

MÔ HÌNH MÔ PHỎNG QUÁ TRÌNH LAN TRUYỀN VÀ KHUẾCH TÁN CHẤT BẮN TRONG BÀI TOÁN THIẾT LẬP HỆ THỐNG QUAN TRẮC SỰ NHIỄM BẮN MÔI TRƯỜNG KHÍ

PTS. Bùi Tá Long, NCS. Nguyễn Minh Nam

Viện cơ học ứng dụng

Trung tâm Khoa học tự nhiên và Công nghệ quốc gia

1. Mở đầu

Mô hình toán học nhiễm bẩn không khí [2] là sự biểu diễn toán học các quá trình lan truyền, khuếch tán, các phản ứng hoá học của các tạp chất có lưu ý tới số lượng, đặc trưng của sự phát tỏa từ các nguồn công nghiệp, các dữ liệu khí tượng và được sử dụng để dự báo nồng độ chất bẩn được xét.

Việc sử dụng các mô hình toán học mô phỏng lan truyền và khuếch tán các tạp chất ô nhiễm trong hệ thống quan trắc nhiễm bẩn không khí tại các khu công nghiệp lớn và các vùng lớn, với sự chọn mô hình thích hợp thực hiện được hai chức năng quan trọng [1], [2], [4]:

- Xác định trường nồng độ dự báo với các số liệu khí tượng dự báo;

- Tính toán được nồng độ các chất gây ô nhiễm trong khu vực khi có tình huống tai biến.

Nhiều nước trên thế giới đã phát triển hệ thống kiểm tra chất lượng không khí, tuy nhiên giá thành các hệ kiểm tra (tổ chức các điểm đo, các phòng thí nghiệm, chế tạo các máy đo có chức năng khác nhau...) rất đắt. Chính vì thế đã thúc đẩy nhiều nước nghiên cứu các phương pháp kiểm soát khác. Một trong các cách như thế là phát triển các mô hình để đánh giá sự phát tán của các chất độc hại. Do giá thành của chúng không đắt lắm nên việc sử dụng phương pháp mô hình hóa cần phải xem xét như một công cụ trợ giúp cho việc kế hoạch hóa, phát triển và đánh giá hoạt động sản xuất liên quan tới sự phát tỏa các hỗn hợp độc hại vào khí quyển.

Kinh nghiệm của nhiều nghiên cứu trong lãnh vực mô hình hóa các quá trình lan truyền các tác nhân nhiễm bẩn trong không khí khẳng định sự cần thiết phải phân loại các quá trình này tương ứng với mối liên hệ giữa các kích thước theo không gian và thời gian. Sự cần thiết phải phân loại như vậy được chứng minh chặt chẽ tại nhiều chương trình quốc tế, như "Những thay đổi toàn cầu", "Chương trình về hóa học khí quyển toàn cầu", "Mô hình các chu trình tuần hoàn sinh địa hóa"... (G.I. Marchuc, K.I.A. Condachép [6]). Phụ thuộc vào kích thước, thời gian, không gian của đối tượng và các quá trình sinh thái và địa vật lý người ta chia ra làm bốn mức độ sau [3]:

- *Mức độ toàn cầu* - tiến hành khảo sát với kích thước toàn cầu có lưu ý tới các tác động tổng hợp của các yếu tố cần quan tâm trong khoảng thời gian từ một vài chục năm cho tới vài tháng (ví dụ như các mô hình thay đổi khí hậu, mô hình tính toán hiệu ứng nhà kính...).

- *Mức độ vĩ mô* - xem xét các đối tượng và các quá trình trong không gian có kích thước vài chục ngàn km, kích thước thời gian- từ một năm tới vài tháng (mô hình lan

truyền vượt tuyến của chất bẩn giữa các quốc gia hay giữa các châu lục với nhau, các mô hình này đã được đưa vào áp dụng ở châu Âu và Bắc Mỹ)...

