

PHẠM NGỌC HỒ - LÊ ĐÌNH QUANG

GIÁO TRÌNH
ĐỘNG LỰC HỌC MÔI TRƯỜNG
LỚP BIÊN KHÍ QUYỀN



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

GS. TS. PHẠM NGỌC HỒ - GS. TS. LÊ ĐÌNH QUANG

GIÁO TRÌNH

**ĐỘNG LỰC HỌC MÔI TRƯỜNG
LÓP BIÊN KHÍ QUYỂN**

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

Lời nói đầu

Giáo trình **Động lực học môi trường lớp biên khí quyển** được biên soạn làm tài liệu học tập cho học viên cao học và nghiên cứu sinh thuộc chuyên ngành môi trường không khí ở Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; đồng thời cũng là tài liệu tham khảo bổ ích trong giảng dạy và nghiên cứu khoa học của giảng viên ở các trường đại học có liên quan tới lĩnh vực môi trường trên phạm vi cả nước.

Nội dung giáo trình được trình bày trong hai phần:

Phần I. Cơ sở lý thuyết của lớp biên khí quyển, gồm 3 chương.

Chương I trình bày các khái niệm, định nghĩa và cấu trúc của lớp biên, đặc điểm của lớp biên khí quyển vùng vĩ độ thấp; vai trò và tác động của các hiện tượng thời tiết, những đặc trưng biến động của lớp biên ảnh hưởng đến các hoạt động kinh tế – xã hội và môi trường; tác động ngược lại do các hoạt động của con người gây ra đã và đang làm gia tăng mức độ ô nhiễm môi trường không khí.

Chương II trình bày phương pháp mô phỏng bức tranh diễn biến phức tạp của lớp biên bằng cách mô tả toán - vật lý. Ở đây, hệ phương trình nhiệt động lực mô tả trường tốc độ, áp suất, nhiệt độ, độ ẩm v.v... được phân tích chi tiết về khả năng khép kín cũng như cách giải bằng các phương pháp số trị, thứ nguyên và thống kê.

Trong chương III đề cập đến việc tham số hóa các đặc trưng cơ bản của lớp biên theo các thông tin Synopsis – cao không, tiêu chuẩn phục vụ cho các mô hình dự báo chính áp và tà áp của lớp biên khí quyển.

Phần II. Ô nhiễm không khí và mô hình hóa quá trình lan truyền chất ô nhiễm trong lớp biên khí quyển, là phần ứng dụng cơ sở lý thuyết rối động lực học và thống kê của lớp biên vào giải quyết các bài toán cụ thể có ý nghĩa thực tiễn, được trình bày trong ba chương.

Chương IV trình bày về ô nhiễm không khí và các phương pháp nghiên cứu quá trình lan truyền chất ô nhiễm trong lớp biên khí quyển, đặc biệt là lớp không khí sát đất. Đó là phương pháp thực nghiệm, phương pháp mô hình hoá toán học và phương pháp thống kê vật lý.

Chương V trình bày một số mô hình tính toán và dự báo quá trình lan truyền chất ô nhiễm trong lớp biên khí quyển đã và đang được sử dụng rộng rãi ở nước ngoài cũng như ở trong nước.

Chương VI đề cập đến các kỹ năng thực hành trong việc xác định các tham số đầu vào của các mô hình bằng cách tham số hoá các yếu tố khí tượng, địa hình, các tham số khuếch tán rõi của lớp biên ứng với điều kiện khí hậu nhiệt đới gió mùa ở Việt Nam, kèm theo chương trình tính toán trên máy tính để minh họa.

Giáo trình được biên soạn lần đầu nên không tránh khỏi các khiếm khuyết, các tác giả rất mong bạn đọc đóng góp ý kiến để lần tái bản sau giáo trình được cập nhật, bổ sung và hoàn thiện hơn. Mọi ý kiến xin gửi về Công ty Cổ phần sách Đại học - Dạy nghề, Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam, 25 Hàn Thuyên - Hà Nội.

Các tác giả

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU CƠ BẢN

a. = $-F/\rho u^2$: quy mô đối với độ đo của đại lượng a.

A. $\approx 2,39 \cdot 10^{-5}$ cal/erg: đương lượng nhiệt của công.

b²: động năng trung bình của rối.

B₀ = H/LE: tỷ số Böien.

C_D, C_H: hệ số khuếch tán và truyền nhiệt.

C_p $\approx 0,24$ cal/g.độ – nhiệt dung đẳng áp của không khí.

C_v $\approx 0,17$ cal/g.độ: nhiệt dung đẳng tích của không khí.

d = $\sqrt{v/f}$: độ dày lớp biên tầng Ekman.

e(T): sức trương của hơi nước bão hòa ở nhiệt độ T.

e₀ $\approx 0,1$ mbar: sức trương của hơi nước bão hòa khi T = 273°.

E: năng lượng xung động rối.

f: tham số Côriôlit.

F: dòng bức xạ nhiệt.

F_a: dòng thẳng đứng của lớp xáo trộn vô hướng a.

g $\approx 9,81 \text{ cm/s}^2$: gia tốc trọng trường.

G: tốc độ gió địa chuyền.

h: độ cao lớp biên hành tinh của khí quyển.

h₀: độ cao gó ghề của mặt đệm.

h_s: độ cao lớp sát đất của khí quyển.

h_v = v/u.: quy mô độ dày của lớp ma sát nhót.

H: dòng nhiệt thẳng đứng ở gần mặt đệm.

i: véctơ đơn vị, hướng theo trục x.

I: Tham số vô khứ nguyên phân tầng ẩm.

I_s: giá trị của I trong khí quyển bão hòa.

j : véctơ đơn vị hướng theo trục y.

k: véctơ đơn vị hướng theo trục z.

k_D, k_H, k_M, k_Q: các hệ số trao đổi rối, nhiệt, xung rối và năng lượng rối.

- l: quy mô rối (hay quãng đường di chuyển).
 L, L^* , L' , L_i : ký hiệu khác nhau của quy mô độ dài Monin – Obukhov.
 $L \approx 600\text{cal/g}$: tiềm nhiệt ngưng kết.
 M: tốc độ trung bình ngưng kết ẩm trong một đơn vị khối lượng không khí.
 P: áp suất.
 $P_0 = 1.000\text{mbar}$: áp suất tiêu chuẩn.
 P_r : số Prandtl (đối với không khí $P_r \approx 0,72$).
 q: độ ẩm riêng.
 $q_* = -E/\chi\rho u$: quy mô đối với độ ẩm.
 q_0 : giá trị hiệu dụng của q ở mức độ nhám.
 q_h : giá trị q ở giới hạn trên của lớp biên hành tinh.
 q_m : độ ẩm riêng cực đại (bão hòa).
 q_v : giá trị trung bình của q ở ranh giới khí quyển và mặt đất.
 Q: dòng trung bình của năng lượng rối theo chiều thẳng đứng.
 Q_T : dòng trung bình của bất đồng nhất về nhiệt theo phương thẳng đứng.
 r_0 : độ ẩm tương đối của không khí ở gần mặt đất.
 $R \approx 2,87 \cdot 10^6 \text{erg/g.deg}$: hằng số riêng của không khí khô.
 R_i, R_l, R_e : các số Richardson.
 R_{ikp} : giá trị tiêu chuẩn của số Richardson R_i .
 $R_w = 4,615 \cdot 10^6 \text{erg/g.deg}$: hằng số riêng của hơi nước.
 $R_e = G \cdot d/v$: số Richardson của lớp biên Ekman độ dày d.
 $R_{e0} = u_* \cdot h_0/v$: số Richardson đối với bề mặt có độ nhám trung bình h_0 .
 $R_v = G/lfl.z_0$: số Rossby.
 $S = \beta \cdot \delta \cdot \theta / lfl.G$: tham số ngoài của tầng kết.
 $S_c = v/\chi_D$: số Smidt (đối với không khí $S_c = 0,72$).
 t: thời gian.
 T: nhiệt độ tuyệt đối.
 $T^* = -H/\chi C_p \cdot \rho \cdot u$: quy mô nhiệt độ.

$$T_0 = 273^{\circ}$$

T_s : nhiệt độ trung bình của mặt đệm.

T_B : nhiệt độ ảo.

$u_1 = u$; $u_2 = v$; $u_3 = w$: thành phần tốc độ theo các trục x, y, z.

u_r : tốc độ ma sát.

$$\bar{V} = \dot{i} \cdot u + j \cdot v: \text{véc-tơ ngang tốc độ gió trung bình.}$$

V : tốc độ gió trung bình trên mực cố định nào đó.

U_g : thành phần tốc độ gió địa chuyển theo trục x.

V_g : thành phần tốc độ gió địa chuyển theo trục y.

W_h : tốc độ thẳng đứng trung bình trên mặt giới hạn lớp biên hành tinh.

Z_0 : tham số nhám.

α : góc giữa sức cản ma sát ở bề mặt và gió trong khí quyển tự do.

$\alpha_D = k_D/k_M$: tỷ số của hệ số trao đổi rối đối với hồn hợp thụ động và đối với xung rối.

$\alpha_H = k_H/k_M$: tỷ số hệ số trao đổi rối đối với nhiệt và đối với xung rối.

$\beta = g/T$: tham số của lực nâng.

$\gamma_s \approx 10^{-2}$ độ/m: gradien đoạn nhiệt khô.

$\delta_q = q_h - q_0$; $\delta_\theta = \theta_h - \theta_0$: chênh lệch độ ẩm riêng và nhiệt độ thế vị.

$\delta_{q0} = q_0 - q_s$; $\delta_{\theta0} = \theta_0 - \theta_s$: chênh lệch độ ẩm riêng và nhiệt độ thế vị ở gần mặt đệm.

ϵ : tốc độ hao tán trung bình của năng lượng rối.

ϵ_h , ϵ_w : tốc độ hao tán năng lượng rối tương ứng với mạch động nằm ngang và thẳng đứng của tốc độ.

$\zeta = z/L$: độ cao vô thứ nguyên (trong lớp sát đất).

θ : nhiệt độ thế vị.

θ_0 : giá trị của θ ở mức độ nhám.

θ_h : giá trị θ ở độ cao h.

θ_s : giá trị trung bình θ ở ranh giới khí quyển và mặt đệm.

$\chi \approx 0,4$: hằng số Karman.

χ_* : hệ số ma sát địa chuyển.

$\lambda = u_*/|f|$: quy mô độ dày lớp biên.

$\Lambda = G/|f|$: quy mô độ dài, được xác lập từ tham số ngoài.

$\mu = \lambda/L$: tham số tầng kết Mônin.

$v \approx 0,3 \text{cm}^3/\text{s}$: hệ số động năng lực dính của không khí.

$\xi = Z/L$: độ cao vô thứ nguyên (trong lớp biên hành tinh).

$\rho \approx 1,3 \cdot 10^{-3} \text{g/cm}^3$: mật độ không khí.

$\delta_T, \delta_u, \delta_v, \delta_w$: độ lệch chuẩn của nhiệt độ và các thành phần tốc độ gió.

$\tau = i \cdot \tau_x + j \cdot \tau_y$: véctơ ngang của ứng suất tiếp tuyến của lực ma sát.

φ : vĩ độ địa lý.

$\chi_D \approx 0,17 \text{ cm}^2/\text{s}; \chi_H \approx 0,17 \text{ cm}^2/\text{s}$: hệ số khuếch tán phân tử động học và nhiệt học.

ψ : hàm đặc trưng trong công thức tổng quát Karman.

$\omega \approx 7,29 \cdot 10^{-5} \text{s}^{-1}$: tốc độ góc quay của Trái Đất.

Phân I

CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA LỚP BIÊN KHÍ QUYỀN

Các quá trình và hiện tượng khí tượng tác động trực tiếp đến đời sống của mọi sinh vật và hoạt động của con người chủ yếu xảy ra trong các lớp của khí quyển tầng thấp, đặc biệt trong lớp biên hành tinh (LBHT) của khí quyển. Trong lớp biên, việc nghiên cứu rối được quan tâm hơn cả và thu hút rất nhiều nhà khoa học có tên tuổi trong lĩnh vực nghiên cứu này.

Song song với việc nghiên cứu lớp biên Khí quyển, lớp biên của Đại dương và tương tác giữa lớp biên Đại dương và Khí quyển vẫn đang là một trong những trung tâm của vật lý biển hiện đại. Đại dương và Khí quyển không phải là môi trường tách biệt, giữa chúng luôn luôn xảy ra sự trao đổi động lượng, nhiệt, ẩm v.v... Tính chất và chế độ trao đổi giữa Đại dương – Khí quyển là một trong những đặc trưng có tầm quan trọng nhất của các quyển này trên hành tinh và luôn song song tồn tại.

Chương I

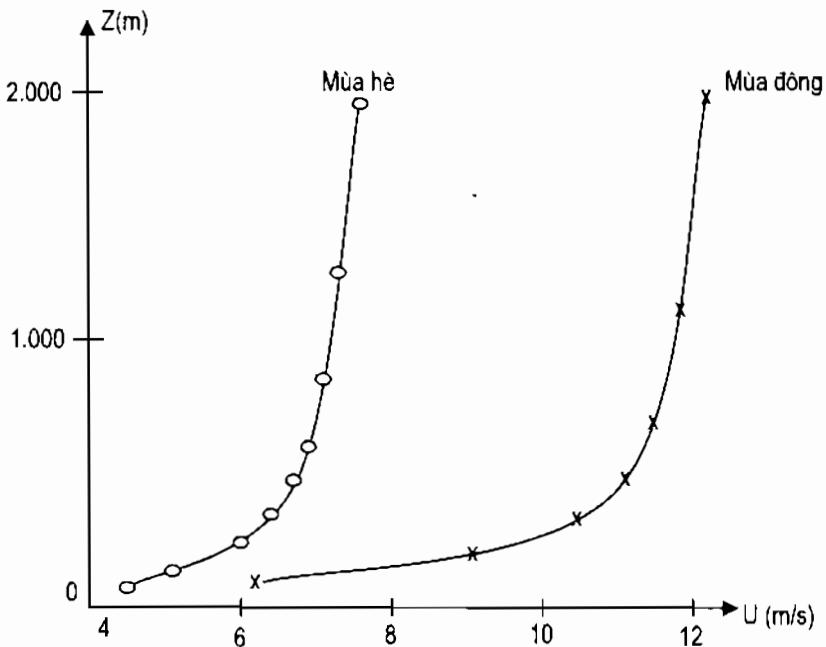
LỚP BIÊN KHÍ QUYỀN

1.1. KHÁI NIỆM, ĐỊNH NGHĨA VÀ CẤU TRÚC LỚP BIÊN KHÍ QUYỀN

1.1.1. Khái niệm, định nghĩa

Lớp biên khí quyển là lớp có độ dày 1,5 – 2,0 km kể từ mặt đệm, trong phạm vi lớp này, sự phân bố của các yếu tố khí tượng chịu tác động trực tiếp của mặt đệm và chuyển động rối. Điều đó được thể hiện rõ rệt nhất trong phân bố thẳng đứng của tốc độ gió. Tốc độ gió luôn bằng không ở mặt đệm và tiến đến tốc độ gió địa chuyển ở giới hạn trên lớp biên khí quyển (với điều kiện đồng nhất ngang và các đường đẳng áp là thẳng). Gần mặt nước, tốc độ gió bằng tốc độ dòng chảy bề mặt, thường bằng khoảng 2% tốc độ gió ở mực quan sát chuẩn.

Đặc tính của sự phân bố tốc độ gió giữa hai mực này được xác định chủ yếu bởi chuyển động rối. Chuyển động rối gây ra sự trao đổi động lượng giữa các lớp khác nhau và làm trơn profin gió.



Hình 1.1. Profil tốc độ gió trung bình tháng (Đài Vôaykov) [25]

Ảnh hưởng của mặt đệm đến profil thẳng đứng của nhiệt và độ ẩm trong lớp biên khí quyển thể hiện yếu hơn, vì chúng chịu ảnh hưởng rất lớn của các nhân tố khác biến động rất lớn mà không liên quan đến tính chất của mặt đệm. Chẳng hạn, dao động ngày của bức xạ làm biến đổi định tính sự phân bố nhiệt độ, trong khi profil gió ít nhất về mặt định tính lại không biến đổi.

Trong không khí nóng và ẩm hơn so với mặt đệm, nhiệt độ và độ ẩm riêng có thể không giảm theo độ cao mà lại tăng. Cũng như trong trường hợp tốc độ gió, chuyển động rối lại dẫn đến làm trơn profil nhiệt độ và độ ẩm.

Tuy nhiên, khi đánh giá ảnh hưởng của chuyển động rối cần lưu ý là nó không những xác định đặc tính profil của các yếu tố khí tượng mà còn phụ thuộc vào chính gradien của các yếu tố này. Trong thực tế, các trường của các yếu tố khí tượng và sự trao đổi rối biến đổi tương hỗ do tác động của các nhân tố bên ngoài. Các nhân tố bên ngoài đó là lượng nhập bức xạ Mặt Trời,

gradien ngang của khí áp, cường độ trao đổi rối giữa lớp biên và khí quyển tự do. Sự biến đổi của các nhân tố bên ngoài dẫn đến sự biến đổi profin của một số yếu tố khí tượng do tương tác giữa các lớp. Do có chuyển động rối hay do trao đổi nhiệt bức xạ đã ảnh hưởng đến sự phân bố thẳng đứng của các yếu tố khí tượng khác. Chẳng hạn, sự tăng cường độ bức xạ Mặt Trời truyền đến mặt đất sẽ dẫn đến sự tăng nhiệt độ, làm cho gradien nhiệt độ thẳng đứng tăng lên và chuyển động rối được tăng cường. Do chuyển động rối, gradien nhiệt độ tăng và gradien tốc độ gió giảm, điều đó lại dẫn đến sự suy yếu của chuyển động rối. Sự biến đổi tương hỗ của các trường nhiệt độ, độ ẩm, tốc độ gió và chuyển động rối sẽ tiếp tục cho đến khi thiết lập được những phân bố của chúng để đảm bảo được sự cân bằng nhiệt và động lực của hệ không khí – mặt đất đối với một cường độ bức xạ nhất định và tốc độ xâm nhập hơi nước vào lớp biên khí quyển.

1.1.2. Cấu trúc lớp biên khí quyển

Lớp khí quyển có độ cao trung bình khoảng 1,5 – 2,0km cách mặt đất, trong đó các lực ma sát rối, gradien khí áp và lực Coriolis đóng vai trò quyết định được gọi là lớp biên [24, 26, 31].

Theo độ cao, giá trị các thành phần của ứng suất rối giảm đi và trở nên đủ nhỏ để có thể bỏ qua ở những độ cao lớn.

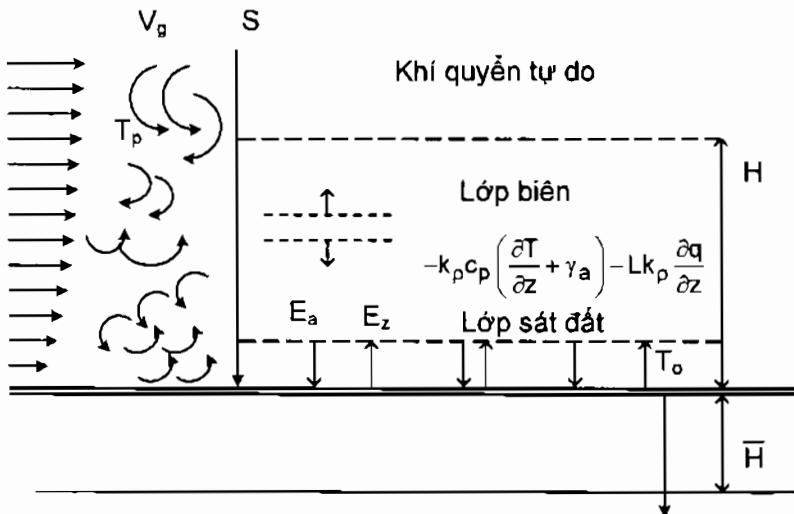
Việc xác định đồng thời các quy luật phân bố thẳng đứng của profin tốc độ gió, nhiệt độ và các đặc trưng rối là nhiệm vụ chủ yếu trong nghiên cứu lớp biên. Profin của các yếu tố khí tượng trong lớp này được hình thành một cách tương tác với trạng thái xác lập, được xác định duy nhất bởi các nhân tố bên ngoài: gradien ngang của áp suất, cường độ bức xạ Mặt Trời, các tham số nhiệt – vật lý của đất, độ nhám bề mặt cũng như nhiệt độ và độ ẩm bên ngoài lớp biên. Sự biến đổi của tham số ngoài bất kỳ nào cũng dẫn đến sự biến đổi tất cả các đặc trưng của lớp biên. Chẳng hạn, khi tăng dòng nhiệt bức xạ trên bề mặt Trái Đất, thì cũng bắt đầu làm tăng nhiệt độ của nó, do vậy làm tăng gradien thẳng đứng nhiệt độ γ . γ tăng theo độ cao lai dẫn đến cường độ di chuyển rối lớn hơn, đến lượt mình lại ảnh hưởng đến phân bố nhiệt độ và tiếp theo làm tăng số gia nhiệt độ của nó, khi đó gradien tốc độ gió giảm đi. Sự giảm của cả hai quá trình gradien này dẫn đến suy yếu cường độ di chuyển.

Sự biến hoá tương tác của cả ba trường yếu tố này sẽ tiếp tục cho đến khi chưa xác lập các gradien nhiệt độ, tốc độ gió và cường độ trao đổi rối để đảm bảo sự cân bằng nhiệt động lực của hệ thống không khí – mặt đất hoạt động.

Hình 1.2 minh họa sơ đồ đơn giản sự hình thành lớp biên khí quyển theo Laikhtman (1960). Cột không khí rối có nhiệt độ T_H và di chuyển với tốc độ gió địa chuyển V_g . Do trao đổi rối và bức xạ trên mặt hoạt động cân bằng bức xạ được xác lập:

$$E_a + S - E_z = 0 \quad (1.1)$$

Ở đây, E_a – dòng bức xạ sóng dài hướng xuống dưới; S – dòng bức xạ sóng ngắn; E_z – dòng bức xạ sóng dài hướng lên trên.



Hình 1.2. Sơ đồ hình thành lớp biên theo Laikhtman [24]

Từ mặt hoạt động dòng nhập nhiệt và hơi nước tương ứng là $K_p C_p \left(\frac{\partial T}{\partial z} + \gamma_a \right)$ và $K_p \frac{\partial q}{\partial z}$. Ở lớp độ cao H do ảnh hưởng của mặt đất gây ra sự phá huỷ trường nhiệt độ và tốc độ gió nên nhiệt độ từ giá trị T_0 trên mặt hoạt động giảm đến T_H trên mực H , còn tốc độ gió giảm từ trên xuống dưới (từ V_g đến 0). Với một số nhân tố, để xác định cấu trúc lớp biên có thể ký hiệu: \bar{H} – độ sâu lớp hoạt động của đất; γ_0 – nhiệt độ của đất ở độ sâu này; k_1, ρ_1, c_1 – tương ứng là độ dẫn nhiệt, mật độ và nhiệt dung của đất; R – cản

bằng bức xạ của lớp hoạt động; Z_0 – độ nhám của mặt đệm. Độ cao lớp biên khi $k = \text{const}$ tỷ lệ thuận với tốc độ gió địa chuyển và tỷ lệ nghịch với căn bậc hai của độ lệch gradien trung bình nhiệt độ và gradien đoạn nhiệt khô. Hệ số trung bình rẽ tỷ lệ thuận với bình phương tốc độ gió và tỷ lệ nghịch với độ lệch gradien trung bình nhiệt độ và gradien đoạn nhiệt khô.

Xác định độ cao lớp biên H bằng phương pháp xấp xỉ liên tiếp. Công thức để xác định H có dạng:

$$H^3 + A_1 H^2 + B_1 H + C_1 = 0 \quad (1.2)$$

Ở đây, A_1, B_1, C_1 là các hệ số.

Để giải phương trình này cần biến đổi về dạng không thứ nguyên:

$$H_*^3 + H_*^2 + \frac{B_1}{A_1^2} H_* + \frac{C_1}{A_1^3} = 0 \quad (1.3)$$

Ở đây, H_* là đại lượng không thứ nguyên, bằng $\frac{H}{A_1}$.

Công thức (1.3) xác định chính xác hơn giá trị k so với các công thức trước đây của Laikhtman (1956) cho sai số lớn khi nghịch nhiệt. Công thức không thứ nguyên đối với H_* chỉ thuận lợi đối với điều kiện dừng gần với phân bố trung bình do khoảng thời gian đủ dài (bậc cỡ 10 ngày hoặc tháng).

Trong công trình của N. A. Nagareba (1960) đã dẫn ra chương trình tính toán để xác định H và phụ thuộc vào $\frac{B_1}{A_1^2}$ và $\frac{C_1}{A_1^3}$. Độ cao lớp biên được xác định sơ bộ theo profin tốc độ gió, sau đó được chính xác hóa theo các công thức được dẫn ra ở trên. Thường khi tính toán giới hạn bởi hai xấp xỉ vì sự phân tán ở trên cao, ở đó nhận được gần đúng thứ nhất và thứ hai không vượt quá 20 – 30m. Khi biết độ cao lớp biên H có thể xác định:

Hệ số rẽ trung bình:

$$\bar{k} = 0,19 \omega_z \bar{H}^2 \quad (1.4)$$

Tốc độ gió mặt đất:

$$u(z) = \ln \frac{z}{Z_0} \sqrt{\frac{\omega_z V_g H}{2,3}} \quad (1.5)$$

Dòng nhiệt rói:

$$\bar{P} = \frac{1}{5,2} \omega_r \rho C_p \bar{H} [\mu_T (T_i - T_H) - H \bar{\gamma}_p] \quad (1.6)$$

Tiêu hao nhiệt thành bay hơi:

$$LE = \frac{1}{5,2} \omega_r \rho L H q_m (T_H) (f_o - f_H) \mu_q + \frac{\mu_q}{\mu_T} \frac{L}{C_p} \frac{\partial q_m}{\partial t} P_i \quad (1.7)$$

Ở đây, $P_i = \frac{1}{5,2} \omega_r \rho C_p \bar{H} \mu_T (T_o - T_H)$

Dòng nhiệt truyền vào đất:

$$\bar{B} = \beta \gamma_a \bar{H} \left(\frac{2,3(1-\delta) T \bar{V}_g^2}{g \gamma_a \bar{H}^2} - 1 \right) + \beta (T_H - T_o) \quad (1.8)$$

Ở đây, ω_r – tham số Coriolis; $q_m(T_H)$ – sức trương của độ ẩm; γ_p – gradien cân bằng của nhiệt độ; ρ – mật độ không khí; μ_T và μ_q – nhân tố hiệu chỉnh trong các thông lượng nhiệt và ẩm; f_o và f_H – độ ẩm tương đối ở mặt đất và độ cao H; β – hệ số truyền nhiệt của mặt hoạt động; $(1-\delta)$ – thành phần tính đến sự tiêu tán năng lượng rói thành nhiệt trong lớp biên khí quyển; những ký hiệu còn lại như đã nêu ở trên.

Sự tồn tại xung động (nhiều động) của hầu hết các yếu tố khí tượng gây ra bởi rói là đặc điểm cơ chế lớp biên khí quyển. Trong lớp này, các xoáy tách ra từ dòng cơ bản ở chính các khoảng cách khác nhau liên tục di qua điểm cố định bất kỳ trong không gian được lấp đầy bởi dòng rói. Sự thay đổi liên tục của các xoáy tại mỗi điểm khảo sát gây ra xung động liên tục của các yếu tố khí tượng. Vì vậy, chuyển động của các xoáy là vô trật tự, mỗi xoáy di một hướng dẫn đến tính không đồng nhất. Tham số nhám Z_0 có ảnh hưởng lớn đến cơ chế lớp biên H và đặc biệt lớp sát mặt đất h. Thường người ta xem độ nhám Z_0 bằng 1/10 độ cao trung bình của vật cản; chẳng hạn rìme với cây cao 20m thì độ nhám Z_0 là 2m.

Rối động lực

Sự biến dạng của dòng không khí bên trên mặt đệm phụ thuộc vào độ nhám bề mặt cũng như tốc độ chuyển động của không khí, tốc độ chuyển động càng lớn và độ nhám càng lớn thì dòng không khí càng biến dạng mạnh, là nguyên nhân cơ bản phát triển rối động lực trong lớp sát đất. Sự

phát triển dạng này của rối đặc biệt ở các lớp trên cao hơn cũng là nguyên nhân tồn tại gradien ngang và thẳng đứng (độ dứt) của gió lớn hơn.

Việc lựa chọn tiêu chuẩn xác định cường độ trạng thái rối của khí quyển là một trong những vấn đề chủ yếu của lý thuyết hiện đại rối khí quyển. Song song với chuyển động rối như đã chỉ ra còn tồn tại một lớp mỏng với dòng chảy tầng, trong đó các phân tử không khí di chuyển theo các quỹ đạo song song với nhau.

Xuất phát từ phương trình cân bằng năng lượng rối:

$$\frac{dE}{dt} - \tau_1 \frac{\partial u}{\partial z} (1 - R_i) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial}{\partial z} EW \right) - \varepsilon \quad (1.9)$$

Ở đây, $E = \frac{1}{2} (\sigma_u^2 + \sigma_v^2 + \sigma_w^2)$ – động năng của xung động rối trên một đơn vị khối lượng; $\frac{\partial (EW)}{\partial z}$ là gradien thẳng đứng của dòng năng lượng rối; $\tau_1 \frac{\partial u}{\partial z}$ – năng lượng của chuyển động trung bình dưới tác dụng của lực ma sát; ε – tốc độ hao tán năng lượng.

Trong nhiều tài liệu, khảo sát vấn đề về giá trị tiêu chuẩn của số Richardson R_{ikp} (L.T. Matveev, 1965), đó là đại lượng xác định bởi năng lượng xung động rối không biến đổi theo thời gian, tức là $\frac{dE}{dt} = 0$

Khi đó: $\frac{dE}{dt} > 0$ nếu $R_i < R_{ikp}$; $\frac{dE}{dt} < 0$ nếu $R_i > R_{ikp}$.

Khái niệm giá trị tiêu chuẩn R_{ikp} khác với đại lượng tham số Richardson R_i^* , với nó, trao đổi rối trong khí quyển và dòng chuyển sang chảy tầng, tức là khi $E = 0$. Về vật lý, hiển nhiên rằng, với sự tăng lên của độ ổn định, trạng thái đó của khí quyển bắt đầu thời gian khá muộn khi $\frac{dE}{dt} = 0$. Như vậy, giá trị tiêu chuẩn thứ hai của R_i^* , khi $E = 0$ thường lớn hơn giá trị tiêu chuẩn thứ nhất R_{ikp} mà với nó $\frac{dE}{dt} = 0$. Theo Matveev (1965), nếu đánh giá trao đổi rối theo hoạt động đến máy bay, đại lượng $R_i^* = 35,5$.

Số không thứ nguyên R_i có dạng

$$R_i = \frac{g}{T} \frac{\gamma_a - \gamma}{\beta^2} \quad (1.10)$$

Với: β – gradien thẳng đứng của tốc độ gió trung bình; γ_a và γ – gradien thẳng đứng đoạn nhiệt và nhiệt độ quan trắc.

Tính đến hệ thức Troitski về sự phụ thuộc giữa gradien thẳng đứng của tốc độ gió và gradien ngang của nhiệt độ, số Richardson có thể viết là

$$R_i = \frac{l^2 T (\gamma_a - \gamma)}{\beta^2} \quad (1.11)$$

Với: $\gamma = \frac{\partial T}{\partial n}$ là gradien ngang của nhiệt độ; $l = 2\omega \sin \varphi$ (ω là tốc độ quay của Trái Đất; φ là vĩ độ địa lý).

Song có nhiều nguyên nhân giới hạn khả năng sử dụng tiêu chuẩn Richardson để dự báo sự phát triển của rối. Các trạng thái sau đây có thể là các nguyên nhân.

Mức cao của năng lượng rối được xác định không chỉ bởi gradien ngang của nhiệt độ lớn mà còn do sự phụ thuộc vào sự biến đổi của gradien này. Khi tính đến sự liên quan giữa gradien ngang của nhiệt độ và gradien thẳng đứng của tốc độ gió, có thể xem rằng, mức năng lượng rối cần phải đạt giá trị khá lớn mà nó được xác định bởi sự biến đổi gradien thẳng đứng của tốc độ gió, hoặc tương ứng với sự biến đổi của tham số Richardson theo độ cao. Để đánh giá mức độ rối khí quyển và để xác định các lớp này mà ở đó không quan sát được rối, cần phải chú ý không chỉ β lớn và giá trị k nhỏ mà còn phụ thuộc vào đặc trưng biến đổi của các đại lượng này theo phương thẳng đứng.

Đối với sự nảy sinh của rối tăng cao, tình huống thuận lợi khi giá trị ρ nhỏ (đại lượng R_i lớn) trong các lớp thấp chuyển thành giá trị β lớn (giá trị R_i nhỏ) ở những lớp cao hơn liền kề, khi đó rối bắt đầu xuất hiện ở lớp với giá trị β , tức là ở lớp tăng mạnh của gió.

Giới hạn trên của vùng rối thường liên hệ với mực mà gần nó quan sát thấy sự chuyển mạnh từ giá trị nhỏ của R_i tới giá trị lớn hơn. Như vậy, lớp giá trị tiêu chuẩn $R_i < 1$, mà trên và dưới được giới hạn bởi các lớp có giá trị R_i lớn là điều kiện thuận lợi nhất để phát triển rối. Đối với lớp biên hâu như không có những số liệu về độ dày của vùng này, nhưng độ lớn của nó cũng không quá nhỏ, cũng không quá lớn.

Khi lớp dày lên với giá trị R, nhỏ, năng lượng rói dường như bị tản mát và rói có thể, hoặc là không có, hoặc là quan sát thấy ở bên trên và phía dưới lớp này.

Vai trò của gradien thẳng đứng của nhiệt độ trong việc hình thành rói có thể thấy rõ với sự đi qua của mặt front hoặc là ở những vùng núi tồn tại gió nhiệt.

Rối động lực dẫn tới việc hình thành đối lưu, khi mực ngưng kết nằm trong các giới hạn của lớp rói và khi đó cần phải tính gradien đoạn nhiệt ấm và khô.

Rối đối lưu và dòng nhiệt

Trong sự phát triển của rói khí quyển, chuyển động đối lưu đóng vai trò rất lớn. Nếu chuyển động hay một phần chuyển động, khi không tồn tại nhiệt, tự phát triển nhờ lực nâng thì quá trình như vậy được gọi là *đối lưu tự do*. Nếu các chuyển động thẳng đứng được gây ra bởi các tham số bên ngoài, chẳng hạn, sự nâng lên của không khí dọc theo sườn đồi, thì quan sát thấy đối lưu cưỡng bức. Khi hoàn toàn là đối lưu cưỡng bức, lực nâng không ảnh hưởng đến sự di chuyển thẳng đứng và hoàn toàn được xác định bởi các nguyên nhân động lực. Vì vậy, đối lưu cưỡng bức tồn tại khi tầng kết ổn định, đối lưu tự do tồn tại khi tầng kết bất ổn định, hoặc là toàn bộ khối không khí hay một phần nhỏ của nó tham gia. Quá trình đối lưu tự do có thể dẫn đến hai dạng chuyển động thẳng đứng của không khí – rói nhiệt và đối lưu có trật tự, do đó nó mang ý nghĩa nhiệt.

Mặc dù sự phân biệt này mang tính ước lệ nhưng ở mức độ gần đúng thứ nhất với rói nhiệt có thể dẫn ra toàn bộ chuyển động thẳng đứng có cấu trúc vô trật tự, hỗn loạn của chuyển động, còn với dòng nhiệt là quá trình đối lưu có trật tự thường thể hiện ở dạng các dòng đi lên phát triển mạnh.

Chuyển động đối lưu trong khí quyển gây ra các quá trình như di chuyển bụi, tăng cường trạng thái rói, phát triển mây đối lưu mạnh v.v... và là kết quả hoặc là sự nóng lên mạnh mẽ của mặt đất bởi bức xạ Mặt Trời và do đó gây ra biến trình ngày và năm, hoặc là kết quả của sự biến đổi nhiệt ngưng kết trong khoảng thời gian ngắn. Điều đó xảy ra ở trong mây phát triển thẳng đứng.

Sự phát triển của chuyển động đối lưu làm chậm lại sự tăng độ bất ổn định trong quá trình tiếp sau ở các lớp thấp, thậm chí khi có sự nóng lên mạnh mẽ tiếp tục của mặt đất. Vì vậy, đối lưu có trật tự thường không hay xuất hiện, còn phần lớn các quá trình khí quyển gây ra hoặc có liên hệ với đối lưu được gây nên bởi các dòng đối lưu vô trật tự.

Mỗi một dòng nhiệt được đặc trưng bởi các đại lượng như tốc độ thẳng đứng, mực bắt đầu và kết thúc của dòng nhiệt, dạng và đường kính của dòng, cũng như sự biến đổi của các đặc trưng này theo độ cao và thời gian. Ngoài ra còn quan tâm tới việc giải thích nồng độ của dòng nhiệt trên một đơn vị diện tích hay một đơn vị thể tích. Song song với các dòng nhiệt trong khí quyển còn tồn tại các chuyển động đi xuống cũng được xem như các nhân tố làm biến đổi cấu trúc dòng không khí.

Gia tốc của phân tử không khí quá nóng khi nâng lên đoạn nhiệt do ảnh hưởng cố định của lực thuỷ tĩnh tác động có thể xác định từ phương trình:

$$\frac{dw}{dz} = \frac{g}{T} \left[(T_0 - T) + (\gamma - \gamma_a) \right] h \quad (1.12)$$

Ở đây, T_0 và T là nhiệt độ ban đầu của phân tử và không khí xung quanh ở mặt đất, γ và γ_a là gradien thẳng đứng thực tế và đoạn nhiệt của nhiệt độ; T – nhiệt độ trung bình lớp; g – gia tốc trọng trường; h – độ cao nâng lên của phân tử.

Độ lớn sự di chuyển thẳng đứng của không khí được xác định bởi sự nóng lên ban đầu $\Delta T = T_0 - T$ và tầng kết nhiệt. Do đó, sự hình thành của các dòng nhiệt yếu có thể xuất hiện với tổng thể sự ổn định của lớp không khí, sự nóng lên ở các phân riêng biệt sẽ mạnh lên – với trạng thái bất ổn định.

Xuất phát từ lý thuyết “túi” nhiệt giống như sự nóng lên, do đó cũng có thể tính được sự cản trở bất kỳ

$$M \frac{dw}{dt} = g M \frac{T - T}{T} - Fc \frac{\rho}{2} w^2 \quad (1.13)$$

Trong đó, khối lượng không khí của túi nhiệt $M = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho$, thiết diện ngang $F = \pi r^2$ (r – bán kính); w – tốc độ nâng; c – hệ số cản trở, ρ – mật độ tương đối của không khí. Khi đó nhận được:

$$\frac{dw}{dt} = g \frac{T - T}{T} - \frac{3c}{8\gamma} w^2 \quad (1.14)$$

Người ta thường cho $\frac{3c}{8\gamma} = \frac{9}{4R}$, ở đây R là bán kính cong ở mặt trước của túi nhiệt bằng khoảng 2γ .

Khi đó, chuyển động được xác lập:

$$w = \sqrt{\frac{4}{9} \frac{Rg}{T} (T' - T)} = 2,1 \sqrt{R \frac{\Delta T}{T}} \quad (\text{m/s}) \quad (1.15)$$

ΔT là hiệu nhiệt độ không khí nâng lên và xung quanh ở mức đã chọn.

Hiện không có ý kiến duy nhất nào về dạng của dòng đối lưu. Số liệu thực nghiệm có được tạm thời không cho phép xác định đặc trưng của chuyển động thẳng đứng liên quan với phân tầng của khí quyển và cấu trúc của mặt đất.

1.2. KHÁI QUÁT LỚP BIÊN KHÍ QUYỂN VÙNG VĨ ĐỘ THẤP [12]

Các tham số

Để xác lập những nét đặc trưng động lực khí quyển ở vùng vĩ độ thấp, chúng ta đánh giá các đại lượng của một số tham số khí tượng cho vĩ độ 5° , khi đó xem rằng kích thước ngang của các quá trình và hiện tượng khí tượng có bậc $L = (5 - 6) \cdot 10^5 \text{ m}$, theo phương thẳng đứng $Z = 10^4 \text{ m}$ và thời gian điển hình của sự phát triển các quá trình này là $t = 10^5 \text{ giây}$. Các đặc trưng này mô tả hình thể Synop ở vĩ độ thấp, bao gồm cả những xoáy thuận nhiệt đới trong thời kỳ phát triển cực đại của chúng.

Sự phân bố vĩ hướng của các đường đẳng áp, có thể xác định thành phần vĩ hướng của chuyển động từ hệ thức địa chuyển đến vĩ độ $5 - 7^\circ$. Theo đánh giá khác, hệ thức địa chuyển đôi khi có thể bắt đầu từ 4° , nhưng điều đó không có nghĩa hệ thức địa chuyển thường xuyên được thực hiện ngay cả khi tính đến $10 - 15^\circ$ vĩ.

Thành phần thẳng đứng của lực Coriolis $2\omega \cos\varphi \cdot w$ (w – tốc độ thẳng đứng) xuất hiện trong phương trình thứ nhất của chuyển động mà việc tính nó chỉ có ý nghĩa trong vùng hẹp cận xích đạo $|\varphi| < 5^\circ$; ở đây, nó có thể so sánh với các thành phần khác của phương trình). Trong những vùng đối lưu mạnh ở xích đạo, vai trò của thành phần này có thể rất lớn. Vì vậy, nó được tính đến trong các nghiên cứu động học vùng xích đạo [17, 23].

Khi mô tả các chuyển động khí quyển cần tính đến hiệu ứng nhớt rối. Ở vĩ độ thấp ảnh hưởng của lực nhớt rối lan truyền đến độ cao lớn hơn. Thực vậy, độ dày lớp biển Ekman.

$$\delta_* = \sqrt{\frac{k}{f}} \quad (1.16)$$

Ở đây, k – hệ số trao đổi rối thẳng đứng; f – tham số Cōriôlit. Giá trị δ , tăng lên khi gần xích đạo; ở sát xích đạo nhất, khái niệm lớp biên Ekman mất ý nghĩa. Ở đây, lớp biên trở thành lớp biên dạng Prand, và cũng tại đây lực quán tính và lực nhớt rối có cùng một bậc. Lúc này, độ dày lớp biên Prand là:

$$\delta_* = \sqrt{\frac{kL}{U}} = \sqrt{\frac{k}{\Omega}} \quad (1.17)$$

Trong đó: Ω – độ xoáy tương đối; U – dòng trung bình vĩ hướng, độ lớn $\Omega = 10^{-5} S^{-1}$ và nhỏ hơn độ lớn của $f = 10^{-4} S^{-1}$, ở vĩ độ trung bình thì độ lớn δ_* ở xích đạo sẽ lớn hơn. Ý định nghiên cứu sự chuyển hoá lớp biên Ekman sang lớp biên Prand đã được đề cập đến trong nhiều công trình nghiên cứu.

Khi đề cập đến tính chất vật lý khác biệt của chuyển động rối ở vùng vĩ độ thấp, cần phải tính đến vai trò của dao động ngày và nửa ngày, bởi khí quyển ở vùng này rất bất ổn định so với vùng vĩ độ trung bình.

