

Л. Г. СКИРТА, И. В. ЗОЗУЛЯ, канд. техн. наук

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ОТКРЫТЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Анализ экологической обстановки автономных технологических объектов осуществляется комплексами, реализующими точечные методы контроля газовой среды [1]. Однако использование в таких комплексах датчиков локального действия снижает вероятность надежного контакта чувствительных элементов датчиков с выделяемой источником и рассеиваемой в среде вредностью [2]. Поэтому для определения, регистрации и прогноза метеорологического потенциала загрязнения пространственно протяженных объектов наиболее перспективен дистанционный метод мониторинга атмосферы.

Существующие и используемые в информационно-измерительных комплексах аналитические модели на основе анализа предыстории и адекватности отражаемых ситуаций позволяют с высокой степенью достоверности идентифицировать газодинамические процессы распределения вредных примесей в атмосфере. Наибольшие ограничения на выбор моделей накладываются степенью достоверности результатов, алгоритмической и программной компактностью и работой в реальном масштабе времени. Этим условиям удовлетворяет модель, полученная из решения уравнений эллипсоидов равных вероятностей и описывающая закон трехмерного нормального распределения [3]:

$$c_0(x, y, z, \tau_0) = \frac{g_r \tau_0}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} e^{-\left(\frac{x^2}{2\sigma_x^2} + \frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right)} \quad (1)$$

где g_r — интенсивность выброса вредностей в атмосферу; τ_0 — время регистрации вредностей в контрольных точках; x, y, z —

пространственные координаты, характеризующие векторное распределение полного профиля ветра, $x = u \cdot \tau_0$, $y = v \cdot \tau_0$, $z = w \cdot \tau_0$ (здесь u , v , w — составляющие вектора скорости перемещения воздушных потоков вдоль осей x , y , z); σ_x , σ_y , σ_z — дисперсии распределения примесей в направлениях x , y , z , характеризующие способность атмосферы рассеивать вредности в пространстве и во времени ($\sigma = (2\epsilon_u \cdot \tau)^{1/2}$); ϵ_u — составляющая вектора коэффициента турбулентной диффузии ($\epsilon_u = y \cdot \tau_0 \cdot g \frac{\rho_r \cdot \rho_b}{2\gamma_r}$); g — ускорение силы тяжести; ρ_r , ρ_b — удельные плотности газа и воздуха.

При использовании двумерной модели выражение (1) примет вид

$$c_0(x, y, \tau_0) = \frac{(g_r \tau_0)^{2/3}}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\left(\frac{x^2}{2\sigma_x^2} + \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)}$$

Условие подчинения нормальному закону концентраций в контролируемых точках позволяет любое последующее значение для текущего момента τ представить как

$$c(\bar{r}, \tau) = c_0(\bar{r}, \tau_0) \cdot \left(\frac{\tau_0}{\tau}\right)^n, \quad (2)$$

где \bar{r} — вектор профиля ветра; τ — время изменения состояний объекта контроля; n — показатель, зависящий от разновидности использования модели для прогноза.

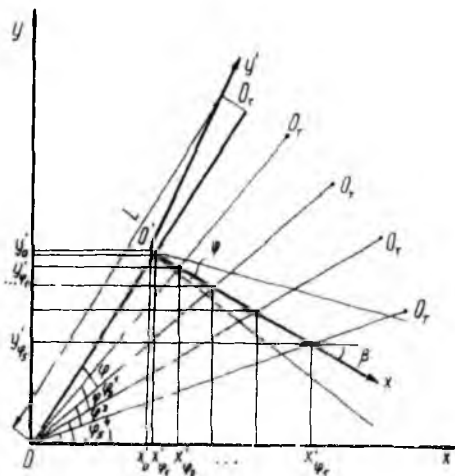


Рис. 1.

Вышеописанные процедуры алгоритмически и программно реализованы (рис. 1) и позволяют рассчитывать концентрацию газа по трехмерной $c_0(x, y, z, \tau_0)$ при $n=2$, двумерной $c_0(x, y, \tau_0)$ при $n=4/3$ и одномерной $c_0(x, \tau_0)$ при $n=2/3$ моделям с анализом и выбором лучшей модели для прогноза развития ситуации.

Дистанционный метод определения содержания вредных примесей в атмосфере реализуется либо пировидиконной тепловизионной техникой в инфракрасном диапазоне, либо лазерными источниками излучения. Последние обладают большой селективностью, чув-

ствительностью, помехоустойчивостью и возможностью контроля местности со сложным рельефом [4].

