

## АКУСТИЧЕСКИЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЧВ

В.Н. Босак, Д.А. Костюк<sup>1</sup>, Ю.А. Кузавко<sup>2</sup>

Отдел проблем Полесья НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь

<sup>1</sup>Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь

<sup>2</sup>Институт радиотехники и электроники РАН, г. Москва, Российская Федерация

*The ability of acoustical spectral analysis of soil rheologic characteristics (strength, viscosity, relaxation, etc.) is discussed on the strong dissipative medium acoustical reflection basis. Correlation of spoken above soil physical characteristics with its agricultural ones is substantiated. Irrigated soil is supposed to have so-called "previous state memory effect".*

Отражение непрерывных и импульсных акустических сигналов от границ раздела сред изучено теоретически и экспериментально весьма подробно. Нами впервые было рассмотрено отражение акустической волны от среды, обладающей сильным поглощением звуковых колебаний (СДС) [1], в дальнейшем достаточно подробно развитое для практических приложений [2]. Было показано, что состояние отражающей СДС существенно влияет на коэффициент отражения и фазу акустических сигналов. Так как фазовые измерения являются более точными по сравнению с амплитудными, то по ним мы можем судить о поглощении звука в сильно диссипативной среде и проводить непосредственные измерения реологических характеристик сред. Существует достаточно много моделей реальных жидкостей: максвелловская, неньютоновская, степенные и т.д. [3], каждая из которых достаточно удовлетворительно описывает текучие свойства конкретных сред (нефть, стекло, глина, почва, бетон и т.д.). Поэтому для почвы или даже группы можно выбрать конкретную модель, далее связать ее реологические характеристики с данными проведенного акустического спектрального анализа (АСА). Тем самым возникает достаточно эффективный и быстрый способ регистрации влажности, липкости и т.д. почв, играющих важнейшую роль в сельскохозяйственных технологиях.

Теория. Для реологической среды характерна нетривиальная зависимость возникающих в ней механических напряжений  $\sigma$  от деформации  $u$ :

$$\sigma + \tau \dot{\sigma} = cu + b\dot{u}, \quad (1)$$

где  $\tau$  - время релаксации напряжений,  $c$  - упругость,  $b$  - параметр, связанный с вязкостью и теплопроводностью среды. При  $\tau=c=0$  имеет место модель максвелловской жидкости. Возможны более сложные обобщения выражения (1), в частности, учитывающие наличие дискретного ряда времен релаксации  $\tau_i$ .

Используя волновые уравнения в соседствующих средах и граничные условия для механических напряжений и деформаций, в принципе несложно получить коэффициент отражения непрерывного сигнала  $R=R(\omega)$ , который в общем случае является комплексной частотной функцией, зависящей также от материальных констант граничащих сред. Исходя из полученной зависимости  $R(\omega)$  и используя прямое и обратное преобразование Фурье для реального импульсного акустического сигнала, с помощью компьютера рассчитывалась форма и спектр отраженного сигнала от границы раздела оргстекло-почва (рисунки 1, 2). Результаты расчета показывают существенную зависимость амплитуды и фазы отраженного сигнала от частоты основной гармоники импульсного сигнала и реологических характеристик почвы. Так как методы АСА являются многопараметровыми, то существует возможность и предложено программное обеспечение по восстановлению значений реологических параметров почвы, а при определенной калибровке измерительной установки на стандартных образцах почв в лабораторных

образцах почв в лабораторных условиях также возможность измерения и агротехнических параметров почв непосредственно в полевых условиях.