Vài nét về các nhân tố địa – vật lý của động lực học lớp biên hành tinh

Sự chuyển động khí quyển quy mô khác nhau này sinh dưới ảnh hưởng của một số lớn các nhân tố địa – vật lý. Tương tác của mặt đệm và dòng khí trên nó là một trong những vấn đề quan trọng. Gần mặt nhám cơ chế rối bắt đầu tác động. Độ năng của chuyển động trung bình biến đổi lớn thành năng lượng của xoáy rối. Chuyển động vô trật tự này sinh bên trên mặt nhám. Ứng suất tiếp tuyến liên quan đến tốc độ động lực v , là đặc trưng tích phân của các xoáy rối và đặc trưng cho tương tác động lực của mặt đệm đến dòng khí chảy bên trên. Cùng với tương tác động lực, các điều kiện của môi trường như tăng kết nhiệt, năng lượng của các xoáy rối phụ thuộc chủ yếu vào công của lực nâng và công này xác định các nguồn và dòng động năng.

Như vậy, khi mô tả động lực của lớp biên cần thiết phải tính đến mỗi tương tác động lực và nhiệt lực của khí quyển với mặt đệm. Ở vĩ độ thấp tương tác này khác với ở vĩ độ trung bình và cao. Mặt khác, profin thẳng đứng của các yếu tố khí tượng gần mặt đệm và động lực học các quá trình khí quyển phụ thuộc vào các tham số của dòng khí. Các đặc trưng của tính không đồng nhất theo phương ngang đối với trường gió, áp suất và nhiệt độ

đến lượt mình lại có quan hệ với prisin thẳng đứng của các yếu tố khí tượng và động lực của các quá trình khí quyển. Vì các quá trình khí quyển được nảy sinh và tiến triển trên bề mặt ngăn cách của khí quyển ở mức độ lớn phụ thuộc vào vĩ độ, việc đánh giá định lượng lớp biên hành tinh ở vĩ độ thấp đòi hỏi phải xem xét đặc biệt.

Phân bố chung của các đặc trưng rối theo vĩ độ

Như đã biết, các tham số không thứ nguyên tương tác mặt dệm với dòng khí chảy trên nó thay đổi trong giới hạn rất rộng phụ thuộc vào đặc trưng của mặt dệm và các điều kiện nhiệt – áp. Ở vĩ độ thấp, sự biến đổi lớn của tham số Cöriolit cũng là tính chất đặc biệt. Chúng ta thử đánh giá sự biến đổi của các đặc trưng tương tác rối và tăng kết đôi với sự biến đổi từ 10 đến 40° vĩ với các điều kiện khác nhau. Chẳng hạn, bảng 1.1 được tính với cùng giá trị: tốc độ gió địa chuyển $C_g = 20 \text{ m/s}$; độ ổn định ở phần dưới của lớp biên $\mu_0 = -50$; tham số nhám $Z_0 = 0.1$; trường hợp chính áp $\left(\frac{\partial T}{\partial X} = \frac{\partial T}{\partial y} = 0 \right)$.

Bảng 1.1. Phân bố theo vĩ độ của các đặc trưng rối

Vĩ độ $\phi^{\circ}N$	Các đặc trưng rối						
	μ	LgR_0	χ_*	v_*	α	H	k_{max}
10	90	7.1	0.072	0.90	34	2362	60
15	67	6.8	0.081	0.68	32	1550	30
20	64	6.5	0.084	0.53	31	1183	15
25	53	6.4	0.091	0.74	30	936	12
30	47	6.2	0.099	0.43	30	787	9
35	45	6.1	0.101	0.38	29	650	7
40	44	6.0	0.101	0.34	28	540	5

Trong đó: μ – tham số tầng kết ở phần dưới của lớp biên; R_0 – số Rossby; χ_* – hệ số ma sát địa chuyển; v_* – tốc độ động lực (m/s); α – góc quay của gió theo độ cao (độ); H – độ cao của lớp biên (m); k_{max} – hệ số rối cực đại trong lớp biên (m^2/s).

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG I

1. Nêu định nghĩa và đặc tính cơ bản của cấu trúc lớp biên khí quyển.
2. Phân loại khí quyển theo sơ đồ hình thành lớp biên của Laikhtman.
3. Đặc tính cơ bản của các dòng rối: Rối động lực, rối đối lưu.
4. Các tham số đặc trưng cơ bản của lớp biên khí quyển vùng vĩ độ thấp.
5. Nhận xét sự biến đổi theo vĩ độ của các đặc trưng rối: Tốc độ động lực V_* ; độ cao lớp biên H ; hệ số K_{\max} và hệ số ma sát địa chuyền χ_* .

Chương II

HỆ THỐNG PHƯƠNG TRÌNH ĐỔI VỚI LỚP BIÊN KHÍ QUYỀN (MÔ HÌNH CHÍNH ÁP VÀ MÔ HÌNH TÀ ÁP)

2.1. HỆ PHƯƠNG TRÌNH TỔNG QUÁT CHUYỂN ĐỘNG CỦA KHÍ QUYỀN [24, 25, 31]

Nghiên cứu động lực học của các quá trình khí quyển người ta thường quan tâm đến trường áp, nhiệt độ, tốc độ và một số đặc trưng khác. Để nghiên cứu sự biến đổi của các trường này theo không gian và thời gian cần thiết phải thiết lập những phương trình tương ứng. Cơ sở thiết lập những phương trình này là dựa trên ba định luật bảo toàn: Khối lượng, động lượng và năng lượng.

Từ các định luật trên có thể thiết lập được hệ 5 phương trình vô hướng viết ở dạng tensor sau:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + v_j \frac{\partial p}{\partial x_j} + p \frac{\partial v_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial v_i}{\partial t} + v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\mu}{f} \frac{\partial^2 v_i}{\partial x_j \partial x_i} - g_i - 2(\omega_j v_k - \omega_k v_j) \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial E_B}{\partial t} + v_j \frac{\partial E_B}{\partial x_j} = \rho \frac{\partial EQ}{\partial t} - P \frac{\partial v}{\partial t} \quad (2.3)$$

Trong đó, $P = R\rho T$.

Từ hệ này có thể tìm được các đại lượng sau: thành phần tốc độ gió v_i ($i = 1, 2, 3$); áp suất P ; mật độ ρ ; nội năng $E_B = E_B(T)$. Như vậy, có 6 phương trình với 6 ẩn (với điều kiện $\frac{\partial Q}{\partial t}$ đã biết).

Trong động lực học khí quyển những dạng năng lượng sau đóng vai trò chủ yếu:

– Động năng: $E_K = v^2/2$;

- Thể năng E_n ,
- Nội năng E_B
- Năng lượng phát xạ và năng lượng chuyển hoá pha E_Q .

Ghi chú: Trong các phương trình trên i, j = 1, 2, 3 và khi một số hạng có chỉ số lặp lại hai lần thì số hạng đó được lấy tổng từ 1 đến 3.

Ví dụ: $\frac{\partial v}{\partial x_1} = \frac{\partial v_1}{\partial x_1} + \frac{\partial v_2}{\partial x_2} + \frac{\partial v_3}{\partial x_3}$

2.2. HỆ THỐNG PHƯƠNG TRÌNH NHIỆT ĐỘNG HỌC ĐỔI VỚI KHÍ QUYỀN RỒI

2.2.1. Khái niệm về rối

Khi áp dụng hệ phương trình trên để mô tả sự biến đổi theo không gian – thời gian đối với các trường khí tượng gấp phải một khó khăn có tính nguyên tắc mà nó gây ra bởi đặc trưng rối của chuyển động khí quyển.

Chuyển động của không khí, trong đó những đặc trưng của nó biến đổi hỗn loạn theo không gian và thời gian ứng với những điều kiện bên ngoài không thay đổi được gọi là rối.

2.2.2. Sự hình thành của rối

Dòng chảy tầng và rối được xem là 2 dạng của chuyển động, với những điều kiện xác định chúng chuyển từ dạng này sang dạng khác.

Tiêu chuẩn xuất hiện rối nhận được bởi Reynold (1883), chuyển động tầng chuyển sang chuyển động rối khi và chỉ khi số $Re_c = \frac{uL}{v}$ lớn hơn giá trị tối hạn Re_{kp} nào đó (u , L – quy mô đặc trưng tốc độ và độ dài; v – nhớt động học). Số Re đặc trưng cho mối quan hệ tương đối của lực quán tính và lực nhớt phân tử. Điều đó suy ra từ việc đánh giá bậc đại lượng của các thành phần tương ứng trong phương trình Navie – Stoke.

$$\frac{u \frac{\partial u}{\partial S}}{v \frac{\partial^2 u}{\partial S^2}} \sim \frac{u^2 L}{v \frac{u}{L^2}} \sim \frac{uL}{v} = Re \quad (2.4)$$

Giá trị tiêu chuẩn Re_{kp} được gọi là giá trị tối hạn, nó được xác lập bằng thực nghiệm đối với các dạng khác nhau của dòng rối. Giá trị Re_{kp} nói riêng phụ thuộc vào mức độ nhiễu động của dòng chảy tầng.

Như đã biết, nghiên cứu lý thuyết sự phát sinh của rối dẫn đến việc nghiên cứu toán học về sự ổn định của nghiệm phương trình thuỷ động học.

Phương pháp khác cho phép nghiên cứu điều kiện tồn tại chế độ rối là việc sử dụng phương pháp năng lượng. Thực chất của phương pháp này là nghiên cứu cân bằng năng lượng của nhiễu động xoáy quy mô tương ứng và xác định các điều kiện khi đó năng lượng của nhiễu động đã cho không giảm theo thời gian (tức là khả năng tồn tại lâu dài của nhiễu động). Chúng ta áp dụng phương pháp này trong các hình thế điển hình đối với khí quyển. Giả sử trong dòng đồng nhất ngang, nhiễu động quy mô 1 này sinh mà nhiễu động này có tốc độ v_i và nhiệt độ thế vị θ_i khác với nhiệt độ của môi trường xung quanh:

$$0 = T \left(\frac{1000}{\rho} \right)^{\frac{c_p - c_s}{c_p}} \quad (2.5)$$

Thời gian đặc trưng tồn tại của xoáy là $\tau_i \sim l/v_i$. Trong trường hợp này, năng lượng từ động năng của dòng cơ bản (hay là từ xoáy quy mô lớn hơn) liên quan đến việc tạo ra động năng của chuyển động với quy mô 1 trên một đơn vị thời gian có mối quan hệ như sau:

$$R_{11} \sim \frac{v_i^2}{\tau_i^2} \sim \frac{v_i^3}{l} \quad (2.6)$$

Động năng của xoáy tiêu hao biến thành công R_{11} chống lại ma sát nhớt. Lực ma sát mô tả bởi thành phần sau trong phương trình Navier – Stoke:

$$\frac{\partial v_i}{\partial t} + v_k \frac{\partial v_i}{\partial x_k} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + v \frac{\partial^2 v_i}{\partial x_k^2} \quad (2.7)$$

Đối với xoáy kích thước 1, nó có bậc $v \frac{v_i}{l^2}$, và do đó công thực hiện chống lại lực ma sát nhớt trên 1 đơn vị thời gian bằng:

$$R_{21} \sim v \frac{v_i}{l} v_i \quad (2.8)$$

Ngoài ra, trong dòng phân tầng ổn định xoáy thực hiện công chống lại lực nâng. Gia tốc của xoáy trong khí quyển phân tầng $\frac{dv_1}{dt} \sim \frac{g}{\theta} \theta_1$, còn công thức thực hiện bởi xoáy trong đơn vị thời gian bằng:

$$R_{321} \sim v \frac{v_1}{l^2} \theta_1 v_1 \quad (2.9)$$

Để nhiều động khảo sát quy mô 1 không tiêu huỷ theo thời gian t , tức là sẽ biến đổi theo thời gian, động năng của xoáy $\frac{db_1}{dt} > 0$ trong khí quyển phân tầng cần phải thực hiện điều kiện sau:

$$R_{11} > R_{21} > R_{31} \quad (2.10)$$

Nếu vai trò phân tầng là nhỏ ($R_{31} \ll R_{21}$ thì theo (2.10)

$$R_{11} > R_{31} \text{ hay } \frac{g}{Q} \frac{lQ_1}{v_1^2} = Ri_1 < 1 \quad (2.11)$$

Ri_1 – số Richardson đối với xoáy quy mô 1. Như vậy, để duy trì rối quy mô 1 cần thoả mãn cho số Reynold đủ lớn còn số Richardson đủ nhỏ. Do vậy, trong dòng phân tầng tiêu chuẩn không thứ nguyên mới xuất hiện đó *Richardson đặc trưng cho điều kiện tồn tại chế độ rối*.

Khi phân tầng không ổn định, công của lực nâng R_{31} là nguồn bổ sung của năng lượng (quy mô 1) cần phải thực hiện bất đẳng thức:

$$R_{11} + R_{31} > R_{21} \text{ hay } \frac{v_1^3}{l} + \frac{g}{\theta} \theta_1 v_1 > v \frac{v_1^2}{l^2} \quad (2.12)$$

Khi nhân tố nhiệt chiếm ưu thế ($R_{31} >> R_{11}$) ta có:

$$\frac{\frac{g}{\theta} \theta_1 l^2}{v v_1} > 1 \quad (2.13)$$

Bất đẳng thức này dùng để đánh giá sự tồn tại của nhiễu động trong dòng rối.

2.2.3. Cân bằng động năng của mạch động rối

Cân bằng động năng trung bình của các thành phần mạch động đối với trường tốc độ b được xác định bởi công thức sau:

$$b = \frac{1}{2} \left(\overline{v_1 v_1} + \overline{v_2 v_2} + \overline{v_3 v_3} \right) \quad (2.14)$$

– Trong dòng *rői* *dùng*, dòng năng của chuyển động cơ bản liên tục chuyển hoá thành động năng của dao động và tiếp theo là thành nội năng và thế năng trong quá trình thực hiện công chống lại lực nâng. Biến đổi tổng năng lượng mạch động bằng công toàn phần mà được thực hiện bởi – thứ nhất xoáy chống lại ma sát nhót, và thứ hai chống lại lực nâng.

– Trong trường hợp tổng quát, chuyển động là không dùng thì $\frac{\partial \rho b}{\partial t}$

được xác định bởi phương trình cân bằng sau:

$$\frac{\partial \rho b}{\partial t} = - \frac{\partial \rho b v_j}{\partial x_j} - \frac{\partial J b j}{\partial x_j} + I_b \quad (2.15)$$

Dòng năng lượng của mạch rői xác định bởi công thức:

$$\frac{\partial J b_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\alpha_b k_1 \rho \frac{\partial b}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\alpha_b k_2 \rho \frac{\partial b}{\partial x_2} \right) + \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\alpha_b k_3 \rho \frac{\partial b}{\partial x_3} \right) \quad (2.16)$$

Từ đó, dòng rői chỉ phụ thuộc vào x_3 , nên ta nhận được:

$$\frac{\partial J b_j}{\partial x_j} = \frac{\partial J b_3}{\partial x_3} = \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\alpha_b k \rho \frac{\partial b}{\partial x_3} \right). (k_3 \equiv k, \alpha_b = k_b / k) \quad (2.17)$$

Số hạng I_b bao gồm sự chuyển hoá của chuyển động trung bình thành năng lượng rői (I_1); sự chuyển hoá thành nội năng (ϵ) do tính đến độ tiêu tán công của lực nâng (công này có giá trị dương khi tăng kết bất ổn định và âm khi tăng kết ổn định) I_2 là các nguồn năng lượng.

$$\text{Vì vậy, } I_b = I_1 + \epsilon + I_2$$

Biểu thức công của ứng suất tiếp tuyến của chất lỏng trong 1 đơn vị thể tích sau 1 đơn vị thời gian được liên hệ với cường độ dòng rői và các trường trung bình theo lý thuyết Π .

– Sự biến hoá động năng của chuyển động trung bình (trong 1 đơn vị thể tích sau 1 đơn vị thời gian) gọi là trao đổi rői. Chúng ta có:

$$I_1 = k \rho \left[\left(\frac{dv_1}{dx_3} \right)^2 + \left(\frac{dv_2}{dx_3} \right)^2 \right] \quad (2.18)$$

– Công thực hiện chống lại lực nâng I_2 :

$$I_2 = \rho \frac{\overline{dv_3}}{dt} v_3 = -\frac{g}{T} \rho \overline{\theta' v_3} \approx -\frac{g}{T_0} \rho \overline{\theta' v_3} \quad (2.19)$$

Ở đây, T_0 – nhiệt độ trung bình của không khí ($T_0 \approx 300^{\circ}\text{K}$), từ (2.19) nhận được:

$$I_2 = -\frac{g}{T_0} k_b \bar{\rho} \frac{d\bar{\theta}}{dx_3} = -\frac{g}{T_0} \alpha_b k \bar{\rho} (\gamma - \gamma_a); \left(\gamma = -\frac{dT}{dZ} \right) \quad (2.20)$$

Từ đây thấy rằng, với tần kết bất ổn định ($\gamma > \gamma_a$), lực nâng tăng cường phát triển rõi. Như vậy, phương trình cân bằng năng lượng rõi đổi với 1 đơn vị thể tích có thể viết:

$$\frac{db}{dt} = k \rho \left[\left(\frac{dv_1}{dv_3} \right)^2 + \left(\frac{dv_2}{dx_3} \right)^2 \right] - \frac{g}{T_0} k \rho (\gamma_a - \gamma) + \text{diss} + \frac{\partial}{\gamma x_3} \left(\alpha_b k \frac{\partial b}{\partial x_1} \right) \quad (2.21)$$

Phương trình này là bổ sung để xác định hệ số rõi.

2.2.4. Phương pháp trung bình hóa

Trữ lớp dưới nhớt rất mỏng tiếp giáp với biên rắn, chuyển động trong lớp biên khí quyển mang đặc trưng rõi (số Reynold đổi với dòng chảy của khí quyển lớn hơn nhiều giá trị tiêu chuẩn, khi đó độ ổn định của trạng thái chảy tầng bị phá huỷ và chuyển động trở thành rõi). Thực tế trong trường hợp chuyển động rõi, chúng ta chỉ quan tâm đến giá trị trung bình theo thang do nào đó đặc trưng cho dòng. Về mặt lý thuyết chúng ta thường hiểu “trung bình” như là trung bình xác suất theo một tập thống kê được thực hiện khác nhau của trạng thái rõi. Trong thực tế thường lấy trung bình theo thời gian. Để diễn giải trung bình theo nghĩa như vậy, cần phải đưa ra đại lượng được gọi là giả thiết về tính Ergodic, tương ứng với phép lấy trung bình thống kê theo thời gian *trong một khoảng thời gian hữu hạn* (được gọi là chu kỳ lấy trung bình). Song trong phô của các quá trình khí tượng quan sát thấy một lớp rộng gọi là “cực tiểu khí tượng cỡ vừa” mà chúng phân chia chuyển động thành quy mô lớn (chuẩn 2 chiều) và quy mô nhỏ (3 chiều và chuẩn đồng nhất). Điều này tất yếu dẫn đến khi có sự thay đổi chu kỳ trung bình trong giới hạn của cực tiểu khí tượng cỡ vừa (tức là từ 0,1 – 1 giờ), đại lượng trung

bình thay đổi không đáng kể. Chu kỳ tối ưu trung bình theo thời gian khoảng 1 giờ là quy mô tự nhiên của trung bình khí tượng quy mô nhỏ.

2.2.5. Hệ phương trình nhiệt động lực tổng quát đối với khí quyển rời

Trên cơ sở phương pháp trung bình hoá, tất cả các đại lượng mạch động được viết ở dạng tổng các đại lượng trung bình và độ lệch khỏi trung bình trong các phương trình đối với chất lỏng nhớt không nén được:

$$\rho \frac{dv_i}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\rho K \frac{\partial v_i}{\partial x_3} \right) - g \delta_{i3} + (\omega_j v_k - \omega_k v_j) \quad (2.22)$$

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\frac{\partial (\rho v_i)}{\partial x_i} \quad (2.23)$$

Phương trình nhập nhiệt:

$$\rho C_p \frac{d\theta}{dt} = \rho C_p \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\alpha_0 k \frac{\partial \theta}{\partial x_1} \right) + I_{bx} + I_{chl} \quad (2.24)$$

Trong đó: I_{bx} – nhiệt nhập bức xạ; I_{chl} – nhiệt nhập chuyên hoá pha.

Phương trình trạng thái:

$$P = \rho R T \quad (2.25)$$

Nhiệt độ thế vị:

$$\theta = T \left(\frac{1000}{P} \right)^{R/C_p} \quad (2.26)$$

Ta được hệ 7 phương trình với 8 ẩn $v_1, v_2, v_3, \rho, p, T, \theta, k$. Hệ không kín, vì vậy để giải chúng cần phải bổ sung thêm phương trình.

2.2.6. Mô tả định lượng các quá trình trong lớp biên hành tinh

Để nhận được hệ phương trình của các đại lượng trung bình, các định luật như định luật thứ hai của cơ học, định luật bảo toàn khối lượng của không khí và hơi nước, định luật bảo toàn và chuyển hoá năng lượng; phương trình trạng thái để tạo thành một hệ kín. Trong trường hợp này các

đại lượng cần tìm là tốc độ gió, nhiệt độ, áp suất, mật độ không khí và mật độ hơi nước. Khi này nhập nhiệt phi đoạn nhiệt của khí quyển cần phải xem như là hàm của toạ độ và thời gian.

Vì tất cả các đại lượng trong dòng rối biến đổi không đều, việc mô tả định lượng các quá trình được áp dụng với các đặc trưng trung bình của chuyển động rối (phương trình Reynold), phương trình nhập nhiệt; cùng với các phương trình khác như phương trình trạng thái, các biểu thức đổi với nhiệt độ thế vị để nhận được hệ phương trình khép kín, còn phương trình cân bằng là một trong các hệ thức bổ sung.

Việc dẫn ra phương trình năng lượng mạch động rối cho phép hiểu sâu sắc hơn các nhân tố mà động học của dòng xác định chúng và cho khả năng thành lập một hệ thức cần để đóng kín hệ phương trình. Lưu ý rằng, phương trình cân bằng năng lượng rối không phải là hệ quả của các phương trình chuyển động trung bình và có thể xem như phương trình bổ sung để xác định hệ số trao đổi rối. Song trong phương trình này lại xuất hiện biến mới. Những giả thiết khác cho phép về nguyên lý xây dựng các phương trình và hệ thức để số phương trình bằng số ẩn số, được trình bày dưới đây.

Như đã chỉ ra ở trên, để khép kín hệ phương trình, người ta sử dụng phương trình cân bằng năng lượng rối, trong đó tính đến dòng nhiệt rối $P(z)$. Để xác định profin nhiệt độ cần dẫn ra phương trình nhập nhiệt. Song điều này lại làm phức tạp thêm do tính đến nhiệt bức xạ và chuyển hoá pha. Con đường đơn giản nhất để khắc phục khó khăn này là ở chô, trong bài toán profin nhiệt hay nhập nhiệt được tiêm cận tốt với số liệu thực nghiệm.

Chúng ta viết các phương trình chủ yếu được dùng trong các bài toán khí tượng động lực để mô tả các quá trình khí quyển, trước hết là phương trình chuyển động ở dạng Reynold.

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_a \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_a} = \bar{F}_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_a} + \frac{\partial}{\partial x_a} \left(v \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_a} - \bar{u}_i \bar{u}_a \right) \quad (2.27)$$

Như đã biết, phương trình này là không kín, vì trong chúng xuất hiện ứng suất $\tau_{ij} = -\bar{u}_i \bar{u}_j$ gọi là ứng suất Reynold.

Khi áp dụng lấy trung bình với phương trình nhập nhiệt, ta nhận được:

$$\frac{\partial \bar{\theta}}{\partial t} + \bar{u}_a \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial x_a} = \frac{\partial}{\partial x_a} \left(v_r \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial x_a} - \bar{u}_a \bar{\theta} \right) + \bar{\varepsilon}_L + \bar{\varepsilon}_F \quad (2.28)$$

Ở đây: θ – nhiệt độ thế vị; ϵ_L, ϵ_F – nhập nhiệt phát xạ và chuyển hoá pha.

Trong phương trình này cùng với nhập nhiệt phát xạ và chuyển hoá pha, xuất hiện nhập nhiệt bổ sung gây ra bởi di chuyển rối:

$$P_i = C_p \rho \overline{\theta' u'_i} \quad (2.29)$$

Như vậy, để mô tả định lượng các quá trình khí quyển những phương pháp tính ứng suất tiếp tuyến và nhập nhiệt rối rất cần thiết “lý thuyết K” là một hướng trong nghiên cứu các phương pháp khép kín phương trình chuyển động và nhập nhiệt mà trong các phương trình này sử dụng rộng rãi khái niệm hệ số nhớt rối và truyền nhiệt rối.

Vì các ứng suất tiếp tuyến rối quan hệ rối chuyển động trung bình đóng vai trò tương tự như lực nhớt trong phương trình Navie – Stoke, nên khi không có sự biến dạng của khối chất lỏng, lực này hướng theo pháp tuyến với khối chất lỏng phân chia. Năng lượng rối trong trường hợp này tương tự như áp suất và

$$\tau_{ij} = -\frac{1}{3} \rho \overline{u'_a u'_a} \delta_{ij} = -\frac{2}{3} \rho b \delta_{ij} \quad (2.30)$$

Trong đó: $b = \frac{E_t}{\rho} = \frac{1}{2} \overline{u'_a u'_a}$ là động năng rối của một đơn vị khối lượng (cường độ rối); δ_{ij} là ký hiệu Croneker.

Khi tồn tại sự biến dạng thì các đại lượng ứng suất tiếp tuyến rối phụ thuộc vào đạo hàm từ tốc độ trung bình theo các toạ độ. Giả thiết về sự phụ thuộc tuyến tính giữa tenxơ ứng suất rối và tenxơ biến dạng $\phi_{ij} = \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i}$.

Sự phụ thuộc này được viết ở dạng sau:

$$\tau_{ij} = -\frac{2}{3} \rho b \delta_{ij} + \frac{1}{2} (K_{ia} \phi_{aj} + K_{ja} \phi_{ai}) \quad (2.31)$$

Tương tự đối với nhập nhiệt rối dẫn ra hệ số truyền nhiệt rối:

$$P_i = C_p \rho K_{Ta} \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial x_a} \quad (2.32)$$

Việc áp dụng các hệ số nhớt rối thực chất chỉ thay một số đại lượng chưa biết bằng những đại lượng khác, song cách làm như vậy phân chia bài toán tính các tham số dòng rối thành hai phần:

– Xác định các đặc trưng của chuyển động trung bình của các thành phần tốc độ gió và nhiệt.

– Xác định các tham số rối: cường độ rối, hệ số nhớt rối và truyền nhiệt rối trong gần đúng ban đầu.

Để giải bài toán thứ 2 có hiệu quả, cần sử dụng phương trình cân bằng năng lượng rối.

Phương trình cân bằng năng lượng rối đối với một đơn vị khối lượng có dạng:

$$\begin{aligned} \frac{\partial b}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_\alpha} \left(b \bar{u}_\alpha + \frac{1}{2} \bar{\rho} \bar{u}'_\beta \bar{u}'_\beta \bar{u}'_\alpha + \bar{p}' \bar{u}'_\alpha \right) \\ = - \bar{\rho} \bar{u}'_\alpha \bar{u}'_\beta \frac{\partial \bar{u}_\beta}{\partial x_\alpha} + \frac{g \bar{\rho}}{\bar{\theta}} \bar{\theta}' \bar{u}'_\alpha \delta_{\alpha\beta} - \bar{\rho} \bar{\epsilon} \end{aligned} \quad (2.33)$$

Trong đó: ϵ là đại lượng tiêu tán động năng rối thành nhiệt.

Để tính 3 thành phần trong phương trình trên dẫn ra hệ số di chuyển rối của động năng rối, nó xác định bằng công thức sau:

$$\frac{1}{2} \bar{\rho} \bar{u}'_\beta \bar{u}'_\beta \bar{u}'_\alpha = \bar{\rho} \cdot K_{\text{hỗn}} \frac{\partial b}{\partial x_\alpha} \quad (2.34)$$

Hệ số rối

Trên cơ sở phân tích các số liệu thực nghiệm những dạng khác nhau của biểu thức hệ số nhớt rối, chẳng hạn coi hệ số nhớt rối như là hàm của khoảng cách từ mặt đệm. Song dù rằng như độ lớn của hệ số nhớt rối được xác định bởi cấu trúc bên trong của dòng. Công trình của Taylor dựa trên cơ sở lý thuyết tương tự của chuyển động rối và phân tử là một trong những công trình đầu tiên về vấn đề này và hệ số nhớt rối biểu thị ở dạng:

$$k \sim l_T^2 \left| \frac{du}{dz} \right| \quad (2.35)$$

Trong đó, l_T là đại lượng tương tự như quãng đường tự do của phân tử.

Giống như hệ thức trên tiếp sau Taylor là Prandtl đưa ra biểu thức độ dài hỗn hợp là đại lượng tỷ lệ với l_T .

Đóng góp to lớn của lý thuyết rối là công trình của Kolmogorov (1942) đưa ra biểu thức thực nghiệm hệ số nhót rối:

$$k = l\sqrt{b} \quad (2.36)$$

Trong đó, b là năng lượng rối mô tả bởi hệ thức

$$b = \frac{1}{2} \overline{\mathbf{u}'_i \mathbf{u}'_j}.$$

Quy mô rối

Khái niệm quy mô rối hay còn gọi là độ dài hỗn hợp dựa trên cơ sở lý thuyết tương tự với quãng đường tự do của phân tử và có ý nghĩa là đặc trưng kích thước hình thành xoáy.

Năm 1933, Prand đưa ra biểu thức quy mô rối:

$$l = \bar{\chi}(Z + Z_0) \quad (2.37)$$

Trong đó: $\bar{\chi} = \chi C^{1/4}$; C là hệ số xác định từ thực nghiệm; Z_0 là độ nhám.

Quan điểm khác xác định quy mô rối được nêu ra bởi Karman (1930 – 1934). Theo Karman, quy mô rối là đặc trưng tính chất địa phương của dòng và có thể biểu thị qua tốc độ trung bình của dòng tại một điểm:

$$l = -\bar{\chi} \frac{du/dz}{d^2v/dz^2} \quad (2.38)$$

Sự phát triển tư tưởng của Karman là công trình của Zilitinkevich và Laikhtman [23, 30], tổng quát hoá quy mô rối của Karman có dạng:

$$l = -\bar{\chi} \frac{\psi}{d\psi/dz} \left(\psi = \left(\frac{du}{dz} \right)^2 + \left(\frac{dv}{dz} \right)^2 - \alpha_T \frac{g}{T} \frac{d\theta}{dz} \right) \quad (2.39)$$

Trong đó, $\psi = \sqrt{b}/l$ và tích phân biểu thức trên theo z sẽ nhận được công thức sau:

$$l(z) = \chi C^{1/4} \sqrt{b} \left(\frac{Z_0}{\chi C^{1/4} \sqrt{b}} + \int_0^z \frac{d\xi}{\sqrt{b(\xi)}} \right) \quad (2.40)$$

2.2.7. Mô hình lớp biên hành tinh của khí quyển

Xét trường hợp khi mà các điều kiện dìng và đồng nhất theo phương ngang được thực hiện.

Trong trường hợp này hệ phương trình chuyển động có dạng:

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial z} K \frac{\partial u}{\partial z} + 2\omega_z v &= \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial z} K \frac{\partial v}{\partial z} - 2\omega_z u &= \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}\end{aligned}\quad (2.41)$$

Hoặc khi tính gradien áp suất bằng tham số ngoài và khi biểu thị nó qua gió địa chuyển ta sẽ nhận được:

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial z} K \frac{\partial u}{\partial z} + 2\omega_z (v - v_g) &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial z} K \frac{\partial v}{\partial z} - 2\omega_z (u - u_g) &= 0\end{aligned}\quad (2.42)$$

Phương trình cân bằng năng lượng rối có dạng:

$$k \left[\left(\frac{du}{dz} \right)^2 + \left(\frac{dv}{dz} \right)^2 - \frac{g}{k} \alpha_r \frac{d\theta}{dz} \right] + D - \varepsilon = 0 \quad (2.43)$$

Giả thiết rằng toàn bộ các đặc trưng rối xem như là hàm của quy mô rối l và động năng rối b [25].

$$k = F_1(l, b); \varepsilon = F_2(l, b)$$

$$\text{Ở đây: } [k] = L^2 T^{-1}; [l] = L; [b] = L^2 T^{-2}; [\varepsilon] = L^2 T^{-3}$$

Dựa trên lý thuyết Π nhận được biểu thức đổi với hệ số rối k và độ tiêu tán rối ε:

$$k = c_1 l \sqrt{b} \text{ hay } k = l_1 \sqrt{b} \quad (l_1 = cl) \quad (2.44)$$

Trong đó, $\varepsilon = c_2 \frac{b \sqrt{b}}{l}$ hay $\varepsilon = c \frac{b^2}{k}$ ($c = c_2 \cdot c_1$ là hằng số xác định từ thực nghiệm).

Nếu dòng động năng rối biểu thị như là dòng rối của vật chất bất kỳ biểu thị ở dạng:

$$F_b = \alpha_b k \frac{db}{dz} \quad (\alpha_b = k_{b/k}) \quad (2.45)$$

Còn khuếch tán năng lượng rối coi như là độ tán của dòng:

$$D = \alpha_b \frac{d}{dz} k \frac{db}{dz} \quad (2.46)$$

thì phương trình năng lượng rői nêu ở trên có thể viết ở dạng:

$$k \left[\left(\frac{du}{dz} \right)^2 + \left(\frac{dv}{dz} \right)^2 - \frac{g}{T} \alpha_r \frac{d\theta}{dz} \right] - c \frac{b^2}{k} + \alpha_b \frac{d}{dz} k \frac{db}{dz} = 0 \quad (2.47)$$

Trong các phương trình (2.42), (2.44) và (2.47) có 6 biến số là u , v , k , l , b và θ , để xác định được nhiệt độ θ , sử dụng phương trình nhiệt nhập:

$$\frac{d}{dz} \alpha_r k \frac{d\theta}{dz} + \frac{1}{\rho C_p} \frac{d\phi}{dz} = 0 \quad (2.48)$$

Ở đây: $\frac{1}{\rho C_p} \frac{d\phi}{dz}$ là tổng của nhập nhiệt bức xạ và pha. Thành phần này

về nguyên lý có thể biểu thị qua các đại lượng khác cần tìm θ và q (độ ẩm riêng), song điều đó dẫn đến bài toán rất phức tạp. Phương trình nhập nhiệt ở dạng tổng quát hơn có thể được biểu diễn theo công thức:

$$\alpha_r k \frac{d\theta}{dz} = - \frac{p(z)}{\rho C_p} \quad (2.49)$$

$$\text{Ở đây, } \frac{p(z)}{\rho C_p} = \int \frac{1}{\rho C_p} \frac{d\theta}{dz} dz$$

Tương tự, phương trình nhiệt ẩm (để xác định q)

$$\frac{d}{dz} \alpha_q k \frac{dq}{dz} + \frac{1}{\rho} \frac{dF}{dz} = 0;$$

Trong đó, $\frac{1}{\rho} \frac{dF}{dz}$ là lượng nhập pha của độ ẩm và có thể viết ở dạng:

$$\alpha_q k \frac{dq}{dz} = - \frac{E(z)}{\rho} \quad (2.50)$$

$$\text{và } \frac{E(z)}{\rho} = \int \frac{1}{\rho} \frac{dF}{dz} dz$$

Để xác định l_1 (dưới đây ký hiệu chung là l), chúng ta sử dụng biểu thức tổng quát của Karman trong trường hợp dòng tầng kết 2 chiều:

$$l = -\bar{\chi} \frac{\psi}{d\psi/dz} \quad (2.51)$$

$$\text{Với } \bar{\chi} = -2x c^{1/4}; \psi = \left(\frac{du}{dz} \right)^2 + \left(\frac{dv}{dz} \right)^2 - \alpha_T \frac{g}{T} \frac{d\theta}{dz}$$

Hệ thống phương trình (2.42; 2.44; 2.47; 2.49; 2.50; 2.51) là khép kín. Về nguyên lý hệ này cho phép xác định được 7 ẩn phải tìm (u, v, k, l, b, θ và q) với các điều kiện biên đã cho mà đặc trưng của chúng phụ thuộc vào điều kiện cụ thể của bài toán.

Nghiên cứu việc giải hệ phương trình mô tả ở trên gặp khó khăn trong việc xác định hệ số rối, bởi vì nó liên hệ với các profin thẳng đứng của các yếu tố khí tượng bằng sự phụ thuộc *phi tuyến phức tạp*.

Nghiệm của bài toán có thể tìm được dưới dạng giải tích chỉ khi sử dụng một số giả thiết về profin thẳng đứng của hệ số rối trong lớp biên được trình bày dưới đây.

2.3. CÁC TRẠNG THÁI TẮNG KẾT CỦA LỚP BIÊN

2.3.1. TẮNG KẾT GẦN VỚI TRẠNG THÁI CÂN BẰNG PHIẾM ĐỊNH

Tiếp nhận rằng dòng rối là nhỏ (có nghĩa là z/L nhỏ) trong trường hợp này, khai triển hàm $F(z/L)$ theo chuỗi Macloranh và chỉ giới hạn 2 thành phần đầu tiên của chuỗi (vì z^2/L^2 cũng là đại lượng nhỏ bậc 2, khi đó nhận được:

$$F\left(\frac{z}{L}\right) = \chi \left[1 - \beta \frac{z}{L} \right] \quad (2.52)$$

$$\text{ở đây, } \beta = \frac{F'(0)}{F(0)}$$

(Theo các số liệu hiện tại, β thay đổi trong khoảng từ 0,6 – 10).

Trong trường hợp này k có dạng:

$$k = \chi v_* z \left(1 - \beta \frac{z}{L} \right) \quad (2.53)$$

Từ biểu thức này rõ ràng rằng khi tầng kết bát ổn định ($L < 0$), hệ số rối lớn hơn so với khi tầng kết ổn định ($L > 0$).

Những biểu thức đối với các profin của các yếu tố khí tượng có thể nhận được tương ứng như sau:

$$u = \frac{v_*}{\chi} \left(\ln \frac{z}{z_0} + \beta \frac{z}{L} \right) \quad (2.54)$$

$$\theta = \theta(0) + T_* \left(\ln \frac{z}{z_0} + \beta \frac{z}{L} \right) \quad (2.55)$$

$$q = q(0) + q_* \left(\ln \frac{z}{z_0} + \beta \frac{z}{L} \right) \quad (2.56)$$

Ở đây:

$$T_* = -\frac{p_0}{\rho c_p \chi \alpha_T v_*}; q_* = -\frac{E_0}{\rho \chi \alpha_q v_*} \quad (2.57)$$

Vì vậy, với tầng kết trạng thái cân bằng phiếm định nhận được các profin bậc 2 của k và các profin tuyến tính logarit u, θ và q.

2.3.2. Đối lưu tự do

Trong trường hợp đối lưu tự do $v_* \rightarrow 0$ và $L \rightarrow 0$ (vì rối xuất hiện chỉ do lực “nâng”). Vì k không thể bằng 0 hoặc ∞ , thì v_* không cần phải đưa vào trong công thức profin thẳng đứng của k. Thật vậy, trong trường hợp này

$$F(z/L) = A_1 \left(\frac{z}{L} \right)^{1/3} = A_2 \frac{z^{1/3}}{v_*} \quad (2.58)$$

Do đó, $k = A_2 z^{4/3}$.

Thực chất điều đó có nghĩa là khi trạng thái gần với đối lưu tự do, khai triển sau có thể tồn tại:

$$F(z/L) = A_1 \left(\frac{z}{L} \right)^{1/3} \left(1 + C_1 \frac{L}{z} + C_2 \frac{L^2}{z^2} + \dots \right) \quad (2.59)$$

Ở đây, $A_2 = A_1 \left(\chi \frac{g}{T} \frac{p_0}{\rho c_p} \right)^{1/3}$

Profin của θ và q ứng với đối lưu tự do được xác định bởi các hệ thức tương ứng sau:

$$\begin{aligned}\theta &= \theta(0) + B_1(z^{-1/3} - z_0^{-1/3}) \\ q &= q(0) + B_2(z^{-1/3} - z_0^{-1/3})\end{aligned}\quad (2.60)$$

Ở đây, $B_1 = \frac{3p_0}{A_2 \rho c_p \alpha_T}; B_2 = \frac{3E_0}{A_2 \rho \alpha_q}$

2.3.3. Trạng thái ổn định có nghịch nhiệt

Trong tầng kết ổn định có nghịch nhiệt (nhiệt độ tăng theo chiều cao) thì sự tồn tại của những xoáy lớn (những nhiễu động như vậy phải tiêu hao rất lớn năng lượng biến thành công chống lại lực nâng) không có khả năng mà chỉ tồn tại dưới dạng các xoáy nhỏ. Trong trường hợp như vậy trao đổi giữa các lớp khác nhau của không khí khó khăn và rối có đặc tính địa phương, gần bức tường có ảnh hưởng đến chế độ rối và do đó hệ số rối không cần phụ thuộc vào z . Điều đó có nghĩa là trong dòng ổn định có nghịch nhiệt, thì hàm vạn năng F được biểu diễn:

$$F(z/L) = D_1 L z^{-1} \quad (2.61)$$

Khi đó: $k = D_2 v_* L$ (2.62)

Với D_1 là hệ số tỷ lệ.

Để dàng chỉ ra rằng, khi đó nhận được dạng tuyến tính của profin đối u , 0 và q :

$$u = \frac{v_*}{D_1 L} z \quad (2.63)$$

$$\theta = \theta(0) - D_2 z \quad (2.64)$$

$$q = q(0) - D_3 z \quad (2.65)$$

Ở đây: $D_2 = \frac{p_0}{\rho c_p \alpha_T D_1 v_* L}; D_3 = \frac{E_0}{\rho \alpha_q D_1 v_* L}$ (2.66)

Hiệu quả của việc sử dụng lý thuyết tương tự và phân tích thứ nguyên khi giải bài toán với số ít các tham số rất rõ ràng qua ví dụ của phương pháp trình bày ở trên.

2.4. LỚP KHÔNG KHÍ SÁT ĐẤT, PHÂN BỐ CỦA CÁC YẾU TỐ KHÍ TƯỢNG VÀ ĐẶC TRUNG RỒI GẦN MẶT ĐẤT

2.4.1. Lớp sát đất

Lớp gần mặt đất (độ dày khoảng 10 – 100m) được gọi là lớp không khí sát đất (hay lớp dưới của tầng biên). Ở đây hầu như quan sát thấy gradien cực đại của các yếu tố khí tượng. Tính cố định tương đối theo độ cao của các dòng rối là tính chất đặc biệt quan trọng của lớp biên sát đất. Mặc dù các quá trình trong lớp này liên hệ mật thiết với các quá trình trong toàn bộ lớp biên, thường để giải một loạt bài toán quan trọng trong việc xác lập một cách đầy đủ mối quan hệ bên trong giữa các yếu tố khí tượng với các đặc trưng rối.