- *Mức độ trung bình (hay còn gọi là mức độ vùng)* - xem xét các quá trình trong không gian có kích thước vài trăm km tới vài trăm m và thời gian từ một vài ngày cho tới một vài giờ (các quá trình nhiễm bẩn khí quyển tại các thành phố công nghiệp, các tổ hợp công nghiệp, các tình huống tai biến khi có sự phát tỏa lớn các chất bẩn vào khí quyển là thuộc mức độ này).

- *Mức độ vi mô (hay còn gọi là mức độ địa phương)* - xem xét các quá trình trên một diện tích từ vài trăm m tới một vài m, thời gian từ vài chục phút tới vài phút (một ví dụ ở đây là bài toán môi trường tính cho một số ít các nguồn thải và xem xét chi tiết phân bố không gian của nồng độ tại một miền địa phương nào đó).

Đối tượng được xét trong bài báo này là *mức độ trung bình và vi mô*, có thể thấy rằng những bài toán quan trọng hơn cả của sinh thái và địa vật lý tập trung tại các mức này. Thực vậy, tuyệt đại đa số các quá trình công nghệ gây ảnh hưởng xấu tới môi trường (các nguồn than đốt, khí đốt, dầu cháy...) và đặc biệt tại các khu công nghiệp nằm trong kích thước không gian và thời gian này.

2. Mô hình lan truyền và khuếch tán tạp chất.

Chúng ta xét trường hợp nguồn thải thức thời tại điểm $O(x_0 = 0, y_0 = 0, z_0 = 0)$ thải vào khí quyển một lượng Q . Ta chọn hệ tọa độ Đề các với gốc tọa độ O , trục Ox hướng theo vệt khói, Oy là trục vuông góc với hướng vệt khói, Oz là trục thẳng đứng hướng lên trời. Biểu diễn qua $C_s(t, x, y, z)$ là nồng độ của chất bẩn loại s tại độ cao z tại điểm với các tọa độ địa lý (x, y) . Tiếp theo, sự lan truyền và khuếch tán tạp chất được mô tả bởi phương trình dạng parabolic [1]:

$$(1) \quad \frac{\partial C_s}{\partial t} + U_x \frac{\partial C_s}{\partial x} + U_y \frac{\partial C_s}{\partial y} + U_z \frac{\partial C_s}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C_s}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C_s}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C_s}{\partial z} \right) + P_s(C_1, \dots, C_q) - v_{1s} - v_{2s}$$

- K_x, K_y và K_z - các hệ số khuếch tán theo các trục tọa độ, trong trường hợp tổng quát là các hàm số của thời gian và tọa độ,

- U_x, U_y, U_z - các thành phần của vectơ vận tốc gió theo hướng x, y, z tại điểm (x, y, z) trong trường hợp tổng quát cũng là các hàm số của thời gian và tọa độ.

- P_s - toán tử mô tả các quá trình biến đổi vật lý và hoá học (trong công trình này chỉ xét tới những biến đổi về mặt vật lý);

- v_{1s} - tốc độ gột rửa của chất bẩn do mưa;

- v_{2s} - tốc độ lắng đọng trọng trường;

Với mục đích nghiên cứu các qui luật chính của quá trình lan truyền và khuếch tán ta xét trường hợp đơn giản nhất khi các hệ số khuếch tán là các hằng số.

Đầu tiên chúng ta coi vận tốc trung bình của gió bằng không. Khi đó phương trình (1) có dạng:

$$\frac{\partial C_s}{\partial t} = K_x \frac{\partial^2 C_s}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 C_s}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 C_s}{\partial z^2} \quad (2)$$

Để giải phương trình (2) người ta cần bổ sung thêm các điều kiện biên và điều kiện ban đầu. Điều kiện biên ở đây một cách tự nhiên được lấy như sau: tại các khoảng cách đủ xa so với nguồn thải nồng độ chất bằng không. Ngoài ra nếu coi rằng sự khuếch tán không xuyên qua đất thì trên mặt phẳng $z = 0$ cần cho điều kiện

$$\frac{\partial C_s}{\partial z} = 0.$$

Điều kiện ban đầu là sự có mặt Q g chất bẩn tại gốc toạ độ tại thời điểm $t = 0$. Nghiệm của (2) với sự lưu ý tới các điều kiện kể trên có dạng [8]:

$$C_s(x, t) = \frac{Q}{2(\pi t)^{1/2} K_x^{1/2}} \exp \left[-\left(\frac{1}{4t} \right) \left(\frac{x^2}{K_x} \right) \right]$$

