

09;12

Определение параметров газовых образований в атмосфере радиолокационными методами на частотах вращательного спектра

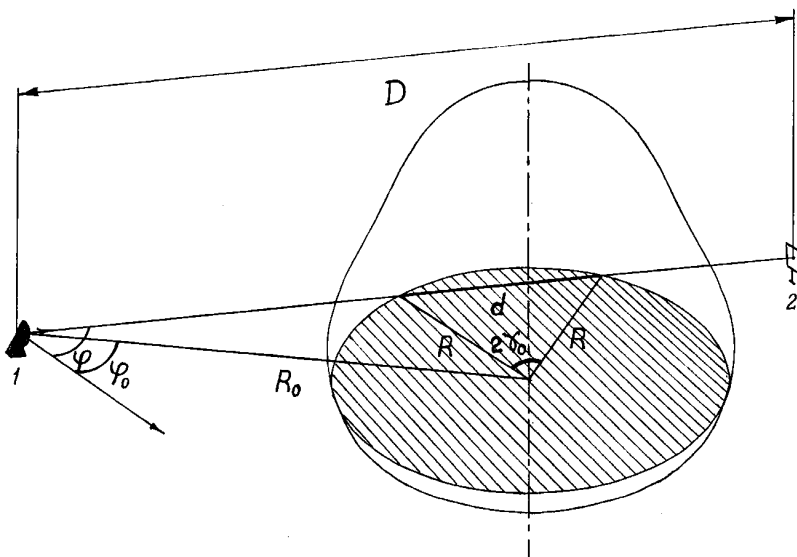
© В.А. Иванченко, В.В. Николаев

Научно-исследовательский институт механики и физики
Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

Поступило в Редакцию 16 июля 1997 г.

Рассматривается способ определения параметров и координат газовых образований в атмосфере с помощью радиолокационных систем, позволяющих производить измерение затухания мощности электромагнитного излучения на частоте резонансного поглощения, указывается один из вариантов технической реализации таких систем. Данный подход к проблеме контроля и мониторинга за состоянием атмосферы позволит описывать динамику распространения загрязнения в реальном масштабе времени, что является крайне важным для обеспечения безопасности в районах возможного распространения химического загрязнения. При соответствующем развитии предложенный способ, возможно, станет основой дистанционного мониторинга радиолокационными методами, а также может быть, в принципе, использован при исследовании неотражающих, обладающих свойством резонансного поглощения объектов различной природы.

В настоящее время во многих индустриально развитых странах возникает необходимость поиска новых методов и средств экологического мониторинга за состоянием приземных слоев атмосферы. Особенно актуальным это является в местах добычи нефти и газа, на химических производствах, в местах хранения и переработки вредных и



Принцип определения параметров газовых образований в атмосфере: 1 — радиолокационная станция, 2 — репер.

отравляющих веществ, а также в районах возможного распространения радиоактивных заражений [1].

Обычно проблема контроля и мониторинга за состоянием атмосферы решается при помощи контактных датчиков, основными недостатками которых являются малый динамический диапазон, ограниченное быстродействие, необходимость создания громоздких и дорогостоящих компьютерных и коммуникационных сетей в случае применения таких устройств на больших контролируемых площадях.

От перечисленных недостатков во многом свободны дистанционные и, в частности, радиолокационные методы экологического мониторинга [2,3]. В настоящей статье рассматривается возможность определения параметров и координат газовых образований в атмосфере с помощью активного радиолокационного метода. Решение такой задачи позволит описывать динамику распространения загрязнения в реальном масштабе времени, что является необходимым при прогнозировании экологических последствий неконтролируемых выбросов вредных веществ.

В традиционных методах радиолокации в качестве источника информации используется отраженное от исследуемого объекта электромагнитное излучение. Отражение от газовых образований может, в принципе, отсутствовать. Однако возможно построение радиолокационных систем, использующих свойство резонансного поглощения излучения миллиметрового диапазона на частотах вращательного спектра газа. В этом случае необходимо наличие опорных отражателей (реперов), расположенных на границе контролируемой площади. Таким образом, зондирующее излучение попадает в приемную антенну радиолокационной станции после двухкратного прохождения через газовое образование (см. рисунок).

При решении данной задачи предполагается, что газообразный объект обладает симметрией относительно перпендикулярной к поверхности земли оси и распределение концентрации в нем подчиняется закону

$$n(r) = \begin{cases} n_0\theta(r), & r \leq R, \\ 0, & r > R, \end{cases} \quad (1)$$

где θ — функция распределения, r — расстояние до оси симметрии, R — радиус сечения газового образования плоскостью, параллельной поверхности земли (характеризует размеры газового образования), n_0 — концентрация газа в центре ($r = 0$). Известен также спектр поглощения газа.