Hệ phương trình mô tả chuyển động trong lớp không khí sát đất có dạng:

$$\begin{aligned} k \frac{du}{dz} \Big|_z - k \frac{du}{dz} \Big|_{z_0} + \int_{z_0}^z 2\omega_s (v - c_g \sin \alpha) dz = 0 \\ k \frac{dv}{dz} \Big|_z - k \frac{dv}{dz} \Big|_{z_0} - \int_{z_0}^z 2\omega_s (v - c_g \cos \alpha) dz = 0 \end{aligned} \quad (2.67)$$

Ở đây: α – góc giữa hướng gió địa chuyển và trục Ox. Nếu trục Ox hướng dọc theo véctơ gió sát đất thì dễ dàng chỉ ra nó sẽ trùng với hướng của lực cản tiếp tuyến τ ở mặt đất. Thực vậy, nếu trong trường hợp tổng quát α' là góc giữa hướng gió sát đất và trục Ox; α'' là góc giữa hướng lực cản tiếp tuyến và trục Ox thì:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha' &= \frac{v}{u} \Big|_{z \rightarrow 0} = \frac{dv / dz}{du / dz} \\ \operatorname{tg} \alpha'' &= \frac{\tau_y}{\tau_x} \Big|_{z \rightarrow 0} = \frac{d\tau_y / dz}{d\tau_x / dz} \end{aligned} \quad (2.68)$$

Trong trường hợp này:

$$k \frac{dv}{dz} \Big|_{z_0} = 0, k \frac{du}{dz} \Big|_{z_0} = \frac{\tau}{\rho} = v_*^2 \quad (5.69)$$

Ở đây, v_* có thứ nguyên là tốc độ và được gọi là tốc độ động lực (hay tốc độ ma sát).

Khi sử dụng các phương trình này và khi chuyển sang phần giải phương trình nêu trên với biến không thứ nguyên ($u_n = u/c_g$; $v_n = v/c_g$; $z_n = z/h$; h là độ cao của lớp sát đất), chúng ta nhận được:

$$\begin{aligned}\frac{kdu/dz}{v_*^2} \Big|_L &= 1 + \frac{2\omega_r c_g h}{v_*^2} (\bar{v}_n - \sin \alpha) z_n \\ \frac{kdv/dz}{v_*^2} \Big|_L &= 1 + \frac{2\omega_r c_g h}{v_*^2} (\bar{u}_n - \cos \alpha) z_n\end{aligned}\quad (2.70)$$

(Gạch ngang là ký hiệu trung bình theo độ cao). Vì các đại lượng không thứ nguyên có bậc đơn vị và ngoài ra $\bar{\cos \alpha} = 0(1)$; $\bar{\sin \alpha} \ll 1$ (theo các quan sát); $\bar{\alpha} = 10 - 15$ thì:

$$\begin{aligned}\frac{kdv/dz}{v_*^2} \Big|_L &= 1 + \frac{2\omega_r c_g h}{v_*^2} 0(1) \\ \frac{kdv/dz}{v_*^2} \Big|_L &= 1 + \frac{2\omega_r c_g h}{v_*^2} [0(1) - 0(1)]\end{aligned}\quad (2.71)$$

Từ phương trình đầu có thể đánh giá độ cao lớp sát đất h , nó cần thoả mãn điều kiện:

$$\frac{2\omega_r c_g h}{v_*^2} \ll 1 \quad (2.72)$$

Nếu $2\omega_r = 10^{-10}$; $c_g = 10 \text{m/s}$; $v_*^2 = 10^{-1} \text{m}^2/\text{s}^2$, khi đó $h \ll 100 \text{m}$. Như vậy, trong giới hạn của lớp sát đất $\frac{v}{u} \ll 1$, tức là hướng gió thực tế không thay đổi và để xác định tốc độ gió có thể sử dụng phương trình sau:

$$k \frac{du}{dz} = v_*^2 \quad (2.73)$$

Bây giờ chúng ta lấy tích phân từ z_0 đến z phương trình nhập nhiệt:

$$\alpha_r k \frac{d\theta}{dz} \Big|_L - \alpha_T k \frac{d\theta}{dz} \Big|_{z_0} = - \frac{\phi(z) - \phi(z_0)}{\rho c_p} \quad (2.74)$$

Nếu ký hiệu P_0 là dòng nhiệt ròi trong lớp sát đất (hay là ở mặt đất), tức là:

$$p_0 = -\rho c_p \alpha_T k \frac{d\theta}{dz} \Big|_{z_0} \text{ thi } \frac{\alpha_T k \frac{d\theta}{dz}}{p_0 / \rho c_p} \Big|_{z_0} = -1 - \frac{1}{p_0} \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z_0} z \quad (2.75)$$

Đối với z nhỏ ($z \ll \frac{p_0}{\partial \theta / \partial z \Big|_{z_0}}$) công thức trên có dạng:

$$\alpha_T k \frac{d\theta}{dz} = -\frac{P_0}{\rho c_p} \quad (2.76)$$

Phương trình này chỉ ra rằng trong giới hạn của lớp sét đất có thể bỏ qua lượng nhiệt phát xạ đóng vai trò quan trọng trong việc hình thành sự phân bố nhiệt độ trong lớp sét đất.

Tương tự, có thể nhận được phương trình để xác định độ ẩm riêng như sau:

$$\alpha_q k \frac{dq}{dz} = -\frac{E_0}{\rho} \quad (2.77)$$

Ở đây, E_0 là tốc độ bay hơi. Phương trình này dựa vào giả thiết về khả năng bỏ qua nhập ẩm tính đến chuyển hoà pha trong lớp sét đất.

Ta có hệ phương trình lớp sét đất dưới dạng:

$$\frac{v_*^4}{k} + \frac{g}{T} \frac{p_0}{\rho c_p} + c \frac{b}{k} = 0 \quad (2.78)$$

$$k = l \sqrt{b} \quad (2.79)$$

$$l = -x \frac{\psi}{d\psi/dz} \quad (2.80)$$

$$\text{Ở đây: } \psi = \frac{v_*^4}{k^2} + \frac{g}{T} \frac{p_0}{\rho c_p}$$

Hệ thống phương trình nhận được mô tả toàn bộ đặc trưng của lớp biên. Những hằng số tích phân cần phải được xác định từ điều kiện biên: $z = z_0$; $u = 0$; $\theta = \theta_0$; $q = q_0$; $k = k_0$. Những tham số v_* , p_0 , E_0 giả thiết như là đã biết cũng có thể xác định sau khi tích phân phương trình nếu như u , θ , q đã biết ở độ cao bất kỳ nào đó (chẳng hạn theo quan trắc gradien). Trước hết, giải trực

tiếp hệ phương trình mô tả chúng, dựa trên việc sử dụng phân tích thứ nguyên.

Phân tích hệ thống mô tả chỉ ra rằng giá trị phải tìm của hệ số rối trong lớp sát đất cần phải thuộc vào các tham số sau: v_* , g/T , $p_0/\rho c_p$, z (nếu xem độ ẩm là thể chế bị động). Trong trường hợp như vậy:

$$k = f(v_*, g/T, p_0/\rho c_p, z) \quad (2.81)$$

Trong đó,

$$[k] = L^2 T^{-1} = L^2 T^{-1}; [v_*] = LT^{-1}; \left[\frac{g}{T} \right] = LT^{-2} \theta^{-2}; \left[\frac{P_0}{\rho c_p} \right] = LT^{-1} \theta; [z] = L$$

Để xác định dạng phụ thuộc của (2.66) chúng ta dùng lý thuyết -Π. Vì trong trường hợp đã cho tìm mối liên hệ của 5 đại lượng vật lý mà trong đó chỉ có 3 đại lượng đo độc lập (v_* , z , g/T) thì hệ thức của k có thể xác định tới độ chính xác nào đó theo biến vô thứ nguyên:

$$\frac{k}{v_*^{\alpha_1} z^{\beta_1}} = F \left(\frac{\frac{g}{T} \frac{P_0}{\rho c_p}}{v_*^{\alpha_2} z^{\beta_2}} \right) \quad (2.82)$$

Khi so sánh các chỉ số luỹ thừa với các thứ nguyên cơ bản, chúng ta xác định được $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ và nhận được:

$$k = v_* z F \left(\frac{\frac{z}{v_*^3}}{\frac{g}{T} \frac{P_0}{\rho c_p}} \right) \quad (2.83)$$

Nếu ký hiệu L là tổ hợp có thứ nguyên độ dài:

$$L = - \frac{v_*^3}{\chi \frac{g}{T} \frac{P_0}{\rho c_p}} \quad (2.84)$$

(L – quy mô Mônhin – Obukhov). Chúng ta sẽ nhận được biểu thức đổi với hệ số rối dưới dạng:

$$k = v_* z F(z/L) \quad (2.85)$$

Trong đó, χ – hằng số Karman, χ đưa vào để tiện lợi cho tính toán còn $L > 0$ ứng với tầng kết ổn định.

Chúng ta đặt mối quan hệ giữa z/L và số Richardson R_f để mô tả chế độ ổn định của khí quyển mà số R_f này đặc trưng cho mối quan hệ của năng lượng rối sinh ra do lực nâng với công sản ra của năng lượng rối do tính đến chuyển động trung bình. Chúng ta dùng biểu thức số Richardson có dạng:

$$R_f = - \frac{\frac{g}{T} \frac{P_0}{\rho c_p}}{\tau du / dz} \quad (2.86)$$

$$\text{Tính đến } \tau = \rho v_*^2; \frac{du}{dz} = \frac{v_*^2}{k} = \frac{v_*}{zF(z/L)} \quad (2.87)$$

Khi đó nhận được:

$$R_f = \frac{1}{\chi} \frac{z}{L} F\left(\frac{z}{L}\right) \quad (2.88)$$

Từ biểu thức này rõ ràng rằng, z/L liên hệ duy nhất với số Richardson. Dấu và giá trị của quy mô L dẫn ra đặc trưng cho trạng thái của khí quyển. Nếu $L = \infty$ khí quyển ở trạng thái cân bằng phiếm định, $L > 0$ ứng với tầng kết ổn định và $L < 0$ khi tầng kết là bất ổn định. Tất cả các đặc trưng của lớp sát đất phụ thuộc không chỉ L mà còn vào z/L . Điều đó có với độ cao nhỏ, toàn bộ các đại lượng dẫn đến giá trị ứng với $L = \infty$, tức là trong miền z nhỏ toàn bộ các đại lượng thực tế không phụ thuộc vào tầng kết. Phân tích sâu hơn chỉ ra rằng, trạng thái kể đến là hậu quả của ảnh hưởng ưu thế của các nhân tố động lực đến chế độ dòng rối gần tường. Các hệ thức trên cho phép khép kín hệ thống phương trình nếu biết dạng của hàm $F(z/L)$.

Chúng ta khảo sát trường hợp riêng khi biết dạng tương minh của $F(z/L)$:

Trong trường hợp khí quyển ở trạng thái cân bằng phiếm định thì $P_0 = 0$ khi $L = \infty$ và $\frac{z}{L} = 0$. Những đo đạc trong các ống thuỷ khí và trong lớp sát đất chỉ ra rằng $F(0) \approx \chi$ ($\chi \approx 0.4$), khi đó từ (2.85) chúng ta nhận được :

$$k = \chi v_* z \quad (2.89)$$

Nếu thay k vào (2.73) và (2.77) và tích phân chúng từ z_0 đến z thì chúng ta nhận được:

$$u = \frac{v_*}{\chi} \ln \frac{z}{z_0} \quad (2.90)$$

$$q - q(0) = - \frac{E_0}{\rho \alpha_q \chi v_*} \ln \frac{z}{z_0} \quad (2.91)$$

Hoặc là khi có các số liệu đo đặc gradien ở hai mực Z_0 và z_1 , thì:

$$u = u_1 \frac{\ln z/z_0}{\ln z_1/z_0} \quad (2.92)$$

$$q - q(0) = (q_1 - q_0) \frac{\ln z/z_0}{\ln z_1/z_0} \quad (2.93)$$

2.4.2. Các đặc trưng rối trong lớp không khí sát đất

Các đặc trưng cơ bản trong lớp không khí sát đất được mô phỏng bằng các profin thẳng đứng của trường các yếu tố khí tượng và các tham số rối. Dưới đây ta sẽ lần lượt xét tới các đặc trưng chủ yếu đó.

a) Profin của tốc độ gió trong lớp không khí sát đất ở điều kiện cân bằng

Từ các khái niệm vật lý đơn giản ta thấy ngay rằng sự trao đổi rối trong lớp khí quyển sát đất phụ thuộc vào các nhân tố sau:

- Gió ở giới hạn trên của lớp khí quyển sát đất.
- Mức độ lồi lõm của mặt đệm.
- Tầng kết nhiệt của khí quyển.
- Hai nhân tố đầu có bản chất động lực, còn nhân tố thứ ba là nhiệt lực.

Khi các nhân tố động lực như nhau, sự trao đổi rối diễn ra mạnh mẽ trong trường hợp tầng kết bất ổn định, ngược lại rối bị cản trở trong trường hợp tầng kết ổn định. Nếu khí quyển ở trạng thái cân bằng phiếm định, chuyển động rối hoàn toàn xác định bởi nhân tố động lực. Trong lớp khí quyển sát đất điều kiện cân bằng phiếm định tương đương với điều kiện đẳng nhiệt ($T(z) = \text{const}$), do vậy các phân tử di chuyển theo các xoáy rối đến mỗi mực nào đó đều có nhiệt độ bằng nhiệt độ của môi trường xung quanh. Vì vậy người ta thường gọi trạng thái cân bằng phiếm định của lớp khí quyển sát đất là trạng thái cân bằng. Ở sát mặt đất, quang đường dịch chuyển 1 từ vị trí phát sinh xoáy đến nơi nó tiêu tán, có thể coi phụ thuộc tuyến tính vào độ cao z :

$l = \chi \cdot z$ (χ là hằng số Karman, có giá trị là 0,38, trong thực tế coi $\chi \approx 0,4$).

Nếu hướng trục X đọc theo chiều chuyển động, đồng thời bỏ qua sự biến đổi không đáng kể của mật độ không khí ρ trong giới hạn của lớp khí quyển sát đất ($\rho/\rho_0 \approx 1$) thì nhận được công thức biến đổi của nó theo độ cao:

$$\frac{\partial U}{\partial z} = \frac{v_*}{l} = \frac{v_*}{\chi z} \quad (2.94)$$

Và lấy tích phân 2 vế phương trình này theo Z , ta sẽ nhận được:

$$U = \frac{v_*}{\chi} \ln Z + a \quad (2.95)$$

Ở đây a là hằng số tích phân được xác định từ điều kiện sau: do sự không bằng phẳng của mặt đệm nên tốc độ gió trung bình U khác không ($\neq 0$) tại $Z = 0$ mà tại mực $Z = Z_0$ nào đó, ở dưới mực này chỉ tồn tại các nhiễu động. Mực Z_0 được gọi là tham số nhám và khi đó:

$$U = \frac{v_*}{\chi} \ln \frac{Z}{Z_0} \quad (2.96)$$

Như vậy, trong điều kiện cân bằng, độ lớn của gió trong lớp biên khí quyển sát đất tăng theo độ cao với quy luật Loga, nó giống như công thức (2.90) thiết lập bằng cách tiếp cận khác (lý thuyết tương tự và thứ nguyên).

Trong thực tế, điều kiện cân bằng của lớp khí quyển sát đất xảy ra không nhiều. Đa số trường hợp profin tốc độ gió lệch khỏi đường logarit, điều này chứng tỏ phân tầng nhiệt không phải ở trạng thái cân bằng. Trong trường hợp như vậy, sự trao đổi rối sẽ phụ thuộc vào cả hai nhân tố động lực và nhiệt lực. Do đó khi xây dựng mô hình lý thuyết về profin gió trong những điều kiện không cân bằng, người ta cố gắng đưa vào các tham số đặc trưng cho mức độ ổn định của khí quyển.

b) Các profin rối ở điều kiện không cân bằng

Mô hình profin lũy thừa

Phương pháp đơn giản nhất để thiết lập quy luật phân bố của tốc độ gió theo chiều cao trong lớp khí quyển sát đất là xấp xỉ profin gió bằng các công thức giải tích trong đó chứa những tham số đặc trưng cho mức độ ổn định của khí quyển. Các tham số này được xác định dựa trên số liệu quan trắc

thực tế. Trong các mô hình xây dựng theo phương thức đó mà hiện tại vẫn được sử dụng là mô hình luỹ thừa có dạng sau:

$$U = U_1 \left(\frac{Z}{Z_1} \right)^n \quad (2.97)$$

Ở đây, U và U_1 là tốc độ gió ở mực Z và Z_1 , n là tham số phụ thuộc vào mức độ ổn định của khí quyển. Thay biểu thức này vào công thức ứng suất ma sát rồi ta sẽ nhận được profin hệ số rối k của khí quyển lớp sát mặt đất.

$$K = K_1 \left(\frac{Z}{Z_1} \right)^{1-n} \quad (2.98)$$

Ở đây, $K_1 = \frac{\tau_{z1}}{U_1 \rho n}$ là hệ số rối tại mực Z_1 .

Vì tốc độ gió cũng như hệ số rối về lý thuyết là những hàm tăng theo độ cao nên n phải là phân số đúng ($0 < n < 1$).

Những kết quả tính toán dựa trên các số liệu quan trắc thực tế đã chứng tỏ rằng n phụ thuộc vào đặc trưng cho độ ổn định của khí quyển. Giá trị của nó ở điều kiện cân bằng vào khoảng 1/4, còn ở điều kiện siêu đoạn nhiệt là khoảng 1/10.

Mô hình Buducô và Laikhtman

M. I Buducô và D. L Laikhtman đã đưa ra mô hình biểu diễn profin tốc độ gió trong lớp khí quyển sát đất có mức chính xác và hiệu quả cao hơn. Cả hai tác giả này đều xuất phát từ sự phụ thuộc của quãng đường dịch chuyển l vào độ cao Z .

**Mô hình Buducô:*

Buducô cho rằng, trong những điều kiện không cân bằng, quãng đường dịch chuyển l cũng tỷ lệ tuyến tính theo độ cao nhưng với hệ số tỷ lệ ngoài hằng số Karman còn thêm giá trị không thứ nguyên m , mà tham số m đặc trưng cho ảnh hưởng của dòng nhiệt $l = m\chi Z$. Khi không có ảnh hưởng của dòng nhiệt lúc đó m nhận giá trị bằng 1. Ngoài ra Buducô còn giả thiết sự phụ thuộc của tham số nhám Z_0 vào tầng kết nhiệt:

$$Z_0 = \frac{Z_0}{m} \quad (2.99)$$

Trong đó, Z_0' là tham số nhám, ứng với điều kiện cân bằng $Z_0' = Z_0$ và bằng không tại mực $Z_0' = Z_0/m$ ($m < 1$). Với giả thiết này Buderô nhận được profin tốc độ gió là:

$$U = \frac{v_*}{m\chi} \ln \frac{mZ}{Z_0} \quad (2.100)$$

Tương tự đối với hệ số rối k: $k = m\chi v_* z$

* *Mô hình Laikhtman:*

Laikhtman giả thiết tổng quát hơn về sự phụ thuộc của l vào Z

$$l = Az^{1-\epsilon} \quad (2.101)$$

Trong đó, A và ϵ là các tham số phụ thuộc vào tầng kết nhiệt của khí quyển sát mặt đất. Ở điều kiện cân bằng $\epsilon = 0$. Với giả thiết này Laikhtman nhận được profin tốc độ gió:

$$U = U_1 \frac{Z^\epsilon - Z_0^\epsilon}{Z_1^\epsilon - Z_0^\epsilon} \quad (2.102)$$

Công thức này được gọi là *dịnh luật lũy thừa tổng quát*.

Theo các số liệu quan trắc, thực tế chỉ ra rằng: khi có nghịch nhiệt ϵ có giá trị dương và nằm trong khoảng $-0,5 < \epsilon < 0,5$; còn khi có đối lưu thì $\epsilon < 0$ và ở trong khoảng $-0,5 < \epsilon < 0$. Đại lượng Z_0 trong trường hợp này cũng thay đổi và phụ thuộc nhiều vào độ ổn định của khí quyển (tức cũng phụ thuộc vào ϵ), do vậy Z_0 không còn là đặc trưng riêng cho độ nhám của mặt đất. Giá trị Z_0 tăng với độ bất ổn định tăng (tức là khi ϵ có giá trị tăng lên) và giảm khi độ ổn định tăng (khi ϵ dương giảm đi).

Profin của hệ số rối k trong mô hình này được biểu diễn qua hệ thức:

$$K = lv_* = Av_* z^{1-\epsilon} \quad (2.103)$$

Từ đó suy ra hệ số rối k_1 ở mực Z_1 :

$$K_1 = Av_* z_1^{1-\epsilon} \quad (2.104)$$

Và từ hai công thức này suy ra:

$$K = K_1 \left(\frac{Z}{Z_1} \right)^{1-\epsilon} \quad (2.105)$$

Cũng từ đây có thể thấy rằng khi có nghịch nhiệt ($\varepsilon > 0$) hệ số rói tăng chậm hơn khi có đối lưu ($\varepsilon < 0$).

Việc áp dụng mô hình Buđecô và Laikhtman vào điều kiện thực tế cho thấy rằng trong điều kiện nghịch nhiệt mô hình Laikhtman mô tả prôfin của tốc độ gió tốt hơn so với mô hình Buđecô.

2.4.3. Các hệ số rói của quá trình trao đổi động lượng, dòng nhiệt và dòng ẩm

Di chuyển rói là quá trình chủ yếu trong khí quyển của nhiệt, ẩm, bụi và các chất khí từ một điểm này đến một điểm khác theo phương thẳng đứng cũng như nằm ngang. Vì vậy, việc xác định tiêu chuẩn, đặc trưng cường độ trao đổi rói là một trong những bài toán của vật lý khí quyển, có ý nghĩa khoa học thực tiễn.

Trước hết, quá trình di chuyển rói theo phương thẳng đứng được xác định qua hệ số được gọi là hệ số trao đổi rói A.

Nếu ký hiệu thông lượng dòng rói là Q_T ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$) và gradien của nồng độ riêng $\frac{\partial s}{\partial z}$. Khi đó:

$$Q_T = -A \frac{\partial s}{\partial z} \quad (2.106)$$

Ở đây, A được gọi là hệ số xáo trộn rói.

Thông thường, người ta sử dụng đại lượng khác, đặc trưng cho cường độ trao đổi rói gọi là hệ số rói k. Hệ số rói k là tỷ số của A với mật độ không khí ρ :

$$k = \frac{A}{\rho} \quad (2.107)$$

Khi đó thứ nguyên của k là $[k] = \text{cm}^2/\text{s}$ hoặc đơn vị lớn hơn 10^4 lần là m^2/s .

Dòng rói của bụi theo phương ngang dọc theo trục x và y có thể viết tương tự như dòng thẳng đứng:

$$Q_x = -A_x \frac{\partial s}{\partial x} = -\rho k_x \frac{\partial s}{\partial x} \quad (2.108)$$

$$Q_y = -A_y \frac{\partial s}{\partial y} = -\rho k_y \frac{\partial s}{\partial y} \quad (2.109)$$

Trong trường hợp trường rối dǎng hướng theo phương ngang thì $A_x = A_y = A_s$; $K_x = K_y = K_s$. Ở đây, A_s và k_s là hệ số xáo động rối và hệ số rối theo phương ngang. Độ lớn của các hệ số A và k trong các điều kiện của khí quyển đặc trưng cho sự biến đổi theo không gian và thời gian. Chúng phụ thuộc vào độ lớn của gradien tốc độ gió (β) và nhiệt độ (γ), vào tính chất của mặt đệm – độ nhám của nó, tính không đồng nhất về nhiệt và các nhân tố khác.

Trong lớp sát đất hệ số rối k được nghiên cứu rất chi tiết, nhờ có quan trắc gradien đối với phân bố của gió và nhiệt độ trong lớp 1,5 – 2m, k được tính toán với độ chính xác thỏa mãn trong nghiệp vụ, mặc dù cho đến nay vẫn chưa có phương pháp xác định tin cậy hệ số trao đổi trong các điều kiện nghịch nhiệt mạnh khi có sự không đồng nhất lớn của mặt đệm và khi có các điều kiện khác nào đó.

Biểu thức dòng rối neutrino trên là tổng quát đối với sự di chuyển theo phương thẳng đứng của đại lượng thẳng giáng bất kỳ, nhưng nếu xem xét sự khuếch tán rối của dòng bất kỳ nào đó, chẳng hạn của dòng ẩm E , dòng lượng τ hay dòng nhiệt P , khi đó có các hệ thức:

$$E = -\rho k_w \frac{\partial q}{\partial z} \quad (2.110)$$

$$\tau = -\rho k_m \frac{\partial U}{\partial z} \quad (2.111)$$

$$P = -\rho C_p k_H \left| \frac{\partial T}{\partial z} - \gamma_a \right| \quad (2.112)$$

Ở đây, k_w , k_m , k_H là các hệ số rối tương ứng đối với các dòng ẩm E , dòng lượng τ và dòng nhiệt.

Trong nhiều công trình, chẳng hạn của Pristley (1964), xem xét các giá trị k_w , k_m , k_H và các tỷ số $\frac{k_w}{k_H}$, $\frac{k_m}{k_H}$ chỉ ra rằng giả thiết $k_w = k_m$ thường là thỏa mãn với một số điều kiện quan trọng nhất của tầng kết khí quyển.

Tỷ số được chú ý nhất là $\alpha = \frac{k_H}{k_m}$ mà trong lớp sát đất có thể biến đổi trong giới hạn tương đối lớn và phụ thuộc vào sự ổn định của khí quyển.

Song việc tính toán giá trị của α còn rất khó khăn, đặc biệt trong lớp biên khi tính đến sai số lớn do đặc điểm của nhiệt độ không khí và tốc độ gió.

Sau này, trong gần đúng thứ nhất chúng ta có thể xem rằng $k_w = k_m = k_H$ và tương ứng $\alpha = 1$.

Việc ngoại suy giá trị k nhận được ở mặt đất thường cho phép đến độ cao không lớn hơn 15 – 20m. Khi ngoại suy ở độ cao lớn hơn thường dẫn đến việc bỏ qua ý nghĩa vật lý của quá trình.

Tính đa quy mô của chuyển động rối mà chúng tạo ra sự di chuyển và phân bố năng lượng giữa các dòng rối quy mô khác nhau là tính đặc biệt của trao đổi rối. Sự tham gia của phổ các xoáy, phần nào xuất hiện hầu như toàn bộ năng lượng của dòng có thể được gọi là quy mô rối.

Trong lớp dưới 1km phổ các xoáy tăng khá lớn so với lớp sát đất nhưng toàn bộ phổ vẫn nhỏ hơn so với trong khí quyển tự do.

Gradien thẳng đứng của gió xác định sự nảy sinh của năng lượng xoáy tính đến dòng cơ bản, còn gradien nhiệt độ đặc trưng cho sự tiêu hao năng lượng thành công chống lại lực đẩy Acsimét.

1. Phương pháp tính hệ số rối trung bình theo lớp

Phương pháp tính hệ số rối có thể phân chia làm 2 bước:

– Tính giá trị trung bình k trong toàn bộ lớp biên, nói chung là lớp dưới 1km.

– Tính hệ số rối đối với từng độ cao để thu được kết quả profin k .

* *Phương pháp tính giá trị trung bình hệ số rối k theo lớp Laikhtman (1944, 1946) đã đề xuất thoả mãn những điều kiện ban đầu như sau:*

1. Chuyển động rối là dừng theo thời gian;

2. Quỹ đạo của phân tử có độ cong nhỏ, vì vậy lực hướng tâm có thể bỏ qua;

3a. Gradien khí áp biến đổi tuyến tính theo độ cao;

3b. Gradien khí áp không biến đổi theo độ cao.

Điều kiện gradien biến đổi tuyến tính theo độ cao ứng với trường hợp gradien ngang của nhiệt độ lớn (không khí không đồng nhất), do vậy hướng của gradien khí áp biến đổi nhanh theo độ cao và quan sát thấy sự quay của gió về bên trái.

Điều kiện gradien khí áp không biến đổi theo độ cao ứng với trường hợp gradien ngang của nhiệt độ nhỏ (khối khí là đồng nhất) khi sự quay của gió về bên phải và tốc độ của nó tăng theo độ cao.

Với điều kiện 3a, công thức tính k của Laikhtman có thể viết ở dạng:

$$\bar{k} = \frac{2l(\lg e)^2}{\operatorname{dlg} \left[\left(u + \frac{\partial P}{\partial x} \frac{RT_0}{P_0 l} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{zg}{T_0 l} \right)^2 + \left(v - \frac{\partial P_0}{\partial x} \frac{RT_0}{P_0 l} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial z}{T_0 l} \right)^2 \right]} \quad (2.113)$$

Với điều kiện 3b:

$$\bar{k} = \frac{2l(\lg e)^2}{\left(\frac{\operatorname{dlg} [u - u_g]^2 + v^2}{dz} \right)^2} \quad (2.114)$$

Trong đó: $l = 2\omega \sin \phi$ là tham số Coriolis;

e – Cơ số logarit tự nhiên;

u và v – Thành phần của vectơ gió theo các trục x, y;

$\frac{\partial P}{\partial x}, \frac{\partial P}{\partial y}, \frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}$ – Gradien ngang của áp suất và nhiệt độ;

R – Hằng số chất khí;

g – Gia tốc trọng trường;

T_0, p_0 – Nhiệt độ và áp suất ở mực Z_0 của lúc quan trắc;

u_g – Thành phần gió địa chuyển theo trục x.

Việc tính theo công thức này chỉ phụ thuộc vào vị trí địa lý và vì vậy nó sẽ cố định cho từng trạm quan trắc.

Thực hành việc tính toán theo công thức này là rất phức tạp, vì vậy Laikhtman đưa ra phương pháp phân bố của gió, nhiệt độ và các đặc trưng rối trong lớp biên gây ra bởi các nhân tố bên ngoài – cân bằng bức xạ của mặt hoạt động, nhiệt độ và gió ở giới hạn trên của lớp biên.

Chú ý rằng công thức tính đổi với điều kiện dừng, khi đó sự tiêu tán năng lượng rối thành nhiệt là nhỏ, do độ cao của biên nhận mực mà ở đó đạo hàm mô đun tốc độ gió ở lần thứ nhất bằng không.

Trung bình trong lớp biên đại lượng k có 2 dạng:

$$\bar{k} = \frac{\omega_z v_g^4}{g^2 \ln^2 \frac{\theta_H}{\theta_0}} \quad (2.115)$$

hay $k = 3,2 v_g^2 \frac{\omega_0 10^{-6}}{\gamma_a - \gamma} \sin \varphi \quad (2.116)$

Độ cao của lớp biên là:

$$H = \frac{v_g}{2,1} \sqrt{\frac{\theta_0}{\gamma_a - \gamma}} \quad (2.117)$$

hoặc $H = v_g \sqrt{\frac{\pi}{g} \frac{\theta_0}{\gamma_a - \gamma}} \quad (2.118)$

Từ các công thức này, suy ra rằng hệ số rối của toàn bộ lớp biên tỷ lệ thuận với bình phương của *gió địa chuyển* và tỷ lệ nghịch với *chênh lệch gradien thẳng đứng của nhiệt độ thực tế và đoạn nhiệt khô*. Độ cao của lớp biên tỷ lệ thuận với căn bậc hai của hệ số rối. Độ chính xác của 2 phương pháp tính theo Laikhtman không cao.

* *Phương pháp của L.M. Olenko (1955)*

Orlenko dẫn ra việc tính hệ số rối \bar{k} trung bình theo lớp và theo thời gian thông qua giá trị biên độ trung bình của nhiệt độ không khí τ . Biến trình ngày của nhiệt độ không khí ở độ cao Z có thể xem như dao động hình sin và chỉ giới hạn ở dạng dao động điều hoà thì:

$$A_Z = A_0 e^{-(Z-Z_0)\sqrt{\pi/k\tau}} \quad (2.119)$$

Ở đây, A_0 – biên độ của nhiệt độ không khí ở độ cao Z_0 và Z_0 ; k – hệ số rối; τ – chu kỳ dao động, đối với ngày đêm $\tau = 24$ giờ = 86.400 giây.

Lấy loga và vi phân biểu thức trên ta nhận được:

$$\frac{d \ln A_Z}{dz} = -\sqrt{\frac{\pi}{k\tau}} \quad (2.120)$$

Ở đây, $\frac{d \ln A_Z}{dz}$ là $\operatorname{tg} \alpha$ trong hệ toạ độ $(\ln A_Z, Z)$. Khi đó:

$$k = \frac{\pi}{\operatorname{tg}^2 \alpha \tau} \quad (2.121)$$

2. Các phương pháp tính Profin hệ số rói

Phương pháp tính hệ số rói đối với từng mục riêng biệt, cho phép xây dựng profin k là đáng quan tâm nhất trong việc giải thích về mặt vật lý của quá trình. Để tính k, thường ngoại suy từ hệ số k ở mực 1m chẳng hạn theo công thức sau:

$$k = k_1 \cdot Z^{1-\varepsilon} \quad (2.122)$$

Với: ε – Tham số đặc trưng cho độ ổn định của khí quyển trong lớp 0,2 – 2m; Z – độ cao tính bằng m.

Prandt (1942) đưa ra công thức tính k có dạng

$$k = \overline{lw} \quad (2.123)$$

Ở đây, l – Độ dài dịch chuyển của xoáy; w – Thành phần thẳng đứng của tốc độ gió.

Mặc dù công thức này xem như để tính k trong các lớp sát đất nhưng cũng đã áp dụng để tính k ở các độ cao lớn hơn theo các giá trị đã biết của l và w.

A.Blackadar (1962) đã đưa ra phương pháp tính hệ số rói k bởi công thức sau:

$$k_m = \varepsilon^{1/3} \cdot l^{4/3} \quad (2.124)$$

Ở đây, k_m – Hệ số rói động lượng; ε – Tốc độ tiêu tán năng lượng rói; l – Độ dài dịch chuyển của xoáy.

Tốc độ tiêu tán năng lượng rói được xác định theo công thức:

$$\varepsilon = k_m \left[\left(\frac{du}{dz} \right)^2 + \left(\frac{dv}{dz} \right)^2 \right] = k_m S \quad (2.125)$$

Ở đây, S – Độ biến thiên thẳng đứng của gió đặc trưng cho độ đứt của gió; u, v – Thành phần ngang của tốc độ gió. Khi đó:

$$k_m = l^2 \cdot S \quad (2.126)$$

Phân bố thẳng đứng của của hệ số rói xuất phát từ profin gió được xác định bởi công thức sau:

$$k = S \cdot Z_0 \left(1 + \frac{\chi Z}{\lambda} \right) \chi v^* \quad (2.127)$$

Ở đây:

$$v^* - \text{Tốc độ ma sát ở bề mặt và bằng } \left(\frac{\tau_0}{\rho} \right)^{1/2};$$

τ_0 – Ứng suất bề mặt;

χ – Hằng số Karman;

$$\lambda = 0,00027 \frac{G}{l};$$

l – Tham số Coriolis bằng $2\omega \sin \varphi$;

$$G = (u_g^2 + v_g^2)^{1/2} - \text{Gió địa chuyển.}$$

Ở công thức trên độ lớn của hệ số rối phụ thuộc vào tham số nhám Z_n .

Công thức E.X. Liapin (1948)

Liapin đã đưa ra công thức tính hệ số rối k như sau:

$$k = \frac{\overline{w^2} \tau_w \overline{u^2}}{2\overline{u^2}} \quad (2.128)$$

Ở đây, $\overline{w^2}$ và $\overline{u^2}$ – Giá trị trung bình của mạch động thẳng đứng và phương ngang của các thành phần tốc độ gió; τ_w – Thời gian trung bình tồn tại w có cùng một dấu; u – Tốc độ trung bình của dòng không khí.

2.5. ẢNH HƯỞNG CỦA TẦNG KẾT KHÍ QUYỀN TRONG LỚP SÁT ĐẤT ĐẾN CÁC ĐẶC TRUNG RỐI [15]

Như đã biết, sự phân tầng nhiệt của khí quyển có ảnh hưởng lớn đến giá trị các đặc trưng rối trong lớp biên nói chung, đặc biệt lớp sát biển nói riêng. Theo Laikhtman (1970), khi khảo sát các đặc trưng rối trong các trường hợp ổn định khác nhau của khí quyển đã đưa ra kết luận:

1. Trường hợp phân tầng cân bằng ($Z/L = 0$), hệ số rối là hàm tuyến tính của độ cao (Z), còn profin các yếu tố khí tượng là các hàm lôgarit của độ cao.
2. Trong trường hợp phân tầng gần cân bằng (Z/L bé) thì profin của hệ số rối k là hàm lôgarit bậc 2 tuyến tính theo độ cao Z và profin của các đại lượng gió (u), nhiệt độ (θ) và độ ẩm (q) là hàm lôgarit và tuyến tính theo độ cao.

3. Trong trường hợp tầng kết là ổn định thì hệ số rối k là hàm bậc 2 lôgarit của độ cao và profin các yếu tố khí tượng khác nhau phụ thuộc vào trạng thái phân tầng của khí quyển là ổn định hay bất ổn định. Còn profin các yếu tố khí tượng được xác định theo công thức:

$$u_i = \frac{v_*}{\chi} \left[f_u \left(\frac{Z_i}{L} \right) - f_u \left(\frac{Z_{i-1}}{L} \right) \right] \quad i = 1, 2, \dots, N_u \quad (2.129)$$

$$\theta_j = \theta_{j-1} + T_* \left[f_\theta \left(\frac{Z_j}{L} \right) - f_\theta \left(\frac{Z_{j-1}}{L} \right) \right] \quad j = 1, 2, \dots, N_\theta \quad (2.130)$$

$$q_k = q_{k-1} + q_* \left[f_a \left(\frac{Z_k}{L} \right) - f_a \left(\frac{Z_{k-1}}{L} \right) \right] \quad k = 1, 2, \dots, N_q \quad (2.131)$$

Cũng theo Zilichinkevich [30], thông lượng rối phụ thuộc nhiều vào sự phân tầng khí quyển. Chẳng hạn hệ số rối nhiệt α_T có các giá trị:

- Gần bằng đơn vị trong trường hợp cân bằng phiếm định.
- Có giá trị từ 3 – 3,5 trong trường hợp bất ổn định tăng.
- Nhỏ hơn đơn vị trong trường hợp phân tầng ổn định.

Trong lý thuyết và các bài toán lớp biên, đặc biệt là bài toán về ô nhiễm bụi và chất khí của khí quyển, sự phân tầng của khí quyển có vai trò quan trọng và ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả tính toán các đặc trưng lớp biên. Ảnh hưởng của sự phân tầng khí quyển đến phân bố thẳng đứng của tốc độ gió, nhiệt độ và độ ẩm đã được nhiều tác giả đề cập đến. Khi phân tầng ổn định, gradien các yếu tố khí tượng lớn hơn so với khi phân tầng cân bằng, ngược lại, trong trường hợp phân tầng bất ổn định, gradien của các yếu tố này nhỏ hơn khi phân tầng cân bằng. Tính đến ảnh hưởng này, các tác giả đã đưa ra nhiều mô hình lớp sát đất khác nhau như mô hình luỹ thừa, mô hình của Buđucô, của Laikhman... Tuy nhiên, mô hình do Mônhin và Ôbukhôv đề xuất là có cơ sở vật lý hơn cả. Ở Việt Nam, việc tính toán phân bố thẳng đứng của tốc độ gió cho tháp khí tượng Láng với các phân bố loga, hàm mũ đã được các tác giả [14] đề cập đến hoặc phân bố thẳng đứng của cả tốc độ gió, nhiệt độ và độ ẩm có tính đến ảnh hưởng của sự phân tầng trên cơ sở số liệu quan trắc gradien các yếu tố khí tượng đã được thực hiện cho trạm Hoài Đức, trong đó, để xây dựng được công thức tính phù hợp với trạm cần hiệu

chỉnh hàm vạn năng không thứ nguyên trên cơ sở các số liệu thực do. Phương pháp xác định profin các yếu tố khí tượng cho tháp đo khí tượng Láng tương tự như phương pháp đã sử dụng đối với trạm Hoài Đức. Tuy nhiên, số mực đo ở trạm khí tượng Láng là 5 mực (20, 30, 40, 50, 60m) so với Hoài Đức là 2 mực nên việc tính toán phức tạp hơn.

Công thức nội suy các yếu tố khí tượng được sử dụng có dạng:

$$U_i = \frac{U_*}{\chi} \left[f_u \left(\frac{Z_i}{L} \right) - f_u \left(\frac{Z_0}{L} \right) \right], \quad (i = 1, 2, \dots, N_u) \quad (2.132)$$

$$\theta_j = \theta_0 + T_* \left[f_0 \left(\frac{Z_j}{L} \right) - f_0 \left(\frac{Z_0}{L} \right) \right] \quad (j = 1, 2, \dots, N_\theta) \quad (2.133)$$

$$q_k = q + q_* \left[f_q \left(\frac{Z_k}{L} \right) - f_q \left(\frac{Z_0}{L} \right) \right] \quad (k = 1, 2, \dots, N_q) \quad (2.134)$$

$$L = - \frac{(\tau / \rho)^{1/2}}{\chi \beta H / C_p \rho} = \frac{U_*^2}{\chi^2 \beta T_*} \quad (2.135)$$

$$U_* = \sqrt{\tau / \zeta} \quad (2.136)$$

$$T_* = - \frac{H}{\chi C_p \rho U_*} \quad (2.137)$$

$$q_* = -E / \chi \rho U_* \quad (2.138)$$

Trong đó:

U_* , θ_j , q_k – Các giá trị đo được của tốc độ gió, nhiệt độ thế vị và độ ẩm riêng ở các độ cao Z_i , Z_j , Z_k .

N_u , N_θ , N_q – Số lượng các mực đo, trong trường hợp khảo sát số lượng các mực đo gió, nhiệt độ, độ ẩm là bằng nhau và bằng 5.