đối với bài toán một chiều

$$C_s(x, y, t) = \frac{Q}{4(\pi t)(K_x K_y)^{1/2}} \exp \left[-\left(\frac{1}{4t} \right) \left(\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} \right) \right] \quad (3)$$

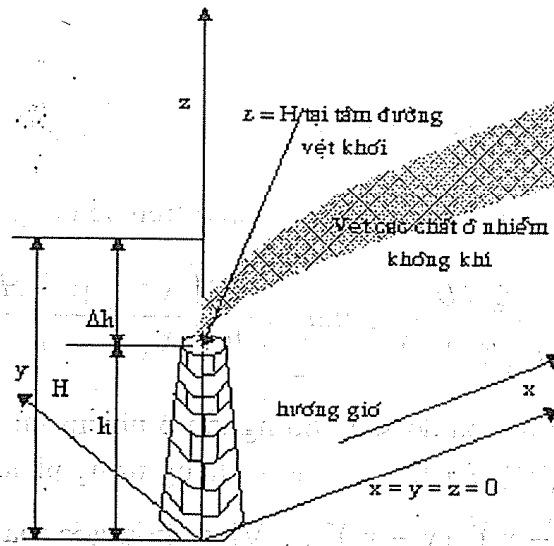
đối với bài toán hai chiều

$$C_s(x, y, z, t) = \frac{Q}{8(\pi t)^{3/2} (K_x K_y K_z)^{1/2}} \exp \left[-\left(\frac{1}{4t} \right) \left(\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{z^2}{K_z} \right) \right] \quad (4)$$

đối với bài toán ba chiều

Ta xét ứng dụng của công thức này đối với sự phát thải tức thời trong một thời gian ngắn từ một ống khói như được chỉ ra trên hình 1 tại điểm $x = y = 0$ và $z = H$. Tải lượng thải ra bằng $Q\Delta t$, thế vào phương trình (4) ta được:

$$C_s = \frac{Q\Delta t}{8(\pi t)^{3/2} (K_x K_y K_z)^{1/2}} \exp \left[-\left(\frac{1}{4t} \right) \left(\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{(z-H)^2}{K_z} \right) \right] \quad (5)$$



Hình 1

trong đó

- t = thời gian kể từ lúc thoát ra = khoảng cách theo chiều gió theo đường giữa của đám mây ô nhiễm / vận tốc gió.
- Δt = khoảng thời gian thoát ra của chất ô nhiễm (giả thiết là rất nhỏ)

Phương trình (5) hiếm khi được dùng trong bài toán kiểm soát ô nhiễm không khí bởi vì thường thì chúng ta có những mối quan tâm nhiều hơn cho trường hợp nguồn thải liên tục hơn là nguồn thải trong một thời gian ngắn. Tuy nhiên, phương trình này được sử dụng rộng rãi (trong một số trường hợp ở dạng biến đổi đôi chút so với công thức trên) để phân tích sự an toàn khi luồng chất bản là những đám mây thoát ra từ các nhà máy hoá chất nguy hiểm hay khi có các tai biến hạt nhân [13].

Trường hợp khuếch tán vừa xét là trường hợp khi không tính tới thành phần vận tốc gió. Tất nhiên đây không phải là trường hợp đặc trưng trong thực tế. Vì vậy, để thay đổi bài toán ta đưa vào xem xét trường hợp có thành phần gió hướng theo trục Ox . Khi đó trong phương trình (1) số hạng $U_x = U$ được giữ nguyên và nghiệm sẽ có dạng

$$C_s(x, y, z, t) = \frac{Q\Delta t}{8(\pi t)^{3/2}(K_x K_y K_z)^{1/2}} \exp \left[-\left(\frac{1}{4t} \right) \left(\frac{(x - Ut)^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{z^2}{K_z} \right) \right] \quad (6)$$

Nghiệm (6) nhận được từ (5) bằng phép biến đổi $x^* = x - Ut$, điều này có nghĩa là quá trình khuếch tán trong hệ cố định và hệ chuyển động là đồng nhất nhau.

