УДК 519.632.4

Метод локальных возмущений для восстановления формы волнистой поверхности по собственному излучению

А.В. Романова[1]

[1]Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова

Результаты работы получены совместно с А. С. Шамаевым.

Исследования в области распознавания различных характеристик волнистых поверхностей по данным электромагнитного зондирования имеют прикладное значение и используются в прогнозировании погоды, выявлении естественных процессов в океане (подводные течения, особенности дна) и искусственных (движение подводных лодок). Для решения данной задачи требуется восстановить форму волнистой поверхности по ее собственному излучению. В данной работе используется метод локальных возмущений [1], [2], позволяющий построить и реализовать эффективный алгоритм восстановления формы поверхности.

Рассматривается задача дифракции плоской электромагнитной волны, падающей из полупространства $Y<0$ на цилиндрическую по оси OZ импедансную поверхность. Задача сводится к двум независимым плоским безразмерным задачам дифракции в полосе, ограниченной одним периодом поверхности. Пусть контур S задается равенством $y=f(x)$, где $f(x)$ – периодическая функция, заданная конечным числом коэффициентов Фурье.

Электромагнитному полю соответствуют неизвестные функции $u^{(1)}(x,y)$, $u^{(2)}(x,y)$, в области $\Omega=\{(\mathrm{x},\mathrm{y}):-\infty<y<\mathrm{f}(\mathrm{x}),0\le x\le 2\pi\}$. Они удовлетворяют уравнению Гельмгольца с граничными условиями на контуре $y=f(x)$:

$$\Delta u^{(j)}+k^2u^{(j)}=0,\qquad j=1,2$$

$$u^{(1)}(x,y)-h_1\frac{\partial u^{(1)}(x,y)}{\partial \overline{n}}=0,$$

$$\frac{\partial u^{(2)}(x,y)}{\partial \overline{n}}-h_2u^{(2)}(x,y)=0,$$

где h_1,h_2 определены соотношениями $h_1=-icW/\omega,\quad h_2=i\omega W/c,\ W$ - поверхностный импеданс $W=(\mu/(\varepsilon+i\dfrac{4\pi\sigma}{\omega}))^{1/2}$, здесь μ,ε - магнитная и диэлектрическая проницаемость, σ - проводимость поверхности, c - скорость света в вакууме. Также должны выполняться условия излучения при $y<y_0=\inf\limits_{x\in[0,2\pi]}f(x)$. Введем величины $\lambda_n=k\sin\alpha+n,\ \gamma_n=\sqrt{k^2-\lambda_n^2}$, α - угол между вектором падающей волны и осью OY. Решения ищутся в классе $u^{(j)}\in C^2(\Omega)\cap C(\overline{\Omega})$. Собственное излучение заданного контура находится по формулам:

$$d^{(1)}=\gamma_0^{-1}\,\mathrm{Re}\left(\frac{ih_1}{2\pi}\right)\int_0^{2\pi}\left|\frac{\partial u^{(1)}(x,f(x))}{\partial\overline{n}}\right|\sqrt{1+f'(x)^2}\,dx,$$

$$d^{(2)}=\gamma_0^{-1}\,\mathrm{Re}\left(-\frac{ih_2}{2\pi}\right)\int_0^{2\pi}\left|u^{(2)}(x,f(x))\right|\sqrt{1+f'(x)^2}\,dx.$$

Метод локальных возмущений позволяет найти функции $\dfrac{\partial u^{(1)}}{\partial\overline{n}},u^{(2)}$, а с их помощью излучение. Далее рассматривается обратная задача: пусть имеются экспериментальные данные по некоторой поверхности, полученные при различных длинах волн. Из вышеизложенного следует, что можно записать функцию невязки и минимизировать ее. Для этой цели в работе используется градиентный метод с переменным шагом. Численные результаты показали, что нахождение излучения по методу локальных возмущений обеспечивает быстрый счет и высокую точность при небольших амплитудах возмущения поверхности, и восстановление поверхности на основе данного метода также эффективно и не зависит от длин волн, но зависит от угла падения и амплитуд восстанавливаемого контура. Программа реализована в среде Matlab.

Литература

1. *Басс Ф.Г, Фукс И.М*. Рассеяние волн на статистически неровной поверхности. М.1972.
2. *Ткаченко Т.Л, Михеев А.Г.* Асимптотические методы в задаче дифракции на волнистой поверхности// Вестн. МГУ. Сер.15 .№ 1. с. 3-9.