U_* – Quy mô tốc độ (tốc độ động lực)

T_* – Quy mô nhiệt độ

q_* – Quy mô độ ẩm

L – Quy mô độ dài (Mônhin Ôbukhov)

τ – Thông lượng động lượng (ứng suất ma sát rối)

H – Thông lượng nhiệt rối

E – Thông lượng ẩm (ẩn nhiệt hoá hơi)

ρ – Mật độ không khí

C_p – Nhiệt dung đẳng áp

χ – Hằng số Karman

Nếu ta đặt $\zeta = \frac{Z}{L}$ thì các hàm $f_u(Z/L)$; $f_\theta(Zj/L)$; $f_a(Z_k/L)$ có thể viết là

$f_u(\zeta)$; $f_\theta(\zeta)$; $f_a(\zeta)$. Các hàm $f_u(\zeta)$; $f_\theta(\zeta)$; $f_a(\zeta)$ coi là trùng nhau nên ta tìm được dạng hàm vạn năng không thứ nguyên cho tháp khí tượng Láng dưới dạng:

$$f_u(\zeta) = f_\theta(\zeta) = f_a(\zeta) = \begin{cases} \ln \zeta + \beta_u \zeta, & \text{khi } 0 < \zeta \\ \ln |\zeta| + \beta'_u \zeta, & \text{khi } -0,16 \leq \zeta \leq 0 \\ a_u + C_u \zeta^{-1/3}, & \text{khi } \zeta < -0,16 \end{cases} \quad (2.139)$$

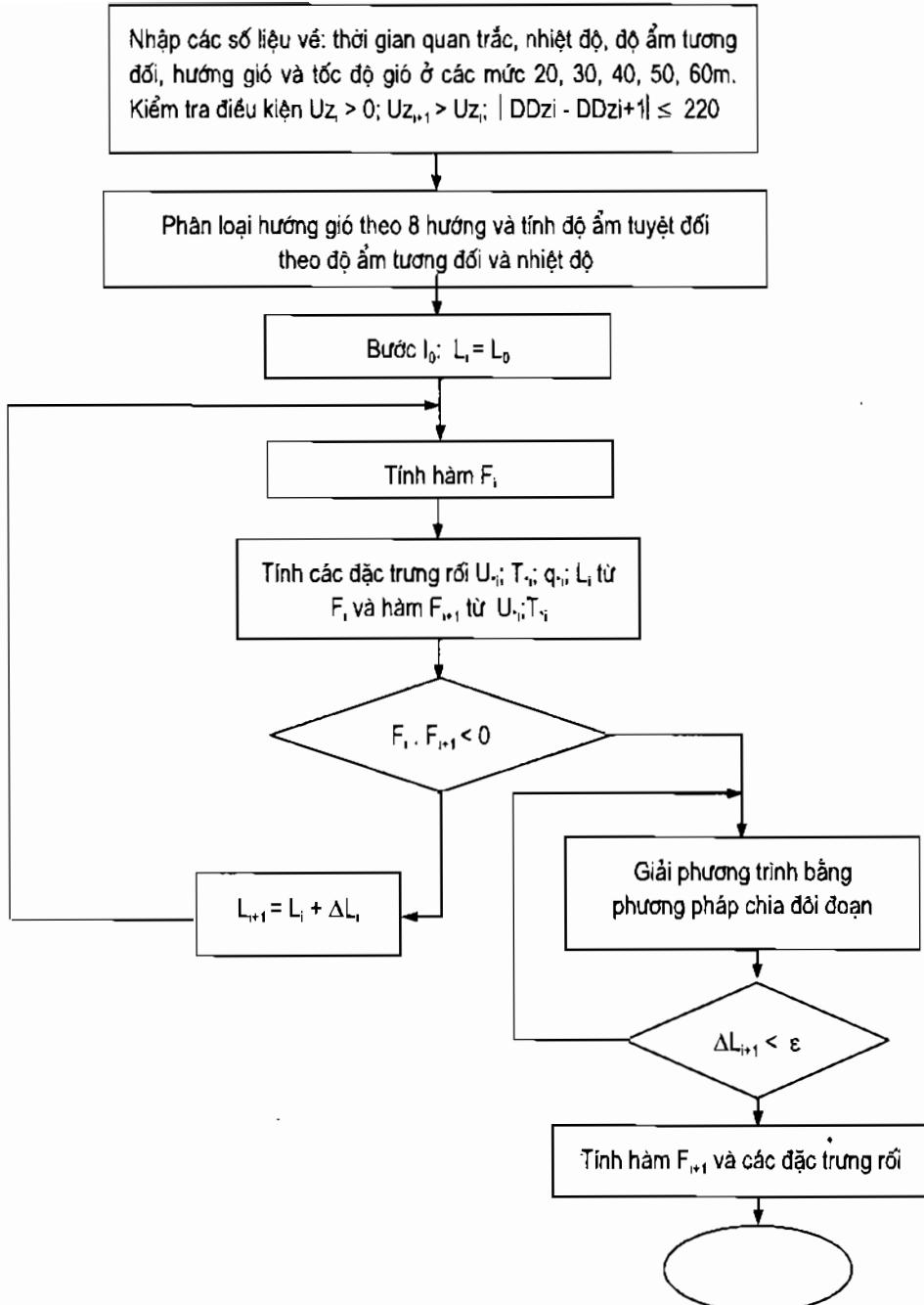
Nếu: $\varepsilon < 0$ – Phân tầng không ổn định;

$\varepsilon > 0$ – Phân tầng ổn định;

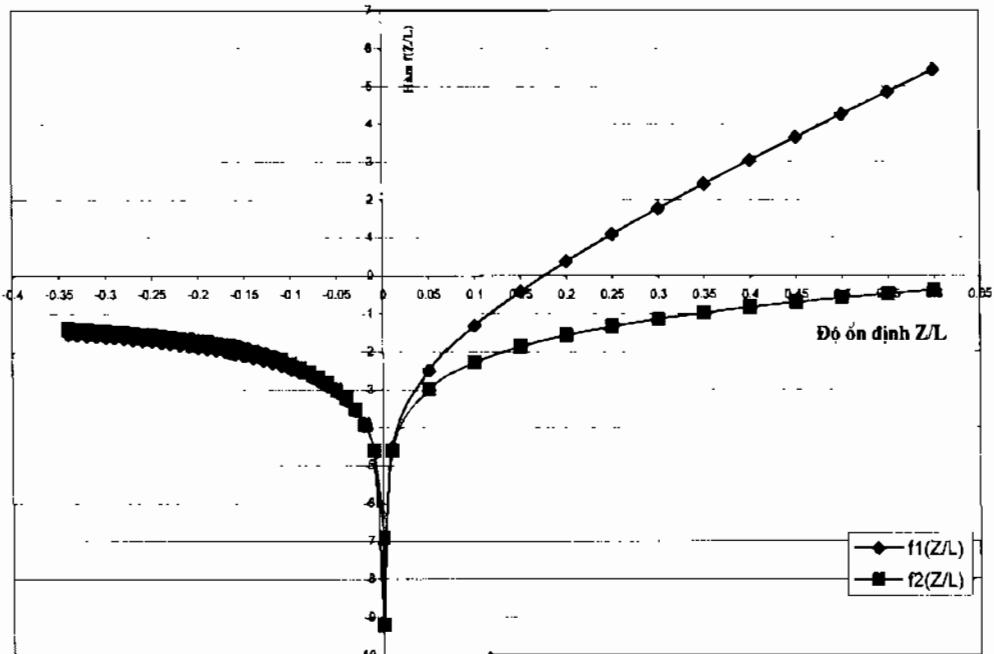
$\varepsilon = 0$ – Phân tầng phiếm định.

Để xác định các hệ số a_u , β_u , β'_u , C_u ta chọn các giá trị của các hệ số này sao cho sai số bình phương trung bình của tốc độ gió nhiệt độ, độ ẩm ở các mức 40m và 60m (nội suy từ các mức 30m và 60m) là nhỏ nhất. Số liệu tính toán là các số liệu của tháng 7, 8, 9 năm 2001 và tháng 1 năm 2002 gồm 104 ống phân tầng bất ổn định và 42 ống phân tầng ổn định. Phương pháp xử lý số liệu được thực hiện tương tự như việc xử lý số liệu đã tiến hành khi xác định hàm $f(\zeta)$ cho trạm Hoài Đức. Các công thức tính toán các đặc trưng L, U.; T_r ; q_r ; Z_0 , 0_0 ; q_0 và sơ đồ khởi của chương trình tính được trình bày trong hình 2.1. Kết quả hiệu chỉnh ta tìm được hàm vạn năng cho tháp Khí tượng lõp biên Viện Khí tượng Thuỷ văn trình bày trong công thức (2.140), đồ thị có dạng như hình 2.2.

$$f_a\left(\frac{Z}{L}\right) = f_\theta\left(\frac{Z}{L}\right) = f_u\left(\frac{Z}{L}\right) = \begin{cases} \ln \zeta + 0,2\zeta, & \text{khi } 0 < \zeta \\ \ln |\zeta| + 1,45\zeta, & \text{khi } -0,16 \leq \zeta \leq 0 \\ 0,24 + 1,25\zeta^{-1/3}, & \text{khi } \zeta < -0,16 \end{cases} \quad (2.140)$$



**Hình 2.1. Sơ đồ khái chương trình tính toán các đặc trưng rối lớp biên
tại trạm Khí tượng Láng – Viện Khí tượng Thủy văn**



Hình 2.2. Hàm vạn năng không thứ nguyên $f_1(Z/L)$ ứng với trạm Ximlianxkoe (Liên Xô), tháp khí tượng Láng $f_2(Z/L)$, còn đường răng cưa ở bên trái ứng với trạm Hoài Đức.

Hàm vạn năng không thứ nguyên cho trạm Hoài Đức có dạng:

$$f_a\left(\frac{Z}{L}\right) = f_\theta\left(\frac{Z}{L}\right) = f_u\left(\frac{Z}{L}\right) = \begin{cases} \ln \zeta + 0,2\zeta & \text{khi } 0 < \zeta \\ \ln |\zeta| + \zeta & \text{khi } -0,16 \leq \zeta \leq 0 \\ 0,25 + 1,15\zeta^{-1/3} & \text{khi } \zeta < -0,16 \end{cases} \quad (2.141)$$

Để đối sánh, ở đây dẫn ra hàm vạn năng không thứ nguyên của trạm Ximlianxkoe:

$$f_a\left(\frac{Z}{L}\right) = f_\theta\left(\frac{Z}{L}\right) = f_u\left(\frac{Z}{L}\right) = \begin{cases} \ln \zeta + 9,9\zeta & \text{khi } 0 < \zeta \\ \ln |\zeta| + 1,45\zeta & \text{khi } -0,16 \leq \zeta \leq 0 \\ 0,25 + 1,25\zeta^{-1/3} & \text{khi } \zeta < -0,16 \end{cases} \quad (2.142)$$

Sai số bình phương trung bình khi nội suy tốc độ gió, nhiệt độ, độ ẩm riêng cho các mức 40m (từ 30m) và 60m (từ 50m) theo các phương án tính từ công thức loga, công thức (2.140), công thức (2.141), công thức (2.142) được trình bày trong bảng 2.1.

Bảng 2.1. Sai số trung bình trong việc tính toán các đặc trưng rối ứng với các tầng kết nhiệt trong lớp sát đất ở trạm khí tượng Láng và Hoài Đức

Phương án tính hàm $f(\zeta)$	Sai số bình phương trung bình						
	σ_{u40m} (nội suy từ 30m)	σ_{u60m} (nội suy từ 50m)	$\sigma_{\theta40m}$ (nội suy từ 30m)	$\sigma_{\theta60m}$ (nội suy từ 50m)	σ_{q40m} (nội suy từ 30m)	σ_{q60m} (nội suy từ 50m)	σ_{TB}
Tầng kết nhiệt ổn định							
Công thức loga	0,23	0,37	0,12	0,18	0,42	0,63	0,33
Công thức (139)	0,21	0,34	0,16	0,43	0,43	0,63	0,32
Công thức (140)	0,21	0,34	0,16	0,43	0,43	0,63	0,32
Công thức (141)	0,69	0,72	3,00	3,12	1,53	1,33	1,74
Tầng kết nhiệt cân bằng phiếm định và bất ổn định							
Công thức loga	0,34	0,47	0,038	0,233	0,37	0,72	0,362
Công thức (139)	0,31	0,42	0,21	0,09	1,12	0,36	0,420
Công thức (140)	0,40	0,42	0,23	0,094	1,14	0,39	0,45
Công thức (141)	0,37	0,427	0,21	0,094	1,12	0,37	0,423

Từ những tính toán trên chúng ta có thể nêu ra một số nhận xét sau:

Việc xét đến ảnh hưởng của sự phân tầng đã làm tăng độ chính xác trong các tính toán phân bố thẳng đứng của tốc độ gió, nhiệt độ cho tháp Khí tượng Láng. Đối với phân bố thẳng đứng của độ ẩm nên sử dụng công thức loga sẽ cho kết quả tốt hơn.

Hàm vạn năng không thứ nguyên để tính toán phân bố thẳng đứng tốc độ gió, nhiệt độ, độ ẩm trong lớp sát đất tại trạm Hoài Đức và tại tháp Khí

tương Láng không khác nhau nhiều khi phân tầng cân bằng và bất ổn định và hoàn toàn giống nhau khi phân tầng ổn định.

Sai số bình phương trung bình trong nội suy độ ẩm theo công thức (2.131) lớn hơn so với công thức loga, có thể là do tính chất mặt đệm tại hai trạm khác nhau, tại trạm Hoài Đức là mặt cỏ tự nhiên, xung quanh là các ruộng lúa, còn tại tháp Khí tượng Láng là mặt bê tông, xung quanh có nhiều khói nhà cao tầng.

2.6. LÝ THUYẾT RỐI KHÍ QUYỀN QUY MÔ NHỎ (LÝ THUYẾT RỐI THỐNG KÊ)

Lý thuyết rối đẳng hướng địa phương của A. N. Kolmogorov và A. M Obukhov (1940) nêu ra được ứng dụng rộng rãi ở nhiều nước. Trong các công trình của hai nhà khoa học này coi các xoáy quy mô nhỏ so với quy mô của dòng cơ bản L.

Hàm cấu trúc của trường tốc độ trong lý thuyết rối đẳng hướng – địa phương có dạng sau:

$$D_{ij}(M_1, M_2) = \overline{|u_i(M_2) - u_i(M_1)| |u_j(M_2) - u_j(M_1)|} \quad (2.143)$$

Gạch ngang trên biểu thức ứng với ký hiệu lấy trung bình thống kê theo thời gian hoặc không gian.

Đối với *rối đẳng hướng – địa phương*, tức là khi $\vec{r} \ll L$, ở đây \vec{r} là véctơ nối liền các điểm M_1 và M_2 . Trong trường hợp này, từ (2.143) có thể xét hàm cấu trúc dọc và ngang xác định bởi các công thức sau:

$$D_{tt}(r) = \overline{|u_t(M_2) - u_t(M_1)|^2} \quad (2.144)$$

$$D_{nn}(r) = \overline{|u_n(M_2) - u_n(M_1)|^2} \quad (2.145)$$

Ở đây, M_1, M_2 là các điểm quan sát; u_t là hình chiếu của tốc độ trên trục M_1M_2 ; u_n là hình chiếu của tốc độ trên trục vuông góc với M_1M_2 .

Nhờ giả thiết nêu ra bởi Kolmogorov về dòng đẳng hướng – địa phương với khoảng cách M_1M_2 dù nhỏ có thể tính các hàm D_{tt} và D_{nn} theo khoảng cách r , hệ số tiêu tán năng lượng ε , hệ số nhớt động học ν . Kolmogorov đưa ra khái niệm về “quy mô trong” của rối η , được xác định bởi ν và ε :

$$\eta = k_1 \sqrt[4]{\frac{v^3}{\epsilon}} \quad (2.146)$$

Ngoài ra có thể dẫn ra quy mô đặc trưng của tốc độ:

$$u = k_2 \sqrt[4]{\epsilon v} \quad (2.147)$$

Ở đây, k_1, k_2 là thừa số nhân có bậc là đơn vị.

Theo lý thuyết tương tự suy ra rằng, trong miền rối đẳng hướng – địa phương, khi $r \ll L$ thì các hàm $D_{uu}(r)$ và $D_{nn}(r)$ có thể trình bày ở dạng sau:

$$D_{uu}(r) = \sqrt{\nu \epsilon} d_{uu} \left(\frac{r}{\eta} \right) \quad (2.148)$$

$$D_{nn}(r) = \sqrt{\nu \epsilon} d_{nn} \left(\frac{r}{\eta} \right) \quad (2.149)$$

Ở đây, d_{nn} và d_{uu} là các hàm vạn năng không thứ nguyên của tham số $\frac{r}{\eta}$.

Nếu $r \ll L$, ngoài ra $r \gg \eta$, tức là độ nhớt (dính) của môi trường bằng không thì hàm vạn năng nhận đẳng thức:

$$d_{uu}(x) \approx x^{2/3} \text{ khi } x \gg 1 \quad (2.150)$$

$$d_{nn}(x) \approx x^{2/3} \quad (2.151)$$

Từ đó suy ra rằng, khi $r \gg \eta$ thì các hàm cấu trúc

$$D_{uu}(r) = C \epsilon^{2/3} r^{2/3} \quad (2.152)$$

$$D_{nn}(r) = C' \epsilon^{2/3} r^{2/3} \quad (2.153)$$

Đây được gọi là quy luật hai phân ba. Trong trường hợp $r \ll \eta$ biểu thức $\overline{u(M_2)} - \overline{u(M_1)}$ sẽ là số nhỏ bậc nhất theo r và khi đó

$$D_{uu}(r) = A r^2 \quad (2.154)$$

$$D_{nn}(r) = A r^2 \quad (2.155)$$

Trong các công thức (2.152) – (2.155) thì C, C' và A là các hệ số tỷ lệ.

Nếu ký hiệu $D_{uu}(r)$ là moment cấp ba hiệu tốc độ ở hai điểm M_1 và M_2 :

$$D_{uu}(r) = \overline{[u_r(M_2) - u_r(M_1)]^3} \quad (2.156)$$

Khi đó, phân bố hiệu tốc độ là Gauss, thì $D_{uu} = 0$, nhưng trong trường hợp nó khác 0, Kolmogorov nêu ra tính không đối xứng của phân bố thống kê thành phân bố của hiệu tốc độ ở dạng đại lượng không thứ nguyên sau:

$$S = \frac{D_{uu}}{D_u^{3/2}} \quad (2.157)$$

Đại lượng này có thể gọi là hệ số bất đẳng hướng hay bất đối xứng của trường rối.

Từ lý thuyết thứ nguyên suy ra rằng khi $r >> \eta$, đại lượng S có giá trị không đổi, vì vậy nó chỉ phụ thuộc vào r và ϵ , nhưng từ các đại lượng này không thể thành lập được tổ hợp không thứ nguyên nào.

Kolmogorov đã nêu ra lý thuyết cấu trúc địa phương của trường áp suất trong dòng rối và nghiên cứu trường gia tốc phân tử của chất lỏng trong dòng rối. Trường gia tốc khác với trường áp suất và tốc độ mà trong các trường này do giá trị tại điểm cố định chính các xoáy quy mô lớn đóng vai trò cực kỳ quan trọng.

Trên cơ sở lý thuyết thứ nguyên, Kolmogorov chỉ ra rằng đối với các xoáy quy mô l, ở đây $l >> \eta$, có chu kỳ đặc trưng T_i . Vì T_i chỉ phụ thuộc vào tổ hợp l và ϵ nên đại lượng này có thứ nguyên thời gian:

$$T_i = \left(\frac{l^2}{\epsilon} \right)^{1/3} \quad (2.158)$$

Tốc độ đặc trưng đối với xoáy này sẽ là

$$u_i = \frac{l}{T_i} = (\epsilon l)^{1/3} \quad (2.159)$$

$$\text{và gia tốc đặc trưng } \omega_i = \frac{1}{T_i^2} = \left(\frac{\epsilon^2}{l} \right)^{1/3} \quad (2.160)$$

Từ đó suy ra rằng, khi giảm quy mô độ dài, tốc độ đặc trưng sẽ giảm, còn gia tốc đặc trưng tăng. Như thế, do giá trị gia tốc tại một điểm của dòng các xoáy nhỏ nhặt quy mô $l \leq \eta$ là cực kỳ quan trọng.

Đối với trường cấu trúc địa phương của dòng, không chỉ đặc trưng bằng hàm cấu trúc mà còn đặc trưng bởi hàm tương quan xác định bằng công thức sau:

$$R(M_1 M_2) = \overline{u(M_1) \cdot u(M_2)} \quad (2.161)$$

Trong đó, u' là mạch động của tốc độ tại hai điểm M_1 và M_2 .

Trong trường hợp trường rối là đồng nhất thì

$$R(M_1 M_2) = R\left(\vec{r}\right) \quad (2.162)$$

Nếu nhờ hàm tương quan, người ta nghiên cứu mối liên hệ của cùng một đại lượng thì hàm tương quan như thế gọi là *tự tương quan*. Nếu tương quan giữa một đại lượng này với các đại lượng khác, chẳng hạn như u' và w' thì hàm như thế gọi là *tương quan liên hệ* (hay *hàm tương quan hỗn hợp*). Đôi khi người ta còn dùng hàm tương quan chuẩn hoá, xác định bởi công thức sau:

$$R(M_1 M_2) = \frac{\overline{u(M_1) \cdot u(M_2)}}{\sqrt{\overline{u^2(M_1)} \overline{u^2(M_2)}}} \quad (2.163)$$

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG II

1. Trình bày hệ phương trình tổng quát chuyển động của khí quyển.
2. Khái niệm và sự hình thành của chuyển động rối.
3. Nêu phương trình cân bằng động năng của mạch động rối và giải thích ý nghĩa các thành phần của phương trình.
4. Nêu ý nghĩa của phương pháp trung bình hóa.
5. Trình bày hệ phương trình khép kín mô tả lớp biên hành tinh của khí quyển.
6. Trình bày trạng thái tầng kết của lớp biên khí quyển (cân bằng phiếm định, đổi lưu tự do, ổn định có nghịch nhiệt).
7. Định nghĩa và các tính chất cơ bản của lớp không khí sát đất.
8. Các đặc trưng rối trong lớp không khí sát đất.
9. Các phương pháp thiết lập profin rối.
10. Các phương pháp tính hệ số rối trung bình theo lớp.
11. Nêu ảnh hưởng của tầng kết khí quyển trong lớp sát đất đến các đặc trưng rối.
12. Ý nghĩa vật lý của hàm cấu trúc và hàm tương quan trong lý thuyết rối thống kê quy mô nhỏ.

Chương III

MÔ HÌNH LỚP BIÊN HÀNH TINH VỚI VIỆC SỬ DỤNG THÔNG TIN SYNOPSIS – CAO KHÔNG TIÊU CHUẨN

Bài toán về lớp biên hành tinh với việc sử dụng thông tin synopsis – cao không tiêu chuẩn được quan tâm và ứng dụng rộng rãi. Trong trường hợp này cần phải tính toán nhập nhiệt rồi.

Ảnh hưởng của tầng kết nhiệt được thể hiện trong phương trình cân bằng năng lượng rồi thẳng đứng. Vì vậy, khi giải bài toán về cấu trúc lớp biên khí quyển, chúng ta cần phải xác định profin thẳng đứng của nhập nhiệt rồi. Mô hình sử dụng giả thiết nhập nhiệt rồi không thay đổi theo độ cao là đơn giản nhất. Song nhập nhiệt rồi không thay đổi theo độ cao chỉ tồn tại ở lớp sát đất, còn ở trên cao đại lượng này có xu hướng giảm và có thể thay đổi dấu. Thường thấy nhất ở phần trên cao của lớp biên gradien nhiệt độ không thay đổi tương ứng với trạng thái ổn định của khí quyển.

Cơ chế vật lý và phân tích số liệu quan sát về sự hình thành profin thẳng đứng của nhiệt độ chỉ ra rằng, $\frac{\partial \theta}{\partial z}$ có thể mô tả như sau [24]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = -\frac{p_0}{c_p \rho \chi v \cdot z} + (\gamma_a - \gamma) \left(\frac{z}{H} \right)^m \quad (3.1)$$

H – Độ cao của lớp biên; p_0 – Nhiệt nhập rồi thẳng đứng ở lớp sát đất; v – Tốc độ động lực; γ và γ_a – Gradien thực tế và đoạn nhiệt khô của nhiệt độ.

Ở biểu thức trên, số hạng đầu về phải đặc trưng cho tầng kết ở phần dưới của lớp biên, ở đây nhập nhiệt rồi là không thay đổi, còn hệ số rồi là hàm tuyến tính theo độ cao. Số hạng thứ hai đặc trưng cho tầng kết ở phần trên của lớp biên.

Mô hình lớp biên không tinh đến sự biến đổi của gradien áp suất theo độ cao, được gọi là mô hình chính áp. Trong nhiều trường hợp, đặc biệt ở

vùng vĩ độ thấp việc tính đến hiệu ứng tà áp là rất quan trọng vì vậy xuất hiện hàng loạt nghiên cứu về động lực của lớp biên tà áp.

Có hai hướng nghiên cứu khi tính đến hiệu ứng tà áp:

– Giải hệ phương trình khép kín có xét đến tính không đồng nhất về nhiệt độ theo phương ngang.

– Biến đổi quy luật kháng trở đối với lớp biên tà áp.

Theo hướng thứ nhất nhận được các đặc trưng cơ bản của lớp biên với các đặc trưng bình lưu khác nhau.

Theo hướng thứ hai nhận được sự phụ thuộc của các hằng số tổng hợp theo quy luật kháng trở vào các tham số tà áp.

3.1. CÁC THAM SỐ CƠ BẢN CỦA LỚP BIÊN VÀ VIỆC XÁC ĐỊNH CHỨNG THEO CÁC THÔNG TIN SYNOPSIS

Cường độ rối không chỉ ảnh hưởng đến đặc trưng biến đổi của các profin thẳng đứng của các yếu tố khí tượng mà còn phụ thuộc vào chính các gradien của các yếu tố này. Sự tồn tại mối liên quan mật thiết giữa trường yếu tố khí tượng và rối cho phép xác định chúng từ việc giải hệ thống đồng thời phương trình vi phân và các điều kiện biên.

Khi tính toán ảnh hưởng của lớp biên đến các quá trình khí quyển, một trong các phương pháp được áp dụng rộng rãi trong thực hành là *phương pháp tham số hoá*.

Để mô tả các đặc trưng lớp biên khí quyển thì phương pháp hấp dẫn nhất là *phân tích thứ nguyên*. Như đã biết một đặc trưng vật lý bất kỳ của lớp biên cũng phụ thuộc vào tổ hợp của các đại lượng thứ nguyên nhận được theo thông tin synopsis:

$$- Gradien ngang của áp suất \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}.$$

Giá trị và hướng của nó xác định bởi quá trình khí quyển quy mô lớn. Trong lý thuyết lớp biên khí quyển thì gradien ngang của áp suất được xem như một tham số ngoài.

$$- Tham số Coriolis, f = 2\omega \sin\varphi.$$

Quy mô đặc trưng ngang của các đại lượng đủ lớn thì rõ ràng rằng ảnh hưởng sự quay của Trái Đất xuất hiện trong mọi trường hợp ở phần trên

của lớp biên, ở đây các điều kiện gần đúng đối với khí quyển tự do được xem gia tốc Coriolis có cùng bậc đại lượng với gradien ngang của áp suất.

– *Tham số nhám* z_0 .

Tham số nhám xác định đặc trưng quy mô xoáy gần mặt hoạt động và cường độ sinh năng lượng xoáy trong miền này. Tham số nhám biểu thị sự trao đổi giữa mặt hoạt động và khí quyển.

Tham số nhám có thứ nguyên là chiều dài và chỉ phụ thuộc vào số Reynold, xác định bởi công thức sau:

$$z_0 = h_0 \bar{J}(\text{Reo}) \quad (3.2)$$

Trong đó:

h_0 – Độ cao lồi lõm của mặt đệm;

$$\text{Reo} = \frac{v_* h_0}{v};$$

v_* – Hệ số nhớt động học;

v_* – tốc độ ma sát; $\bar{J}(\text{Reo})$ – Hàm vạn năng không thứ nguyên.

Với $\text{Reo} \ll 1$, mặt đệm coi như phẳng động lực.

– *Tầng kết nhiệt* đặc trưng cho sự biến đổi của nhiệt độ theo độ cao trong khí quyển; trong đó các đại lượng ảnh hưởng của tầng kết là $p_0/C_p\rho$, γ – γ ứng với phần dưới và phần trên của lớp biên.

– *Tham số của lực nâng* $\beta = \frac{g}{T}$

Tham số này xuất hiện do tính đến ảnh hưởng của lực nâng đến quá trình động lực của dòng rối.

3.2. MÔ HÌNH CHÍNH ÁP (BAROTROPIC) CỦA LỚP BIÊN KHÍ QUYỂN

Khái niệm khí quyển chính áp: Khí quyển được xem là chính áp khi phân bố không gian của mật độ ρ chỉ có quan hệ với áp suất ($\rho = \rho(P)$), trong trường hợp này phân bố của nhiệt độ theo phương ngang là đồng nhất.

Trên cơ sở các mô tả và diễn giải vật lý và toán học, lớp biên hành tinh của khí quyển được mô tả bởi hệ phương trình sau [13, 25]:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dz} k \frac{du}{dz} + fv - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= 0 \\ \frac{d}{dz} k \frac{dv}{dz} - fu - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= 0 \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$k \left[\left(\frac{du}{dz} \right)^2 + \left(\frac{dv}{dy} \right)^2 \right] - \frac{g}{0} k \frac{d\theta}{dz} - c \frac{b^2}{k} + \alpha_b \frac{d}{dz} k \frac{db}{dz} = 0 \quad (3.4)$$

$$P(z) = c_p \rho k \left[\frac{p_0}{c_p \rho \chi v_* z} - (\gamma_a - \gamma) \frac{z}{H} \right] \quad (3.5)$$

$$k(z) = l \sqrt{b} \quad (3.6)$$

$$l = -\tilde{\chi} \frac{\psi}{d\psi/dz}; \psi = \frac{\sqrt{b}}{l} \quad (3.7)$$

Chúng ta dẫn vào những ký hiệu sau:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = G \sin \alpha_0$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = G \cos \alpha_0$$

Ở đây: $c = \text{const}$; g – Gia tốc trọng trường; G – Môđun gradien ngang địa thế vị θ ; α_0 – Góc giữa đường đẳng cao và trục Ox.

Những điều kiện biên đối với những thành phần phân tốc độ gió được viết dưới dạng sau:

$$z \rightarrow z_0; u \rightarrow 0; v \rightarrow 0$$

$$z \rightarrow \infty; u \rightarrow \frac{G \cos \alpha_0}{f}; v \rightarrow \frac{G \sin \alpha_0}{f} \quad (3.8)$$

Với những giá trị “z” nhỏ thì ứng suất ròi tiếp tuyến theo hướng gió sát mặt đất và không thay đổi theo độ cao, khi đó:

$$v_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}; v_*^2 = \lim_{z \rightarrow z_0} K \frac{du}{dz} \quad (3.9)$$

Để nhận điều kiện dưới lớp biên, mà động năng rối cần phải thỏa mãn chúng, chúng ta sử dụng điều kiện là giá trị tuyệt đối của dòng khuếch tán năng lượng $k \frac{db}{dz}$ tiến đến 0 với sự giảm của z và ảnh hưởng tầng kết là yếu.

Từ phương trình cân bằng xuất phát suy ra hệ thức sau:

$$z \rightarrow z_0 \text{ thì } b \rightarrow c^{-1/2} v_*^2 \quad (3.10)$$

Vì càng xa lên cao khỏi mặt đất rối càng giảm, nên

$$z \rightarrow \infty, b \rightarrow 0 \quad (3.11)$$

Hệ phương trình ((3.3) – (3.7)) với điều kiện biên (3.8), (3.10), (3.11) là *hệ phương trình mô tả lớp biên chính áp của khí quyển*.

Như đã biết hệ phương trình khép kín của lớp biên là phi tuyến và chỉ có thể giải bằng phương pháp số trị. Để giải hệ này bằng phương pháp số trị, người ta chuyển hóa các tham số dưới dạng vô thứ nguyên:

$$\begin{aligned} u &= \frac{v_*}{\chi} u_n; \quad v = \frac{v_*}{\chi} v_n; \quad z = z_n L; \\ L &= \frac{\chi v_*}{2\omega_z}; \quad k = \chi v_* L k_n; \quad b = c^{1/2} v_*^2 b_n; \quad l = \chi L b_n \end{aligned} \quad (3.12)$$

Dẫn ra những biến mới:

$$\eta = k \frac{du}{dz}; \sigma = k \frac{dv}{dz} \quad (3.13)$$

Khi đó, mô hình chính áp của lớp biên khí quyển được viết lại dưới dạng:

$$\begin{aligned} \frac{d^2\eta}{dz^2} + 2\omega_z \frac{\sigma}{k} &= 0 \\ \frac{d^2\sigma}{dz^2} + 2\omega_z \frac{\eta}{k} &= 0 \end{aligned} \quad (3.14)$$

$$\frac{\eta^2 + \sigma^2}{k} + \frac{g}{T} \frac{p}{\rho C_p} - c \frac{b^2}{k} + \alpha_b \frac{d}{dz} k \frac{db}{dz} = 0 \quad (3.15)$$

$$l = -\tilde{\chi} \frac{\psi}{d\psi/dz}; (\tilde{\chi} = 2\chi c^{+1/4}); \quad \psi = \frac{\eta^2 + \sigma^2}{k^2} + \frac{g}{T} \frac{p}{c_p \rho k} \quad (3.16)$$

$$k = l \sqrt{b}$$

$$p = c_p \rho k \left[\frac{p_0}{c_p \rho \chi v \cdot z} - (\gamma_a - \gamma) \frac{z}{H} \right] \quad (3.17)$$

Chuyển đến dạng không thứ nguyên, chúng ta có hệ phương trình sau:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \eta_n}{dz_n^2} + \frac{\sigma_n}{k_n} &= 0 \\ \frac{d^2 \sigma_n}{dz_n^2} - \frac{\eta_n}{k_n} &= 0 \end{aligned} \quad (3.18)$$

$$\frac{\eta_n^2 + \sigma_n^2}{k_n} - \mu p_n - \frac{b_n^2}{k_n} + \beta \frac{d}{dz_n} k_n \frac{db_n}{dz_n} = 0 \quad (3.19)$$

$$k_n = l_n \sqrt{b_n} \quad (3.20)$$

$$l_n = - \left(\frac{d}{dz_n} L_n \frac{b_n}{k_n} \right)^{-1} \quad (3.21)$$

Điều kiện biên:

Khi $z_n \rightarrow 0$, $\eta_n \rightarrow 1$; $\sigma_n \rightarrow 0$, $b_n \rightarrow 1$

Khi $z_n \rightarrow \infty$, $\eta_n \rightarrow 0$; $\sigma_n \rightarrow 0$, $b_n \rightarrow 0$ (3.22)

3.3. MÔ HÌNH TÀ ÁP (BAROCLINIC) LỚP BIÊN KHÍ QUYẾN

Khái niệm về khí quyển tà áp:

Thực tế, trong khí quyển tính không đồng nhất theo phương ngang của nhiệt độ luôn tồn tại. Phân bố không gian của mật độ khí quyển không chỉ có quan hệ với áp suất mà còn với nhiệt độ, hay nói cách khác *mật độ khí quyển là hàm của áp suất và nhiệt độ* $\rho = \rho(P, T)$, trong trường hợp này khí quyển được gọi là *tà áp*. Đối với khí quyển tà áp, gió địa chuyển biến đổi theo chiều cao, do vậy về phải trong phương trình chuyển động xuất hiện thành phần của tốc độ gió phụ thuộc vào gradien nhiệt độ ngang gọi là *gió nhiệt*.

Mô hình chính áp được xây dựng trên cơ sở coi khí quyển đồng nhất theo phương ngang về phương diện nhiệt. Song khí quyển thực tế là tà áp đặc biệt thể hiện rõ rệt ở vùng vĩ độ thấp, ở đây, thành phần thể hiện tính tà áp

lớn thậm chí cùng bậc với các số hạng khác của phương trình và ở đây tất yếu không thể bỏ qua được tính tà áp. Khi tính đến tính tà áp từ thành phần gradien khí áp $\left(\frac{dp}{dx}, \frac{dp}{dy}\right)$ được phân tích thành $\left(\frac{dp_0}{dx}, \frac{dp_0}{dy}\right)$ trong công thức của gió địa chuyển sát mặt đất, còn biểu thức gió nhiệt viết thành biểu thức tà áp có dạng sau:

$$\lambda_x = \frac{\chi^2 \beta}{(2\omega_r)^2} \frac{\partial T}{\partial x}; \lambda_y = \frac{\chi^2 \beta}{(2\omega_r)^2} \frac{\partial T}{\partial y}$$

Như vậy, mô hình tà áp lớp biên khí quyển khác mô hình chính áp bởi hai phương trình chuyển động trong đó ở về phải có chứa λ_x, λ_y .

Khảo sát hệ phương trình mô tả quá trình lớp biên hành tinh khí quyển với giả thiết rằng gradien ngang, khí áp phụ thuộc tuyến tính vào độ cao. Sau khi dẫn đến dạng không thứ nguyên chúng ta được [13, 14, 25, 29]:

$$\frac{d^2 \eta_n}{dz_n^2} + \frac{\sigma_n}{k_n} = \lambda_x \quad (3.23)$$

$$\frac{d^2 \sigma_n}{dz_n^2} - \frac{\eta_n}{k_n} = \lambda_y \quad (3.24)$$

$$\frac{\eta_n^2 + \sigma_n^2}{k_n} - \mu p_n - \frac{b_n^2}{k_n} + 0,54\beta \frac{d}{dz_n} k_n \frac{db_n}{dz_n} = 0 \quad (3.25)$$

$$l_n = - \left(\frac{d}{dz_n} L_n \frac{b_n}{k_n} \right)^{-1} \quad (3.26)$$

$$k_n = l_n b_n^{1/2} \quad (3.27)$$

$$p_n = \frac{k_n}{z_n} \left(1 + \frac{v z_n^{m+1}}{\mu H_n^m} \right) \quad (3.28)$$

$$\mu = - \frac{\chi^2 g p_0}{2\omega_r \rho c_p T v_*^2} \quad (3.29)$$

$$v = \frac{\chi^4 (\gamma_a - \gamma_H) g}{(2\omega_r)^2 T} \quad (3.30)$$

$$\eta_n = k_n \frac{du_n}{dz_n}; \sigma_n = k_n \frac{dv_n}{dz_n}; \lambda_x = \frac{\chi^2}{(2\omega_r)^2} \frac{g}{T} \frac{\partial T}{\partial x}; \lambda_y = \frac{\chi^2}{(2\omega_r)^2} \frac{g}{T} \frac{\partial T}{\partial y}$$

(3.31)

Các điều kiện biên:

Khi $z_n \rightarrow 0$, $\eta_n \rightarrow 1$; $\sigma_n \rightarrow 0$, $b_n \rightarrow 1$

Khi $z_n \rightarrow \infty$, $\eta_n \rightarrow 0$; $\sigma_n \rightarrow 0$, $b_n \rightarrow 0$ (3.32)

Ở đây:

x, y, z – Các tọa độ, đồng thời trục Ox hướng theo hướng gió sát mặt đất;

u, v – Thành phần ngang của tốc độ gió;

k – Hệ số rối;

T – Nhiệt độ không khí;

g – Gia tốc trọng trường;

$2\omega_r$ – Tham số côriôlit;

ρ – Mật độ không khí;

c_p – Nhiệt dung đẳng áp;

b – Năng lượng trung bình của mạch động rối;

I – Quy mô mạch động rối;

v_r – Tốc độ động lực;

γ_a, γ_H – Gradien thẳng đứng đoạn nhiệt khô và thực tế (ở phần trên lớp biên);

p – Dòng nhiệt rối;

P_0 – Giá trị sát mặt đất của P ;

H – Độ cao lớp biên;

χ – Hằng số Karman;

m – Hệ số kinh nghiệm nhận giá trị 0 và 1;

λ_x, λ_y – Tham số tà áp;

ν – Tham số ổn định nhiệt ở phần trên của lớp biên xem là tham số bên ngoài xác định theo số liệu thực nghiệm;

μ – Tham số bên ngoài tầng kết ở phần dưới của lớp biên.

Hệ thống (3.23) – (3.26) với điều kiện biên (3.32) đối với các giá trị cố định μ , v , λ_x , λ_y giải bằng phương pháp số trị xấp xỉ liên tiếp theo “k”.

Tích phân số trị phương trình chuyển động (3.23) và phương trình cân bằng năng lượng rối (3.24) thực hiện bằng phương pháp ma trận khử đuôi và xấp xỉ liên tiếp. Giới hạn trên của lớp biên H_n nhận được Z_n mà trên đó nhận điều kiện $(\eta_n^2 + \sigma_n^2) \leq 0,01$. Kết quả việc giải số trị hệ phương trình trên chúng ta nhận được các hàm vạn năng k_n , l_n , η_n , σ_n , $\eta_n = \frac{d\eta_n}{dz_n}$, $\delta_n = \frac{d\delta_n}{dz_n}$ và p_n phụ thuộc vào μ , v , λ_x , λ_y (với $m = 0$).

Các tham số dùng trong mô hình

Chúng ta khảo sát phương pháp định lượng đánh giá các tham số của lớp biên theo các thông tin synop (với quan điểm sử dụng thông tin tối thiểu, nhận kết quả tối đa).

– Tham số ngoài tầng kết:

$$M = \frac{\beta}{2\omega_c c_g} \delta \theta \quad (3.33)$$

$$* \text{ Số Rossby} \quad R_0 = \frac{c_g}{2\omega_c Z_0} \quad (Z_0 \text{ là tham số nhám}) \quad (3.34)$$

* Tham số μ ở phần dưới ở lớp biên.

– Tham số tầng kết v ở phần trên của lớp biên

* Hai tham số tà áp λ_x , λ_y

– Tham số độ nhám Z_0

– Tham số Côriôlit

Vì tham số bên trong của tầng kết μ không thể xác định theo các số liệu quan trắc tiêu chuẩn ($\mu = f(P_0)$, trong đó thông lượng nhiệt rối không đo được), để khử nó ta tìm sự phụ thuộc sau:

$$\mu = f(R_0, M, v, \lambda_x, \lambda_y) \quad (3.35)$$

Ở đây, cần xác định tham số bên ngoài M [12].

$$M = \frac{\beta}{2\omega_c c_g} \delta \theta|_{LB} \quad (3.36)$$

$$\delta \theta|_{LB} = \theta_H - \theta_0 \text{ hay } = \delta \theta|_{1000}^{850} - \delta \theta|_H^{850}; \delta \theta|_H^{850} = (\gamma_a - \gamma)(H_{850} - H)$$

Trong đó:

θ_0 – Giá trị θ ở mực nhám z_0 ;

θ_H – Giá trị θ ở mực H giới hạn của lớp biển.

Lúc đó:

$$M = \frac{\beta}{2\omega_z c_g} \delta \theta|_{1000}^{850} - \frac{\beta}{2\omega_z c_g} (\gamma_a - \gamma) H_{850} + \frac{\beta}{2\omega_z c_g} (\gamma_a - \gamma) H \quad (3.37)$$

Ký hiệu $\frac{\beta}{2\omega_z c_g} \delta \theta|_{1000}^{850}$ và $\frac{\beta}{2\omega_z c_g} (\gamma_a - \gamma) H_{850}$ là M_1 và M_2

Khi đó:

$$M = M_1 - M_2 + \frac{vH_n \chi_*}{\chi_*^2} \cdot \frac{g(\gamma_a - \gamma)}{2\omega_z T c_g} \cdot H \cdot \frac{l}{L}; L = \frac{\chi^2 c_g}{2\omega_z} \cdot \chi_* \quad (3.38)$$

χ_* là hệ số ma sát địa chuyển.

Chúng ta biểu thị đại lượng M qua các tham số của lớp biển bằng cách tích phân biểu thức đối với $d\theta/dz$ trong giới hạn của lớp biển, kết quả nhận được:

$$M = \mu \frac{\chi}{\chi^2} L_n (\chi^2 H_n R_0 \chi_*) + \frac{vH_n \chi_*}{2\chi^2} \quad (3.39)$$

So sánh (3.38) và (3.39) chúng ta nhận được:

$$\mu = \left(M_{12} + \frac{vH_n \chi_*}{2\chi^2} \right) \frac{\chi^2}{\chi L_n (\chi^2 H_n R_0 Y)} \quad (3.40)$$

Giải phương trình cân bằng bằng phương pháp ma trận, kết quả chúng ta nhận được giá trị cường độ rối b_n .