Bây giờ ta chuyển sang xét trường hợp phức tạp hơn khi nguồn thải là nguồn liên tục. Trong trường hợp này với giả thiết công suất nguồn thải là không đổi: $Q \frac{g}{s}$,

vận tốc theo chiều gió là không đổi và bằng U , các hệ số khuếch tán theo các hướng y, z là hằng số và với sự bỏ qua thành phần khuếch tán theo chiều gió, ta đi đến phương trình lan truyền có dạng

$$\frac{\partial C_s}{\partial t} + U \frac{\partial C_s}{\partial x} = K_y \frac{\partial^2 C_s}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 C_s}{\partial z^2}$$

Nghiệm của phương trình này với điều kiện biên ở trên có dạng

$$C_s(x, y, z, t) = \frac{Q/U}{4\pi t (K_y K_z)^{1/2}} \exp \left[-\left(\frac{1}{4t} \right) \left(\frac{y^2}{K_y} + \frac{(z-H)^2}{K_z} \right) \right] \quad (7)$$

Nếu chúng ta chọn hệ tọa độ sao cho nguồn ô nhiễm tại một điểm tùy ý, ví dụ như (x', y', z') thay vì $(0, 0, H)$ khi đó các số hạng trong phần exp của các phương trình (6) và (7) sẽ là $(x - x')^2, (y - y')^2, \dots$. Việc chọn gốc tọa độ mà ta vừa xét làm đơn giản đi các biểu thức này. Có người thích chọn gốc tọa độ tại đỉnh của vệt nâng khói (có thể gach H đi khỏi phương trình (6) và (7)), nhưng hầu hết mọi người giả thiết rằng $z = 0$ là mực mặt đất.

Mặc dầu phương trình (7) có thể đáp ứng một cách tuyệt vời cho việc sử dụng của chúng ta, nhưng do những lý do lịch sử [13] cho nên trong các tài liệu về ô nhiễm không khí người ta thực hiện các phép biến đổi sau:

$$K_y = 0,5 \sigma_y^2 \frac{U}{x}, K_z = 0,5 \sigma_z^2 \frac{U}{x}, t = \frac{x}{U} \quad (8)$$

ở đó σ_y và σ_z được gọi là các hệ số tán xạ ngang và đứng. Chúng có thứ nguyên là độ dài và thường thì được cho dưới dạng (m). Thế vào (7) ta tìm được

$$C_s(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \left[-\left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2} \right) \right] = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp \left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right) \exp \left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2} \right) \quad (9)$$

công thức này có tên là công thức vệt khói Gauss. Tên này xuất phát từ thực tế là số hạng exp giống như hàm phân bố chuẩn Gauss [13].

Hiện nay phương trình (9) là phương pháp dự báo đơn giản tốt nhất của chúng ta để dự báo nồng độ tại điểm nằm theo vệt khói cao hơn mặt đất. Tuy nhiên, người ta quan tâm nhiều hơn tới nồng độ tại mặt đất bởi vì đây chính là trường hợp nguy hiểm hơn cả cho người và sinh vật. Sự áp dụng mù quang phương trình (9) tại các điểm gần hay tại mặt đất cho kết quả rất thấp. Thực tế đã chỉ ra rằng các chất ô nhiễm tiếp tục khuếch tán tại bất kỳ giá trị nào của z nhỏ hơn không.

Trên cơ sở lưu ý tới thành phần phản xạ lên từ nền người ta nhận được công thức Gauss cải tiến sau

$$C_s(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-0,5 \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \left[\exp -0,5 \left(\frac{z-H}{\sigma_z} \right)^2 + \exp -0,5 \left(\frac{z+H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (10)$$

Chúng ta có thể coi công thức này là công thức cải tiến của phương trình (9) có lưu ý tới sự phản xạ của bề mặt đất. Mặc dầu công thức (9) là phương trình vết khối cơ bản Gauss, phương trình (10) là phương trình duy nhất thường được sử dụng rộng rãi để đánh giá nồng độ mặt đất [13].