В используемых в лазерной технике абсорбционных оптических методах о концентрации $c(\bar{r}, \tau)$ i -го компонента среды судят по относительной интенсивности излучения I после прохождения слоя атмосферы толщиной L по длине базы луча к интенсивности I_0 на входе.

В соответствии с законом Бугера—Ламберта—Бера для однородной среды поглощение энергии луча веществом характеризуется соотношением

$$I = I_0 e^{-c(\bar{r}, \tau) Q_{\nu i} L},$$

где $Q_{\nu i}$ — сечение поглощения i -м компонентом энергии луча на частоте νi . В случае малых концентраций, когда $c_i(\bar{r}, \tau) Q_{\nu i} L \ll 1$,

$$\frac{I - I_0}{I_0} = \frac{\Delta I}{I_0} = -c_i(\bar{r}, \tau) Q_{\nu i} L. \quad (3)$$

Из (3) видно, что чем больше $Q_{\nu i}$ и L и меньше детектируемые измерительной аппаратурой относительные изменения интенсивности излучения $\Delta I/I$, тем меньше минимальная детектируемая величина концентрации определяемого компонента. Малые концентрации газа удобнее измерять при значительных L , что соответствует дистанционным измерениям атмосферных загрязнений на расстояниях $L = 1$ км.

Размер сечения $Q_{\nu i}$ резонансного поглощения большинства загрязняющих веществ и радикалов в близкой УФ-области (электронные переходы) и в ИК-области (вращательно-колебательные переходы) лежат в диапазоне $10^{-18} - 10^{-17}$ см².

Решающую роль в определении диапазона измерений и в обеспечении чувствительности аппаратуры играет отношение $\Delta I/I_0$. Применение лазерных источников, генерирующих излучение в узком спектральном диапазоне, сравнимом с шириной линий поглощения определяемых компонентов, и дифференциальных методов анализа позволяет снизить $\Delta I/I_0$ до 10^{-4} . При $L = 10$ см этому соответствует $c_i \approx 1$ млн⁻¹, при $L = 1$ км и дистанционных измерениях содержания вредностей в атмосфере — $c_i(\bar{r}, \tau) \approx 1$ млрд⁻¹, что может оказаться за пределами чувствительности комплекса контроля.

Полученные данные о профиле распределения концентрации вдоль линии или в плоскости наблюдения путем измерения поглощения вдоль заданного направления на n частотах затруднительно без дополнительной информации о характере газораспределения в контролируемых зонах. Более удобно измерение поглощения по m равноудаленным друг от друга параллельным лучам для n различных направлений, характеризующихся углом θ (сетка $m \times n$ лучей). Минимальное число таких лучей и углов сканирования равно соответственно $m = 4f_{\text{макс}} R$ и $n = 2\pi f_{\text{макс}} R$, где R — радиус области определения; $f_{\text{макс}}$ — граничная пространственная частота.

При этом восстановление поля значений функции $F(x, y)$, характеризующей исследуемый процесс, производится в плоскости $хоу$ по измеряемым проекциям $P(r, \theta)$ на ортогональную направлению θ плоскость [5]. А интенсивность турбулентной диффузии накладывает ограничения на количество шагов сканирования луча. Отметим, что необходимая точность достигается выполнением не менее $m \times n = 2\pi(2f_{\max}R)^2$ измерений, сделанных оптическим

газогенератором абсорбционного типа, работающего на принципе резонансного поглощения на линиях, соответствующих линиям максимального поглощения энергии загрязняющими примесями.

Многочувствительные лазерные установки с заданной разрешающей способностью рекомендованы для стационарных информационноизмерительных комплексов. В мобильных комплексах предлагаются к использованию лазеры с помехоустойчивыми однолучевыми двухволновыми схемами с оптическим нулем, обеспечивающие независимость показаний от мешающих сред (пыль, туман, осадки). Такие лазерные газоанализаторы (ЛГ) определяют интегральный, отнесенный к длине лазерного луча, уровень содержания газа в контролируемой зоне.