Giải phương trình đối với hệ số rối không thứ nguyên k_n , kèm theo việc đánh giá độ hội tụ:

$$|K^{(0)} - K^{(1)}| \leq |K^{(1)}| \cdot 0,05 \quad (3.41)$$

Tính số Rossby R_0 đối với các điểm trên biển

$$R_0 = \exp \left[1,84 - L_n (0,74 \cdot 10^{-6} \sin(\phi/57,29578) c g_0 - 4,6 L_n \chi) \right] \quad (3.42)$$

– Tính các đặc trưng thứ nguyên của rői

$$v_* = 0,38\chi c_{go} \quad (3.43)$$

$$c_{go} = 685,8 \cdot 10^2 \frac{\sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial x}\right)_{1000}^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial y}\right)_{1000}^2}}{\sin(\varphi / 57.29578)} \quad (3.44)$$

$$L = \frac{\chi v_*}{(2\omega_z)^2} \quad (3.45)$$

$$z = z_n L \quad (3.46)$$

$$k = \chi x v_* L k_n; b = 4,67 \cdot v_*^2 \cdot b_n \quad (3.47)$$

– Tính u và v

$$u = \left[\cos \alpha + \sigma_n - \lambda_y z_n \chi_* \right] c_{go} \quad (3.48)$$

$$v = \left[\sin \alpha + \eta_n + \lambda_y z_n \chi_* \right] c_{go} \quad (3.49)$$

– Tính giá trị bình lưu trung bình toàn bộ lớp biên

* Tính:

$$\int_{z_{os}}^{H_n} u_n dz_n; \int_{z_{os}}^{H_n} v_n dz_n$$

$$\int_{z_{os}}^{H_n} u_n dz_n = \frac{H_n}{\chi} \cos \alpha - \lambda_y \frac{H_n^2}{2} \quad (3.50)$$

$$\int_{z_{os}}^{H_n} v_n dz_n = 1 - \frac{H_n}{\chi} \sin \alpha + \lambda_x \frac{H_n^2}{2} \quad (3.51)$$

* Tính bình lưu thứ nguyên:

$$A = -\left(\lambda_x \int_{z_{os}}^{H_n} u_n dz_n + \int_{z_{os}}^{H_n} v_n dz_n \right) / H_n c_{go} \quad (3.52)$$

* Tính bình lưu thứ nguyên ra độ / 12 giờ

$$\bar{A} = 0,195 \cdot A c_{go} \sin(\varphi / 57,29578) \quad (3.53)$$

– In các kết quả sau:

* In các giá trị sau: $\mu, v, H, \lambda_x, \lambda_y, \frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}, L, c_{go}$

* Profin thăng đứng k, b.

3.4. LỚP BIÊN TRÊN BIỂN

Các quá trình trong lớp biên trên biển được đặc trưng bởi hàng loạt những đặc điểm liên quan đến các tính chất vật lý của nước so với tính chất vật lý của đất. Độ dẫn nhiệt lớn (đặc biệt là lớp trên nơi rói phát triển) và nhiệt dung của nước làm cho biển có khả năng truyền cho khí quyển rất nhiều nhiệt mà nhiệt độ của nước biển đổi không đáng kể, tức là có cơ sở chắc chắn hơn để coi lớp biên trên biển gắn với trạng thái dừng so với lớp biên trên mặt đất. Một khía cạnh khác là đặc điểm của mặt đêm là mặt biển cho ta cơ sở chắc chắn hơn để coi lớp biên ở đây là đồng nhất ngang (trừ các front hải văn và vùng ven bờ). Do trong biển bức xạ sóng ngắn xuyên qua đến độ sâu 10 – 100m (trong khi đó trên mặt đất nó bị hấp thụ ngay trong lớp có độ dày chỉ vài milimét) nên cân bằng bức xạ bề mặt được xác định chỉ bởi nhập nhiệt của bức xạ sóng dài. Vì vậy, phương trình bức xạ mặt ở đây đơn giản:

$$E_{cf} = p_0 + E_0 + B \quad (3.54)$$

và dùng làm điều kiện biên. Ở đây, E_{cf} là bức xạ hiệu dụng; p_0 và E_0 thông lượng rói của nhiệt và ẩm; B là trao đổi nhiệt bề mặt với các lớp dưới thấp hơn.

Đặc điểm của quá trình động lực trong lớp biên trên biển gắn liền với tính “linh động” của mặt nước. Địa hình bề mặt, độ nhám, tốc độ và hướng chuyển động của nước không những phụ thuộc vào tốc độ gió mà còn tác động lên nó. Sự tồn tại quan hệ thuận nghịch như vậy buộc phải khảo sát chuyển động của lớp biên giữa khí quyển và biển như chuyển động của một hệ tương tác mạnh, trong đó hai phần của quan hệ với nhau bằng sự trao đổi rói.

Điều kiện biên trên mặt ngăn cách giữa khí quyển và biển

Khảo sát dòng dừng và đồng nhất theo phương ngang. Khi đó có thể coi gradien của áp suất (trong khí quyển), mật độ (trong biển) là những đại lượng cho trước vì chúng sinh ra bởi các quá trình vĩ mô. Hệ số trao đổi rói

thẳng đứng được xem như không đổi theo độ cao nhưng khác nhau đối với khí quyển và biển. Giới hạn khảo sát bài toán thuận tuý về mặt động lực và coi khí quyển ở trạng thái cân bằng phiếm định $\left(\frac{d\theta}{dz} = \frac{d\tilde{\rho}}{d\zeta} = 0 \right)$, ký hiệu dấu

~ bên trên đại lượng là đặc trưng cho biển. Ta cần biến đổi để các phương trình chuyển động biểu diễn qua thông lượng động lượng có cùng một dạng cho khí quyển và biển:

$$\frac{d\eta_i}{dz_i} + 2\omega_z(v_i - c_{g_i} \sin \alpha_i) = 0 \quad (3.55)$$

$$\frac{d\sigma_i}{dz_i} - 2\omega_z(u_i - c_{g_i} \cos \alpha_i) = 0 \quad (3.56)$$

Ở đây, chỉ số $i = 1$ đối với khí quyển; $i = 2$ đối với biển; α_i là góc giữa trục Ox và hướng gió địa chuyển (đối với khí quyển) và dòng chảy địa chuyển (đối với biển).

Các phương trình này phải thoả mãn điều kiện:

$$\eta|_{z \rightarrow z_0} = -\eta|_{\zeta \rightarrow \zeta_0}; \quad \sigma|_{z \rightarrow z_0} = -\sigma|_{\zeta \rightarrow \zeta_0} \quad (3.57)$$

$$u|_{z \rightarrow z_0} = -u|_{\zeta \rightarrow \zeta_0}; \quad v|_{z \rightarrow z_0} = -v|_{\zeta \rightarrow \zeta_0} \quad (3.58)$$

$$\eta = \tilde{\eta} = \sigma = \tilde{\sigma} = 0 \text{ khi } z \rightarrow \infty \text{ và } \zeta \rightarrow \infty \quad (3.59)$$

– Hai điều kiện (3.57) và (3.58) là giả thiết cho tính liên tục của thông lượng động lượng và tốc độ khi tiến dần đến mặt ngăn cách (từ trên xuống và từ dưới lên).

– Điều kiện (3.59) là giả thiết càng đi xa bề mặt ngăn cách thì chuyển động rối sẽ tắt dần và các thông lượng động lượng tiến tới không.

Nếu hướng trục Ox đọc theo ứng suất tiếp tuyến gần bề mặt thì điều kiện biên thứ nhất được viết dưới dạng sau:

$$\eta|_{z=0} = \rho v_*^2 = -\eta|_{\zeta=0} = \tilde{\rho} v_*^2; \sigma|_{z=0} = -\tilde{\sigma}|_{\zeta=0} = 0 \quad (3.60)$$

Khi đó 3 điều kiện biên trên được viết lại dưới dạng sau:

$$\left| \eta_n + i\sigma_n \right|_{z_n=0} = \left| \eta_n + i\tilde{\sigma}_n \right|_{\zeta_n=0} = 1 \quad (3.61)$$

$$\left| u_n + i v_n \right|_{z=z_0} = -\sqrt{\rho / \tilde{\rho}} \left| u_n + i \tilde{v}_n \right|_{\zeta_a = \zeta_{\infty}} \quad (3.62)$$

$$\left| \eta_n + i \sigma_n \right|_{z_n \rightarrow \infty} = \left| \eta_n + i \tilde{\sigma}_n \right|_{\zeta_a \rightarrow \infty} = 0 \quad (3.63)$$

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG III

1. Các tham số cơ bản của lớp biên và việc xác định chúng theo các thông tin Synóp.
2. Hệ phương trình chính áp của lớp biên khí quyển.
3. Hệ phương trình tà áp của lớp biên khí quyển. So sánh các thành phần cơ bản trong mô hình chính áp và tà áp của lớp biên khí quyển. Nêu ý nghĩa vật lý của các thành phần này.
4. Trình bày lớp biên trên biển. Điều kiện biên trên mặt ngăn cách giữa khí quyển và biển.

Phần II

Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ VÀ MÔ HÌNH HOÁ QUÁ TRÌNH LAN TRUYỀN CHẤT Ô NHIỄM TRONG LỚP BIÊN KHÍ QUYỀN

Chương IV

Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH LAN TRUYỀN CHẤT Ô NHIỄM TRONG LỚP BIÊN KHÍ QUYỀN

4.1. NGUỒN GÂY Ô NHIỄM MÔI TRƯỜNG KHÔNG KHÍ

4.1.1. Các nguồn gây ô nhiễm

Không khí bị ô nhiễm khi có mặt một chất hoặc có một sự biến đổi trong thành phần không khí làm giảm độ trong sạch của không khí và gây mùi khó chịu, giảm tầm nhìn xa, v.v... [30]

Hiện nay, hầu hết các quốc gia trên thế giới đều đã xây dựng các chỉ tiêu về nồng độ giới hạn cho phép đối với từng chất đặc trưng cho chất lượng môi trường không khí. Vì vậy, ta có thể định nghĩa về ô nhiễm không khí như sau: *Không khí bị ô nhiễm nếu các chất đặc trưng cho chất lượng môi trường không khí có nồng độ vượt tiêu chuẩn giới hạn cho phép (TCCP).*

Có 2 loại nguồn gây ô nhiễm cơ bản đối với môi trường không khí:

Nguồn ô nhiễm thiên nhiên do các hoạt động tự nhiên gây ra như: núi lửa phun ra bụi nham thạch, thải vào không khí CO₂, CO và tro bụi; các quá trình phân huỷ động, thực vật thải ra NH₃, CH₄; sấm chớp làm xuất hiện axit nitric, NH₃ v.v...

Nguồn ô nhiễm nhân tạo do các hoạt động của con người gây ra như nguồn ô nhiễm sản xuất công nghiệp, nguồn ô nhiễm giao thông vận tải và nguồn ô nhiễm sinh hoạt v.v...

Đối tượng chính được trình bày ở đây là nguồn ô nhiễm nhân tạo gây ra do quá trình đốt cháy nhiên liệu (than đá, dầu khí) trong các hoạt động kinh tế – xã hội.

4.1.2. Nguồn ô nhiễm công nghiệp

Ô nhiễm công nghiệp là do các ống khói của nhà máy thải vào môi trường không khí rất nhiều chất độc hại. Đồng thời nguồn ô nhiễm công nghiệp còn phát sinh từ quá trình công nghệ sản xuất do bốc hơi, rò rỉ, thoát trên dây chuyền sản xuất và trên các đường ống dẫn tải.

Công nghiệp hiện đại có rất nhiều loại nguồn thải khác nhau như là *nguồn cao, nguồn thấp, nguồn điểm, nguồn đường hay nguồn mặt, loại có tổ chức hay không có tổ chức, loại ổn định thường xuyên hay loại theo chu kỳ*.

Đặc điểm chất thải do công nghiệp là nồng độ chất độc hại rất cao và tập trung trong khoảng không gian hẹp, thường là hỗn hợp khí và hơi độc hại. Đối với ngành công nghiệp, tuỳ thuộc vào loại nhiên liệu được sử dụng và công nghệ đốt nhiên liệu, công nghệ sản xuất cũng như trình độ sản xuất mà các nguồn thải độc hại có đặc tính riêng.

Bảng 4.1 trình bày tổng lượng thải do quá trình đốt nhiên liệu sản xuất công nghiệp và các hoạt động khác của thế giới năm 1982.

Bảng 4.1. Lượng thải các chất ô nhiễm môi trường không khí toàn cầu năm 1982

(Đơn vị: triệu tấn)

Nguồn gây ô nhiễm	Các chất ô nhiễm chính				
	CO	Bụi	SO _x	HC	NO _x
1. Giao thông vận tải					
Xe ô tô chạy xăng	53,5	0,5	0,2	13,8	6,0
Xe ô tô chạy dầu diezen	0,2	0,3	0,1	0,4	0,5
Máy bay	2,4	0,0	0,0	0,3	0,0
Tàu hỏa và các loại khác	2,0	0,4	0,5	0,6	0,8
Cộng	58,1	1,2	0,8	15,1	7,3
2. Đốt nhiên liệu					
Than	0,7	7,4	18,3	0,2	3,6
Dầu xăng	0,1	0,3	3,9	0,1	0,9
Khí đốt tự nhiên	0,0	0,2	0,0	0,0	4,1
Gỗ, củi	0,9	0,2	0,0	0,4	0,2
Cộng	1,7	8,1	22,2	0,7	8,8

Nguồn gây ô nhiễm	Các chất ô nhiễm chính				
	CO	Bụi	SO _x	HC	NO _x
3. Quá trình sản xuất công nghiệp	8,8	6,8	6,6	4,2	0,2
4. Xử lý chất thải rắn	7,1	1,0	0,1	1,5	0,5
5. Hoạt động khác					
Cháy rừng	6,5	6,1	0,0	2,0	1,1
Đốt các chất nông nghiệp	7,5	2,2	0,0	1,5	0,3
Đốt rác thải bằng than	1,1	0,4	0,5	0,2	0,2
Hàn nối xây dựng	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0
Cộng	15,3	8,8	0,5	3,8	1,6
Tổng cộng toàn bộ	91	25,9	30,2	25,3	18,4

Ghi chú: CO – cacbon oxit; SO_x – các loại lưu huỳnh oxit, đặc trưng là SO₂; HC – hydrocacbon; NO_x – các loại nitơ oxit, đặc trưng là NO₂.

Theo [2] cho thấy, ở nước ta đang diễn ra quá trình đô thị hóa và công nghiệp hóa tương đối nhanh, đặc biệt là ở ba vùng trọng điểm phát triển kinh tế: Hà Nội – Hải Phòng – Quảng Ninh; TP.Hồ Chí Minh – Biên Hòa – Vũng Tàu; Đà Nẵng – Nha Trang – Quảng Ngãi. Vì vậy, hiện trạng chất lượng môi trường đô thị và khu công nghiệp nước ta biến đổi hàng năm, theo chiều hướng bất lợi, vì chất thải ô nhiễm từ sản xuất công nghiệp, giao thông vận tải và sinh hoạt đô thị ngày càng tăng về số lượng, chủng loại và tính độc hại. Có nhiều khu chế xuất và khu công nghiệp mới đang hình thành, đó là các khu công nghiệp mới, nguồn thải tập trung trong phạm vi lánh thổ không nhỏ, chúng sẽ gây ô nhiễm các vùng xung quanh, do đó sẽ mở rộng diện tích các vùng bị ảnh hưởng của ô nhiễm sản xuất công nghiệp. Tuy vậy, phần lớn các nhà máy mới này đang ở giai đoạn đầu tư xây dựng, số nhà máy đưa vào sản xuất năm 1996 còn rất ít, mặt khác các nhà máy này đều đã được áp dụng các giải pháp xử lý và kiểm soát ô nhiễm môi trường theo báo cáo Đánh giá tác động môi trường đã đề ra, cho nên môi trường ở các khu công nghiệp mới này cho đến nay chưa nảy sinh các vấn đề gay cấn nghiêm trọng.

Các ngành công nghiệp gây ô nhiễm cần kể đến là:

a) Công nghiệp năng lượng

Ngành công nghiệp này thường sử dụng loại nhiên liệu chính là than và dầu FO, dầu diezen. Việc tiêu thụ hàng triệu tấn nhiên liệu như vậy đã thải vào môi trường hàng triệu tấn CO_2 , hàng trăm ngàn tấn SO_2 và lượng bụi khổng lồ. Các ống khói của nhà máy nhiệt điện là nguồn gây ô nhiễm lớn cho các vùng xung quanh. Các nhà máy nhiệt điện như Phả Lại, Ninh Bình trong quá trình sản xuất nếu không qua hệ thống xử lý sẽ thải vào khí quyển tro bụi và nhiều khí độc hại như CO , CO_2 , SO_x , NO_x với nồng độ lớn gây ô nhiễm cả một vùng rộng lớn xung quanh nhà máy.

b) Công nghiệp hóa chất

Các nhà máy hóa chất thường thải vào không khí nhiều chất độc hại ở thể khí và thể rắn. Các ống khói có độ cao tương đối thấp thường ở độ cao 25 – 40m, ít khi cao hơn 50m. Các chất thải của nhà máy hóa chất có đặc trưng là nhiệt độ của khí thải chênh lệch ít so với nhiệt độ không khí môi trường xung quanh. Vì vậy, hạn chế được sự khuếch tán của các chất độc hại mà chúng thường tập trung ở gần nguồn. Các chất khí thải ra của nhà máy hóa chất thường có khả năng hòa hợp với các chất khí khác tạo thành chất độc hại mới, đôi khi còn độc hại hơn cả chất độc hại ban đầu thải ra.

Nhà máy sản xuất sơn thải vào khí quyển các chất hoà tan như hơi etxăng,toluen. Các cơ sở sản xuất phân lân nung chảy và super photphat thải ra một lượng rất lớn bụi: SO_2 , SO_3 , H_2SO_4 , HF, v.v... rất độc hại.

c) Công nghiệp luyện kim (luyện cốc, đúc, luyện thép)

Đặc trưng của các chất thải độc hại từ các nhà máy luyện kim là có rất nhiều bụi kích thước lớn phát sinh trong công đoạn tuyển quặng; CO phát sinh trong quá trình luyện gang; SO_2 , NO_x phát sinh trong quá trình đốt cháy nhiên liệu v.v... Hơi và bụi chứa nhiều chất độc hại như oxít đồng (CuO), thạch tín, thuỷ ngân sinh ra trong quá trình luyện Cu, Zn và các kim loại màu khác.

Chất thải của các nhà máy luyện kim có đặc điểm là nhiệt độ cao (300 – 400°C), đôi khi lên đến 500°C. Độ cao ống khói cao 50 – 200m và hơn nữa. Do khí thải có nhiệt độ cao, ống khói cao nên chất ô nhiễm ở các nhà máy luyện kim được phân bố rất rộng song nhiều trường hợp nồng độ chất ô nhiễm không khí ngay quanh nhà máy vẫn vượt giới hạn cho phép nhiều lần.

d) Công nghiệp cơ khí

Nguồn gây ô nhiễm là các phân xưởng đúc, sơn của các nhà máy chế tạo ô tô, máy kéo. Các nguồn ô nhiễm, độ cao ống khói, nồng độ hỗn hợp chất thải cũng như tình trạng ô nhiễm môi trường ở các xưởng đúc có tính chất giống như ở các nhà máy luyện kim. Riêng ở các xưởng sơn lại giống như ở các xưởng hóa chất.

e) Công nghiệp vật liệu xây dựng

Ngành công nghiệp vật liệu xây dựng bao gồm ngành công nghiệp xi măng, sản xuất vôi, gạch ngói, thuỷ tinh, kính xây dựng. Đây là những nguồn gây ô nhiễm lớn đối với môi trường không khí và cũng là nguồn thải chính tạo ra các cơn mưa axit. Đặc biệt là lò nung gạch và nung vôi với công nghệ đốt lò thủ công rất lạc hậu nên lượng chất thải độc hại rất lớn. Chất thải của ngành công nghiệp vật liệu xây dựng chủ yếu là SO_2 , NO_x , CO .

Nói chung, tính đa dạng của các nguồn gây ô nhiễm công nghiệp đã gây ra tính phức tạp và khó khăn trong việc xác định các biện pháp xử lý ô nhiễm môi trường không khí đặc biệt ở các khu công nghiệp lớn có nhiều loại nhà máy khác nhau.

Theo [2], về xi măng có Nhà máy xi măng Hải Phòng, Hoàng Thạch, Bỉm Sơn, Hà Tiên 1, Hà Tiên 2 và một số cơ sở xi măng lò đứng được xây dựng rải rác khắp nơi. Năm 1994, tổng sản lượng xi măng đạt 5,7 triệu tấn, trong đó theo công nghệ lò quay và nghiên ướt có 1,7 triệu tấn (năng lượng tiêu hao là 1.600–1.800 kcal/kg clinker). Đối với xi măng lò đứng, tuy tổng tỷ lệ nhiên liệu dùng ít hơn so với xi măng sản xuất theo phương pháp lò quay nầm, nhưng trong thành phần nguyên liệu của nó thường có thêm hợp chất fluo để hạ nhiệt độ làm việc. Vì vậy, trong khí thải của nó còn có chứa cả fluo và cũng do công nghệ thô sơ nên phần xử lý ô nhiễm rất kém, không có thiết bị lọc bụi, hoặc chỉ lọc bụi bằng cyclone, không có lọc bụi bằng tĩnh điện. Trong tương lai nên hạn chế hoặc huỷ bỏ xi măng lò đứng. Trong thời gian qua đã xây dựng mới một loạt nhà máy xi măng, như Nhà máy xi măng Ching Phong – Hải Phòng, Hòn Chông – Hà Tiên, Nghi Xuân – Thanh Hoá, Bút Sơn – Hà Nam, Luksvaxi – Thừa Thiên Huế, v.v...

4.1.3. Nguồn ô nhiễm giao thông vận tải

Ô nhiễm do giao thông vận tải gây ra cũng là một nguồn lớn. Như số liệu ở bảng 4.1 cho thấy, chúng đã sản sinh ra gần 2/3 khí cacbon oxit (CO),

và 1/2 khí hydro cacbon (HC) và khí nitơ oxit (NO). Đặc biệt là ô tô còn gây ô nhiễm bụi đất đá đối với môi trường không khí (bụi thứ cấp) và bụi rất độc hại qua ống xả là bụi hơi chì và tàn khói. Tàu hỏa, tàu thuỷ chạy bằng nhiên liệu than hay xăng dầu cũng gây rã ô nhiễm môi trường tương tự như ô tô.

Đặc điểm nổi bật của nguồn ô nhiễm giao thông vận tải là nguồn ô nhiễm rất thấp, di động, nếu cường độ giao thông lớn thì nó giống như nguồn đường (nguồn tuyến), chủ yếu chúng gây ra ô nhiễm cho hai bên đường. Khả năng khuếch tán các chất ô nhiễm giao thông vận tải rất phụ thuộc vào địa hình và quy hoạch kiến trúc các phố phường hai bên đường.

Máy bay cũng là nguồn gây ô nhiễm bụi, hơi độc hại và tiếng ồn. Bụi và hơi độc hại do máy bay thả ra, nói chung là nhỏ, tính tỷ lệ trên lượng nhiên liệu tiêu hao trên đường bay cũng ít hơn ô tô. Tổng số chất thải do máy bay gây ra chỉ chiếm khoảng 2,5% tổng chất thải cacbon oxit và 1% chất thải hydro cacbon (xem bảng 4.1). Chất thải của máy bay khác với khu công nghiệp là nó gây ra trên đường bay cao, không chỉ bó hẹp trong một tiểu khu hay một thành phố. Khói phụt của máy bay phản lực làm giảm độ nhìn rõ và thường gây phiền lòng cho mọi người dưới tuyến đường hàng không và xung quanh sân bay. Một điều đáng chú ý là máy bay siêu âm bay ở độ cao lớn thải ra khí nitơ oxit, chất này sẽ gây nguy hiểm đối với các phân tử ozon trong khí quyển.

4.1.4. Nguồn ô nhiễm sinh hoạt

Nguồn ô nhiễm do sinh hoạt của con người chủ yếu là bếp đun và lò sưởi sử dụng nhiên liệu than đá, củi, dầu hỏa và khí đốt. Nhìn chung nguồn ô nhiễm này là nhỏ, nhưng đặc điểm của nó là thường gây ô nhiễm cục bộ trong nhà hay trong buồng. Hiện nay, việc dùng than để đun nấu lan tràn trong đô thị, đó cũng là điều đáng quan tâm đối với các nhà tập thể có hành lang kín và các căn hộ khép kín, nồng độ khí CO tại bếp đun thường là lớn, có thể gây hiểm họa đối với con người.

Đun bếp than tổ ong sẽ thải ra nhiều chất khí độc hại như SO₂, NO_x, CO và bụi. Số liệu điều tra cuối năm 1994 ở Hà Nội như sau: ở phường Thanh Xuân Bắc có 50,3% số hộ dùng than tổ ong để đun nấu, ở phường Bách Khoa là 29,2% và ở phường Hàng Đào là 8,7%.

Cống rãnh và môi trường nước mặt như ao, hồ, kênh rạch, sông ngòi bị ô nhiễm cũng bốc hơi, thoát khí độc hại và gây ô nhiễm môi trường không khí, ở các đô thị chưa thu gom và xử lý rác tốt thì sự thối rữa, phân huỷ rác

hữu cơ, vứt bừa bãi hoặc chôn ủ không đúng kỹ thuật cũng là một nguồn gây ô nhiễm môi trường không khí.

Các khí ô nhiễm từ các nguồn thải sinh hoạt trên chủ yếu là khí metan, H_2S , urê và mùi hôi thối. Các khí này đã gây ô nhiễm không khí các khu dân cư ở đô thị.

Các hố xí thùng, xí hai ngăn ở đô thị nước ta tuy có giảm dần, ước lượng mỗi năm giảm 5 – 7%, nhưng đến nay vẫn tồn tại phổ biến. Ví dụ, ở thành phố Hải Phòng trước đây có khoảng 5.000 hố xí loại này, mỗi ngày thải ra khoảng 30 tấn phân tươi dùng bón ruộng và nuôi cá. Ở Hà Nội, năm 1987, có 12.000 hố xí thùng và xí hai ngăn, năm 1991 còn 11.000, hiện nay ước còn khoảng 8.000 hố xí thùng, hằng ngày thải ra hàng chục tấn phân tươi. Thành phố Việt Trì có tới gần 70% hố xí là xí thùng và xí tự thấm, v.v... [2]

Quá trình “tự hoại hoá” xí thùng hiện nay ở các thành phố rất chậm, bởi vì không những gặp khó khăn về kinh phí đầu tư, mà còn gặp khó khăn về hạ tầng kỹ thuật đô thị liên quan, như hệ thống cống rãnh thoát nước, hệ thống cấp nước, kiến trúc khu phố cổ, v.v... chưa được cải tạo.

4.2. CHẤT GÂY Ô NHIỄM MÔI TRƯỜNG KHÔNG KHÍ

4.2.1. Các chất khí

Các chất khí gây ô nhiễm môi trường không khí được chia thành 2 loại:

– *Các chất gây ô nhiễm sơ cấp*: là những chất trực tiếp phát ra từ các nguồn và bản thân chúng đã có đặc tính độc hại.

– *Các chất gây ô nhiễm thứ cấp*: là những chất được tạo ra trong khí quyển do tương tác hóa học giữa các chất gây ô nhiễm sơ cấp với các chất vốn là thành phần của khí quyển.

Sau đây là một số chất khí ô nhiễm chính thải ra từ các nguồn thải công nghiệp:

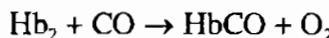
a) Khí sunfurơ (SO_2)

Đây là chất ô nhiễm được xem là quan trọng nhất trong họ sunfua oxit. Khí SO_2 sinh ra do quá trình đốt nhiên liệu than đá và dầu. Đây là loại khí không màu, có mùi vị hăng, không cháy, có độ tan lớn. SO_2 tác dụng với nước trong môi trường không khí ẩm ướt tạo thành H_2SO_3 . SO_2 trong khí quyển gặp mưa và các tác nhân oxi hoá (sấm chớp) tạo thành mưa axit.

SO_2 gây nguy hại đối với các công trình kiến trúc. SO_2 làm hư hỏng, giảm tuổi thọ của các sản phẩm vải nilon, tơ nhân tạo, đồ da giày. SO_2 gây ảnh hưởng xấu đến quá trình sinh trưởng của rau, quả. Đối với con người và động vật, SO_2 có thể gây ra các bệnh về đường hô hấp và có thể gây tử vong ở nồng độ cao.

b) Khí oxit cacbon (CO)

Khí CO sinh ra do quá trình đốt nhiên liệu, đặc biệt trong trường hợp cháy không hoàn toàn từ các ống khói nhà máy, ống xả của xe máy, ô tô. CO là loại khí không màu, không mùi, không vị. Ở nồng độ thấp, CO không độc đối với thực vật vì cây xanh có thể chuyển hoá CO sang CO_2 và sử dụng nó trong quá trình quang hợp. Nhưng ở nồng độ cao CO là loại khí rất độc. Tác hại của khí CO đối với con người và động vật xảy ra khi nó hoá hợp không thuận nghịch với hemoglobin (Hb) trong máu gây thiếu O_2 theo phản ứng:



Mức độ ngộ độc CO phụ thuộc vào hàm lượng hemoglobin đã kết hợp với CO, nếu trầm trọng có thể gây tử vong. Do CO có tính độc hại lớn nên người ta làm giảm nồng độ này trong không khí, phổ biến nhất là đốt cháy để oxi hoá khí này thành CO_2 .

c) Cacbon dioxit (CO_2)

Cacbon dioxit (cacbonic) (CO_2) là chất khí không màu, nặng hơn không khí 1,5 lần và chủ yếu lưu động ở tầng đối lưu. CO_2 không duy trì sự cháy và sự thở. Khi tiếp xúc với CO_2 ở nồng độ cao, người và động vật có thể chết ngạt. CO_2 có ý nghĩa lớn đối với thực vật. Cây xanh hút khí CO_2 dưới tác dụng của ánh sáng Mặt Trời và chất diệp lục tố của lá cây sẽ tạo thành tinh bột và giải phóng O_2 . Hằng năm, lượng CO_2 được sinh ra rất lớn do đốt nhiên liệu, cùi và hô hấp của sinh vật thải vào khí quyển. Người ta ước tính rằng, riêng đốt than đá hằng năm đã thải vào khí quyển hơn $2,5 \cdot 10^{13}$ tấn CO_2 .

Nồng độ CO_2 tăng là nguyên nhân chính gây hiệu ứng nhà kính làm nhiệt độ của Trái Đất tăng dần đến nâng cao mực nước biển, phá vỡ cân bằng sinh thái trên Trái Đất, đặc biệt đối với các hệ sinh thái nhạy cảm (hệ sinh thái san hô, hệ sinh thái rừng ngập mặn, v.v...), tăng hiệu ứng thiến tai như lũ lụt, hạn hán, v.v...

d) Nitơ oxit (NO_x)

Có nhiều loại nitơ oxit như là NO, NO_2 , NO_3 , N_2O , N_2O_3 , N_2O_4 , N_2O_5 , do hoạt động của con người thải vào khí quyển, nhưng chỉ có hai loại nitơ monoxit (NO) và nitơ oxit (NO_2) là có số lượng quan trọng nhất trong khí quyển. Nó được hình thành do phản ứng hóa học của khí nitơ với oxi trong khí quyển khi đốt cháy ở nhiệt độ cao (vượt quá $1.100^{\circ}C$) và làm lạnh nhanh chóng để tránh sự phân huỷ:



Hàng năm, do hoạt động sản xuất của con người sản sinh ra khoảng 4,8 triệu tấn NO_x (chủ yếu là khí NO_2). Khí NO_x thường tồn tại trong khí quyển độ 4 – 5 ngày.

Ở khu vực ngoài thành phố, nồng độ khí NO và NO_2 trong không khí rất nhỏ, chỉ khoảng vài phần trăm tỷ.

Môi trường không khí bị ô nhiễm chất khí NO_x chủ yếu là ở các thành phố và khu công nghiệp, nồng độ khí NO thông thường là khoảng 1 ppm, và nồng độ khí NO_2 thông thường khoảng trên 0,5 ppm. Cả hai loại khí này đều có vai trò quan trọng trong sự hình thành khói quang hoá.

Khí NO_2 có phản ứng với các khí gốc hydroxyl (HO) trong khí quyển để hình thành axit nitric (HNO_3). Khi trời có mưa, nước mưa sẽ rửa không khí bị ô nhiễm khí NO_2 và hình thành mưa axit.

Các nghiên cứu khoa học cho biết các loại nitơ oxit có tác dụng làm phai màu thuốc nhuộm vải, làm hư hỏng vải bông và nilon, làm gỉ kim loại và sản sinh ra các phân tử nitrat. Mặc dù vậy đến nay vẫn chưa xác định được nồng độ NO_x bằng bao nhiêu thì gây tác hại đáng kể.

Một số thực vật có tính nhạy cảm đối với môi trường sẽ bị tác hại khi nồng độ NO_2 khoảng 1 ppm và thời gian tác động là khoảng một ngày, nếu nồng độ NO_2 nhỏ, khoảng 0,35 ppm thì thời gian tiếp xúc tác động là một tháng. Nitơ monoxit (NO) với nồng độ thường có trong không khí nó không gây tác hại đối với sức khỏe của con người, chỉ nguy hại khi nó bị oxi hoá thành NO_2 .

Hemoglobin có ái lực rất lớn đối với khí NO (khoảng 1.500 lần ái lực của nó đối với CO), nhưng may mắn thay NO của khí quyển hầu như không có khả năng thâm nhập vào mạch máu để mà phản ứng với hemoglobin.

NO_2 là khí có màu hơi hồng, mùi của nó có thể phát hiện thấy khi nồng độ của nó vào khoảng 0,12ppm. Tính chất quan trọng của nó nằm trong phản ứng quang hoá là hấp thụ bức xạ tử ngoại.

Khí NO_2 với nồng độ khoảng 100ppm có thể gây tử vong cho con người và động vật sau một số phút tiếp xúc, và nồng độ khoảng 5 ppm sau một số phút tiếp xúc có thể dẫn đến ảnh hưởng xấu đối với bộ máy hô hấp. Khi tiếp xúc trực tiếp với khí NO_2 có nồng độ 15 – 50ppm trong vòng vài giờ đã gây nguy hiểm cho phổi, tim và gan.

Con người tiếp xúc lâu với không khí có nồng độ khí NO_2 khoảng 0,06ppm đã gây trầm trọng thêm các bệnh về phổi.

Vì vậy, có thể nói rằng, không khí ở các vùng đô thị bị nhiễm bẩn khí NO_2 sẽ gây tác hại đối với sức khoẻ của con người.

4.2.2. Bụi [1, 7]

a) Định nghĩa và phân loại

Định nghĩa:

Bụi là tập hợp các phần tử vật chất tồn tại dưới dạng khí, rắn hoặc lỏng có kích thước (đường kính) lớn hơn kích thước phân tử nhưng nhỏ hơn 500 μm .

Phân loại:

Tuỳ theo kích thước của các hạt cấu tạo nên bụi, người ta chia thành:

– *Bụi lắng* (bụi trọng lượng): Có kích thước lớn hơn 100 μm nhưng nhỏ hơn 500 μm . Các bụi này có kích thước tương đối lớn nên không tồn tại lâu trong khí quyển và rơi xuống mặt đất gây ô nhiễm môi trường đất, nước và hệ sinh thái.

– *Bụi lơ lửng*¹ (bụi lơ lửng tổng số TSP): tập hợp các hạt bụi có kích thước $\leq 100\mu\text{m}$.

Do kích thước nhỏ, nên tốc độ rơi không đáng kể, bụi lơ lửng tồn tại lâu trong khí quyển gây ô nhiễm cho con người thông qua con đường hô hấp. Kích thước của bụi lơ lửng càng nhỏ càng dễ xâm nhập vào cơ thể gây nên bệnh ung thư phổi và đường ruột ở người và động vật. Vì vậy, trong nghiên cứu tác động của bụi lơ lửng đến sức khoẻ cộng đồng, người ta còn chia bụi lơ lửng tổng số thành các loại bụi sau:

+ *Bụi PM_{10}* : Là tập hợp các hạt có kích thước $\leq 10\mu\text{m}$.

¹ Theo TCVN 2005.

- + *Bụi PM₅* : Là tập hợp các hạt có kích thước $\leq 5\mu\text{m}$.
- + *Bụi PM_{2,5}* : Là tập hợp các hạt có kích thước $\leq 2,5\mu\text{m}$.
- + *Bụi PM₁* : Là tập hợp các hạt có kích thước $\leq 1\mu\text{m}$.

b) *Tác hại của bụi*

Bụi lơ lửng có khả năng hấp thụ và khuếch tán ánh sáng Mặt Trời nên làm giảm độ trong suốt của khí quyển, tức là làm giảm tầm nhìn xa của con người, ảnh hưởng trực tiếp đến các phương tiện giao thông đường bộ, đường thuỷ và đường không. Nếu nồng độ bụi trong không khí bằng $0,1\text{mg/m}^3$ thì tầm nhìn xa chỉ còn 12km, trong khi đó tầm nhìn xa lớn nhất là 36km.

Bụi gây tác hại làm gi kim loại, bẩn nhà cửa, quần áo, vải vóc, tranh ảnh, tượng đài, đặc biệt gây tác hại đối với thiết bị và mối hàn điện vào những ngày ẩm ướt hoặc có độ ẩm cao.

Một số loại bụi như bụi kim loại, sỏi đá, các hydrocacbon thơm đa vòng, v.v... là những tác nhân gây bệnh ung thư đối với người và động vật. Với nồng độ bụi trung bình năm vào khoảng $80\mu\text{g/m}^3$ mà con người tiếp nhận thông qua con đường hô hấp thì đã bắt đầu sinh bệnh viêm mãn tính cuống phổi, phù thũng v.v...

Bụi lơ lửng có thể di chuyển qua hàng nghìn km, xuyên qua cả biển và lục địa, ví dụ không khí đã mang theo bụi cát lơ lửng của sa mạc Sahara xuyên qua biển Arabian và thổi đến Ấn Độ, gây ô nhiễm không khí trên phạm vi quy mô lớn.

Bụi lơ lửng còn gây thiệt hại cho một số ngành công nghiệp cần vô trùng như công nghiệp dược phẩm và công nghiệp thực phẩm.

4.3. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN QUÁ TRÌNH LAN TRUYỀN CHẤT Ô NHIỄM TRONG MÔI TRƯỜNG KHÔNG KHÍ [7, 24, 26]

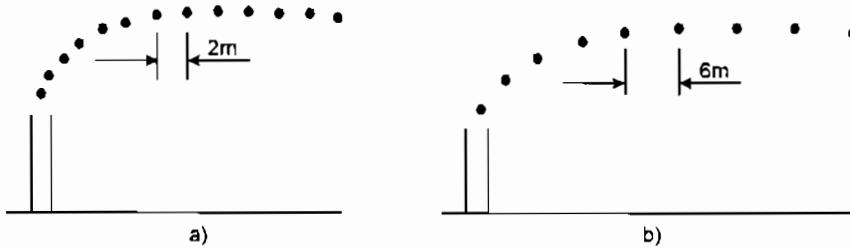
4.3.1. Ảnh hưởng của các yếu tố khí tượng

1. Ảnh hưởng của gió

Gió hình thành bởi các dòng chuyển động rối của không khí trên mặt đất, đây là yếu tố khí tượng cơ bản nhất có ảnh hưởng đến sự lan truyền chất ô nhiễm. Gió trên thực tế không phải là dòng chảy ổn định, hướng và tốc độ của nó luôn luôn thay đổi.

Chuyển động của không khí gây ra sự phát tán cũng như di chuyển có trật tự của chất ô nhiễm. Nếu kích thước của các xoáy khí quyển nhỏ hơn kích thước của phễu bụi thì có hiện tượng phát tán chất ô nhiễm. Ngược lại, di chuyển của chất ô nhiễm dưới tác dụng của gió sẽ phát tán theo hướng chuyển động như là kết quả của sự trao đổi rối theo hướng cắt ngang hoặc thẳng đứng. Hình 4.1 trình bày ví dụ về sự phát tán của bụi (biểu thị bằng dấu tròn đen) từ ống khói với công suất phát thải không đổi.

Nếu tốc độ gió bằng 2m/s, khoảng cách giữa hai hạt bụi là 2m, còn khi tốc độ gió 6m/s thì khoảng cách này là 6m (hình 4.1a, b). Như vậy, tốc độ gió càng lớn thì thể tích không khí đi qua điểm cửa ra của bụi trong 1 đơn vị thời gian càng lớn, nồng độ của bụi càng nhỏ hơn. Sự giảm nồng độ xuất hiện do dân nở của phễu bụi, theo hướng gió và phụ thuộc vào cường độ của tốc độ của dòng khí. Tốc độ gió cũng ảnh hưởng đến cường độ của đối lưu cường bức được tạo ra trong lớp biên bởi độ đứt của gió và bởi sự tương tác của dòng khí với các yếu tố nhám của mặt đất.



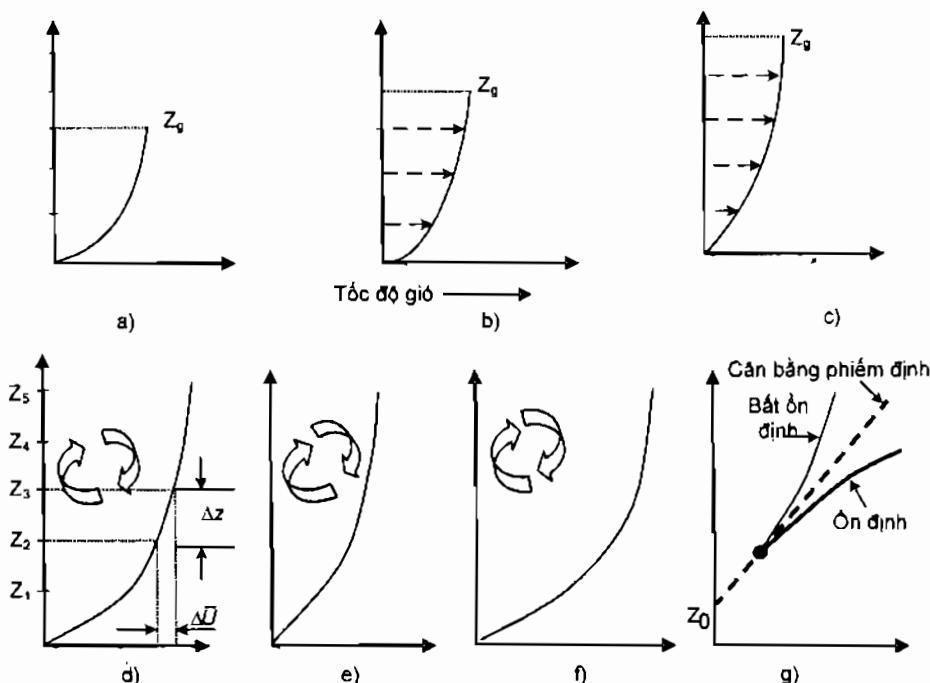
Hình 4.1. Ánh hưởng của tốc độ gió trung bình U đến quá trình lan truyền

Tốc độ gió lớn nhất tương ứng với cường độ rối lớn. Khi đó xoáy sinh ra có kích thước không lớn và sự tác động của nó đến phễu bụi sẽ đẩy nhanh quá trình pha trộn với không khí sạch xung quanh. Quá trình này biểu thị trên hình 4.1b. Xung động rối cũng gây ra chuyển động ngang của xoáy dẫn đến suy giảm phễu bụi ở các đường mép viền (theo phương ngang và thẳng đứng). Hướng gió cũng quan trọng đối với di chuyển của bụi. Do sự biến đổi liên tục của hướng gió, nên quỹ đạo của bụi có dạng ngoằn ngoèo.