Chúng ta hãy quan tâm tới nồng độ mặt đất. Nếu trong phương trình (10) ta đặt $z = 0$ và đơn giản đi ta nhận được:

$$C_s(x, y, 0) = \frac{Q}{\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-0,5 \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \exp \left[-0,5 \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (11)$$

Để có thể sử dụng phương trình vết khối Gauss chúng ta cần phải biết các giá trị của hệ số khuếch tán σ_y, σ_z . Các hệ số này xác định tốc độ mở rộng vết khối theo hướng ngang và hướng thẳng đứng. Theo các công trình [12], [13], [17], [18], [19] để xác định σ_y, σ_z , người ta sử dụng các thí nghiệm được phân theo các lớp ổn định. Các lớp này được xác định phụ thuộc vào vận tốc gió, thời gian của ngày và các điều kiện bức xạ tới. Về sau, các đường cong σ_y, σ_z đã được Becland cải tiến và hoàn thiện [5]. Về các tham số khuếch tán σ_y, σ_z xem trong [19].

Độ cao hữu dụng H , được tính như sau:

$H = h + \Delta H$ trong đó h là chiều cao vật lý của ống khói. ΔH là vết nâng ống khói. Vấn đề tính ΔH được thảo luận trong nhiều đề tài khoa học. Trong công trình [10] Briggs đã điểm lại lịch sử phát triển của vấn đề này. Trong công trình này chúng tôi sử dụng công thức Briggs hay còn được gọi là qui luật 2/3 [10], [11]:

a/ Đối với loại tầng kết không bền vững và trung hoà:

$$\Delta H = \frac{1,6 F^{1/3} x^{2/3}}{U} \text{ nếu } x < 3,5 x_p$$

$$\Delta H = \frac{1,6 F^{1/3} (3,5 x_p)^{2/3}}{U} \text{ nếu } x > 3,5 x_p$$

b/ Đối với loại tầng kết ổn định thì

- Khi $U > 1,4$ m/s

$$\Delta H = \min \left(2,6 \left(\frac{F}{U S_n} \right)^{1/3}, \frac{1,6 F^{1/3} (3,5 x_p)^{2/3}}{U} \right)$$

- Khi $U \leq 1,4$ m/s

$$\Delta H = 5,3 F^{1/4} S_n^{-3/4} - \frac{D}{2}$$

Trong đó $F = \frac{g(T_s - T_a)V}{\pi T_s}$ - hệ số nổi, $S_n = \frac{g}{T_a} \left(\frac{\partial T_a}{\partial z} + 0,01^\circ K / m \right)$ được gọi là

tham số ổn định, $\frac{\partial T_a}{\partial z}$ là gradient nhiệt độ tại độ cao ống khói. Nếu $F < 55$ thì

$x_p = 14F^{5/8}$, nếu $F > 55$ thì $x_p = 34F^{2/5}$, tham số x_p theo [11] là khoảng cách theo

chiều gió mà tại đó sự khuếch tán rối chiếm ưu thế so với sự cuốn đi, còn $3,5_{xp}$ - khoảng cách mà tại đó chiều cao vệt nâng cuối cùng đạt được. T_s - nhiệt độ của khí

thoát ra khỏi ống khói ($^\circ K$), T_a - nhiệt độ xung quanh của ống khói ($^\circ K$), D -

đường kính ống khói, V - lưu lượng khí thoát ra trong thời gian 1 giây, g là gia tốc

trọng trường. Trong trường hợp không đo được vận tốc gió tại miệng ống khói ta có thể sử dụng [12]

$$U(z) = \begin{cases} U_{10m} \left(\frac{z}{10} \right)^p & \text{với } z < 200 m \\ U_{10m} \cdot 2^p & \text{với } z \geq 200 m \end{cases} \quad (12)$$

trong đó tham số p được xác định theo độ ổn định của tầng kết [16].

