \quad (4)$$

де T – період зондуючого імпульсу, H_{max} – максимальна глибина зондування, t – час проходження імпульсу від датчика до плужної підшви і назад.

В даному випадку застосовано ультразвуковий датчик з поєднаною схемою, який з'єднаний одночасно з генератором і підсилювачем пристрою і служить як для випромінювання, так і для приймання ультразвуку.

З урахуванням того, що плужна підшва не пропускає ультразвук і є, за будь-яких умов, перпендикулярно розміщеною до фронту падаючих хвиль, то такі хвилі є плоскими.

Сигнал випромінювання і приймання ультразвукових хвиль приймемо за матеріальні точки, які розміщені у фокусі поля випромінювання і приймання сигналу датчиком-перетворювачем. На рисунку 1 точка **Р** відмічає центр плоских хвиль, які випромінює датчик, точка **В** – центр поля прийому сигналу датчиком.

Ультразвуковий датчик-перетворювач сигналом, надісланим з точки **Р**, формує у пластах ґрунту акустичне поле, яке при максимальній глибині зондування характеризується діаграмою направленості $j_p(x_p)$. Дана функція є розподілом амплітуди хвиль за напрямком сигналу випромінювання. Аналогічно сигнал, що приймається датчиком (точка **В**) має діаграму направленості $j_b(x_b)$, яка характеризує чутливість датчика до сигналів, що надходять.

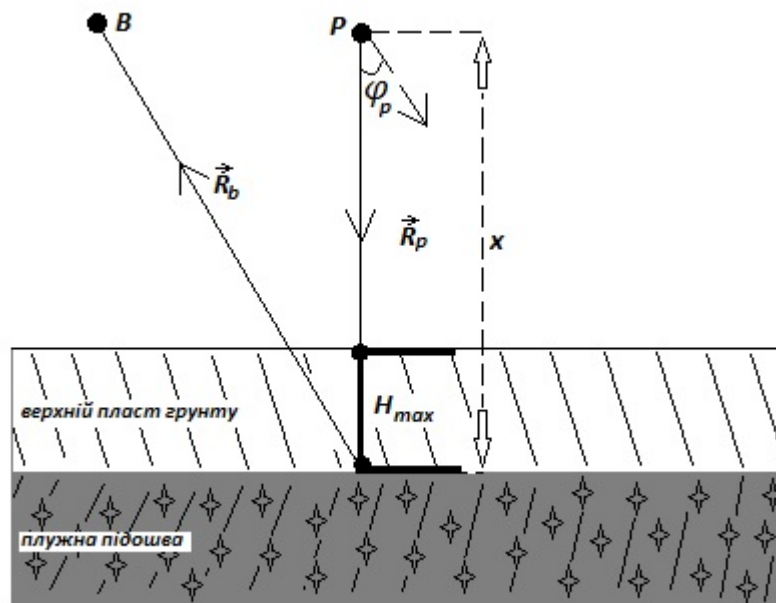


Рис. 1. Схема прозвучування еластичної підлоги (авторська розробка).

Так як еластична підлога залягає на певній глибині і не є верхнім шаром ґрунту, то амплітуда звукових хвиль від точки **Р** випромінювача сигналу датчиком проходить відстань x до еластичної підлоги і залежить від діаграми направленості випромінювача $j_p(x_p)$ та від відстані x .

Амплітуда падаючих хвиль рівна: $\frac{j_p(x_p)}{|R_p|}$.

Амплітуда відбитих хвиль рівна: $\frac{j_b(x_b)}{|R_b|}$.

Шлях ультразвукового сигналу від випромінювача до відбиваючої перепони і назад до приймача коливань називається акустичним трактом. Розрахувати акустичний тракт – означає визначити амплітуду корисного сигналу в залежності від глибини залягання еластичної підлоги, від акустичної поведінки верхніх шарів ґрунту та частоти коливань.