Hướng gió cũng có thể gây ra sự di chuyển của bụi trên khoảng cách lớn. Khi gió mạnh khoảng cách này có thể rất lớn nhưng nồng độ lại giảm đi nhiều. Sự di chuyển của bụi như vậy từ một nguồn duy nhất không gây ra hậu quả đáng kể. Điều kiện tối ưu nhất để ô nhiễm mạnh xuất hiện là khi có gió yếu, vì trong trường hợp này di chuyển có trật tự theo phương ngang và khuếch tán rối là yếu nhất.

Chuyển động rối có ảnh hưởng đến profin thẳng đứng của gió. Cường độ rối mạnh gây ra sự tăng chậm của gió theo độ cao, còn chuyển động rối yếu thì xảy ra ngược lại.

Trường gió trong lớp biên được xác định bởi lực ma sát, lực này sinh ra khi có sự tương tác của dòng chảy với mặt đệm và gây ra sự giảm của *tốc độ gió trung bình* \bar{U} ở gần mặt đệm. Khi không có sự tác động nhiệt mạnh, độ dày của lớp biên chủ yếu phụ thuộc vào độ nhám của mặt đệm (bề mặt trái dưới) (hình 4.2).



Hình 4.2. Profil tốc độ gió phụ thuộc vào độ nhám mặt đất (a, b, c) và tầng kết nhiệt khí quyển (d, e, f, g).

a) Bằng phẳng, thoảng mát; b) Thảm cỏ, rừng (ngoại ô); c) Trung tâm thành phố; d) Tầng kết cản bằng phiếm định; e) Bất ổn định; f) Ông định; g) Các profil; d, e, f) Quy mô bán loga theo độ cao.

Theo Davenport (a, b, c – 1965) và theo Tom (d, e, f, g – 1975)

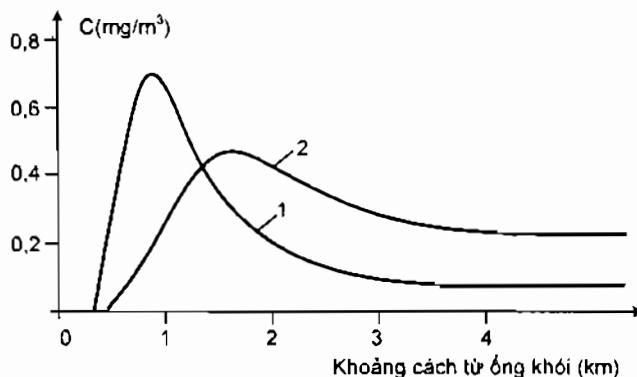
Profil tốc độ gió chỉ ra trên hình 4.2, được xây dựng theo số liệu quan trắc gió mạnh. Độ cao Z_g là giới hạn trên của lớp biên, trên độ cao này tốc độ gió là không đổi.

Độ cao của lớp này tăng lên khi độ dày của lớp nhám tăng. Vì vậy, gradien thẳng đứng của tốc độ gió trung bình $\Delta \bar{U} / \Delta z$ đạt cực đại trên bề

mặt phẳng nhẵn và cực tiểu trên mặt nhám. Ngoài ra, tốc độ gió còn phụ thuộc vào phân tầng nhiệt của khí quyển (hình 4.2g).

Tốc độ gió sẽ tăng lên theo sự tăng chênh lệch áp lực của khí quyển. Đối với lớp không khí sát mặt đất thì tốc độ gió vào ban ngày lớn hơn, ngược lại ở trên cao vào ban đêm lại có tốc độ lớn hơn.

Đã có nhiều công trình nghiên cứu mối quan hệ giữa phân bố nồng độ chất ô nhiễm không khí trong thành phố với tốc độ gió, kết quả cho thấy diện tích vùng bị ô nhiễm trong thành phố sẽ lớn nhất khi gió có tốc độ nhỏ 0 – 1m/s. Điều này thường phù hợp với các nguồn thải có chiều cao thấp (hình 4.3), diện tích vùng ô nhiễm được giới hạn bởi trục hoành với đường cong phân bố chất ô nhiễm.



Hình 4.3. Đường cong phân bố nồng độ khí SO_2 $C(\text{mg}/\text{m}^3)$ theo trục gió thổi phụ thuộc vào tốc độ gió đối với khí quyển bất ổn định (phát tán từ ống khói nhà máy cao su Sao Vàng – Thượng Đình, tính theo mô hình Berliand [7])

1. Tốc độ gió = 1m/s; 2. Tốc độ gió = 3m/s.

2. Ảnh hưởng của nhiệt độ

a) Ảnh hưởng của độ ổn định (phân tầng nhiệt của khí quyển) [3]

Sự lan truyền của chất ô nhiễm theo phương thẳng đứng trong lớp biên chủ yếu phụ thuộc vào mức độ ổn định của khí quyển, tức là phụ thuộc vào phân tầng kết nhiệt. Đổi lưu tự do gây ra sự phát tán mạnh của chất ô nhiễm theo thể tích và độ dày của lớp xáo trộn xác định giới hạn trên của thể tích này.

Do vậy, điều kiện tốt nhất để phát tán bụi và chất ô nhiễm là ứng với tầng kết nhiệt bất ổn định mạnh cũng như sự phát triển khá cao của lớp xáo

trộn. Điều đó cũng xảy ra khi bầu trời quang mây hoặc nắng vào mùa hè. Ngược lại, điều kiện xấu để phát tán ứng với hiện tượng nghịch nhiệt khi trong lớp biên có tầng kết ổn định. Trong trường hợp này rối và chuyển động thẳng đứng xảy ra rất yếu, do đó các chất ô nhiễm khó phát tán lên trên và gây ô nhiễm nặng lớp không khí sát đất.

Theo định nghĩa, sự tăng nhiệt độ theo độ cao gọi là hiện tượng nghịch nhiệt. Nghịch nhiệt này sinh khi không khí bị lạnh đi ở phía dưới (thường ảnh hưởng của những nhân tố bức xạ) và nóng lên ở phía trên (chẳng hạn khi có quá trình giảm đoạn nhiệt), cũng như khi xuất hiện bình lưu nóng hay không khí lạnh.

b) *Nghịch nhiệt bức xạ*

Sự hình thành của nghịch nhiệt bức xạ đơn giản, với sự lạnh đi của bề mặt Trái Đất do hiệu ứng phát xạ của bề mặt Trái Đất vào khí quyển. Nghịch nhiệt như vậy có thể lan truyền đến độ cao 50 – 100m. Nghịch nhiệt bức xạ xảy ra đối với những lớp thấp của khí quyển vào những đêm quang mây và gió yếu. Cường độ và độ kéo dài theo phương thẳng đứng của lớp nghịch nhiệt có thể tăng lên bởi gió. Về mùa đông, những đêm ở cực thuộc vùng vĩ độ cao nghịch nhiệt có thể tồn tại tới một vài tuần.

Sự lạnh đi của bề mặt trái dưới do bay hơi cũng có thể dẫn tới xuất hiện nghịch nhiệt ở lớp không khí sát đất trong những giờ ban ngày khi thời tiết tốt. Cần lưu ý rằng, hiệu ứng do bụi cây nhỏ ở xa mạc trùng hợp với sự xuất hiện nghịch nhiệt, bởi vì không khí khô nóng trượt trên mặt đệm lạnh ẩm. Mưa rào vào mùa hè cũng có thể làm lạnh mặt đệm do bay hơi và tạo ra profin nghịch nhiệt của nhiệt độ.

c) *Nghịch nhiệt bình lưu*

Nghịch nhiệt bình lưu thường kèm theo front. Vì front di chuyển nên nghịch nhiệt xuất hiện ở vùng nào đó ít ảnh hưởng đến sự phát tán bụi.

Nghịch nhiệt bình lưu cũng hình thành khi có sự trượt của không khí nóng bên trên bề mặt đệm lạnh.

Nhiệt độ của không khí có ảnh hưởng đến phân bố nồng độ chất ô nhiễm trong không khí gần mặt đất. Tính năng hấp thụ và bức xạ nhiệt của mặt đất ảnh hưởng đến sự phân bố nhiệt độ không khí theo chiều thẳng đứng. Trong điều kiện thông thường thì càng lên cao nhiệt độ không khí càng giảm, gradien nhiệt độ thẳng đứng vào khoảng $0,6 - 1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$.

Tuỳ theo trạng thái bề mặt trái dưới và địa hình khác nhau mà trị số gradien theo chiều thẳng đứng của nhiệt độ cũng khác nhau. Người ta phân biệt nghịch nhiệt ở sát mặt đất và nghịch nhiệt ở tầng cao. Nghịch nhiệt này có ảnh hưởng làm suy yếu sự trao đổi đối lưu, làm giảm sự khuếch tán nên làm tăng nồng độ hơi độc hại trong không khí gần mặt đất. Thủ hoả bị ngộ độc vì nồng độ chất ô nhiễm lớn ở thung lũng sông Manse nước Bỉ có liên quan đến hiện tượng nghịch nhiệt này và tương tự như vậy đã xảy ra nhiều lần ở London, Los Angioles, v.v...

Nghịch nhiệt có tính địa phương, vì vậy, khi xây dựng nhà máy ở một địa điểm mà ta phỏng đoán có thể xảy ra hiện tượng nghịch nhiệt thì phải nghiên cứu rất kỹ điều kiện khí hậu nơi đó. Điều quan trọng là các miệng ống thải chất độc hại phải đặt cao hơn tầng nghịch nhiệt. Theo [16], khi có tầng nghịch nhiệt mà giới hạn dưới của tầng nghịch nhiệt này nằm trên nguồn thải chất ô nhiễm sẽ làm tăng 50 – 100% nồng độ chất ô nhiễm vùng không khí sát mặt đất.

Theo tính toán, nồng độ chất độc hại do nguồn cao 100 – 150m thải ra trong vùng gió lặng sẽ tăng lên khoảng 70% so với trường hợp không có hiện tượng lặng gió.

Đối với trường hợp nguồn thải thấp thì *nguy hiểm nhất là xảy ra sự trùng hợp hiện tượng nghịch nhiệt và tốc độ gió yếu*. Nguy hiểm nhất là đối với các nguồn thải chất độc hại ngoài (như là ở các nhà máy hoá chất) mà tầng nghịch nhiệt nằm kề với nguồn thải, xảy ra trùng hợp với lúc gió yếu. Giải bài toán về sự phân bố chất độc hại trong không khí khi xảy ra hiện tượng nghịch nhiệt và lặng gió là vô cùng khó khăn. Do đó người ta thường xác định chúng bằng cách mô phỏng trong phòng thí nghiệm.

Nhưng trong thực tế không phải lúc nào cũng cần phải giải bài toán này chính xác. Khi thiết kế các khu công nghiệp đã xét kỹ hướng gió thịnh hành thì xác suất xảy ra các hiện tượng trên không vượt quá 25%.

3. Ảnh hưởng của độ ẩm và mưa

Trong điều kiện độ ẩm lớn, các hạt bụi lơ lửng trong không khí có thể liên kết với nhau thành các hạt to hơn và rơi nhanh xuống đất. Từ mặt đất các vi sinh vật phát tán vào không khí, độ ẩm lớn tạo điều kiện vi sinh vật phát triển nhanh chóng và bám vào các hạt bụi ẩm lơ lửng trong không khí lan truyền đi xa, gây ra truyền nhiễm bệnh. Độ ẩm còn có tác dụng hoá học với các chất khí thải công nghiệp, ví dụ SO_2 , SO_3 hoá hợp với hơi nước trong

không khí tạo thành H_2SO_3 và H_2SO_4 . Mưa có tác dụng làm sạch môi trường không khí, nhưng các hạt mưa kéo theo các hạt bụi và hoà tan một số chất độc hại rồi rơi xuống đất, gây ô nhiễm đất và ô nhiễm nước. Mưa làm sạch bụi ở các lá cây, do đó làm tăng khả năng hút bụi của các dải cây xanh cách ly bảo vệ khu dân cư.

4.3.2. Ảnh hưởng của địa hình đối với sự phân bố chất ô nhiễm

Địa hình, thậm chí các gò đồi, đồi núi, công trình với độ cao không lớn lắm, cũng ảnh hưởng đến khí hậu và sự phân bố chất ô nhiễm. Các nghiên cứu thực nghiệm chứng tỏ rằng, không khí ở phía sau đồi, gò, phía sau gió có nồng độ chất ô nhiễm lớn hơn. Điều này có thể giải thích là phía sau đồi có áp lực gió giảm.

Hướng chuyển động và áp lực của dòng không khí sát mặt đất trong khu vực có đồi núi khác xa với hướng và tốc độ gió ở không khí “tự do” cao hơn đồi núi hay ở các vùng trống trải.

Ngoài ra, còn phải chú ý đến các hoàn lưu địa phương như *hoàn lưu đất – biển, gió thổi từ biển vào đất liền và ngược lại, hoàn lưu núi – thung lũng*, tức là luồng gió lạnh thổi theo sườn núi từ đỉnh xuống thung lũng. Khi xây dựng công nghiệp ở vùng có nhiều đồi núi, tốt nhất là đặt nhà máy ở trên đỉnh đồi hay trên sườn đồi về phía cuối của hướng gió thịnh hành, còn khu dân cư đặt ở thung lũng hoặc sườn đồi đón gió. Khu gang thép Thái Nguyên đã quy hoạch vị trí khu dân cư và nhà máy ngược với nguyên tắc này. Các địa điểm ở ven biển trong phạm vi khoảng 100km cách bờ cát lưu ý đến hoàn lưu đất – biển vì lý do thay đổi ngược lại vào ban ngày và ban đêm của hoàn lưu này.

4.3.3. Ảnh hưởng của nhà và công trình đối với sự phân bố chất ô nhiễm trong môi trường không khí

Trong khu công nghiệp, sự chuyển động của không khí cùng với các phân tử bụi và hơi khí chứa trong nó khác với ở trong vùng trống trải (không có vật cản). Nhà cửa, công trình sẽ làm thay đổi trường vận tốc của không khí. Ở phía trên công trình, vận tốc chuyển động của không khí tăng lên; phía sau công trình, vận tốc không khí giảm xuống và đến khoảng cách xa nào đó vận tốc gió mới đạt tới trị số ban đầu của nó. Ở phía trước công trình, một phần động năng của gió biến thành thế năng và tạo thành áp lực dư; ở

phía sau công trình có hiện tượng gió xoáy và làm loãng không khí, tạo ra áp lực âm. Ngoài ra, trong khu vực công nghiệp, còn có các dòng không khí chuyển động do các nguồn nhiệt công nghiệp thải ra, cũng như các lượng nhiệt bức xạ Mặt Trời đốt nóng các mái nhà, đường sá và sân bãi gây nên sự chênh lệch nhiệt độ và tạo thành sự chuyển động của không khí ảnh hưởng trực tiếp đến sự phân bố các chất ô nhiễm.

Trên đây là một số các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình lan truyền chất ô nhiễm trong khí quyển (bao gồm các yếu tố tự nhiên cũng như các yếu tố tác động của con người) và các yếu tố này có ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng môi trường không khí.

4.4. CÁC PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH LAN TRUYỀN CHẤT Ô NHIỄM TRONG LỚP BIÊN KHÍ QUYỂN

Để đánh giá mức độ ô nhiễm môi trường không khí gây ra tại một vùng nào đó, trên thế giới cũng như ở Việt Nam hiện nay thường sử dụng các phương pháp sau:

4.4.1. Phương pháp thực nghiệm

Đo đạc khảo sát tại nhiều điểm trên hiện trường của vùng khảo sát sau đó bằng phương pháp thống kê để phân tích, xử lý số liệu và đánh giá hiện trạng ô nhiễm không khí vùng đó. Việc đánh giá chất lượng môi trường không khí theo chỉ tiêu riêng lẻ (nồng độ chất ô nhiễm được đối sánh với nồng độ giới hạn cho phép theo TCVN) hoặc theo chỉ tiêu tổng hợp đã được trình bày trong [10].

4.4.2. Phương pháp mô hình hóa [8]

Ngày nay, toán học đã xâm nhập vào nhiều lĩnh vực khoa học, góp phần giải quyết nhiều vấn đề phức tạp đặt ra trong các hoạt động của con người. Nhất là khi máy tính điện tử với nhiều thế hệ khác nhau liên tiếp ra đời đã giúp chúng ta giải nhiều bài toán có khối lượng tính toán lớn.

Các phương pháp mô hình hóa rất đa dạng, có thể đơn giản nhưng đôi khi lại khá phức tạp thuộc vào từng bài toán cụ thể. Vì vậy, rất khó có mô hình giải quyết triệt để hoặc trọn vẹn bài toán đặt ra. Thông thường, có nhiều người cho rằng không thể tin được các kết quả tính toán từ các mô hình, một số người khác lại lý tưởng hóa các kết quả này hoặc đòi hỏi độ

chính xác của chúng quá cao. Nếu hiểu thấu đáo về mô hình và có khả năng nhận biết độ chính xác của kết quả, chúng ta mới có thể áp dụng phương pháp này.

Hiện nay, mô hình hoá được ứng dụng khá phổ biến trong các lĩnh vực khác nhau. Ở Việt Nam, trong những năm gần đây, hướng sử dụng mô hình hoá đang phát triển, nhiều phần mềm đã được xây dựng hoặc nhập từ nước ngoài mà thực chất là các chương trình tính toán và dự báo để giải quyết các bài toán thực tế khác nhau.

Trong quá trình đánh giá tác động môi trường, chúng ta có thể sử dụng các mô hình để đánh giá khả năng lan truyền chất ô nhiễm, mức độ ô nhiễm, ước tính giá trị các thông số chi phí lợi ích, v.v... Trong phần lớn các báo cáo đánh giá tác động môi trường đều trình bày phương pháp này cũng như kết quả tính toán định lượng. Mô hình thông dụng nhất là mô hình lan truyền chất ô nhiễm trong môi trường không khí và nước, mô hình tính toán chi phí lợi ích mở rộng cùng với hiệu quả kinh tế của dự án.

1. Đối tượng của mô hình hoá

Có thể nói, mọi yếu tố, quá trình, hiện tượng có thể xác định một cách định tính thì đều có thể định lượng hoá và mô hình hoá. Nếu kết luận định tính chỉ nêu được mức độ rộng, hẹp; cao, thấp; to, nhỏ; nhiều, ít, v.v... của các đối tượng thì sử dụng mô hình hoá có thể ước lượng giá trị của chúng.

Đối tượng của mô hình hoá rất đa dạng, có thể chỉ là hiện tượng đơn giản, song, có khi lại là quá phức tạp với sự phụ thuộc lẫn nhau của rất nhiều yếu tố trong đó.

Như vậy, khi nghiên cứu một hiện tượng, một quá trình, chúng ta thường đặt câu hỏi liệu có thể mô hình hoá chúng được không và hướng mô hình hoá như thế nào?

2. Công cụ dùng trong mô hình hoá

Các công cụ chính dùng trong mô hình hoá là các kiến thức toán học, vật lý học, hoá học, v.v... cộng với sự hiểu biết về đối tượng sẽ được mô hình hoá. Vì vậy, mô hình hoá một vấn đề không phải chỉ do những nhà toán học thực hiện mà còn có sự đóng góp của nhiều nhà khoa học với chuyên môn khác nhau.

3. Thiết lập bài toán

Để thiết lập và giải bài toán theo hướng mô hình hoá một hiện tượng, một quá trình cụ thể phải có sự đóng góp của hai khối kiến thức chính: **Khối kiến thức chuyên môn và khối kiến thức toán – tin**. Nếu bài toán đơn giản thì người làm công tác chuyên môn thuộc lĩnh vực gần với quá trình, hiện tượng xảy ra có thể tự đặt và giải bài toán. Song, nếu quá trình xảy ra phức tạp thì việc đặt bài toán phải có sự kết hợp giữa người làm công tác chuyên môn và các nhà toán học, tin học.

a) Về phía các nhà chuyên môn

Phải hiểu rõ các hiện tượng cũng như sự phát triển của nó. Ngoài ra, phải xác định được phạm vi không gian, thời gian cũng như các yếu tố quyết định quá trình và cách đo đạc hoặc xác định chúng. Một vấn đề quan trọng khác phải được nắm vững đó là các quy luật quyết định các hiện tượng này và sự thay đổi các yếu tố trong quá trình phát triển.

Phải hiểu các công cụ toán học, tin học có giải quyết vấn đề đặt ra được không. Điều này hết sức quan trọng, bởi vì, nếu đặt ra vấn đề quá phức tạp thì đôi khi không giải quyết được. Do đó, thường phải tìm cách đơn giản hoá vấn đề đến mức có thể giải quyết được, sau đó mới đưa thêm các thông số bổ sung khi thấy cần thiết.

Người lập bài toán phải liệt kê được các tham số của mô hình, khoảng giá trị của chúng, khả năng xác định chúng thông qua đo đạc hoặc tính toán. Đôi khi các giá trị đặc trưng của các tham số này có thể lấy từ các tài liệu thống kê hoặc sử dụng các tài liệu đã công bố.

b) Về phía chuyên gia toán tin

- Dựa vào cách đặt vấn đề của các nhà chuyên môn để hình dung mô hình, tái tạo mô hình thông qua các sơ đồ logic biểu diễn sự phụ thuộc lẫn nhau giữa các yếu tố mô hình. Thường thì các mối quan hệ được thể hiện qua các định luật vật lý, hoá học, sinh học,... hoặc phải mô phỏng qua các hàm toán học thích hợp.

- Tìm thuật toán.

- Lập trình để giải các bài toán.

Như vậy, rõ ràng là để thiết lập bài toán có thể giải được, việc kết hợp giữa các nhà chuyên môn và các chuyên gia toán tin hết sức quan trọng và có tính quyết định.

4. Các bước mô hình hóa

a) Chọn đề tài

Việc chọn đề tài thường do yêu cầu thực tiễn đặt ra. Trong phạm vi lĩnh vực sử dụng tài nguyên và bảo vệ môi trường, có thể nêu một số bài toán sau:

i) Bài toán sử dụng hợp lý tài nguyên

Đối với tài nguyên tái tạo được như rừng, thuỷ hải sản, đất,... phải đặt vấn đề sử dụng lâu bền, tiến tới trữ lượng phải được bảo đảm ổn định ở mức nào đó. Muốn vậy, phải xác định được mức khai thác hợp lý để không làm cạn kiệt tài nguyên mà vẫn thu được hiệu quả kinh tế cao. Ngoài ra, phải chú ý đến việc sử dụng tài nguyên này không làm ảnh hưởng đến nhiều nguồn tài nguyên khác.

ii) Bài toán đánh giá hiện trạng ô nhiễm môi trường và tác động môi trường

Trong quá trình thực hiện báo cáo đánh giá tác động môi trường, ta thường phải xét khả năng gây ô nhiễm do các dự án gây nên. Nhiều nhóm nghiên cứu đã tiến hành đo đạc các giá trị nồng độ các chất ô nhiễm xung quanh nơi đặt dự án và dùng nó để đánh giá. Song, do thời gian quá ngắn, số điểm đo ít, máy móc, thiết bị có độ chính xác thấp, các yếu tố đo thay đổi liên tục và chưa có quy trình đo thống nhất, đồng bộ với các yếu tố khác nên hiệu quả của đánh giá không cao. Hơn nữa, đối với các dự án đang trong giai đoạn xin giấy phép hoạt động, việc đo đạc không phản ánh được hoạt động của dự án. Vì vậy, chúng ta phải sử dụng công cụ mô hình hóa để tính toán mô phỏng bức tranh phân bố nồng độ các chất ô nhiễm và khả năng tác động của chúng. Dùng phương pháp này chúng ta còn có thể xem sự thay đổi theo thời gian của các yếu tố trong một chu kỳ đủ dài.

Ví dụ, xét bài toán đánh giá mức độ ô nhiễm không khí do phát thải từ một ống khói nhà máy và khả năng tác động của chúng đến sức khoẻ con người và hệ sinh thái vùng xung quanh.

Đây là bài toán được nhiều người quan tâm giải quyết theo chiều hướng khác nhau, nhiều mô hình đã được thiết lập để giải. Theo thống kê thì có tới vài chục mô hình tính toán lan truyền chất ô nhiễm trong khí quyển, song, người ta thường sử dụng hai mô hình chính là *mô hình Gauss* cùng *các mô*

hình cài tiến (được dùng nhiều ở các nước phương Tây) và *mô hình Berliand* (được dùng nhiều ở Liên Xô và các nước Đông Âu).

Số liệu đầu vào của mô hình này bao gồm:

- Các tham số về nguồn thải (độ cao nguồn, đường kính miệng thải, mức thải chất ô nhiễm, nhiệt độ khí thải, tốc độ phụt tại miệng ống khói).
- Các số liệu khí tượng (tốc độ gió, hướng gió, nhiệt độ không khí, mây,...).
- Các số liệu về địa hình, vật chăn.
- Các tham số về biến đổi của chất ô nhiễm trong khí quyển (khả năng phản ứng với các chất trong quá trình lan truyền).

Từ các số liệu ban đầu có thể ước tính các tham số của mô hình và tiến hành lập trình tính toán phân bố nồng độ các chất ô nhiễm. Để xét sự thay đổi theo thời gian và nồng độ chất ô nhiễm phải tính toán với khoảng thời gian đủ dài, ít nhất trong thời gian 1 năm. Vì vậy, khối lượng tính toán sẽ rất lớn, cần có sự trợ giúp của máy tính.

Trong thực tế, ta còn gặp bài toán đánh giá hiện trạng ô nhiễm không khí ở thành phố hay một khu công nghiệp khi có sự tác động đồng thời của nhiều nguồn thải khác nhau. Nguồn thải có thể là *nguồn điểm* (chẳng hạn miệng ống khói của nhà máy), *nguồn đường* (các dòng sông ô nhiễm, đường cao tốc với mật độ xe cao) hoặc *nguồn mặt* (nguồn phát thải bao gồm nhiều nguồn thu nhỏ, không thể tách riêng để tính). Đây là bài toán có khối lượng tính toán rất lớn nhưng cho kết quả tốt giúp ta hình dung bức tranh ô nhiễm của một khu vực nhất định.

b) Tổ chức thực hiện

Để thực hiện tốt, phải thành lập nhóm nghiên cứu đa ngành. Nhóm này bao gồm các nhà khoa học có chuyên môn liên quan đến bài toán. Các thành viên trong nhóm sẽ thảo luận để thực hiện hạng mục, chẳng hạn như:

- Thống nhất lại việc chọn đề tài và giới hạn bài toán.
- Trao đổi về khả năng thực hiện đề mục.
- Phân công thu thập số liệu, thực hiện đo đạc, khảo sát các yếu tố phục vụ cho việc xác định tham số.

Sau khi đã có số liệu cần thiết, có thể tiến hành lập trình giải bài toán. Thường việc lập trình theo các bước sau:

– Lập trình với giá trị đầu vào "giả".

– Chạy thử.

– In và nhận kết quả.

Nếu chấp nhận được kết quả chạy thử thì đưa số liệu thực vào tính toán.

c) *Thảo luận kết quả*

Thường thì độ chính xác của các kết quả đầu ra lúc đầu rất thấp và thiếu ổn định, điều này do nhiều yếu tố gây nên như lỗi chọn tham số, lỗi lập trình, lỗi ở số liệu đầu vào v.v... nên cần có sự đánh giá của nhiều chuyên gia. Cơ sở để thảo luận, đánh giá kết quả đầu ra bao gồm:

– Kiến thức của các chuyên gia về giá trị của các yếu tố đầu ra.

– So sánh giá trị tính được với giá trị đo và tính toán ở vùng khác, dự án khác đã kiểm tra.

– Kết quả đo kiểm tra (nếu có).

Hai điểm đầu mang tính thực thi cao hơn, nghĩa là nó chỉ phụ thuộc vào kiến thức của các chuyên gia, còn việc tiến hành đo đạc kiểm tra hết sức tốn kém, khó có thể thực hiện được trong điều kiện hiện nay ở Việt Nam.

d) *Hiệu chỉnh, thương mại hóa chương trình*

Sau khi đánh giá, rà soát lại các kết quả tính toán, chương trình cần phải hiệu chỉnh nâng cao và thương mại hóa để trở thành phần mềm có thể áp dụng rộng rãi hơn.

Việc hiệu chỉnh đòi hỏi rất khó khăn, đòi hỏi phải có sự kết hợp liên tục của các chuyên gia ở các lĩnh vực khác nhau. Sai sót mắc phải rất đa dạng, tiềm ẩn trong nhiều khâu nên rất khó phát hiện. Chẳng hạn, việc mô phỏng toán học không chính xác có thể cho kết quả đầu ra sai lệch quá xa với thực tế, đòi hỏi phải tìm hàm mô phỏng khác thay thế. Thường thì việc hiệu chỉnh phải qua một thời gian khá dài mới có thể kết thúc.

Khi chương trình cho kết quả đầu ra hợp lý thì phải nâng cao và thương mại hóa chúng. Việc nâng cao bao gồm cả việc mở rộng khối lượng tính toán, mở rộng khả năng áp dụng phần mềm trong thực tế.

Những năm gần đây, do tin học phát triển nên các bài toán mô hình hoá thường được giải thông qua các chương trình máy tính. Một chương trình hoàn hảo có thể coi là một phần mềm. Trước đây, các chương trình thường

được lập cốt sao cho tính được các yếu tố cần thiết là đủ. Ngày nay, các chương trình này đang dần dần được thương mại hoá, nghĩa là được nâng cao và đa dạng hoá các chức năng sử dụng để có thể cung cấp rộng rãi cho những người có nhu cầu.

e) Các tham số trong mô hình tính toán quá trình lan truyền chất ô nhiễm trong lớp biển khí quyển

Mô hình lan truyền chất ô nhiễm cần có các số liệu đầu vào, đó là:

Số liệu nguồn thải:

- Độ cao nguồn thải h (m).
- Đường kính miệng ống thải d (m).
- Mức thải Q (công suất nguồn thải, mg/s).
- Nhiệt độ khí thải tại miệng ống T_r ($^{\circ}$ C).
- Tốc độ phụt tại miệng ống thải V_s (m/s).

Các số liệu khí tượng:

- Tốc độ gió tại một mực nào đấy, chẳng hạn tại mực 10m (U_{10} (m/s)).
- Nhiệt độ không khí tại mực trạm T_k ($^{\circ}$ C).
- Hướng gió θ tính theo đơn vị góc.
- Lượng mây (tính bằng phần mười bầu trời).

Số liệu địa hình, vật chấn:

- Kích thước vật chấn, núi, đồi v.v...
- Vị trí vật chấn, núi đồi v.v... so với vị trí phát thải.

Số liệu về tốc độ suy yếu hoặc gia tăng chất ô nhiễm trong khí quyển (sự biến đổi hóa học hoặc liên kết):

Số liệu về nguồn thải, còn được gọi là *các thông số nguồn thải* hay *các tham số công nghệ* trong mô hình toán. Các số liệu còn lại không phải là số liệu của nguồn thải được gọi là *các tham số phi công nghệ*.

Hai số liệu sau (số liệu về địa hình và quá trình biến đổi hóa học hoặc liên kết) chỉ được xét đến khi điểm thải nằm ở vùng có địa hình, vật chấn kích thước lớn và loại chất thải có thể suy giảm hoặc tăng cường trong quá trình vận chuyển.

Việc nhập số liệu đầu vào có thể được thực hiện bằng phương thức nhập trực tiếp bằng bàn phím trong thời điểm chạy mô hình hoặc qua file số liệu chuẩn bị sẵn.

f) Các bước giải bài toán trên máy tính, các sai số và việc hạn chế những sai số

Từ một bài toán thực tế để lập được chương trình và giải nó trên máy tính cần qua các bước sau:

- Mô hình toán học cho bài toán thực tế.
- Xây dựng thuật toán để giải được bài toán trên máy.
- Lập chương trình chạy trên máy.
- Chạy chương trình trên máy.
- In ra kết quả.

Trên thực tế việc giải các bài toán trên máy tính thường gặp những sai số do nhiều nguyên nhân khác nhau và những sai số nói trên có thể được giảm thiểu cùng với các yếu tố sau:

f1. Mô hình toán học

Để mô hình hoá toán học một bài toán thực tế chúng ta thường đưa ra những giả thiết để đơn giản hoá bài toán, làm như vậy thực tế chúng ta đã bỏ qua những "ảnh hưởng nhỏ" của bài toán. Sai số của bước này chủ yếu do phân tích các điều kiện của bài toán không triệt để gây ra. Ngày nay, với khả năng tính toán nhanh và chính xác cao của máy tính chúng ta có thể lập mô hình toán học cho bài toán thực tế chi tiết hơn, nâng cao độ chính xác của kết quả.

f2. Thuật toán

Thuật toán có ảnh hưởng rất lớn đến độ chính xác của kết quả. Độ chính xác của kết quả vừa phụ thuộc vào bài toán, vừa phụ thuộc vào thuật toán ta chọn. Nếu chọn thuật toán sai thì sẽ có một kết quả sai. Nếu chọn thuật toán không thích hợp chúng ta sẽ thu được một kết quả có sai số lớn; và để tránh sai sót này chúng ta cũng nên kiểm tra kết quả bằng cách dùng nhiều thuật toán khác nhau nếu có thể được, hoặc kiểm tra độ chính xác của thuật toán bằng những ví dụ đặc biệt, sao cho thử nghiệm hết mọi trường hợp xảy ra.

f3. Các lỗi trong chương trình

Các lỗi này thường do kỹ thuật lập trình gây ra, các sai sót thường được thông báo trên màn hình để chúng ta chỉnh sửa.

f4. Sai số do nhập số liệu

Để hạn chế sai số do số liệu, chúng ta xử lý số liệu ban đầu trước khi nhập số liệu, đồng thời khi nhập số liệu cũng hay có sai sót. Để tránh nhập số liệu sai trong chương trình, chúng ta nên đưa vào đoạn kiểm tra và sửa số liệu trên màn hình.

f5. Sai số do tính toán

Sai số này khi chạy chương trình trên máy thường do sự hạn chế về khả năng chứa của ô nhớ, ta gọi sai số loại này là sai số làm tròn. Để hạn chế sai số loại này, đối với các biến dễ gây ra sai số, ta dùng hai ô nhớ để chứa chúng.

4.4.3. Phương pháp thống kê [7]

1. Đại lượng ngẫu nhiên (DLNN)

Đại lượng ngẫu nhiên là đại lượng khi tiến hành một loạt các phép thử khác nhau trong cùng một điều kiện thì nó có thể nhận giá trị này hoặc giá trị khác không biết trước với một xác suất nào đó.

2. Kỳ vọng toán học và phép tính trung bình hoá

Kỳ vọng toán của đại lượng ngẫu nhiên X được xác định bởi công thức:

$$M[X] = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f(x) dx \quad (4.1)$$

Ở đây, x – các giá trị của đại lượng ngẫu nhiên X, còn f(x) là hàm mật độ phân bố xác suất của X.

Từ công thức (4.1) suy ra, để tính được kỳ vọng toán của đại lượng ngẫu nhiên X cần phải biết dạng giải tích của f(x) xác định trên một khoảng vô hạn của x. Tuy nhiên, trong các bài thực tế thì điều này không phải bao giờ cũng xác định được dạng tường minh của f(x), và thực tế chỉ có một chuỗi số liệu liên tục hoặc rời rạc ứng với một khoảng hữu hạn nào đó của các giá trị x. Để khắc phục điều này, trong lý thuyết thống kê vật lý ứng dụng, người ta thay phép lấy kỳ vọng toán xác định bởi công thức (4.1) bằng phép tính lấy trung bình thống kê và coi đây là phép tính gần đúng của kỳ vọng toán, nghĩa là:

$\bar{\bar{X}} \approx M[X]$ (ký hiệu gạch ngang ứng với ký hiệu trung bình thống kê), các phép tính trung bình thống kê cũng tuân thủ như các phép tính lũy kỲ vọng toán như sau:

$$\bar{\bar{\bar{X}}} = \bar{\bar{X}} \quad (4.2)$$

$$\bar{\bar{X}} \pm \bar{\bar{Y}} = \bar{\bar{X}} \pm \bar{\bar{Y}} \quad (4.3)$$

Nếu $X' = X - \bar{\bar{X}}$ được gọi là nhiễu động (xung động) của đại lượng ngẫu nhiên X, thì từ (4.3) suy ra:

$$\bar{\bar{X}}' = \bar{\bar{X}} - \bar{\bar{\bar{X}}} = \bar{\bar{X}} - \bar{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - \bar{\bar{X}} = 0 \quad (4.4)$$

$$\bar{\bar{X}} \cdot \bar{\bar{Y}} = \bar{\bar{X}} \cdot \bar{\bar{Y}} + \bar{\bar{X}}' \cdot \bar{\bar{Y}}' \quad (4.5)$$

Trong đó, $\bar{\bar{X}}' \cdot \bar{\bar{Y}}' = m_{xy}$ được gọi là mômen tương quan của X và Y.

$$\frac{\partial \bar{\bar{X}}}{\partial x} = \frac{\partial \bar{\bar{X}}}{\partial x} \quad (4.6)$$

3. Các đặc trưng số của đại lượng ngẫu nhiên

Khi ứng dụng đại lượng ngẫu nhiên trong các bài toán thực tế, người ta thường sử dụng các đặc trưng số sau đây:

– Giá trị trung bình $\bar{\bar{X}}$

– Phương sai:

$$\delta_x^2 = \bar{\bar{X}}'^2 \quad (4.7)$$

– Độ lệch chuẩn:

$$\delta_x = \sqrt{\bar{\bar{X}}'^2} \quad (4.8)$$

– Hệ số biến động:

$$I_x = \frac{\delta_x}{\bar{\bar{X}}} \quad (4.9)$$

4. Hàm ngẫu nhiên

a) Quá trình ngẫu nhiên

Nếu đại lượng ngẫu nhiên X biến đổi theo thời gian t, nghĩa là $X = X(t)$ thì trong trường hợp này X được gọi là quá trình ngẫu nhiên.

b) Các đặc trưng thống kê của quá trình ngẫu nhiên

Các đặc trưng thống kê của quá trình ngẫu nhiên $X(t)$ được xác định bởi các đặc trưng số như giá trị trung bình $\bar{X}(t)$, phương sai δ_x^2 , độ lệch chuẩn δ_x , hệ số biến động I_X , ngoài ra còn sử dụng hai đặc trưng cơ bản sau:

b1. Hàm tương quan thời gian

$$R_x(t_1, t_2) = \overline{X'(t_1)X'(t_2)} \quad (4.10)$$

Ý nghĩa: Hàm tương quan thời gian của quá trình $X(t)$ biểu thị mối quan hệ thống kê của X tại hai thời điểm t_1 và t_2 .

b2. Hàm cấu trúc thời gian

$$D_x(t_1, t_2) = \overline{[X(t_2) - X(t_1)]^2} \quad (4.11)$$

Ý nghĩa: Hàm cấu trúc thời gian của quá trình ngẫu nhiên $X(t)$ biểu thị tính khả biến của X tại hai thời điểm t_1 và t_2 .

b3. Các hàm tương quan và hàm cấu trúc thời gian chuẩn hóa

Để thuận lợi trong việc đánh giá, so sánh mức độ tương quan thống kê của các quá trình ngẫu nhiên có thứ nguyên khác nhau (đơn vị khác nhau), người ta chuẩn hoá các hàm $R_x(t_1, t_2)$, $D_x(t_1, t_2)$ về dạng vô thứ nguyên, cách biểu diễn các hàm này dưới dạng vô thứ nguyên được gọi tương ứng là các hàm chuẩn hoá.

– Hàm tương quan chuẩn hoá của quá trình ngẫu nhiên được xác định bởi công thức sau:

$$r_x(t_1, t_2) = \frac{R_x(t_1, t_2)}{\delta_x(t_1) \cdot \delta_x(t_2)} \quad (4.12)$$

– Hàm cấu trúc chuẩn hoá của $X(t)$ được xác định bởi công thức sau:

$$d_x(t_1, t_2) = \frac{D_x(t_1, t_2)}{X(t_1) \cdot X(t_2)} \quad (4.13)$$

Hoặc đôi khi còn biểu diễn dưới dạng:

$$d_X(t_1, t_2) = \frac{D_X(t_1, t_2)}{\delta_X(t_1) \cdot \delta_X(t_2)} \quad (4.13')$$

Về ý nghĩa vật lý, các hàm chuẩn hoá có ý nghĩa tương tự như các hàm $R_X(t_1, t_2)$ và $D_X(t_1, t_2)$.

c) Các trường ngẫu nhiên

Nếu X biến đổi theo không gian, nghĩa là $X = X(\vec{r})$, trong đó \vec{r} là bán kính vectơ trong không gian thì X được gọi là *trường ngẫu nhiên*. Trong trường hợp này, để ứng dụng vào các bài toán thực tế, người ta cũng sử dụng các đặc trưng số và các hàm tương quan, hàm cấu trúc không gian như sau:

$$R_X(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \overline{X'(\vec{r}_1) \cdot X'(\vec{r}_2)} \quad (4.14)$$

$$D_X(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \overline{[X(\vec{r}_1) - X(\vec{r}_2)]^2} \quad (4.15)$$

Và các hàm tương quan, hàm cấu trúc không gian chuẩn hoá $r_X(\vec{r}_1, \vec{r}_2)$, $d_X(\vec{r}_1, \vec{r}_2)$ tương tự như $r_X(t_1, t_2)$, $d_X(t_1, t_2)$

d) Tính Egodic

Việc tiến hành trung bình hoá các đặc trưng của quá trình ngẫu nhiên hoặc trường ngẫu nhiên tuân thủ các phép tính trung bình hoá theo tập hợp các thể hiện, hoặc theo một thể hiện dựa trên giả thiết về tính Egodic của quá trình hay trường ngẫu nhiên. Nội dung của giả thiết này như sau: Nếu quá trình ngẫu nhiên $X(t)$, hoặc trường ngẫu nhiên $X(\vec{r})$ biến đổi trên khoảng đủ lớn ($T \rightarrow \infty$, ở đây T là độ dài của biến số thời gian hoặc không gian lấy trung bình) thì *thay thế cho việc lấy trung bình thống kê theo tập hợp thể hiện bằng phép lấy trung bình thống kê bởi một thể hiện*. Giả thiết này rất thuận lợi trong việc phân tích, xử lý và đánh giá đối với các quá trình ngẫu nhiên xảy ra trong thực tế. Điều kiện để áp dụng được tính Egodic còn phụ thuộc vào từng bài toán cụ thể và trình độ chuyên môn của người tiếp cận với lý thuyết hàm ngẫu nhiên.

Trong thực tế, hầu hết các yếu tố môi trường không khí như tốc độ gió, nhiệt độ, độ ẩm (các yếu tố khí tượng), và bụi lơ lửng, các chất khí SO_2 ,

CO, NO_x, O₃, v.v... đều có thể xem chúng như những quá trình và trường ngẫu nhiên, các đại lượng này có nồng độ biến đổi theo không gian và thời gian. Vì thế ứng dụng phương pháp thống kê là rất thuận lợi để đánh giá tính biến động của chúng theo không gian và thời gian. Các mô hình tính toán và dự báo tính biến động hoặc xu thế biến động của các yếu tố môi trường xây dựng theo hướng này được gọi là *các mô hình rời thống kê*. Cơ sở của lý thuyết rời thống kê được áp dụng trong thực tế là các quy luật về tính khả biến của các yếu tố môi trường với giả thiết quá trình ngẫu nhiên là *dừng và trường rời là đồng nhất*, hoặc *đảng hướng thống kê*, lần đầu tiên do Cônômôgôrốp và Ôbukhốp thiết lập. Ứng dụng cơ sở lý thuyết này để cải tiến việc xác định các tham số đầu vào trong các mô hình tính toán quá trình lan truyền chất ô nhiễm trong môi trường không khí sao cho phù hợp với điều kiện Việt Nam sẽ được trình bày ở chương VI.

