

the new values of the parameters of the laser influence is carried out, and then the computational process is repeated.

The obtained results allowed the author, with the hardware implementation of applied optimization problems, through the use of functionally oriented blocks to increase their accuracy. The latter is due to: the absence of the development stage of the corresponding software; parallel execution of certain stages of the algorithms; the use of analog blocks, which almost instantly simulate the thermophysical processes occurring in a multilayer microbiological material when exposed to a laser beam. The mathematical models developed by the author, numerical methods, and hardware and software allow to: automate the interdisciplinary study of both mathematical models and the process of interaction of laser radiation with multilayer microbiological material.

The obtained results can be applied to: improvement of the quality of the process of division of artificial and genuine skin in the treatment of major burns; diseases of biomaterials; division of early elite embryos for the purpose of subsequent transplantation of embryo parts, the usage in the practice of microsurgery, ophthalmology, cosmetology and other fields.

References:

1. Douglas-Hamilton D. H., Conia J. (2001). Thermal effects in laser-assisted pre-embryo zona drilling. *Journal of Biomedical Optics*, vol. 6, Issue 2, P. 205. doi: 10.1117/1.1353796
2. Stoyan Yu. G., Putyatin V. P. (1981). *Razmeschenie istochnikov fizicheskikh poley*. K.: Nauk. dumka, pp. 59–87.
3. Chubarov E. P. (1985). *Upravlenie sistemami s podvizhnymi istochnikami vozdeistviia*. M.: Energoatomizdat, 288 p.

Мельник С.И.

старший научный сотрудник;

Зуйков В.А.

ведущий инженер-исследователь;

Дробная О.В.

инженер-конструктор I категории,

Институт радиофизики и электроники имени А.Я. Усикова

Национальной академии наук Украины

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОИСТЫХ ГРУНТОВ В ГЕОРАДАРНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Интерпретация результатов георадарных измерений является сложной задачей. Это связано, прежде всего, с отсутствием общей теории решения как прямых, так и обратных задач электромагнитного рассеяния в неоднородных нелинейных средах с объемным характером рассеяния зондирующего сигнала. Поэтому рассматривают, как правило, ее упрощенные варианты. В частности,

такие упрощения возможны для слоистых грунтов с переменной толщиной слоев. В данной работе мы рассмотрим приближения, допустимые в этом случае и опишем алгоритм решения прямой задачи – расчета отклика на георадарный сигнал при известных параметрах исследуемого грунта.

В общем случае задача моделирования распространения ЭМ волн в слоистом грунте все еще достаточно сложна. Поэтому мы будем ее решать поэтапно, последовательно учитывая в модели новые особенности. Иерархия моделей слоистых структур (по степени сложности) показана на рисунке 1.



Рис. 1. Модели слоистых грунтов при анализе данных георадарных измерений

Источник: разработано авторами

В 1-й модели отражение падающей волны происходит только от границы двух однородных областей. Для того чтобы упростить рассмотрение и исключить повторные отражения от границы почва-воздух и границы областей, в качестве падающей волны рассматриваем волну под поверхностью грунта. Указанные отражения будут учтены в дальнейшем при переходе от нее к над-поверхностной волне.

Отражающую поверхность разобьем на участки малой площади, для которых выполняются следующие условия:

- падающую на каждый из них волну можно считать приближенно плоской;
- можно пренебречь изменением глубины границы раздела в пределах рассматриваемого участка;
- размер участка больше длины падающей волны.

Тогда для каждого из них отражение можно рассматривать независимо от соседних участков и воспользоваться известным результатом отражения плоской волны от плоской границы раздела двух однородных сред [1]. При выполнении указанных условий полученный отклик формируется как суперпозиция сигналов, отраженных от отдельных областей.

Следуя обозначениям работы [2], последовательность SFCW радиоимпульсов $x(t)$ может быть представлена в виде:

$$x(t) = \sum_{i=0}^{n-1} \operatorname{Re}\{e^{2\pi j(f_L + i\Delta f)t}\} \cdot \operatorname{rect}\left(\frac{t+iT-T/2}{T}\right) \quad (1)$$

Принятый сигнал преобразуется в комплексный низкочастотный сигнал путем его смешивания с опорным сигналом и пропусканьем результата через фильтр низких частот. В этом случае сигнал, отраженный от единичной точечной неоднородности с комплексным коэффициентом отражения $|\Gamma|e^{j\phi}$, временем запаздывания τ , и обработанный согласно [2], может быть записан в форме.

$$y(t) = \sum_{i=0}^{n-1} \text{Re}\{|\Gamma|e^{j\phi} e^{2\pi j(f_L+i\Delta f)(t-\tau)}\} \cdot \text{rect}\left(\frac{t-\tau-iT-T/2}{T}\right) \quad (2)$$