Исходя из основной формулы радиолокации [4] и учитывая ослабление направленного потока излучения за счет его поглощения в атмосфере и в газовом образовании, можно записать

$$\mu(f, \varphi) = \chi_a(D - d) + \int_0^d \chi(f, x) dx, \quad (2)$$

где μ — функция вида

$$\mu(f, \varphi) = \ln \left(\frac{\sqrt{G_0 S_0 S P_0}}{4\pi D^2 \sqrt{P}} \right),$$

f — частота излучения; χ_a, χ — коэффициенты поглощения атмосферы и газа-загрязнителя соответственно; P_0 — мощность излучения станции; P — мощность отраженного сигнала на входе приемной антенны; S —

эффективная площадь рассеяния репера; S_0, G_0 — эффективная площадь и коэффициент направленности передающей антенны; угол φ , а также расстояния d и D указаны на рисунке.

Так как коэффициент поглощения пропорционален концентрации газа [4]

$$\chi(f, r) = \sigma(f)n(r), \quad (3)$$

то формула (2) с учетом (1) и (3) может быть приведена к виду

$$\mu(f, \varphi) = \chi_a(D - d(\varphi, \varphi_0, R, R_0)) + n_0\sigma(f)F(\varphi, \varphi_0, R, R_0), \quad (4)$$

где R_0, φ_0 — координаты центра газового образования,

$$d(\varphi, \varphi_0, R, R_0) = 2R \sin(\psi), \quad (5)$$

$$\psi = \arccos\left(\frac{R_0}{R} \sin(\varphi - \varphi_0)\right), \quad (6)$$

$$F(\varphi, \varphi_0, R, R_0) = 2[R_0 \sin(\varphi - \varphi_0)] \int_0^\psi \theta \left(R \frac{\cos(\psi)}{\cos(\gamma)} \right) \frac{d\gamma}{\cos^2(\gamma)}. \quad (7)$$

Таким образом, искомые величины φ_0, R_0, n_0, R определяются из системы четырех уравнений, записанных для четырех независимых отсчетов угла φ :

$$\{\mu(f, \varphi_i) = \chi_a(D - d(\varphi_i, \varphi_0, R, R_0)) + n_0\sigma(f)F(\varphi_i, \varphi_0, R, R_0)\}_{i=1,4}.$$

При имеющейся возможности перестройки частоты излучения передатчика радиолокационной станции число отсчетов по углу φ можно сократить в два раза. В этом случае параметры и координаты газового образования находятся из уравнений

$$\{\mu(f_i, \varphi_j) = \chi_a(D - d(\varphi_j, \varphi_0, R, R_0)) + n_0\sigma(f_i)F(\varphi_j, \varphi_0, R, R_0)\}_{i,j=1,2}.$$

Если данные о распределении концентрации газа отсутствуют, величины R, R_0, φ_0 могут быть определены по трем отсчетам угла φ и известной зависимости

$$\frac{\partial \mu(f, \varphi)}{\partial f} = n_0 \frac{\partial \sigma(f)}{\partial f} F(\varphi, \varphi_0, R, R_0)$$

из системы трех уравнений

$$\left\{ \mu(f, \varphi_i) = \chi_a (D - d(\varphi_i, \varphi_0, R, R_0)) + \sigma(f) \frac{\partial \mu(f, \varphi_i)}{\partial f} \left[\frac{\partial \sigma(f)}{\partial f} \right]^{-1} \right\}_{i=1,3},$$

затем производится оценка средней концентрации газа \bar{n}

$$\bar{n} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \left\{ \frac{\partial \mu(f, \varphi_i)}{\partial f} \left[\frac{\partial \sigma(f)}{\partial f} d(\varphi_i, \varphi_0, R, R_0) \right]^{-1} \right\}.$$

Далее, используя (4)–(7), можно восстановить функцию распределения θ .

В большинстве случаев перестройка частоты передатчика радиолокационной станции коротковолновой части миллиметрового диапазона представляет значительные технические трудности. Поэтому для решения задачи может быть использовано уширение энергетического спектра коротких радиоимпульсов Δf (на уровне половинной мощности), который для импульсов прямоугольной формы имеет вид

$$W(f) = \frac{A^2}{4\pi^2\tau} \left[\frac{\sin(\pi\tau(f - f_0))}{f - f_0} - \frac{\sin(\pi\tau(f + f_0))}{f + f_0} \right]^2,$$

где A , f_0 — амплитуда и частота заполнения, τ — длительность импульса. Так, например, для сероводорода $f_0 = 168.7$ GHz, $\Delta f \approx 884$ MHz ($\tau = 1$ ns), $\Delta f \approx 177$ MHz ($\tau = 5$ ns).

Таким образом, полученные результаты показывают возможность построения радиолокационных систем, с помощью которых можно определять координаты, размеры и концентрацию газовых образований в атмосфере, обладающих свойством резонансного поглощения.

Список литературы

- [1] Калениченко С.П. // Безопасность жизнедеятельности. 1994. № 13. С. 51–57.
- [2] Шанда Э. Физические основы дистанционного зондирования / Пер. с англ. И.А. Столярова. М.: Недра, 1990. 207 с.
- [3] Богородский В.В., Козлов А.И. Микроволновая радиометрия земных покровов. М.: Гидрометеиздат, 1985. 272 с.
- [4] Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. М.: Физматгиз, 1962. 892 с.
- [5] Радиотехнические системы / Под ред. Ю.М. Казаринова. М.: Высш. шк., 1990. 495 с.