Đối với các khu công nghiệp nơi có nhiều nguồn thải cách xa nhau cho nên ta cần phải tính nồng độ tại một điểm tùy ý do kết quả tổng hợp của nhiều nguồn. Trong phần mềm này chúng tôi áp dụng thuật toán được chỉ ra trong [20]: Chọn hệ tọa độ xOy tùy ý. Giả sử gió lập với trục Ox một góc α . Tọa độ các nguồn thải $O_1, O_2, \dots, O_n$ là $(a_1, b_1), (a_2, b_2), \dots, (a_n, b_n)$. Khi đó điểm M bất kỳ trong hệ tọa độ xOy có tọa độ là (x, y) sẽ có các tọa độ tương ứng trong các hệ $x_1O_1y_1, x_2O_2y_2, \dots, x_nO_ny_n$ tương ứng là $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$. Khi ấy nồng độ tại điểm M gây ra bởi nguồn thứ nhất là:

$$c_M^1 = \bar{c}_1(x, y, a_1, b_1)$$

và do nguồn thứ i là

$$c_M^i = \bar{c}_i(x, y, a_i, b_i)$$

Khi đó nồng độ tổng cộng tại điểm M với $(x, y) \neq (a_i, b_i)$ sẽ là

$$c_M = \sum_{i=1}^n c_M^i$$

trong đó c_M^i được tính theo công thức (11) trong đó

$$\begin{cases} x_i = x \cos \alpha + y \sin \alpha - a_i \cos \alpha - b_i \sin \alpha \\ y_i = -x \sin \alpha + y \cos \alpha + a_i \sin \alpha - b_i \cos \alpha \end{cases}$$

Việc lưu ý tới các thành phần v_{1s} và v_{2s} trong (1) là một trong những phần quan trọng trong mô hình mô phỏng sự lan truyền và khuếch tán khí. Đã có nhiều công trình nghiên cứu vấn đề này. Ví dụ, trong [14], [15] đã đề xuất sự phụ thuộc tuyến tính của v_{1s} và v_{2s} vào C_s với các hệ số tỷ lệ tương ứng K_{1s} và K_{2s} . Trong bài báo này chúng tôi sử dụng các phụ thuộc sau đây:

$$v_{1s} = v_z h C_s, v_{2s} = \kappa C_s$$

trong đó $h = 0.00864 \text{ m}^{-1}$, $\kappa = 0.22 \text{ m}^{-1}$ tham số v_z được lựa chọn khác nhau phụ thuộc vào lớp phủ thực vật, r là tham số chỉ cường độ mưa [23].

Việc phân tích phân trình bày ở trên có thể nảy sinh câu hỏi liệu việc sử dụng các giá trị hằng số của các hệ số khuếch tán trong phương trình lan truyền và khuếch tán sẽ có độ tin cậy ra sao. Sự xấp xỉ như vậy tất nhiên sẽ tạo ra một sai số nhất định tuy nhiên theo [9] việc lựa chọn thích hợp các giá trị của các hệ số sẽ đảm bảo kết quả tính toán. Vấn đề về sự lựa chọn các hệ số thích hợp như vậy là một vấn đề phức tạp và có thể được giải quyết với việc sử dụng các thông tin tiên nghiệm về các đặc trưng khí tượng thủy văn của từng vùng được nghiên cứu. Tất nhiên với các trường vận tốc gió và sự phụ thuộc của các hệ số trao đổi rối vào các tham số liên quan phức tạp thì khi đó nghiệm giải tích là không thể và khi đó ta cần phải sử dụng các phương pháp số để giải [7]. Chúng tôi hy vọng sẽ trình bày một số kết quả theo hướng này vào một dịp khác.

Dựa trên cơ sở các kết quả nhận được ở trên theo chương trình Công nghệ thông tin cấp Tp. Hồ Chí Minh, tập thể các tác giả tại Viện cơ học ứng dụng và Viện sinh học nhiệt đới thuộc Trung tâm Khoa học tự nhiên và Công nghệ quốc gia tại Tp. Hồ Chí Minh đã thiết kế và viết ra phần mềm CAP (Computation for Air Pollution) ver 1.0 và 2.0 [21], [22], [23].