У випадку, коли один і той же перетворювач працює на випромінювання і прийом сигналу, тиск на приймачі буде:

$$P = \frac{K}{S} P_o j^2(x) \quad (5, \text{с. 115}), \quad (5)$$

де P_o і P – амплітуда випроміненого і прийнятого перетворювачем сигналів, S – площа перетворювача, K – коефіцієнт відбиття від

плужної підшви, $j(x)$ – функція, що описує просторовий розподіл поля випромінювання.

Для плоских хвиль розбіжність променів відсутня і її послаблення обумовлене лише затуханням в середовищі. Коефіцієнт відбиття K має нерівномірну частотну характеристику. У випадку межі розподілу двох середовищ він змінюється з частотою або з довжиною хвилі випромінювання. Але у нашому випадку, коли відбиваючим середовищем є абсолютно жорстке тіло (плужна підшва), тоді можна не враховувати частотні властивості і використати деяке спрощення. Отже:

$$K = \alpha \cdot H_{max}, \quad (6)$$

де α – коефіцієнт затухання в верхніх пластах ґрунту, H_{max} – максимальна глибина зондування (глибина залягання плужної підшви).

При максимальній глибині зондування функція $j(x)$ монотонно зменшується за законом:

$$j(x) = \frac{S}{lx} \quad (5, \text{ с. 115}), \quad (7)$$

де l – довжина хвилі, x – відстань від датчика-перетворювача до плужної підшви, S – площа перетворювача.

Тому тиск на приймачі при максимальній глибині зондування буде:

$$\left| \frac{P}{P_0} \right| = \frac{\alpha H_{max}}{S} j^2(x) = \frac{\alpha H_{max}}{S} \times \frac{S^2}{l^2 x^2} = \frac{\alpha H_{max} S}{l^2 x^2} \quad (5, \text{ с. 115}) \quad (8)$$

Відношення максимальної глибини зондування до квадрату довжини хвилі характеризує відбиваючі властивості плужної підшви (коефіцієнт A_σ).

$$A_\sigma = \frac{H_{max}}{l^2} \quad (5, \text{ с. 116}). \quad (9)$$

Отже, виразимо через коефіцієнт A_σ ехо-сигнал, який надходить до датчика з поєднаною схемою:

$$\left| \frac{P}{P_0} \right| = |j^2| A_\sigma \frac{l^2}{S} \quad (5, \text{ с. 116}). \quad (10)$$

Ехо-сигнал, як правило, отримують у вигляді часової залежності. Для визначення глибини залягання плужної підшви це не зручно, тому перехід від часу до довжини пробігу хвиль буде здійснюватися масштабуванням на швидкість звуку c : $l = c \cdot t$.

Формули (8) та (10) встановлюють зв'язок об'єкту контролю (плужної підшви) з ехо-сигналами, які надходять до приймача датчика. Інформація про об'єкт контролю «зашифрована» в ехо-сигналах наступним чином:

1. Функція $j(x)$ модулюється коефіцієнтом відбиття (9), а схема прозвучування сприймає об'єкт контролю O_k як функцію виду: $O_k = j(x) \cdot K$;
2. Об'єкт контролю O_k модулюється чутливістю схеми прозвучування і інтегрується довжиною пробігу хвилі l ;
3. Функція розподілу відбиваючих поверхонь за дальністю піддається згортці з функцією відгуку на максимальній глибині зондування і формується розподіл ехо-сигналів.

Список використаних джерел

1. Греков О. М. Розробка акустичних диференціально-часових методів і засобів контролю динаміки природних вод : реферат наук. роботи на здобуття щорічної премії Президента України для молодих вчених. Севастополь, 2012. 15 с.
2. Ермолов И. Н., Ермолов М. И. Ультразвуковой контроль : учеб. пособие. Москва, 2006. 208 с.
3. Зацепин А. Ф. Акустический контроль : учеб. пособие. Екатеринбург, 2016. 211 с.
4. Исакович М. А. Общая акустика : учеб. Пособие. Москва, 1973. 502 с.
5. Капранов Б. И., Коротков М. М. Акустические методы контроля и диагностики : учеб. пособие. Ч. 1. Томск, 2008. 186 с.