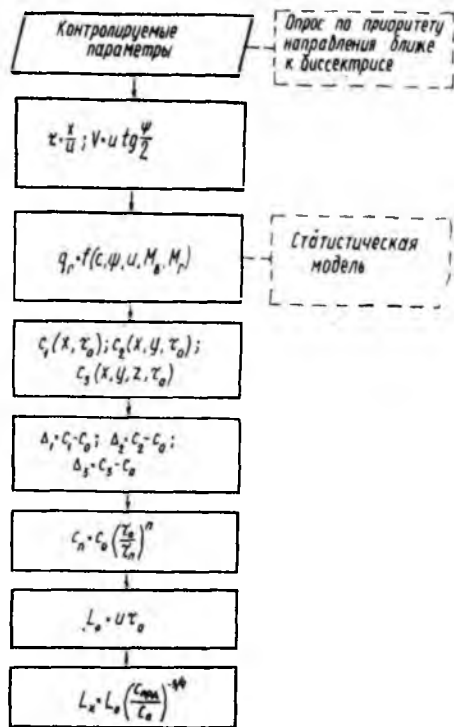


Рис. 2

Для определения концентрации газа в искомой точке пространства предложен динамический коэффициент учета зависимости показаний прибора от координат ЛГ относительно источника утечки газа, базы лазера, соотношений направлений движения газового облака и перемещения луча лазерного излучателя, шероховатости подстилающего слоя и высоты расположения ЛГ над источником утечки газа.

Известно, что вероятность попадания в прямоугольник $хоу$ выражается зависимостью [6]

$$P = \left[\Phi_0 \left(\frac{x_1}{\sigma_x} \right) - \Phi_0 \left(\frac{x_2}{\sigma_x} \right) \right] \left[\Phi_0 \left(\frac{y_1}{\sigma_y} \right) - \Phi_0 \left(\frac{y_2}{\sigma_y} \right) \right],$$

представляющей двумерную плоскостную модель произведения функций Лапласа, зависящих от x и y при определенных σ_x и σ_y .

Рассмотрим изменение концентрации вредностей в поле лазерного луча с учетом влияния метеофакторов на характер газораспределения (рис. 2). Здесь O , O_T и O° — соответственно расположение излучателя и отражателя ЛГ и источника выделения вредностей; β — угол между осью x и направлением движения газового облака; φ — угол между осью x и направлением лазерного луча; L — база лазера, определяемая расстоянием от источника излучения до инверсионного слоя атмосферы; ψ — угол развертки профиля ветра.

Преобразование координат при переносе их центра на y_0 , x_0 и повороте на угол β записывается следующим образом:

$$x' = (x - x_0) \cos \beta + (y - y_0) \sin \beta; \quad (4)$$

$$y' = (y - y_0) \cos \beta - (x - x_0) \sin \beta. \quad (5)$$

Здесь $x = L \cos \varphi$, $y = L \sin \varphi$. (6)

После подстановки в x' , y' (4) и (5) получим

$$x' = (L \cos \varphi - x_0) \cos \beta + (L \sin \varphi - y_0) \sin \beta;$$

$$y' = (L \sin \varphi - y_0) \cos \beta - (L \cos \varphi - x_0) \sin \beta.$$

С учетом (2) после несложных преобразований получим, что распределение концентраций вредностей в поле лазерного луча для плоскостной модели определяется по формуле

$$c(x', y', \tau) = P \cdot c_0(x, y, \tau_0) (\tau_0/\tau)^{4/3},$$

где

$$P = \sin 2(\varphi - \beta) \Phi_0 \left[\frac{L \cos(\varphi - \beta) - x_0 \cos \beta - y_0 \sin \beta}{\sqrt{2K_0 z_L}} \right] \times \\ \times \Phi_0 \left[\frac{L \sin(\varphi - \beta) + x_0 \sin \beta - y_0 \cos \beta}{\sqrt{2K_0 z_L}} \right].$$

Здесь K_0 — виртуальный коэффициент, характеризующий шероховатость подстилающего слоя, $K_0 = 0,1 - 1,0$ м; z_L — высота расположения ЛГ относительно источника выделения вредностей; Φ_0 — табулированная функция.

По имеющимся данным о характере распределения концентрации вредностей в поле лазерного луча можно определить концентрацию вредности в любой точке контролируемого пространства.

Список литературы: 1. Базалеев Н. И., Гулиус В. А., Зозуля И. В. Принципы создания автоматизированной системы контроля загрязнения окружающей среды//АСУ и приборы автоматики. 1985. Вып. 75. С. 90—95. 2. Лобода В. Г., Скирта Л. Г. Микропроцессорный специализированный вычислитель абсорбционного оптического газоанализатора//Современные методы и средства автомати-

ческого контроля атмосферного воздуха и перспективы их развития: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. К., 1987. С. 74—75. 3. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л., 1975. 448с. 4. Бутиков Ю. А., Скирта Л. Г. Диагностика газораспределения с помощью дистанционной абсорбциометрии//Технические средства для государственной системы контроля природной среды: Тез. докл. Обнинск, 1981. С. 143—145. 5. Goulard R., Emmertman P. I. Absorption Diagnostics//17th Aerospace Science Meeting. New Orleans, La. January 15—17, 1979. 6. Справочник по вероятностным расчетам. М., 1970. 200 с.

Поступила в редколлегию 14.09.89