4.4.4. Phương pháp hồi quy tuyến tính

Các đại lượng thực tế khi đo đạc thường không được trơn tru, thẳng tắp như đường thẳng mà nó là một đường cong ziczac và được gọi là đường cong thực tế. Căn cứ vào hình dáng của đường cong thực tế, người ta điều tiết nó bằng một đường hồi quy lý thuyết, biểu diễn dưới dạng một hàm số. Thông thường nhiều bài toán trong thực tế dạng hồi quy lý thuyết được mô phỏng bằng một hàm tuyến tính bậc nhất:

$$\tilde{y} = ax + b \quad (4.16)$$

Trong đó:

\tilde{y} – Các trị số điều chỉnh của hàm hồi quy tuyến tính.

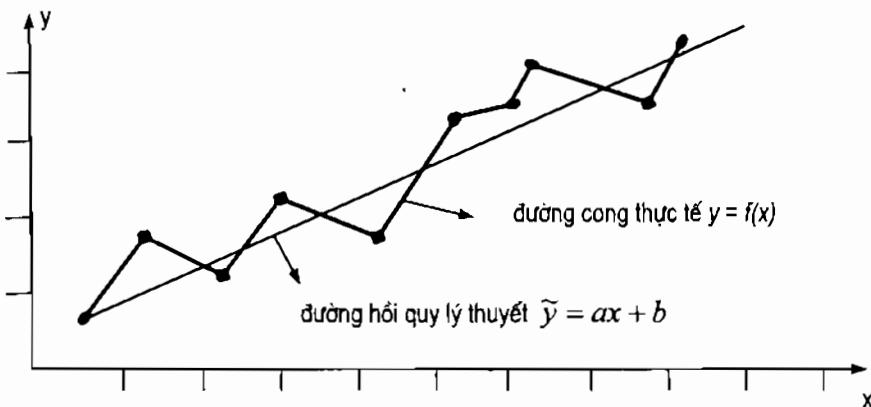
a,b – Các tham số hồi quy.

Phương trình (4.16) được gọi là phương trình hồi quy tuyến tính (hình 4.4). Sau khi đã xác định được dạng của phương trình hồi quy, dựa vào đường cong thực tế $y = f(x)$ để xác định giá trị cụ thể của các tham số. Thông thường thì các tham số của phương trình hồi quy được tính toán bằng phương pháp bình phương tối thiểu, nghĩa là:

$$S = \sum(y - \tilde{y}_x)^2 = \min \text{ hay } S = \sum(y - ax - b)^2 = \min \quad (4.17)$$

Muốn vậy, lấy đạo hàm riêng hai vế của (4.17) theo các tham số cần tìm, sau đó đặt các đạo hàm này bằng không, ta sẽ có hệ phương trình sau:

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial b} = 0 \end{cases} \quad (4.18)$$



Hình 4.4. Đồ thị biểu diễn đường hồi quy lý thuyết \hat{y} và đường cong thực tế y .

Giải hệ này ta được:

$$\begin{cases} \sum y = n.a + \sum x \\ \sum x.y = a \cdot \sum x + b \cdot \sum x^2 \end{cases} \quad (4.19)$$

Từ hệ phương trình này, bằng một vài phép biến đổi đơn giản ta được các công thức sau đây:

$$b = \frac{\bar{x} \cdot \bar{y} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sigma_x^2} \quad (4.20)$$

$$a = \bar{y} + b \cdot \bar{x}$$

Trên đây là nội dung của phương pháp bình phương tối thiểu (least square) dựa trên hàm tương quan của các đại lượng ngẫu nhiên. Phương pháp này sẽ được sử dụng trong phần tiếp theo khi tính toán các đại lượng trong các tham số của mô hình.

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG IV

1. Các nguồn gây ô nhiễm môi trường không khí.
2. Các chất gây ô nhiễm môi trường không khí.
3. Định nghĩa và phân loại bụi.
4. Các yếu tố khí tượng và địa hình ảnh hưởng đến quá trình lan truyền chất ô nhiễm.
5. Phân tích ảnh hưởng của profin gió, tầng kết và các dạng nghịch nhiệt đến quá trình lan truyền chất ô nhiễm trong khí quyển.
6. Trình bày các bước trong phương pháp mô hình hóa đối với bài toán lan truyền chất ô nhiễm trong lớp biên khí quyển.
7. Trình bày phương pháp thống kê ứng dụng trong nghiên cứu đánh giá tính biến động của các chất ô nhiễm trong lớp biên khí quyển.
8. Hàm tương quan và hàm cấu trúc. Ý nghĩa của các hàm này.
9. Trình bày phương pháp hồi quy tuyến tính. Nêu ứng dụng của phương pháp đó.

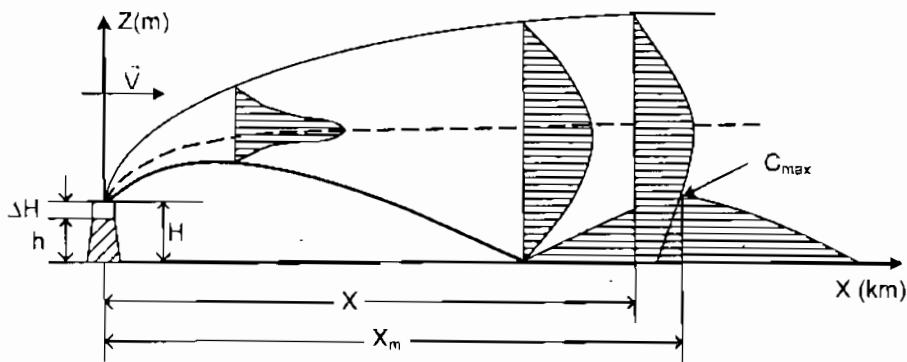
Chương V

MỘT SỐ MÔ HÌNH TÍNH TOÁN SỰ LAN TRUYỀN CHẤT Ô NHIỄM TRONG LỚP BIÊN KHÍ QUYỀN

5.1. SỰ PHÂN BỐ CHẤT Ô NHIỄM VÀ PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CƠ BẢN

Khi mô tả quá trình khuếch tán chất ô nhiễm trong không khí bằng các mô hình toán học thì mức độ ô nhiễm không khí thường được đặc trưng bởi trị số trung bình nồng độ chất ô nhiễm phân bố theo không gian và thời gian.

Dưới tác dụng của gió tự nhiên, các luồng khí, bụi phun lên từ miệng ống khói sẽ bị uốn cong theo chiều gió thổi. Chất ô nhiễm dần dần bị khuếch tán rộng ra tạo thành vệt khói (hình vẽ dưới đây). Kết quả khảo sát cho thấy các chất khí thải và bụi lơ lửng lan truyền chủ yếu theo vệt khói trong phạm vi góc cung hẹp chỉ $10 - 20^\circ$. Một số hạt bụi nặng sẽ tách khỏi vệt khói và rơi xuống mặt đất ở gần ống khói. Nếu coi góc mở của vệt khói không đổi theo khoảng cách thì diện tích do vệt khói gây ô nhiễm sẽ tăng tỷ lệ với bình phương của khoảng cách.



Sơ đồ khuếch tán luồng khí thải dọc theo chiều gió

Vùng không khí sát đất thường bị ô nhiễm bắt đầu từ khoảng cách tới chân ống khói bằng 4 – 20 lần chiều cao ống khói và vị trí bị ô nhiễm cực đại cách chân ống khói khoảng 10 – 40 lần chiều cao ống khói. Trên mặt

cắt ngang của vệt khói, nồng độ ở trục là lớn nhất và càng ra xa, nồng độ càng giảm dần. Khi trời lặng gió, luồng khí thải sẽ phút thảng đứng lên trên và gây ô nhiễm không khí chủ yếu trong phạm vi không gian xung quanh ống khói.

Trong trường hợp tổng quát, trị số trung bình của nồng độ chất ô nhiễm trong không khí phân bố theo thời gian và không gian được mô tả từ phương trình xuất phát của vận chuyển, khuếch tán rỗi và biến đổi liên kết hoá học đầy đủ như sau:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + V_x \frac{\partial C}{\partial x} + V_y \frac{\partial C}{\partial y} + V_z \frac{\partial C}{\partial z} = \\ \frac{\partial}{\partial x} (K_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial C}{\partial z}) + \alpha C - \beta C \quad (5.1)$$

Trong đó:

C – Nồng độ trung bình chất ô nhiễm (mg/m^3).

x, y, z – Các thành phần toạ độ theo 3 trục Ox, Oy, Oz.

t – Thời gian.

K_x, K_y, K_z – Các thành phần của hệ số khuếch tán rỗi theo 3 trục Ox, Oy, Oz.

V_x, V_y, V_z – Các thành phần tốc độ gió trung bình theo 3 trục Ox, Oy, Oz.

α – Hệ số tính đến sự liên kết của chất ô nhiễm với các phân tử khác của môi trường không khí.

β – Hệ số tính đến sự biến đổi chất ô nhiễm thành các chất khác do phản ứng hoá học xảy ra trên đường lan truyền.

Tuy nhiên, phương trình (5.1) rất phức tạp, nó chỉ là một hình thức mô phỏng sự lan truyền chất ô nhiễm. Trên thực tế, để giải được phương trình này người ta phải tiến hành đơn giản hoá trên cơ sở thừa nhận một số điều kiện gần đúng bằng cách đưa ra các giả thiết phù hợp với điều kiện cụ thể. Những giả thiết này xuất phát từ các lập luận sau đây:

– Công suất của nguồn điểm phát thải là liên tục và coi không đổi theo thời gian, vì vậy quá trình lan truyền chất ô nhiễm được xem như là *quá trình dừng*, nghĩa là:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = 0 \quad (5.2)$$

– Nếu hướng trục Ox trùng với hướng gió thì thành phần tốc độ gió chiếu lên trục Oy sẽ bằng 0 :

$$V_y = 0 \rightarrow V_x = |\vec{V}| = u \quad (5.3)$$

– Trên thực tế, thành phần khuếch tán rời theo chiều gió nhỏ hơn rất nhiều lần so với thành phần khuếch tán rời theo phương vuông góc với chiều gió, khi đó có thể bỏ qua :

$$\frac{\partial}{\partial x} (K_x \frac{\partial C}{\partial x}) \quad (5.4)$$

so với các số hạng còn lại.

– Trục Oz thường lấy chiều dương hướng lên trên, do đó đối với bụi nặng (bụi trọng lượng) thì thành phần V_z ở phương trình (5.1) sẽ bằng tốc độ rơi của hạt W (với dấu âm V_z = -W), còn đối với chất ô nhiễm khí và bụi nhẹ thì tốc độ rơi không đáng kể, nên V_z ≈ 0.

– Nếu bỏ qua hiện tượng chuyển "pha" của chất ô nhiễm cũng như không xét đến chất ô nhiễm được bổ sung trong quá trình khuếch tán thì

$$\alpha = \beta = 0 \quad (5.5)$$

Điều kiện ban đầu:

Điều kiện ban đầu của bài toán lan truyền các chất ô nhiễm trong môi trường không khí được thiết lập trên cơ sở định luật bảo toàn vật chất.

– Nếu nguồn có độ cao h đặt ở gốc tọa độ, hướng trục OX theo chiều gió với vận tốc trung bình là u thì tại thời điểm t = t₀ hay (t = 0), điều kiện ban đầu có dạng:

$$\begin{cases} t = 0 \\ x = 0 \\ y = 0 \\ z = H \end{cases} \rightarrow u \cdot C = M \cdot \delta(y) \cdot \delta(z - H) \quad (5.6)$$

Trong đó:

H – Độ cao hiệu dụng của nguồn điểm (m)

$$H = h + \Delta H.$$

Với: h – Độ cao thực tế của nguồn điểm (ống khói) (m).

ΔH – Độ nâng ban đầu của luồng khí thải (vết khói) (m).

C – Nồng độ trung bình của chất ô nhiễm (mg/m^3)

M – Công suất nguồn thải (mg/s)

U – Tốc độ gió trung bình ở độ cao hiệu dụng H

$\delta(y), \delta(z - H)$ – Các hàm toán học đặc thù, xác định bởi công thức sau:

$$\delta(x) = \int_a^b \varphi(\xi) \delta[(\xi) - x] d\xi \quad (5.7)$$

$$\begin{cases} \delta(x) \neq 0 & \text{khi } x \in (a, b) \\ \delta(x) = 0 & \text{khi } x \notin (a, b) \end{cases}$$

$\varphi(\xi)$ – Hàm tuỳ ý.

– Nếu nguồn thải không phải là ống khói mà thải ra ở mặt đất thì một số tác giả cho rằng, tại thời điểm $t = 0$, chất phát thải chưa hoạt động, khi đó giả sử nguồn đặt ở gốc toạ độ thì:

$$\begin{cases} x = 0 \\ y = 0 \rightarrow C = 0 \\ z = 0 \end{cases} \quad (5.8)$$

Điều kiện biên:

Trong lớp không khí khảo sát thường giới hạn bởi mặt đất, còn độ cao của lớp thường là vô hạn hoặc hữu hạn tuỳ theo sự phân lớp của khí quyển.

Thông thường điều kiện biên được thiết lập cho 2 trường hợp phù hợp với điều kiện thực tế của quá trình khuếch tán rải. Trong trường hợp này cần xét hai điều kiện sau:

***Điều kiện xa vô cùng**

Điều kiện này xuất phát từ cơ chế vật lý: nồng độ của chất ô nhiễm giảm dần khi ra xa vô tận.

$$\begin{cases} x \rightarrow +\infty \\ z \rightarrow +\infty \text{ thì } C \rightarrow 0 \\ |y| \rightarrow \infty \end{cases} \quad (5.9)$$

* *Điều kiện bờ mặt trǎi dưới*

– Nếu bờ mặt trǎi dưới có chứa nước (sông, hồ, ao, biển v.v...) hoặc có độ ẩm cao thì khả năng hấp thụ chất ô nhiễm của nước rất lớn nên nồng độ chất ô nhiễm tại mặt trǎi dưới được xem như bằng không:

$$C = 0 \text{ tại } z = 0 \quad (5.10)$$

– Nếu bờ mặt trǎi dưới là khô thì điều kiện phản xạ của mặt trǎi dưới là rất lớn, do đó các dòng chất thải đến mặt trǎi dưới bị phản xạ hoàn toàn vào khí quyển. Do đó thông lượng rői thẳng đứng tại bờ mặt trǎi dưới phải bằng 0, nghĩa là:

$$K_z \frac{\partial C}{\partial z} = 0 \text{ tại } z = 0 \quad (5.11)$$

5.2. MÔ HÌNH LAN TRUYỀN CHẤT Ô NHIỄM TRONG KHÔNG KHÍ CỦA BERLIAND

Berliand đã tiến hành nghiên cứu về sự khuếch tán chất ô nhiễm trong môi trường không khí theo phương pháp động lực học rői thống kê. Trên cơ sở đó ông đã tìm được công thức xác định nồng độ trung bình chất ô nhiễm tại điểm có tọa độ x, y trên mặt phẳng gần mặt đất ($z = 1-2m$) đối với nguồn điểm phát thải liên tục [16].

Xuất phát từ phương trình vi phân tổng quát (5.1), Berliand giả thiết quá trình khuếch tán rői là dừng, trục Ox hướng theo chiều gió có vận tốc trung bình là u , bỏ qua các hệ số liên kết và biến đổi hóa học (một số điều kiện gần đúng từ các phương trình (5.2) – (5.5)).

Khi đó, phương trình vi phân (5.1) được viết dưới dạng sau:

$$V_x \frac{\partial C}{\partial x} + V_z \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial C}{\partial z}) \quad (5.12)$$

Với các điều kiện phụ: *điều kiện ban đầu* (5.6); *điều kiện biên* (điều kiện xa vô cùng (5.9) và điều kiện mặt trǎi dưới (5.10 và 5.11)).

Với các điều kiện biên và ban đầu, Berliand đã giải phương trình (5.12) bằng phương pháp phân ly biến số, kết quả được nghiệm của bài toán lan truyền chất ô nhiễm (bụi nhẹ $V_z = 0$ và các khí độc) trong lớp biên khí quyển tại mặt đất ($z = 0m$) ứng với nguồn điểm phát thải liên tục như sau:

$$C(x, y, 0) = \frac{M}{2(1+n)K_1 \sqrt{\pi K_0 x}} \exp \left[-\frac{U_1 H^{n+1}}{(1+n)^2 K_1 x} - \frac{y^2}{4K_0 x} \right] \quad (5.13)$$

Phân bố chất ô nhiễm trên mặt đất có trị số nồng độ trung bình cực đại C_{max} ở điểm có toạ độ X_{max} trên trục Ox (theo hướng gió) được xác định từ công thức (5.13) thoả mãn điều kiện cực trị. Từ điều kiện này suy ra nồng độ trung bình cực đại chất ô nhiễm tại khoảng cách cực đại tương ứng:

$$C_{max} = \frac{0,116(1+n)^2 M}{U_1 H^{1.5(1+n)}} \sqrt{\frac{K_1}{K_0 U_1}} \quad (5.14)$$

$$X_{max} = \frac{2}{3} \frac{U_1 H^{1+n}}{K_1 (1+n)^2} \quad (5.15)$$

Trong các công thức (5.13), (5.14), (5.15):

M – Lượng thải (công suất nguồn thải) (mg/s).

K_1 – Hệ số khuếch tán rọi ở mực $z = 1m$ (m^2/s).

n – Số mũ của hàm biến thiên tốc độ gió, $n = 0,14 \div 0,2$ liên quan tới tầng kết nhiệt của khí quyển. Thường lấy $n = 0,14$ trong điều kiện khí quyển bất ổn định và $n = 0,2$ khi khí quyển ổn định, còn khí quyển ở trạng thái cân bằng phiếm định có thể lấy $n = 0,17$.

K_0 – Kích thước khuếch tán rọi ngang (m) đặc trưng cho sự biến đổi của hình chiếu phễu khói trên mặt phẳng xOy , nó được liên hệ với hệ số khuếch tán rọi ngang K_y và tốc độ gió trung bình U theo công thức:

$$K_0 = K_y / U$$

U_1 – Tốc độ gió tại độ cao $z = 1m$. Để giải bài toán lan truyền chất ô nhiễm, Berliand đã khép kín phương trình (5.12) bằng cách tham số hoá lớp biên khi sử dụng các profin thẳng đứng của tốc độ gió và hệ số khuếch tán rọi có dạng luỹ thừa như sau:

$$U_1 = U_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^n \quad (5.16)$$

$$K_z = K_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^n \quad (5.17)$$

Trong đó:

U_z – Tốc độ gió tại độ cao z (m/s).

K_z – Hệ số khuếch tán rỗi tại độ cao z (m^2/s).

K_1 – Hệ số khuếch tán rỗi tại độ cao z_1 ($z_1 = 1m$, m^2/s).

n, m – Các chỉ số đặc trưng cho sự biến đổi của tốc độ gió và hệ số khuếch tán rỗi trong khí quyển theo chiều cao.

H – Độ cao hiệu dụng của ống khói (m). Đại lượng này được tính theo công thức:

$$H = h + \Delta H$$

Với: h – Độ cao thực tế của ống khói (m).

ΔH – Độ nâng ban đầu của luồng khí thải (m), tính theo công thức:

$$\Delta H = \frac{1,5 \cdot W_0 \cdot R_0}{U_{10}} \left(2,5 + \frac{3,3 \cdot g \cdot R_0 \cdot \Delta T}{T_k \cdot U_{10}} \right) \quad (2.18)$$

U_{10} – Tốc độ gió tại độ cao 10m (m/s).

$\Delta T = (T_r - T_k)$ – Hiệu nhiệt độ giữa khí thải ra ở miệng ống khói (T_r) và nhiệt độ môi trường không khí xung quanh (T_k). (T_k, T_r tính bằng độ Kelvin = $273^0 + t^0C$)

W_0 – Tốc độ phụ của luồng khí thải (m/s).

R_0 – Bán kính miệng ống khói (m).

g – Gia tốc trọng trường (m/s^2).

5.3. MÔ HÌNH LAN TRUYỀN CHẤT Ô NHIỄM TRONG KHÔNG KHÍ CỦA SUTTON VÀ GAUSS

Mô hình lan truyền chất ô nhiễm của Sutton ngoài việc áp dụng để đánh giá cho các *nguồn điểm phát thải liên tục có độ cao h* (như ống khói của các nhà máy) thì mô hình này cũng được áp dụng đối với *nguồn điểm ở mặt đất* (không có độ cao h và đặt ở gốc toạ độ).

Cách giải của Sutton cũng dựa vào các giả thiết (5.2), (5.3), (5.4), và (5.5) để đơn giản hoá phương trình tổng quát (5.1) và sử dụng các điều kiện phụ sau:

$$x \rightarrow 0 \rightarrow C \rightarrow \infty$$

$$x, y, z \rightarrow \infty \rightarrow C \rightarrow 0$$

Thông lượng chất ô nhiễm trên bề mặt trái dưới = 0.

$$K_y \cdot \frac{\partial C}{\partial z} \rightarrow 0 \text{ khi } z \rightarrow 0.$$

Thông lượng chất ô nhiễm qua một mặt phẳng bất kỳ vuông góc với hướng gió thì không đổi và bằng công suất của nguồn thải M:

$$M = \int_0^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} u \cdot C(y, z) dy dz \text{ khi } x > 0 \quad (5.19)$$

Xuất phát từ cơ sở lý thuyết thống kê và tư tưởng của Gauss, Sutton giải phương trình đã được đơn giản hoá với các điều kiện phụ cho kết quả sau đối với *nguồn điểm liên tục không có độ cao đặt tại gốc toạ độ*:

$$C(x, y, z) = \frac{2M}{\pi \cdot u \cdot C_y \cdot C_z \cdot x^{2-n}} \exp \left[-x^{n-2} \left(\frac{y^2}{C_y^2} + \frac{z^2}{C_z^2} \right) \right] \quad (5.20)$$

Trong đó:

M – Công suất nguồn thải (mg/s).

u – Tốc độ gió trung bình tại mặt đất (m/s).

C(x, y, z) – Nồng độ chất ô nhiễm (mg/m³).

C_y, C_z – Các hệ số khuếch tán rối suy rộng của Sutton.

n – Liên quan đến chỉ số tầng kết nhiệt.

Nồng độ chất ô nhiễm *đối với nguồn điểm không có độ cao* (như các nguồn khoan, xúc bốc, nổ mìn trong khai thác mỏ, cửa thông gió từ các hầm lò, trong các phân xưởng nhà máy công nghiệp) tại mặt đất z = 0 được tính theo công thức sau:

$$C(x, y, 0) = \frac{2 \cdot M}{\pi \cdot u \cdot C_y \cdot C_z \cdot x^{2-n}} \exp \left[-x^{n-2} \left(\frac{y^2}{C_y^2} \right) \right] \quad (5.21)$$

Đối với nguồn điểm cao phát thải liên tục có độ cao hiệu dụng H đặt tại gốc tọa độ, mô hình Sutton có dạng [20]:

$$C(x, y, z) = \frac{M \cdot \exp\left(\frac{-y^2}{C_y^2 \cdot x^{2-n}}\right)}{\pi \cdot C_y \cdot C_z \cdot u \cdot x^{2-n}} \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{C_z^2 \cdot x^{2-n}}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{C_z^2 \cdot x^{2-n}}\right] \right\} \quad (5.22)$$

Trong đó, u là tốc độ gió trung bình tại độ cao hiệu dụng của nguồn.

Từ công thức (5.22), Sutton đã lập được công thức tính nồng độ trung bình cực đại chất ô nhiễm tại khoảng cách tương ứng:

$$C_{\max} = \frac{2 \cdot M}{\pi \cdot u \cdot H^2} \cdot \frac{C_y}{C_z} \quad (5.23)$$

$$X_{\max} = \left(\frac{H^2}{C_z^2} \right)^{\frac{1}{2-n}} \quad (5.24)$$

Quy luật phân bố nồng độ trung bình chất ô nhiễm tại mặt đất đối với nguồn điểm cao, khi đặt $z = 0$ từ công thức (5.22) ta sẽ thu được như sau:

$$C(x, y, 0) = \frac{2 \cdot M}{\pi \cdot u \cdot C_y \cdot C_z \cdot x^{2-n}} \exp\left[-\frac{1}{x^{2-n}} \left(\frac{y^2}{C_y^2} + \frac{H^2}{C_z^2} \right)\right]. \quad (5.25)$$

Sử dụng công thức liên hệ giữa C_y , C_z với các hệ số phát tán Gauss σ_y , σ_z , do Sutton thiết lập:

$$2\sigma_y^2 = C_y^2 \cdot x^{2-n}; \quad 2\sigma_z^2 = C_z^2 \cdot x^{2-n} \quad (5.26)$$

Khi đó (5.22) có dạng:

$$C(x, y, z) = \frac{M}{2 \cdot \pi \cdot u \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \cdot \exp\left[\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[\frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (5.27)$$

Đặt $z = 0$ trong công thức (5.27) ta có công thức xác định nồng độ chất ô nhiễm ở gần mặt đất đối với nguồn thải có độ cao hiệu dụng H như sau:

$$C(x, y, 0) = \frac{M}{\pi \cdot u \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \cdot \exp \left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2} \right) \cdot \exp \left(\frac{-H^2}{2\sigma_z^2} \right) \quad (5.28)$$

Trong đó: σ_y , σ_z là hệ số khuếch tán Gauss theo phương y và z.

Các thành phần còn lại như đã nói ở trên.

Các công thức (5.27) và (5.28) là dạng cải tiến của Gauss, thường quen gọi là *các công thức của mô hình Gauss*.

Nhận xét:

- Cả ba mô hình trên (mô hình Berliand, Sutton và Gauss) đều có thể ứng dụng để tính toán nồng độ của bụi lơ lửng và các chất khí SO₂, NO_x, CO, O₃ ứng với các tham số tầng kết nhiệt n và các hệ số khuếch tán rối tương ứng.

- Đối với mô hình Berliand, việc tính toán tham số K₀ (kích thước rối ngang) phù hợp với điều kiện Việt Nam được trình bày ở 6.2.2 chương VI; còn đối với mô hình Sutton, các tham số C_y, C_z ứng với chỉ số tầng kết nhiệt n có thể tra bảng lập sẵn được trình bày trong [11].

Đối với mô hình Gauss, các hệ số phát tán σ_y , σ_z ứng với chỉ số tầng kết nhiệt n (6 cấp) thường được áp dụng theo giản đồ của Pasquill trình bày trong [2, 11, 28]. Tuy nhiên, để đơn giản trong việc áp dụng các tham số K₀, C_y, C_z và σ_y , σ_z ứng với điều kiện Việt Nam có thể ứng dụng các công thức liên hệ giữa các tham số này (các công thức (6.13) – (6.14)) ở mục 6.2.2 chương VI.

Lưu ý rằng, ngoài việc áp dụng các mô hình nêu trên để tính phân bố nồng độ trung bình giờ, trung bình ngày, v.v... theo hướng gió chủ đạo hoặc theo tất cả các hướng gió (thông thường theo 16 hướng) người ta còn tính toán tần suất nồng độ vượt chuẩn so với TCCP ứng với trung bình giờ, 24 giờ (ngày) phát thải từ nhiều nguồn điểm khác nhau đến các điểm tiếp nhận là một mạng lưới không gian 2 chiều X và Y theo kích thước phù hợp với bài toán đặt ra (ví dụ kích thước mạng lưới 240×240 (m²), kích thước mỗi ô là 30×30 (m)). Khi đó, sẽ xây dựng được bản đồ mô phỏng bức tranh tổng hợp

của chất lượng không khí do ảnh hưởng của nhiều nguồn điểm phát thải đến vùng khảo sát. Tuy nhiên, giới hạn tối thiểu để tính toán phải có số liệu khí tượng ít nhất 1 năm.

5.4. NGUỒN THẢI HỖN HỢP

Nguồn hỗn hợp bao gồm nhiều nguồn điểm, nguồn đường và nguồn mặt. Mô hình nguồn hỗn hợp được áp dụng để đánh giá hiện trạng ô nhiễm của khu vực đô thị, khu công nghiệp có nhiều nguồn cùng tác động hoặc đánh giá khả năng tác động của một nguồn mới trong bối cảnh đã có nhiều nguồn tồn tại.

Nếu coi nguồn mặt là một tập hợp các nguồn điểm nhỏ lẻ và các nguồn đường đan xen trải ra trên một diện tích vùng nghiên cứu, khi đó có thể áp dụng mô hình hộp đối với nguồn mặt để tính toán nồng độ chất ô nhiễm thải ra từ nguồn hỗn hợp (thành phố, các vùng mỏ, v.v...) xác định bởi công thức:

$$C = b + \frac{q \cdot L}{U \cdot H} \quad (5.29)$$

Trong đó:

C – Nồng độ trung bình chất ô nhiễm bên trong thành phố (mg/m^3).

b – Nồng độ trung bình chất ô nhiễm trong dòng không khí trước khi đi vào thành phố (mg/m^3).

L – Chiều dài thành phố (m).

H – Độ cao lớp xáo trộn của khí quyển (m).

Q – Lượng thải chất ô nhiễm (công suất của nguồn mặt), ($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$).

U – Tốc độ gió (m/s).

Ghi chú: Công thức (5.29) chỉ đúng trong trường hợp C là quá trình dừng $\left(\frac{\partial C}{\partial t} = 0 \right)$, còn nếu điều kiện này không thỏa mãn thì C được mô tả bằng công thức phụ thuộc vào thời gian t trình bày chi tiết trong [11].

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG V

1. Phương trình vi phân cơ bản dạng tổng quát mô tả quá trình lan truyền và khuếch tán chất ô nhiễm trong lớp biên khí quyển.
2. Cách đơn giản và khép kín phương trình.
3. Trình bày cách thiết lập các điều kiện phụ (điều kiện ban đầu và điều kiện biên). Ý nghĩa của các điều kiện phụ.
4. Phân tích sự giống nhau và khác nhau trong việc thiết lập các điều kiện phụ trong mô hình của Berliand và Sutton.
5. Chứng minh rằng điều kiện phụ (5.6) và (5.19) là tương đương nhau.
6. Từ công thức $C(x,y,0)$ của mô hình Berliand, hãy suy ra dạng giải tích của $C(x, y, 0)$ ứng với $H = 0$. Vẽ dáng điệu của đồ thị trong trường hợp này. Dáng điệu này có tương tự với dáng điệu của công thức (5.21) trong mô hình Sutton khi đặt $y = 0$ hay không ?

Chương VI

XÁC ĐỊNH CÁC THAM SỐ KHÍ TƯỢNG VÀ KHUẾCH TÁN RỐI TRONG CÁC MÔ HÌNH TÍNH TOÁN QUÁ TRÌNH LAN TRUYỀN CHẤT Ô NHIỄM ỨNG VỚI ĐIỀU KIỆN KHÍ HẬU NHIỆT ĐỔI GIÓ MÙA Ở VIỆT NAM

6.1. CƠ SỞ VẬT LÝ VÀ KHÍ TƯỢNG ĐỔI VỚI BÀI TOÁN PHÁT TÁN CỦA TẠP CHẤT TRONG LỚP BIÊN KHÍ QUYỀN [12, 13, 16]

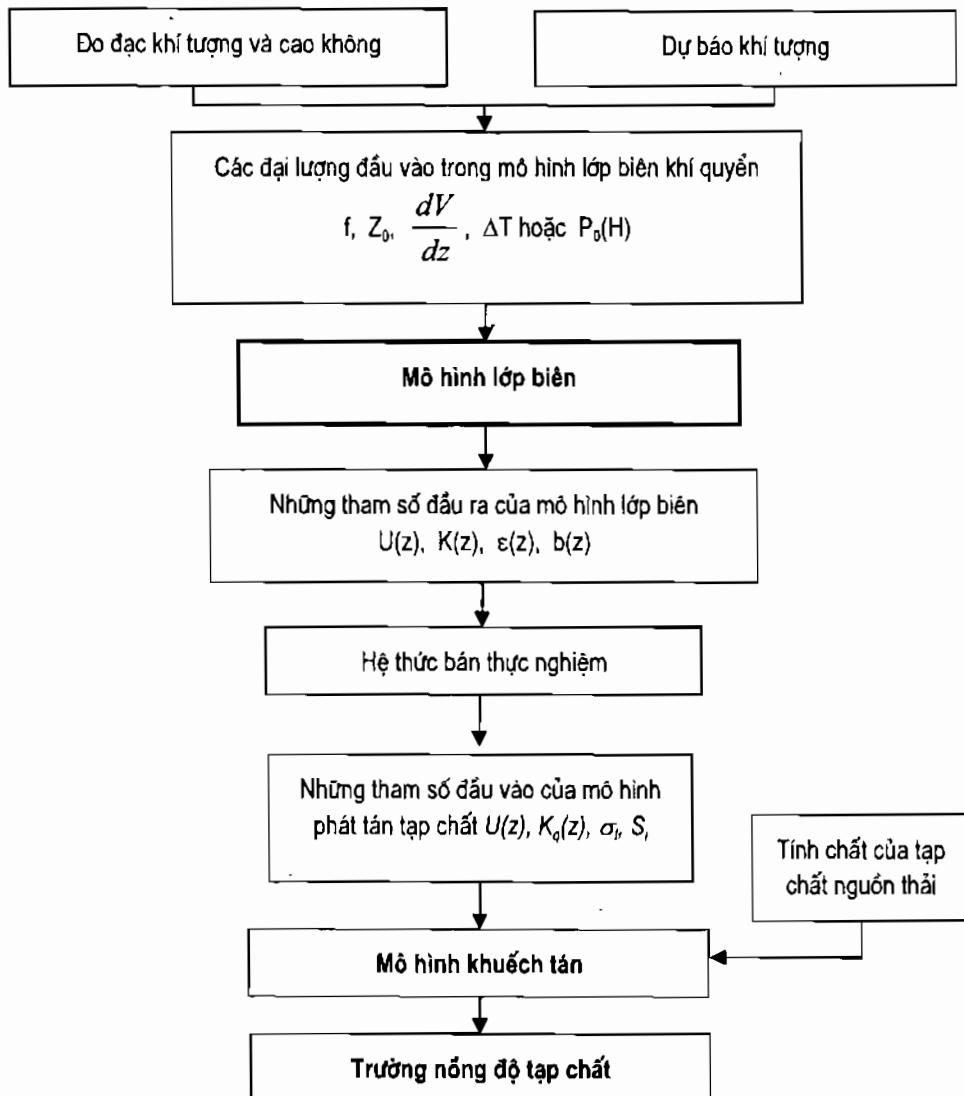
Sự cần thiết hiểu biết các thông tin về trạng thái khí quyển để tính toán sự lan truyền các tạp chất (các chất ô nhiễm, bụi, sol khí, v.v...) trong lớp biên có ý nghĩa quan trọng đặc biệt. Nó là cơ sở để tham số hoá đầu vào trong các mô hình khuếch tán và di chuyển tạp chất như đã trình bày ở chương IV.

Những bài toán liên quan tới khuếch tán đều được xuất phát từ những giả thiết về quang đường di chuyển của tạp chất: nó thoát ra từ nguồn nào, di chuyển ra sao và phát tán vào trong lớp biên khí quyển, ở đây có thể xảy ra các quá trình biến đổi phụ (liên kết, phân huỷ, di ra khỏi lớp biên vào tầng đối lưu hoặc tương tác với mặt đất). Nguồn tạp chất có thể là điểm, tuyến hoặc mặt, nó tác động tức thời hay lâu dài. Các nhân tố này cần phải được xem xét một cách toàn diện.

Bản chất đám mây bụi hay dòng xiết cuốn theo tạp chất chủ yếu được xác định bởi sự di chuyển và phát tán của chúng vào môi trường không khí, trong đó trường vectơ tốc độ gió $\vec{u}(x, y, z)$ là tham số quan trọng nhất liên quan tới di chuyển tạp chất. Sự phát tán phụ thuộc vào mô hình khuếch tán được tính qua hệ số khuếch tán $K(z)$ hoặc trực tiếp qua độ lệch chuẩn của toạ độ tạp chất σ_i (các hệ số phát tán) đối với gốc toạ độ cố định và đối với trung tâm dàn trải của đám mây tạp chất S_i (ở đây $i = 1, 2, 3$ tương ứng với toạ độ ngang x , y và thẳng đứng z). Việc xác định các đặc trưng phát tán K_i , σ_i và S_i là khó khăn nhất. Hiện tại các tham số này thường được cho một cách tiên nghiệm dựa trên tổng hợp các kết quả thực nghiệm về quá trình khuếch tán.

Dưới đây xem xét các phương pháp đánh giá các tham số khuếch tán, các tham số của lớp biên khí quyển và khả năng xác định chúng bằng cách này hay cách khác theo hệ thông tin synopsis – cao không.

Mối quan hệ giữa trường nồng độ của tạp chất cần tìm với các thông tin khí tượng thông qua *mô hình khuếch tán* và *mô hình lớp biên* được biểu diễn bằng sơ đồ tổng quát chỉ ra trên hình 6.1.



Hình 6.1. Sơ đồ tính phát tán tạp chất theo thông tin khí tượng

Những kết quả đo đặc khí tượng cao không thông thường (trong trường hợp tính toán dự báo sự phát tán của tạp chất) cũng như yếu tố khí tượng dự báo được nhận làm số liệu nguồn (dầu vào). Trong cả 2 trường hợp (nhưng với mức độ chính xác khác nhau), chúng cho phép xác định những tham số ban đầu cần thiết để áp dụng mô hình này hay mô hình khác của lớp biên khí quyển. Những tham số dầu ra của mô hình lớp biên cho phép xác định các tham số dầu vào của mô hình khuếch tán để dầu ra của mô hình này sẽ nhận được từng nồng độ của tạp chất.

Trong trường hợp nguồn điểm tác động liên tục với một thời gian dài, để tính toán sự phát tán của tạp chất cần phải biết độ phân tán của các phần tử theo hướng gió cắt ngang σ_y như là hàm của thời gian khuếch tán hay khoảng cách đến nguồn x. Để tính toán độ phát tán của đám mây tạp chất từ nguồn điểm tức thời, cần phải có các đặc trưng tương tự theo tất cả 3 hướng của toạ độ $S_i(x)$. Các đặc trưng này không biểu thị trực tiếp qua các tham số dầu vào của mô hình lớp biên, sự liên hệ của chúng với các đặc trưng độ ổn định và tốc độ gió được xác định dựa vào các hệ thức kinh nghiệm, nhận được theo các tham số của kết quả thực nghiệm với các tham số của lớp biên khí quyển cần thiết phải đạt được mục đích. Mô hình bán thực nghiệm của mối liên hệ giữa σ_i, S_i với tốc độ gió $u(z)$, với độ hao tán năng lượng $\epsilon(z)$ và với năng lượng toàn phần $b(z)$ trong lớp biên dựa trên các hệ thức được sử dụng trước đây. Các mô hình bán thực nghiệm thực chất có liên hệ với hàm cấu trúc Lagrange $D_L(t)$ với các đặc trưng rõ ràng trong trường hợp đồng nhất và không đồng nhất.

Chú ý rằng, hầu hết các mô hình hiện đại của lớp biên cho phép xác định các đại lượng $K(z)$, $\epsilon(z)$ và $b(z)$ chỉ có tính chất ước lượng mô phỏng khác với profin gió được xác định một cách khá chính xác.

Bây giờ chúng ta xem xét khả năng nhận thông tin dầu vào cần thiết để sử dụng mô hình lớp biên khí quyển. Những kết quả đo đặc khí tượng – cao không được thực hiện thường xuyên ở Tổng cục Khí tượng Thuỷ văn với sự bổ sung đo đặc biệt trong một số trường hợp hoặc là những số liệu dự báo khí tượng có thể làm những thông tin dầu vào. Những thông tin này bao gồm: Tốc độ gió địa chuyển V_g và biến đổi của nó theo độ cao $\frac{dV_g}{dz}$ (đối với tính tà áp). Tham số Coriolis $f = 2\omega \sin \varphi$; độ nhám Z_0 ; đặc trưng phân tầng nhiệt (hiệu nhiệt độ ở giới hạn dưới và trên của lớp biên ΔT); dòng nhiệt gần

mặt đệm P_0 , còn đối với lớp biên phi Ekman thì sử dụng kết quả tính toán từ mô hình.

Trong thực tế, việc xác định các đại lượng đầu vào bằng các phương pháp khác nhau phụ thuộc vào đặc tính và độ cao của các đo đạc được tiến hành. Trước hết lưu ý rằng, để xác định chính xác hơn tốc độ gió địa chuyển cần sử dụng số liệu cao không vì chúng chính xác hơn so với bản đồ hình thế khí áp.

Đặc trưng địa phương là độ nhám, đây cũng là vấn đề phức tạp. Những phương pháp thông thường dựa trên việc sử dụng profin logarit tốc độ gió trong lớp sát đất và chỉ thích hợp trong trường hợp bề mặt đồng nhất theo phương ngang, trong các trường hợp ngược lại, chúng phản ánh rõ nét về tính đặc trưng của địa phương. Thông thường bề mặt phức tạp thêm bởi sự đan xen của tính chất lớp phủ thảo mộc, công trường và vi địa hình, vì vậy có sự khác biệt về độ nhám, đó là tham số đặc trưng cho lớp sát đất, độ nhám cỡ vừa và cỡ lớn mà chúng có bậc khác nhau rất nhiều so với độ nhám cỡ nhỏ. Để xác định độ nhám cỡ vừa và cỡ lớn không thể dùng cùng một phương pháp. Ở đây, việc xác định độc lập *tốc độ ma sát v.* được tính toán thông qua các biểu thức đánh giá độ nhám theo các số liệu về kích cỡ của vật chướng ngại và vị trí của chúng. Đối với bề mặt phức tạp, người ta áp dụng cách lấy trung bình hoá hệ số kháng trở mà đối với mỗi yếu tố đồng nhất của bề mặt được đo đặc riêng biệt hoặc phỏng đoán một cách tiên nghiệm. Vì vậy mô hình lớp biên rất nhạy cảm với giá trị của tham số nhám.

Sai số có thể của tính toán và dự báo phát tán tạt chất liên quan không chỉ đến sai số đo đặc hoặc dự báo các đại lượng khí tượng đầu vào mà còn ở mức độ không nhỏ với biến đổi không – thời gian của chúng. Sự biến đổi quy mô lớn được tính đến một cách tự động đồng thời lớp biên khi đó có thể xem là *chuẩn dừng* và *chuẩn đồng nhất theo phương ngang*. Sự biến đổi cỡ vừa của các đại lượng khí tượng theo không gian cũng như thời gian liên quan với sự ảnh hưởng của phần lớn các nhân tố. Một số trong chúng có thể được tách ra và những sự biến đổi quyết định của các đại lượng khí tượng được xác định nhờ mô hình cỡ vừa lớp biên được đơn giản hoá các phương pháp tính toán hay thực nghiệm. Biến đổi ngang, biến đổi có liên quan với vị trí của địa hình, với sự chảy lượn qua vật cản, với đường bờ, với sự hình thành quá trình khí quyển cỡ vừa dạng giông tố v.v... cần phải được xem xét trong các mô hình không dừng.

