

## ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА РЕФРАКЦИИ В ГЕОМЕТРИИ ПОГРУЖЕНИЯ

К.П.Гайкович, Г.Ю.Хачева

Измерения рефракции излучения в атмосфере широко применяются для восстановления высотного распределения показателя преломления и связанных с ним параметров, в частности, давления и температуры. При этом специфику конкретных задач определяет взаимное положение и движение источника, приемника и атмосферы, а также диапазон частот излучения. Наблюдаемой величиной является угол рефракции в зависимости от угла места прихода луча  $\varepsilon(\theta_0)$

Это не ограничивает общность рассмотрения, поскольку доплеровский сдвиг сигналов также может быть пересчитан в угол рефракции. Можно также рассматривать случай астрономической рефракции, так как для любого источника вне атмосферы рефракцию можно пересчитать к рефракции эквивалентного бесконечно удаленного вдоль луча источника.

С учетом сказанного можно выделить четыре основных вида геометрии измерений, каждому из которых соответствуют различные уравнения для решения обратной задачи: лимбовые (затменные) измерения, измерения с некоторой высоты внутри атмосферы, измерения с поверхности земли и измерения при изменении положения источника или приемника внутри атмосферы (геометрия погружения). Наиболее успешно применялись радиозатменные измерения отечественными и американскими космическими аппаратами, с помощью которых были исследованы атмосферы всех планет Солнечной системы. Затменные измерения с космических станций "Салют" и внутриатмосферные измерения атмосферы Земли, выполненные в ИФА РАН в оптическом диапазоне также позволили получить ряд интересных результатов. Все эти задачи сводятся к уравнениям типа Абеля. Наконец, разработаны и успешно применены для обработки результатов астрономических измерений оптической рефракции звезд методы решения обратной задачи рефракции для случая наблюдений с поверхности, где задача сводится к уравнению Фредгольма 1-го рода [1]. Ведутся исследования аналогичной задачи для случая измерений параметров радиосигналов навигационных ИСЗ.

Последний из названных выше четырех видов постановки обратной задачи рефракции в настоящее время практически не изучен ни с математической, ни с экспериментальной точки зрения. Следует отметить однако, что восстановление профиля показателя преломления атмосферы по измерениям рефракции в процессе погружения в атмосферу

источника или приемника может оказаться весьма эффективным методом исследования планет с помощью спускаемых аппаратов.

Уравнение для решения обратной задачи в этом случае - это уравнение Вольтерра 2-го рода [2]:

$$N(p_h) - \int_{p_h}^{\infty} N(p) \frac{pp_h \sin(\vartheta_0)}{(p^2 - p_h \cos(\vartheta_0))^{3/2}} dp = 10^6 \operatorname{tg} \vartheta_0 \varepsilon(p_h), \quad (1)$$

$p=nr$ ,  $r=r_0+h$ ,  $r_0$  - радиус Земли,  $n$  - показатель преломления,  $N = 10^6(n-1)$  - индекс

рефракции. С помощью соотношения  $h = \frac{p}{1+10^{-6}N(p)} - r_0$  профиль  $N(p)$

преобразуется в высотный профиль  $N(h)$ ,  $p_h=p(h)$ .

Уравнение (1) нелинейно, поскольку нижний предел интеграла зависит от искомого показателя преломления. Однако величина  $p$  мало отличается от значения геоцентрического расстояния  $r$ , поэтому (1) можно решать итерационным методом, используя в первом приближении модельный профиль показателя преломления. С вычислительной точки зрения решение уравнения Вольтерра 2-го рода устойчиво. Более того, при использовании достаточно высоких углов места угол рефракции, как известно, с возрастающей точностью определяется значением показателя преломления в точке приема ("теорема" Лапласа-Ариани), и соответственно, наоборот, значение показателя преломления в этой точке определяется величиной рефракции при фиксированном угле места. Вид ядра уравнения в общем случае зависит от траектории погружения. Разработаны алгоритмы и выполнено численное моделирование решения обратной задачи для атиосферы Земли

#### Литература

1. Василенко Н.А., Гайкович К.П., Сумин М.И. Метод определения профилей температуры атмосферы по наблюдениям астрономической рефракции звезд // Доклады АН СССР, 1986, т. 290, N 6, с.1332- 1335.
2. Гайкович К.П. Методы наземного рефрактометрического зондирования атмосферы (лекция) // Тезисы докл. 4-й Всесоюз. школы по распространению ММ и СБММ волн в атмосфере (Н.Новгород, сентябрь 1991), Н.Новгород: НИРФИ, 1991, с.125-130.