Представим отраженный от границы слоев сигнал как суперпозицию сигналов, отраженных от каждой из ее локально малых площадок. При этом коэффициент отражения пропорционален площади площадки dS и зависит от угла θ падения волны на границу раздела слоев (1.68; 1.72 в [1]). Тогда вместо (2) для каждой малой площадки площадью dS получим:

$$dy(t) = \sum_{i=0}^{n-1} \text{Re}\left\{ \Theta(\varphi) \dot{R}_{1-2}(\tau, \theta) \cdot \exp(j2\pi(f_L + i\Delta f)(t - \tau)) \right\} \text{rect}\left(\frac{t-\tau-iT-T/2}{T}\right) dS \quad (3)$$

Здесь $\dot{R}_{1-2}(\tau, \theta)$ - коэффициент отражения, зависящий от:

- времени запаздывания сигнала τ при отражении от площадки площадью dS ;
- угла падения волны θ на площадку dS ;
- диаграммы направленности антенны $\Theta(\varphi)$;
- угла падения волны относительно оси симметрии излучающей антенны φ .

Все эти параметры рассчитываются из простых геометрических соотношений, с учетом заданной границы слоев $z = f_1(x, y)$. Они также зависят как от положения антенны $(x_0; y_0)$, так и от координат отражающей площадки (x, y, z) . Суммирование отраженных от различных площадок сигналов равносильно интегрированию по площади.

В случае 1-й модели для коэффициента отражения вертикально поляризованной волны от локальной площадки имеем:

$$\dot{R}_{1-2}(\tau, \theta) = \frac{\dot{W}_2 \cos\theta_2 - \dot{W}_1 \cos\theta_1}{\dot{W}_2 \cos\theta_2 + \dot{W}_1 \cos\theta_1} \quad (4)$$

Здесь θ_1 и θ_2 - углы падения и преломления при прохождении плоской волны через границу двух оптически однородных сред с комплексными волновыми импедансами \dot{W}_1 и \dot{W}_2 .

Если функция $z = f_1(x, y)$ задана аналитически, то выражение (3), с учетом (4) можно проинтегрировать по площади всей границы раздела слоев при разумных допущениях о виде функции $\Theta(\varphi)$. Например, считая ее гауссоидой. В результате мы получим аналитическую зависимость отклика отраженного сигнала во временной области от положения антенны относительно неоднородного слоя грунта. Тогда в общем виде вместо формулы (2) получим:

$$y(t) = \int \aleph_1(\tau; y_0; x_0) \exp(j2\pi(f_L + i\Delta f)(t - \tau)) \text{rect}\left(\frac{t-\tau-iT-T/2}{T}\right) d\tau \quad (5)$$

Здесь функция $\aleph_1(\tau; y_0; x_0)$ – комплексная амплитуда сигнала, отраженного от «зоны Френеля», соответствующей интервалу запаздывания $[\tau; (\tau + d\tau)]$ с центром в точке $(y_0; x_0)$, и полученная интегрированием по азимутальному углу. В общем случае она может быть получена численным интегрированием,

но в том случае, когда $z = f_1(x, y)$ вблизи точки $(y_0; x_0)$ представимо простым приближением, может быть вычислена аналитически. При квадратичной аппроксимации поверхности раздела вблизи точки $(y_0; x_0)$ она представляет собой область между двумя эллипсами (рис. 2).

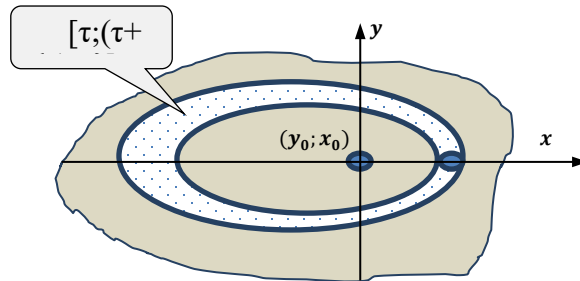


Рис. 2. Вид «зоны Френеля», соответствующей интервалу запаздывания $[\tau; (\tau + d\tau)]$ с центром в точке $(y_0; x_0)$

Источник: разработано авторами

Если функция $z = f_1(x, y)$ достаточно плавная, то вблизи точки $(y_0; x_0)$ на расстояниях, не превышающих расстояния между двумя соседними точками измерения $\max(\delta x; \delta y)$, ее можно считать плоской. Тогда функция $\aleph_1(\tau; y_0; x_0)$ зависит только от таких геометрических параметров, как глубина $z_0(y_0; x_0)$ и угол наклона $\theta_0(y_0; x_0)$, а также от комплексной диэлектрической проницаемости верхнего и нижнего слоев.