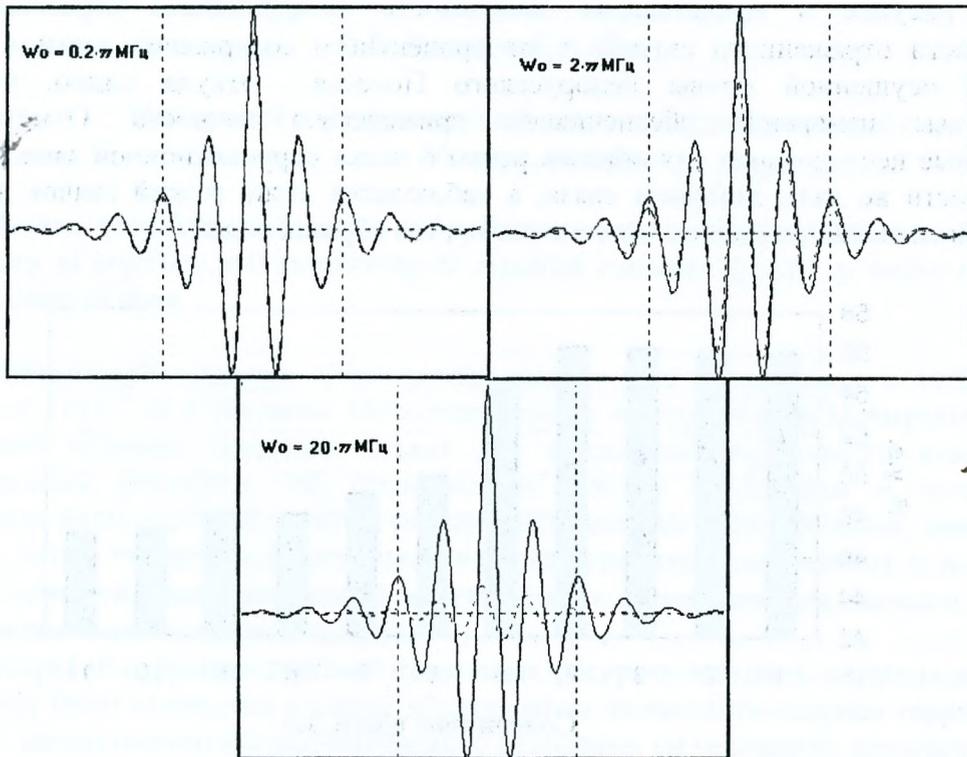
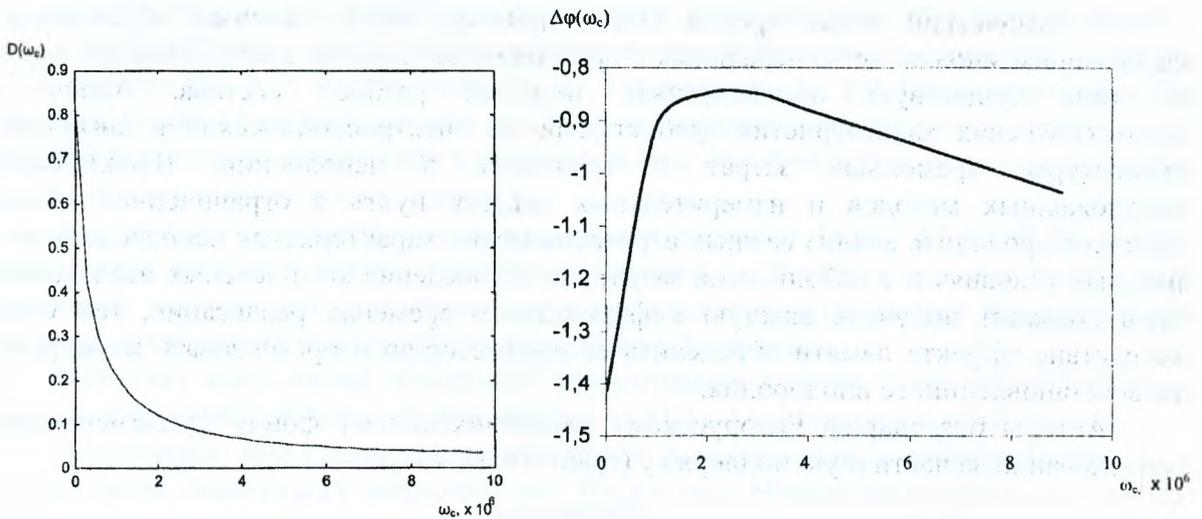


Рисунок 1. Излученный (сплошная линия) и отраженный (пунктирная линия) сигналы в зависимости от влажности почвы



а)

б)

Рисунок 2. Частотные зависимости: а) размах импульса отраженного сигнала, б) его фазовый сдвиг относительно падающего сигнала

Для частного подтверждения теоретически предсказанного явления зависимости коэффициента отражения от диссипации ультразвуковой энергии в отражающей среде проводился следующий эксперимент. Ультразвуковой преобразователь (УЗП) с частотой механического резонанса 3.5 МГц возбуждался импульсным генератором. УЗП излучал близкий к теоретически рассмотренной форме продольный акустический сигнал на границу оргстекла с исследуемым образцом почвы. Излученные и

отраженные сигналы с выхода УЗП регистрировались осциллографом с цифровой индикацией амплитудных и временных интервалов сигнала.

На рисунке 3 представлена зависимость коэффициента отражения  $R$  и длительности отраженного сигнала  $\tau$  от процентного содержания влаги в образце типичной осушенной почвы Белорусского Полесья откуда видно, что даже амплитудные измерения обеспечивают приемлемую точность. Отметим, что аналогичные исследования для образца речного песка корреляционной зависимости  $R$  от влажности не дали значимой связи, а наблюдался лишь резкий скачок величины отражения сигнала при полном заполнении пустот образца водой.



Рисунок 3. Влажность почвы

С физической точки зрения почва является очень сложным образованием, содержащим множество минеральных и органических веществ, влагу. Даже для одного ее типа существует определенный, немалый разброс состава. Анализ ее агротехнических характеристик требует дорогой спектроскопической и химической аппаратуры, временных затрат и трудоемок в исполнении. Использование предложенных методов и измерительных средств пусть в ограниченной области позволит проводить анализ важных агротехнических характеристик непосредственно в полевых условиях и с небольшими затратами. Проведение комплексных исследований почв позволит получить важную информацию о временах релаксации, тем самым вследствие эффекта памяти определить ее предысторию и организовать мероприятия по восстановлению ее плодородия.

Авторы благодарны Белорусскому республиканскому фонду фундаментальных исследований за частичную поддержку (грант T02M-137).

#### Литература

1. Костюк Д.А., Кузавко Ю.А. Аномалии граничного отражения ультразвука от диссипативной среды // Письма в ЖТФ.—2001.—Том 27, вып. 23.—С. 31—40.
2. Ультразвуковые фазо-временные методы непрерывной диагностики в технологиях электроники и машиностроения / А.А. Волчек, В.П. Данилевский, Д.А. Костюк, Ю.А. Кузавко // Сборник материалов II Международной научно-технической конференции «Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств».—Новополоцк, 15-17 мая 2002.—Том II.—С. 16—19.
3. Шульман З.П. Берковский Б.М. Пограничный слой ньютоновских жидкостей.—Минск: Наука и техника, 1966.—239 с.