3. Lời cảm ơn

Công trình này được hoàn thành dưới sự tài trợ chính từ chương trình Công nghệ thông tin cấp Tp. Hồ Chí Minh và Chương trình môi trường cấp Trung tâm Khoa học tự nhiên và Công nghệ quốc gia. Các tác giả xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ quý báu này.

References

- 1 .Вельтищева Н.А. Методы моделирования промышленного загрязнения атмосферы.// Обнинск : ВИНТИ гидрометеорол. информ. 1975.
- 2 .Вельтищева Н.А. Вопросы дальнего переноса загрязняющих веществ воздуха.// Обнинск : ВИНТИ гидрометеорол. информ. 1979.
- 3 .А.П. Курковский, А.А.Б.Прицкер. Системы автоматизации в экологии и геофизике. // Москва : Наука, 1995, 240 с.
- 4 . Берланд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. // Л : Гидрометеиздат, 1975.
- 5 . Берланд М.Е. Оникул Р.И. К проверке и сопоставления методов рассеивания примесей. // Труды ГГО, 1977, вып. 417, с. 23-36.
- 6 .Марчук Г.И., Кондратьев К.Я. Приоритеты глобальной экологии.// М: Наука, 1992.
- 7 . Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды.// М.: Наука, 1982.-350 с.
- 8 . Соболев С.Л. Уравнения математической физики // М.: Наука, 1966.-444 с.
- 9 . Озмидов Р.В. К вопросу о минимизации негативных воздействий сбросов на прибрежную зону моря. // Океанология. 1996. Т.36, № 1, с.20-26.
- 10 Briggs G.A. Plume Rise.// U.S.Atomic Energy Commission, 1969.
- 11 Zanker A. Calculating plume above level of stack. // J. Air pollution control association, 1982, vol.32, N 4, p.393-395.
- 12 .Hanna S.R. Reviews of atmospheric diffusion models for regulatory applications.// WHO technical note. 177, 1-37, 1982.
- 13 .Noel de Nevers. Air pollution control engineering.// Mc Graw-Hill.-1995, Inc. 510 p

14. Zlatev Z., Christensen J. Studying the sulphur and nitrogen pollution over Europe. // Air Pollution Modeling and Its Application. VII. Vol. 13, New York: Plenum Press, PP.453-469. 1989.
15. Zwerver S., Ham J. van (ed. Interregional air pollution modelling. // The state of the art. New York: Plenum Press, 278p., 1985.
16. Dumont G., Vervliet F., Saeger E. De, Verduyn G., Application of a mesoscale Lagrangian puff-model to the measurements of SO_2 - pollution trans- ports over Belgium. // Air Pollution Modeling and Its Application. IV. Vol.7, New York: Plenum Press, pp. 453-469. 1985.
17. Gifford F., Use of routine meteorological observations for estimating atmo-spheric dispersion // Nuclear Safety, 1961, N^o 2, p.47-51.
18. Turner D.B. Workbook of atmospheric dispersion estimates.- // NAPCA, 1969, 84p.
19. Phan Hoài Trung, An Quốc Khánh. Sử dụng mô hình Gauss trong công tác kiểm soát nguồn thải chất bẩn vào không khí (nguồn đơn). // Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 1988, N^o7 tr. 15-21.
20. Phan Hoài Trung, An Quốc Khánh. Bài toán tính trường do từ N nguồn thải và một vài khía cạnh của vấn đề chuẩn thải nguồn. // Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 1989, N^o 10, tr. 9-13.
21. Bui Ta Long, Duong Anh Duc, Nguyen Dinh Long About CAP software ver. 1.0. // Proceedings of IAM- 1995, p.62-76.
22. Bui Ta Long Software design for simulation of air pollution over large in- dustrial regions. . // Proceedings of the second Hocchiminh city conference on mechanics, 1996, p. 212-220.
23. Bùi Tá Long, Nguyễn Minh Nam, Nguyễn Xuân Minh. Ứng dụng công nghệ tin học nhằm xây dựng phần mềm mô phỏng sự nhiễm bẩn không khí tại các khu công nghiệp lớn. // Proceedings of the second Hochiminh city conference on mechanics, 1996, p.221-226.