Таким образом, в (5) мы получаем отраженный временной сигнал в виде одномерной свертки по времени запаздывания функций

$$j2\pi(f_L + i\Delta f)(t - \tau) \text{rect}\left(\frac{t - \tau - iT - T/2}{T}\right) \text{ и } \aleph_1(\tau; z_0(y_0; x_0); \theta_0(y_0; x_0)) \quad (6)$$

Параметры $z_0(y_0; x_0); \theta_0(y_0; x_0)$ второй из них и являются неизвестными параметрами границы раздела в принятом приближении. Проводя все преобразования, в соответствии с методикой, описанной в [2], в окончательном выражении для временного отклика вместо произведения функции $[\text{sinc}(Bt)e^{j2\pi f_c t}]$ на постоянный коэффициент отражения от локальной неоднородности, мы получаем ее свертку по времени с функцией $\aleph_1(\tau; z_0; \theta_0)$, которая связана с локальными параметрами слоя.

$$d(t) = B[\aleph_1(\tau; z_0; \theta_0)] * [\text{sinc}(Bt)e^{j2\pi f_c t}] \quad (7)$$

Здесь B и f_c – соответственно ширина, и центральная частота спектра зондирующего ступенчатого сигнала.

Во 2-й модели мы будем считать слой достаточно тонким (по сравнению с длиной волны). Тогда вместо формулы (4) для коэффициента отражения \dot{R}_{1-2-1} от локальной единичной площадки слоя толщиной δ получим:

$$\dot{R}_{1-2-1}(\tau, \theta, \delta) = \frac{\dot{R}_{1-2} + \dot{R}_{2-3} \exp(-2\dot{\gamma}_2 \delta \cos \theta_1)}{1 + \dot{R}_{1-2} \dot{R}_{2-3} \exp(-2\dot{\gamma}_2 \delta \cos \theta_1)}, \quad (8)$$

где \dot{R}_{2-3} рассчитывается аналогично $\dot{R}_{1-2}(\tau, \theta)$ по формуле (2). После интегрирования получаем, как и прежде, функцию $\aleph_2(\tau; z_0; \theta_0; \delta)$ для каждой из

точек $(y_0; x_0)$, характеризуючих расположение антенны над поверхностью грунта.

В 3-й моделі и ее обобщениях решение прямой задачи сводится к последовательному расчету функций распределения $B[N_1(\tau; z_0; \theta_0)]$ для нескольких слоев и их свертке.

Список использованных источников:

1. Финкельштейн М.И., Карпухин В.И., Кутев В.А., Метелкин В.Н. Подповерхностная радиолокация. Москва : Радио и связь, 1994. 216 с.
2. Сугак А.В., Зеленский А.А., Тоцкий А.В., Тарнавский Е.Ф. Особенности обработки сигналов в георадаре со ступенчатым изменением несущей частоты зондирующего сигнала. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2010. № 4(45). С. 7-15.

Полегенько А.Ю., Тарасенко С.В.

студенти,

Національний транспортний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНО ЕФЕКТИВНИХ ОБЛАСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ТА АВІАЦІЙНОГО СПОЛУЧЕННЯ ПРИ ДОСТАВЦІ ВАНТАЖІВ

Перевезення швидкопсувних вантажів авіаційним транспортом та автотранспортом мають свої специфічні особливості, що регулюються у відповідності до підпорядкованості транспортних засобів, на авіаційному транспорті – Інструкціями з організації перевезень вантажів повітряним транспортом (стаття 6.11) [1] та Правилами повітряних перевезень вантажів [2], на автомобільному транспорті – Правилами перевезення вантажів автомобільним транспортом в Україні [3], а також міжнародними договорами України, Цивільним кодексом України [4], Законами України «Про транспорт» [5], «Про автомобільний транспорт» [6] та іншими законодавчими та нормативно-правовими актами України. Необхідно пам'ятати також про Угоду про міжнародні перевезення швидкопсувних харчових продуктів та про спеціальні транспортні засоби, які призначені для цих перевезень (УПШ) [7] від 01.09.1970 р. (м. Женева) (Україна приєдналася згідно з Указом Президента України від 02 квітня 2007 року № 262).

За визначенням Правил перевезення швидкопсувних вантажів, де швидкопсувний вантаж – це вантаж, який втрачає свої якості після закінчення обмеженого періоду часу під впливом умов навколишнього середовища (температури, вологості та ін.) і вимагає дотримання особливих умов транспортування та зберігання.

Перевезення транспортними засобами швидкопсувних вантажів, а також матеріалів і виробів, що контактують з ними, потрібно здійснювати в умовах,