Khi những nhân tố của sự biến đổi không xác định hoặc khi chúng tác động, trong nhiều trường hợp, quan điểm thống kê được sử dụng. Đối với bài toán phát tán của tạp chất, khái niệm về sự biến đổi cỡ vừa của tốc độ và hướng gió là quan trọng nhất.

Những số liệu về biến đổi theo thời gian của tốc độ và hướng gió nhận được theo kết quả đo đạc tại mặt đất và thám không trên vùng lãnh thổ rộng lớn dao động từ 1 đến 12 giờ. Sự biến đổi gió trong giới hạn 300 – 500m dao động từ 5 phút đến 1 giờ. Dao động này liên quan tới miền phổ năng lượng cực tiểu.

Việc áp dụng các mô hình lớp biên khí quyển để tính toán sự phát tán của tạp chất theo các thông tin khí tượng ban đầu là có tính khả thi và thích hợp. Mô hình lớp biên khí quyển cần phải lựa chọn một cách thích hợp tuỳ thuộc điều kiện của từng bài toán cụ thể. Thực chất của thông tin khí tượng ban đầu có thể nhận được từ đo đạc synoptic – cao không tiêu chuẩn, còn trong trường hợp cần thiết – đó là thông tin có trong dự báo ngắn hạn.

Sự biến đổi không gian và thời gian cỡ vừa của gió dẫn đến sự đóng góp một sai số nhất định của phép tính toán phát tán tạp chất trong lớp biên khí quyển.

6.2. TÍNH TOÁN CÁC THAM SỐ ĐẦU VÀO CỦA CÁC MÔ HÌNH TOÁN LAN TRUYỀN TẠP CHẤT TRONG LỚP BIÊN KHÍ QUYỂN

Trong những năm gần đây, ở Việt Nam đã ứng dụng và khai thác một số mô hình toán lan truyền chất ô nhiễm trong khí quyển. Đó là các mô hình Berliand, Sutton, Gauss v.v... Ở các mô hình này, một số tham số đầu vào như hệ số rối ngang và thẳng đứng, tốc độ gió ở độ cao bất kỳ sát mặt đất, tầng kết nhiệt của khí quyển v.v... đã được tiến hành tham số hóa để có số liệu phù hợp với các khu vực khảo sát trong điều kiện Việt Nam.

6.2.1. Tốc độ gió

Cho đến nay, ở tất cả các trạm khí tượng thuỷ văn trong mạng lưới quan trắc chuẩn ở nước ta, gió chỉ được đo ở mức độ cao 10m của cột đo gió. Từ 10m trở lên, không có số liệu gió quan trắc. Vì vậy, để tính toán tốc độ gió ở độ cao bất kỳ trong lớp không khí sát đất, có thể sử dụng các phương pháp sau:

1. Tính toán tốc độ gió theo các công thức thực nghiệm bằng việc xác định tham số nhám Z_0 hoặc số mũ luỹ thừa n [15]

Bằng lý thuyết và thực nghiệm, các nhà khí tượng đã đưa ra nhiều công thức khác nhau để xác định profin thẳng đứng của gió (xem mục 2.4 chương II). Phần lớn đều thừa nhận profin gió trong điều kiện phân tầng kết nhiệt ở trạng thái cân bằng phiếm định có dạng:

$$V = \frac{v_*}{\chi} \ln \frac{Z}{Z_0} \quad (6.1)$$

Ở đây:

v_* – Tốc độ động lực;

χ – Hằng số Karman;

Z_0 – Độ nhám.

Thực tế phân tầng kết nhiệt ở trạng thái cân bằng phiếm định ít xảy ra và trạng thái này thường xuất hiện vào sáng sớm hay chiều tối. Đối với phân tầng kết nhiệt ở trạng thái không cân bằng thì profin gió có dạng luỹ thừa:

$$V = V_1 \left(\frac{Z}{Z_1} \right)^n \quad (6.2)$$

Ở đây:

V – Tốc độ gió ở độ cao z ;

v_1 – Tốc độ gió ở độ cao 1m;

n – Chỉ số phân tầng kết nhiệt.

Trong thực hành, thường dùng hai công thức sau:

$$V_z = V_{10} \cdot \frac{\ln Z - \ln Z_0}{\ln 10 - \ln z_0} \quad (6.3)$$

V_z, V_{10} – tốc độ gió ở độ cao z và 10m.

$$V_z = V_{10} \left(\frac{Z}{10} \right)^n \quad (6.4)$$

Việc sử dụng các công thức (6.3) và (6.4) được nhiều nhà khí tượng đánh giá và kết luận như sau:

– Profin tốc độ gió trung bình trong lớp từ mặt đất đến độ cao 300m, dùng công thức (6.4) chính xác hơn công thức (6.3).

– Với gió mạnh ở độ cao 200 – 300m và tầng kết khí quyển ổn định thì profin gió tính theo công thức luỹ thừa (6.4) chính xác hơn so với công thức (6.3).

– Profin thẳng đứng của gió trong lớp dưới 300m được mô tả bởi công thức luỹ thừa (6.4) là đủ chính xác trong tất cả các trường hợp với *gradien thẳng đứng của nhiệt độ trong lớp này gần hoặc vượt quá đoạn nhiệt, còn tốc độ gió không lớn hơn 8m/s*. Độ chính xác của công thức (6.3) trong lớp dưới 300m càng cao tương ứng với *độ bất ổn định càng lớn*.

– Với gradien đoạn nhiệt và siêu đoạn nhiệt trong lớp 300m và tốc độ gió trên 8m/s thì profin gió tính theo công thức loga (6.3) có độ cong rõ hơn và sai số lớn hơn.

Như vậy, để tính giá trị tốc độ gió ở độ cao Z bất kỳ trong lớp khí quyển sát đất, cần phải xác định tham số nhám Z_0 hoặc chỉ số luỹ thừa n trong các công thức (6.3) và (6.4).

Theo số liệu quan trắc tại trạm Hoài Đức ở Hà Nội đã tính toán tốc độ gió ở độ cao bất kỳ trong lớp sát mặt đất [15]. Trên cơ sở số liệu đo bằng máy tự động Vaisala MILOS – 500 ở trạm Hoài Đức, đã xác định giá trị Z_0 và chỉ số luỹ thừa n đặc trưng theo mùa ứng với các tháng 1, 4, 7, 10 và năm, kết quả thu được trình bày ở bảng 6.1.

Bảng 6.1. Giá trị Z_0 và chỉ số n theo tháng và năm ở trạm Hoài Đức, Hà Nội

Tham số	Tháng				Cả Năm
	1	4	7	10	
$Z_0(n)$	0,0085	0,016	0,0083	0,017	0,016
n	0,19	0,19	0,17	0,23	0,20

Nhận xét:

– Giá trị Z_0 thay đổi không đáng kể theo tháng. Giá trị này dao động trong khoảng 0,01 – 0,02.

– Hệ số n cũng không thay đổi nhiều, dao động trong khoảng 0,17 – 0,23.

2. Tính toán tốc độ gió ở độ cao bất kỳ trong lớp biên (bao gồm lớp sát mặt đất) của khí quyển theo mô hình toán

Có thể sử dụng mô hình lớp biên là áp trong trường hợp chuyển động dừng của khí quyển được trình bày trong chương III để xác định profin gió theo độ cao bất kỳ trong lớp biên khí quyển (kể cả lớp không khí sát đất).

6.2.2. Tính toán hệ số khuếch tán rối ngang K_y , kích thước khuếch tán rối K_0 của Berliand, các hệ số khuếch tán rối suy rộng C_y, C_z của Sutton và các hệ số phát tán Gauss σ_y, σ_z [5,9,19]

Để không phải sử dụng các tham số khuếch tán rối của nước ngoài, nhóm chuyên gia mô hình hoá của Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, dưới sự chủ trì của GS. TS. Phạm Ngọc Hồ đã cải biên phương pháp xác định hệ số khuếch tán rối K_y trên cơ sở của lý thuyết rối thống kê, sau đó xác định K_0 và chuyển hoá các tham số $C_y, C_z, \sigma_y, \sigma_z$ qua tham số K_0 . Nhờ đó các tham số khuếch tán rối có thể tính toán trực tiếp theo chuỗi số liệu quan trắc khí tượng ứng với mỗi khu vực nghiên cứu trong điều kiện khí hậu nhiệt đới gió mùa ở Việt Nam. Nội dung của các vấn đề này được trình bày dưới đây:

1. Thiết lập quy luật biến đổi của hệ số khuếch tán rối ngang K_y theo khoảng thời gian τ

Trong khí quyển thường tồn tại hai dạng chuyển động sau:

- Chuyển động rối;
- Chuyển động tầng.

Tuy nhiên, chuyển động rối là chủ yếu và chính do chuyển động rối mà các phân tử tạp chất (các chất gây ô nhiễm, các hạt sol khí, v.v...) sẽ lan truyền và khuếch tán mạnh trong không khí. Đặc trưng cho khuếch tán rối chính là các hệ số khuếch tán rối K_x, K_y, K_z theo 3 trục Ox, Oy, Oz, chúng liên hệ với quãng đường dịch chuyển Prant trong lý thuyết rối thống kê. Vì vậy, để thiết lập quy luật biến đổi của K_y theo khoảng thời gian $\tau = \Delta t$, ta xuất phát từ cơ sở lý thuyết rối thống kê và lưu ý rằng, trong công trình [5] đã chỉ ra mối quan hệ giữa K_y và R_y được xác định bởi các công thức sau:

$$K_y(\tau) = \int_0^\tau R_y(\tau)d\tau \quad (6.5)$$

Trong đó, $R_y(\tau)$ là hàm tương quan thời gian của thành phần tốc độ V_y theo trục y .

Xét hai trường hợp:

a) *Đối với kích thước thời gian lấy trung bình nằm ngoài khoảng cân bằng $\tau > \tau^*$ (τ^* là kích thước ngoài của rối)*

Trong trường hợp này, theo định luật cấu trúc của rối thì hàm cấu trúc thời gian $D_y(\tau)$ tỷ lệ tuyến tính với τ (định luật tuyến tính của Iudin), nghĩa là:

$$D_y(\tau) = \alpha \cdot \tau \quad (6.6)$$

Trong đó, α là hệ số tỷ lệ.

Sử dụng công thức liên hệ giữa hàm tương quan $R_y(\tau)$ với hàm cấu trúc $D_y(\tau)$ đối với quá trình rối là dùng ta có:

$$R_y(\tau) = \frac{1}{2} [D_y(\infty) - D_y(\tau)] \quad (6.7)$$

Trong đó, $D_y(\infty)$ là giá trị bão hòa của hàm cấu trúc.

Từ (6.5), (6.6) và (6.7) ta suy ra:

$$K_y(\tau) = \frac{1}{2} \cdot D_y(\infty) \cdot \tau - \frac{1}{4} \alpha \cdot \tau^2 = a \cdot \tau - b \cdot \tau^2 \quad (6.8)$$

Ở đây đã đặt: $a = \frac{1}{2} \cdot D_y(\infty)$; $b = \frac{1}{4} \alpha$ là các hệ số tỷ lệ.

Nghĩa là, trong trường hợp này, hệ số khuếch tán rối ngang K_y biến đổi theo τ với quy luật parabol.

b) *Kích thước thời gian τ nằm trong khoảng quán tính $\tau_0 < \tau < \tau^*$ (τ_0 là kích thước trong của rối)*

Trong trường hợp này, hàm cấu trúc $D_y(\tau)$ tỷ lệ với τ theo luỹ thừa 2/3 (định luật 2/3 của Conmôgôнов Ôbukhốp), nghĩa là:

$$D_y(\tau) = \beta \cdot \tau^{2/3} \quad (6.9)$$

Từ (6.5), (6.7) và (6.9) ta thu được quy luật sau:

$$K_y(\tau) = \frac{1}{2} \cdot D_y(\infty) \cdot \tau - \frac{3}{5} \beta \tau^{\frac{5}{3}}$$

hay $K_y(\tau) = A \cdot \tau - B \cdot \tau^{\frac{5}{3}}$ (6.10)

Trong đó: $A = \frac{1}{2} \cdot D_y(\infty)$; $B = \frac{3}{5} \beta$ là các hệ số tỷ lệ.

Các công thức (6.8) và (6.10) biểu thị quy luật biến đổi của hệ số khuếch tán rói ngang K_y theo khoảng thời gian lấy trung bình τ đồng thời cũng biểu diễn quy luật của chính K_0 theo τ do GS. Phạm Ngọc Hồ thiết lập lần đầu tiên vào năm 1998 [5].

2. Xác định kích thước rói ngang K_0

Trong chương V, để tính toán nồng độ chất ô nhiễm theo mô hình khuếch tán rói của Berliand, cần phải xác định hệ số K_0 .

Kích thước khuếch tán rói ngang K_0 trong mô hình Berliand được xác định theo công thức sau:

$$K_0 = \frac{K_y}{U} \quad (6.11)$$

Trong đó:

K_y – Hệ số khuếch tán rói ngang (m^2/s), được xác định từ các công thức đã thiết lập ở trên (công thức 6.8 hoặc 6.10).

U – Tốc độ gió trung bình (m/s) đo đạc được tại mặt đất (hoặc lấy trực tiếp từ số liệu quan trắc ở trạm khí tượng mặt đất).

3. Xác định các hệ số khuếch tán rói suy rộng của Sutton

Các tham số C_y và C_r được gọi là hệ số khuếch tán rói suy rộng của Sutton, các hệ số này có mối liên hệ với hệ số K_0 như sau:

$$C_y^2 = 4K_0 \quad (6.12)$$

Vì quá trình rói giả thiết là *điểm*, trường rói được xem là đồng nhất và *đảng hướng*, do đó chỉ biến đổi trong khoảng $(0, +\infty)$, còn y biến đổi trong khoảng $(-\infty, +\infty)$ trong các mô hình khuếch tán, nên ta có thể coi $C_r = 0,5C_y$ [19]. Bởi vậy, khi biết K_0 ta sẽ xác định trực tiếp được C_y và C_r .

4. Xác định các hệ số phát tán Gauss σ_y , σ_z

Các hệ số phát tán Gauss của chất ô nhiễm theo phương y và phương z vuông góc với chiều gió thổi (trùng với hướng Ox) đối với quá trình lan truyền chất ô nhiễm là dùng có thể tính trực tiếp qua các giá trị C_y , C_z (hoặc K_0) xác định bởi các công thức sau:

$$2\sigma_y^2 = C_y^2 \cdot x^{2-n}; \quad 2\sigma_z^2 = C_z^2 \cdot x^{2-n} \quad (6.13)$$

$$2\sigma_y^2 = 4K_0 \cdot x^{2-n}; \quad 2\sigma_z^2 = K_0 \cdot x^{2-n} \quad (6.14)$$

Từ (6.14) suy ra $\sigma_z^2 = 0,25\sigma_y^2$ hay $\sigma_z = 0,5\sigma_y$. Lý giải điều này tương tự như trường hợp $C_z = 0,5C_y$. Nghĩa là, trong trường hợp các chất ô nhiễm lan truyền và khuếch tán trong lớp không khí gần mặt đất tuân theo quy luật phân bố chuẩn, nguồn thải liên tục ổn định (quá trình khuếch tán rồi là dừng) thì hệ số phát tán σ , (với z biến thiên trong khoảng $(0, +\infty)$) chỉ bằng một nửa hệ số phát tán σ_y (với y biến thiên từ $(-\infty, +\infty)$).

Các tham số khuếch tán rói ở trên đều được biểu thị qua $K_0 = K_y/U$, trong đó quy luật biến đổi của $K_y = f(\tau)$ đã được xác định bởi các công thức ở mục 1. Vì thế, chỉ cần xác định hệ số tỷ lệ a, b trong công thức (6.8) ứng với khu vực có điều kiện khí hậu nghiên cứu, ta có thể tính toán các tham số khuếch tán rói theo khoảng thời gian lấy trung bình τ ứng với khoảng thời gian tính nồng độ trung bình của chất ô nhiễm theo tiêu chuẩn môi trường Việt Nam. Ví dụ, theo TCVN thì thời gian lấy trung bình đối với bụi lơ lửng và các khí độc là 1h, 8h, 24h. Các hệ số tỷ lệ a và b trong công thức (6.8) đã được tính toán từ chuỗi số liệu khí tượng quan trắc liên tục trong 3 năm ứng với khu vực Hà Nội, Huế và Thành phố Hồ Chí Minh theo 4 mùa trong năm dựa trên phương pháp bình phương tối thiểu. Kết quả tính toán các hệ số a và b được trình bày ở bảng 6.2.

Bảng 6.2.

Khu vực	Hệ số	Mùa xuân	Mùa hạ	Mùa thu	Mùa đông
Hà Nội	b	$5,50 \cdot 10^{-6}$	$3,62 \cdot 10^{-6}$	$1,56 \cdot 10^{-6}$	$4,61 \cdot 10^{-6}$
	a	$1,02 \cdot 10^{-2}$	$6,15 \cdot 10^{-3}$	$3,69 \cdot 10^{-3}$	$7,14 \cdot 10^{-3}$
Huế	b	$8,29 \cdot 10^{-6}$	$5,87 \cdot 10^{-6}$	$1,27 \cdot 10^{-5}$	$1,31 \cdot 10^{-5}$

Khu vực	Hệ số	Mùa xuân	Mùa hạ	Mùa thu	Mùa đông
Huế	a	$6,12 \cdot 10^{-3}$	$6,16 \cdot 10^{-3}$	$2,23 \cdot 10^{-2}$	$1,23 \cdot 10^{-2}$
TP. Hồ Chí Minh	b	$3,15 \cdot 10^{-6}$	$1,19 \cdot 10^{-6}$	$1,42 \cdot 10^{-6}$	$5,37 \cdot 10^{-6}$
	a	$5,03 \cdot 10^{-3}$	$2,60 \cdot 10^{-3}$	$2,24 \cdot 10^{-3}$	$1,53 \cdot 10^{-2}$

Dánh giá sai số:

Sai số bình phương trung bình: $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a\tau_i - b\tau_i^2 - y_i)^2$ tính theo

các hệ số a và b, kết quả được trình bày ở bảng 6.3.

Bảng 6.3.

Mùa Khu vực	Mùa xuân	Mùa hạ	Mùa thu	Mùa đông
Hà Nội	0,003565	0,001983	0,002795	0,002474
Huế	0,001455	0,000930	0,002060	0,003657
TP. Hồ Chí Minh	0,000160	0,000040	0,000023	0,000503

Từ bảng 6.3 cho thấy, sai số dao động trong khoảng từ $10^{-2} - 10^{-5}$, điều này cho thấy sự khá phù hợp của đường cong lý thuyết với đường cong thực nghiệm.

5. Xác định hệ số rói thẳng đứng theo công thức thực nghiệm

Profin thẳng đứng của hệ số khuếch tán rói biểu thị theo quy luật luỹ thừa có dạng:

$$K_z = K_1 \left(\frac{Z}{Z_1} \right)^m \quad (6.15)$$

K_1 – hệ số khuếch tán rói ở độ cao 1m được xác định bằng công thức thực nghiệm có dạng sau:

$$K_1 = 0,104 \cdot \Delta U \left[1 + 1,38 \frac{\Delta T}{(\Delta U)^2} \right] \quad (6.16)$$

$\Delta U = U_2 - U_{0,5}$: hiệu tốc độ gió ở mực 2 và 0,5m.

$\Delta T = T_{0,5} - T_2$: hiệu nhiệt độ không khí tại mực 0,5 và 2m.

Đối với khí quyển ở trạng thái cân bằng phiếm định thì $m = 0,75$; còn ứng với điều kiện không cân bằng (trạng thái siêu đoạn nhiệt), giá trị $m = 0,9$ (xem ghi chú ở công thức (2.98)). Khi đó, theo công thức (6.15) sẽ xác định được K_z ở độ cao Z bất kỳ.

Chương trình tính toán các tham số khí tượng và khuếch tán rói trong lớp biên khí quyển được mô phỏng bằng sơ đồ khái trình bày ở phần phụ lục [15].

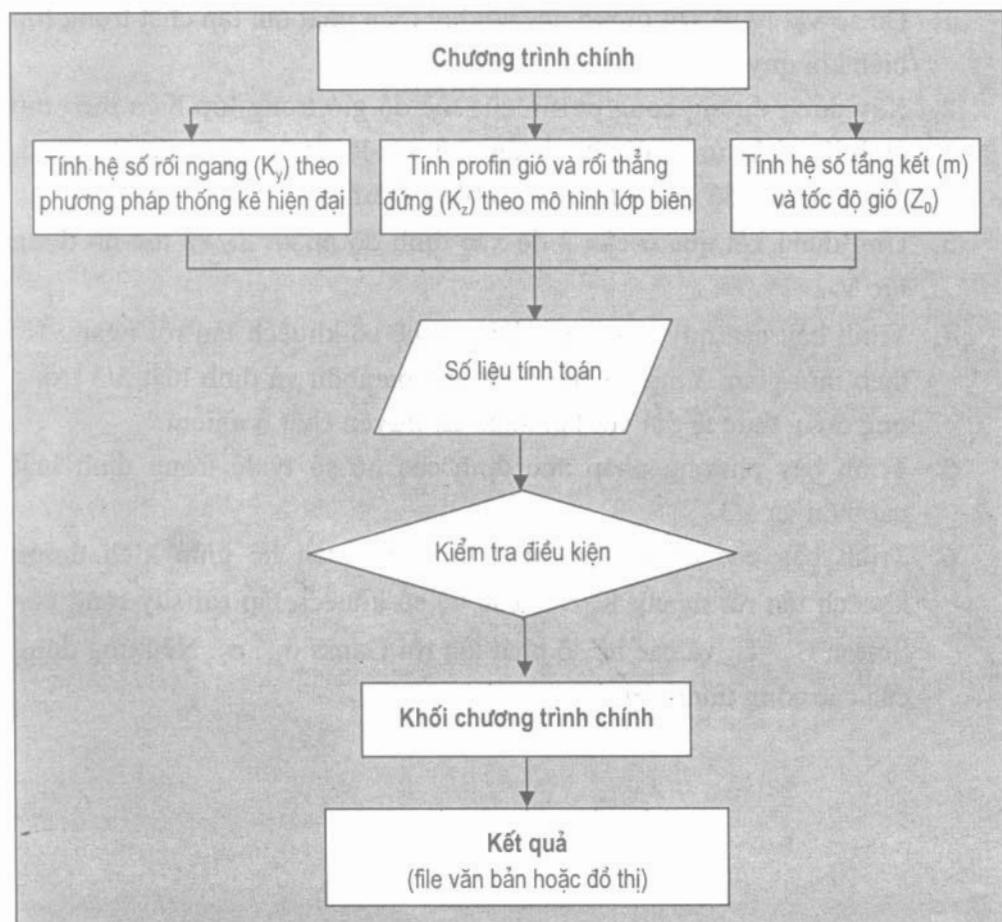
CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG VI

1. Cơ sở vật lý và khí tượng đối với bài toán phát tán tạp chất trong lớp biên khí quyển.
2. Xây dựng đường cong profin của tốc độ gió trong lớp biên theo mô hình lũy thừa ứng với chỉ số tầng kết nhiệt bát ổn định của Berliand, biết rằng tốc độ gió ở độ cao 1m bằng 1,5m/s.
3. Ứng dụng kết quả ở câu 2 để xác định độ nhám Z_0 và tốc độ động lực V_* .
4. Trình bày các quy luật biến đổi của hệ số khuếch tán rói ngang K_y theo thời gian. Ý nghĩa của định luật parabol và định luật 5/3 trong ứng dụng thực tế đối với bài toán lan truyền chất ô nhiễm.
5. Trình bày phương pháp xác định các hệ số tỷ lệ trong định luật parabol và 5/3.
6. Trình bày các công thức biểu thị mối quan hệ giữa kích thước khuếch tán rói ngang K_0 với các hệ số khuếch tán rói suy rộng của Sutton C_y , C_z và các hệ số phát tán rói Gauss σ_y , σ_z . Nêu ứng dụng của các công thức này.

PHỤ LỤC

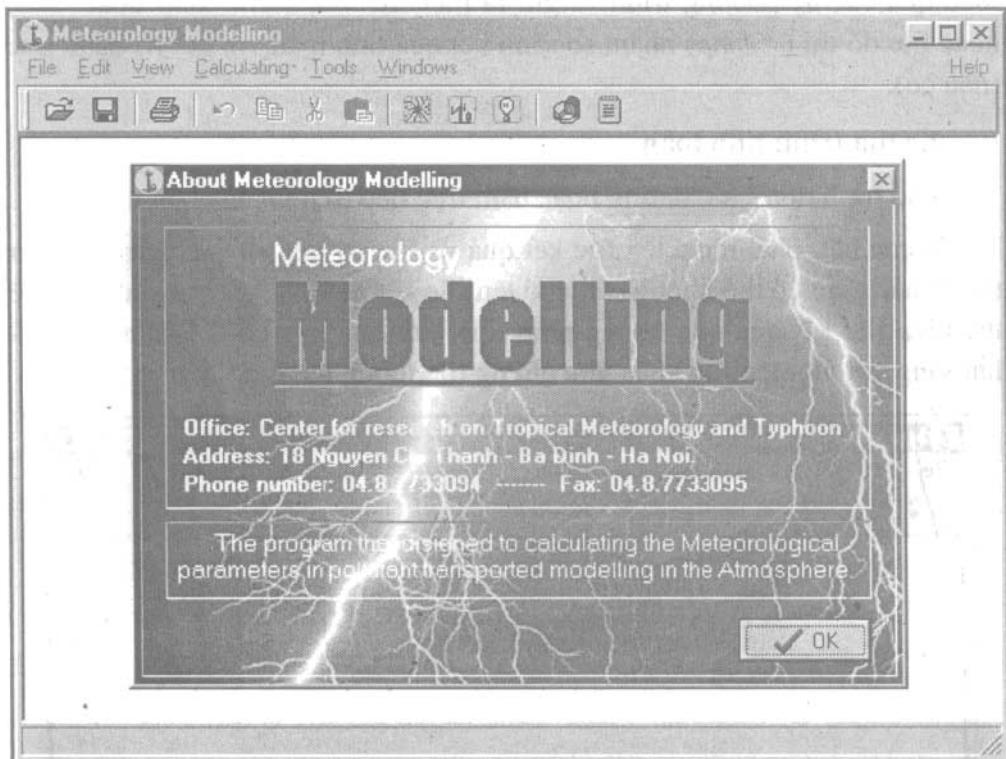
THUYẾT MINH CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN CÁC THAM SỐ KHÍ TƯỢNG VÀ KHUẾCH TÁN RỐI ĐỐI VỚI MÔ HÌNH TÍNH LAN TRUYỀN CHẤT Ô NHIỄM TRONG MÔI TRƯỜNG LỚP BIÊN KHÍ QUYỀN [15]

Chương trình tính toán các tham số đối với bài toán lan truyền chất ô nhiễm trong lớp biên khí quyển được trình bày với các module tính toán khác nhau nhằm xác định giá trị cụ thể của các tham số trong mô hình bao gồm: hệ số rối ngang K_y ; kích thước rối ngang K_0 ; hệ số khuếch tán rối suy rộng của Sutton: C_y, C_z ; hệ số rối thẳng đứng K_z ; profin gió; độ nhám bề mặt Z_0 và hệ số tầng kết n .



Hình 1. Sơ đồ khối của chương trình tính toán

Giao diện của chương trình tính như trên hình 2.



Hình 2. Giao diện của chương trình tính

1. Chuẩn bị dữ liệu đầu vào

Số liệu đầu vào được tổ chức thành file văn bản với định dạng sau:

File số liệu được định dạng theo mẫu AAMMYYYY và có phần mở rộng tùy chọn (*.smt, *.txt, *.*), trong đó AA là tên các ký tự tùy chọn, MM là tên tháng, và YYYY là năm (Ví dụ: LB011999.smt, TN042000.smt v.v...).

– *File số liệu rõ rệt*: Số liệu gió tại mực quan trắc mặt đất tính theo tháng với ốp quan trắc là 4 hoặc 8 ốp.

– *File số liệu cao không*: Lấy số liệu đo đặc cao không của 3 trạm ở 3 mực là: H – 1.000, T – 1.000; H – 850, T – 850; và H – 700, T – 700 đối với từng trạm.

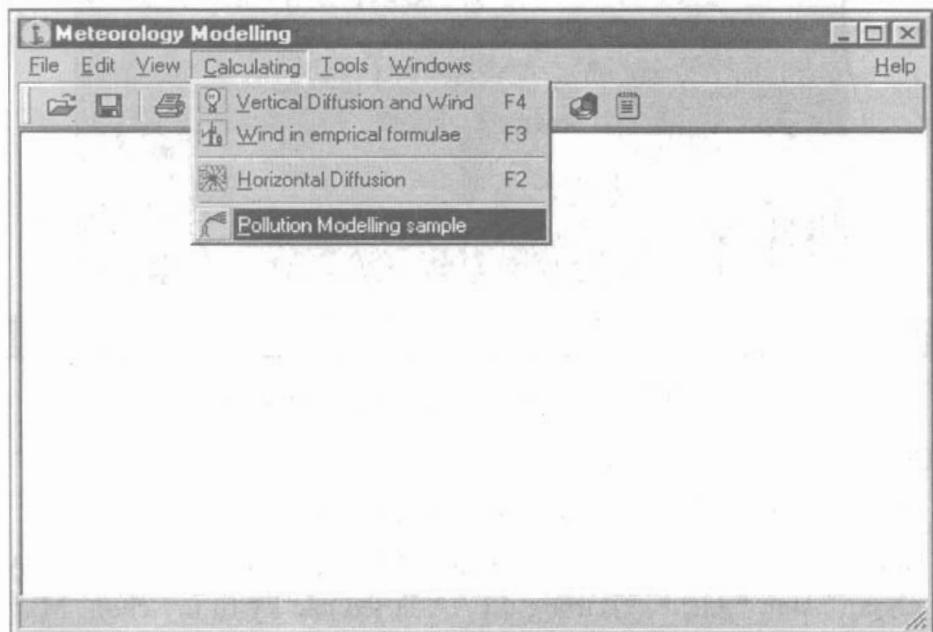
– *File số liệu thực nghiệm*: Lấy giá trị quan trắc tại 2 mực quan trắc của trạm quan trắc mặt đất.

Các file số liệu được chuẩn bị sẵn sẽ được chương trình đọc ghi và tính toán qua các hệ phương trình và ghi ra một file văn bản (*.dmt hoặc *.txt) hoặc file đồ thị (*.bmp) nhằm so sánh kết quả tính toán với giá trị quan trắc (nếu có).

2. Quá trình tính toán

Vào trình đơn **Calculating** hoặc bấm trực tiếp trên thanh công cụ.

Trước hết, phải nhập tên file kết quả và file số liệu và các thông số cần thiết khác (bạn có thể không cần nhớ tên file kết quả) và kết quả tính toán sẽ thể hiện file kết quả qua khung nhìn. File kết quả này có thể chỉnh sửa và lưu sang với một tên file khác như những file thông thường.



Hình 3. Môđun tính toán

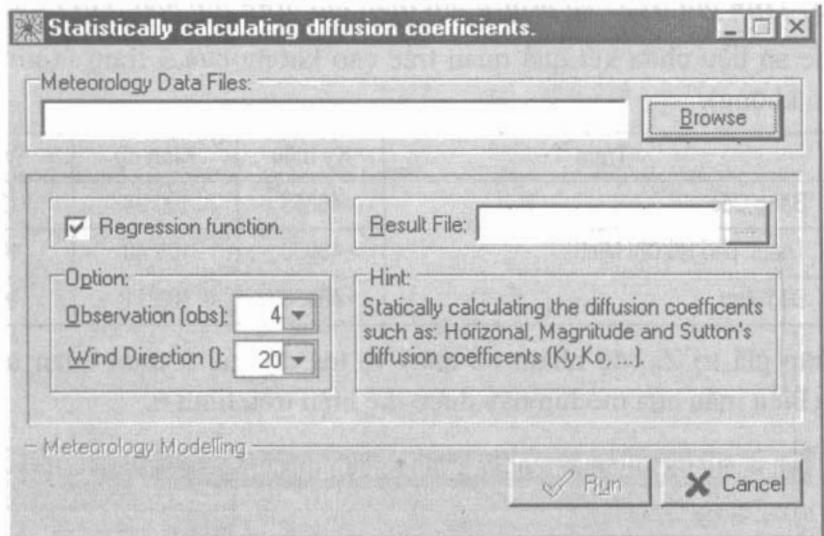
Có 3 lựa chọn tính toán:

2.1. Tính hệ số rối

Biểu mẫu của môđun tính toán được thể hiện qua hình sau:

Số liệu do đặc theo giá trị quan trắc có 2 lựa chọn đó là 4 ống và 8 ống (quan trắc/ngày).

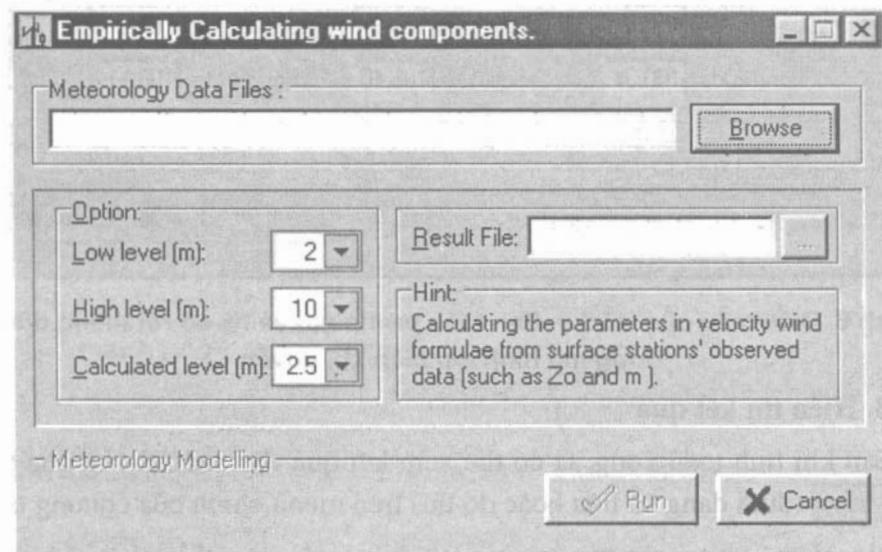
Hướng gió được tính với các góc (5^0 ; 10^0 ; 15^0 ; 20^0 ; $22,5^0$) có thứ nguyên là độ ứng với bảng đo gió 16 hướng.



Hình 4. Biểu mẫu của môđun tính toán hệ số rói

2.2. Tính giá trị Z_0 và n ($n = 1 - m$) trong công thức biến đổi tốc độ gió theo quy luật luỹ thừa và loga

Bạn nhập vào 2 mục quan trắc và mục gió cần tính (có thể là số nguyên hoặc số thực).



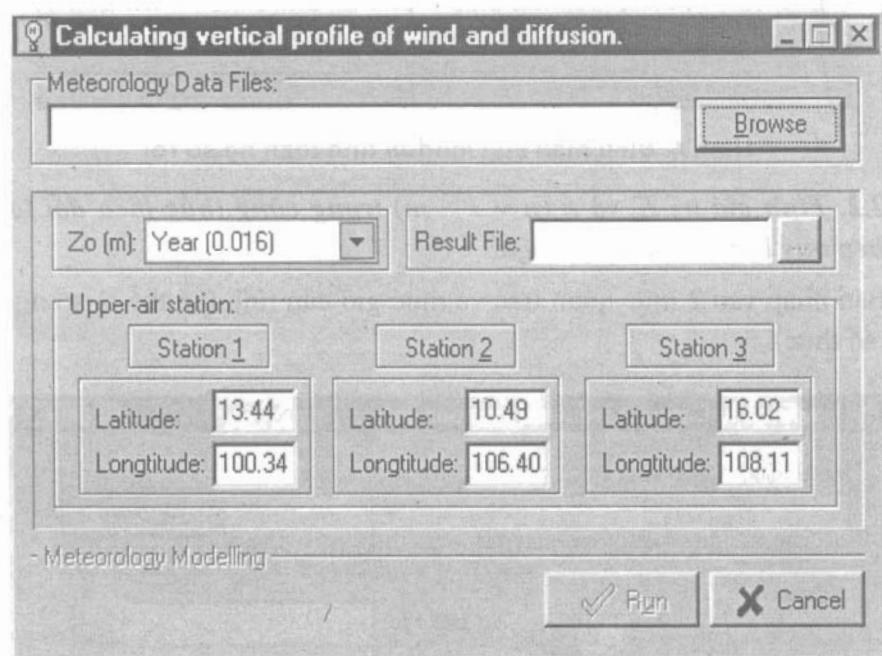
Hình 5. Biểu mẫu của môđun tính toán thành phần tốc độ gió theo công thức thực nghiệm

2.3. Tính giá trị K_z và profin gió theo mô hình lớp biên khí quyển

File số liệu chứa kết quả quan trắc cao không của 3 trạm (xem file số liệu cao không).

STT	Trạm	Ký hiệu	Kinh độ	Vĩ độ
1	Băng Cốc	48855	100°34'	13°44'
2	Thành phố Hồ Chí Minh	48900	106°40'	10°49'
3	Đà Nẵng	48455	108°11'	16°02'

Nhập giá trị Z_0 (độ nhám bề mặt) và tọa độ của 3 trạm quan trắc cao không (Biểu mẫu của môđun này được thể hiện trên hình 6).



Hình 6. Biểu mẫu của môđun tính toán profin gió và hệ số rối thẳng đứng trong mô hình lớp biên khí quyển

3. Hiển thị kết quả

Sau khi tính toán xong, ta có thể xem kết quả tính toán thông qua trình đơn **View** (dưới dạng số liệu hoặc đồ thị) trên menu chính của chương trình.

Ngoài ra, trong chương trình này chúng tôi còn thiết lập thêm một modđun tính thử nghiệm với số liệu cụ thể cho mô hình lan truyền chất ô nhiễm phục vụ cho công tác nghiên cứu và dự báo.

The screenshot shows a software window titled "Meteorology Modelling". The menu bar includes File, Edit, View, Calculating, Tools, Windows, and Help. The toolbar contains various icons for file operations. A sub-menu window titled "C:\Long\MeteoPro\KetQua\LB011997.dmt" displays a table of data. The table header reads: *** MO HINH LOP BIEN KHI QUYEN *** Thang 01/1997. The columns are labeled: ! Do_cao ! Roi ! Gio ! E ! Eta ! Sigma !. The data rows are as follows:

Do_cao	Roi	Gio	E	Eta	Sigma
0	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00
16	2.13	0.44	0.37	1.10	-0.16
32	5.24	0.62	0.51	1.19	-0.32
47	8.70	0.73	0.62	1.29	-0.48
63	12.30	0.82	0.69	1.38	-0.63
79	15.93	0.89	0.75	1.47	-0.78
95	19.51	0.95	0.80	1.56	-0.93
110	23.01	1.01	0.83	1.64	-1.08
126	26.38	1.06	0.85	1.73	-1.23
142	29.60	1.11	0.87	1.81	-1.37

Hình 7. Hiển thị file kết quả

The screenshot shows a software window titled "Berland's atmospheric dispersion model". The menu bar includes File, Edit, View, Calculating, Tools, Windows, and Help. The toolbar contains various icons for file operations. The main window has a title bar "Modelling". It contains two main sections: "Non-technical parameters" and "Technical parameters".

Non-technical parameters:

- Wind speed at 1m ([m/s]): 1.3
- Wind speed at 10m ([m/s]): 1.80
- Air temperature (T_k[°C]): 19.0
- Vertical diffusion K_v[m]: 0.444
- Horizontal diffusion K_h[m]: 0.471

Atmospheric condition:

- Unstability (n=0.14)
- Stability (n=0.21)

Technical parameters:

- Gaseous waste emission (Q[mg/s]): 12500
- The height of Chimney (H[m]): 30
- The diameter of Chimney (D[m]): 1.2
- The speed of flue-waste V_o [m/s]: 2.1
- Gaseous waste temperature (T_f [°C]): 130

Output file: Output01.dmt

Buttons at the bottom: Run (with checkmark) and Cancel.

Hình 8. Biểu mẫu tính toán thử nghiệm cho mô hình lan truyền tạp chất trong lớp biên khí quyển

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Cục Môi trường, Bộ Tài nguyên và Môi trường. *Quy trình và Quy phạm quan trắc môi trường không khí*. 2005.
2. Phạm Ngọc Đăng. *Môi trường không khí*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2004.
3. Phạm Ngọc Hồ, Hoàng Xuân Cơ. *Cơ sở Khí tượng học, tập III*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 1991.
4. Phạm Ngọc Hồ. *Phương pháp xác định hệ số khuếch tán rỗi trong lớp biển khí quyển*. Thông báo khoa học các trường đại học, №2, 1993.
5. Phạm Ngọc Hồ và nnk. *Nghiên cứu phương pháp xác định các tham số khuếch tán rỗi trong các mô hình tính toán sự phát tán và dự báo lan truyền chất ô nhiễm không khí từ các nguồn thải công nghiệp ứng với điều kiện khí hậu nhiệt đới gió mùa ở Việt Nam*. Báo cáo tổng kết đề tài Khoa học công nghệ và môi trường, số 152/Mtg, Hà Nội, 12/1998.
6. Phạm Ngọc Hồ. *Đánh giá hiện trạng và dự báo xu thế biến động môi trường không khí ở Hà Nội và một số thành phố lớn ở Bắc Việt Nam*. Báo cáo tổng kết Đề tài NCCB cấp Nhà nước, mã số 7-8-10, Hà Nội, 1999.
7. Phạm Ngọc Hồ. *Cơ sở lý thuyết khuếch tán rỗi và mô hình lan truyền chất ô nhiễm trong môi trường không khí và nước*. Giáo trình giảng dạy sau đại học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Hà Nội, 2000.
8. Phạm Ngọc Hồ, Hoàng Xuân Cơ. *Đánh giá tác động môi trường*. NXB Đại học Quốc gia Hà Nội, 2000.
9. Phạm Ngọc Hồ. *Nghiên cứu hiệu chỉnh và tham số hoá mô hình dự báo sự lan truyền chất ô nhiễm trong môi trường không khí trên cơ sở số liệu của các trạm quan trắc và phân tích chất lượng không khí cố định tự động tại Hà Nội*. Báo cáo tổng kết đề tài Khoa học công nghệ, số 01C-09/05-2001-2, Hà Nội, 2003.
10. Phạm Ngọc Hồ. *Phương pháp đánh giá chất lượng môi trường theo chỉ tiêu tổng hợp phục vụ cho việc thành lập bản đồ hiện trạng môi*

- trường*. Tuyển tập công trình Hội nghị Khoa học môi trường toàn quốc lần II, 2005.
11. Phạm Ngọc Hồ, Đồng Kim Loan, Trịnh Thị Thanh. *Giáo trình Cơ sở môi trường không khí*. Nhà xuất bản Giáo dục, 2009.
 12. Lê Đình Quang. *Đặc trưng định lượng lớp biên hành tinh của khí quyển ở vùng vĩ độ thấp*. Luân án PTS Trường Khí tượng Thuỷ văn Odetxa, 1977. (Tiếng Nga).
 13. Lê Đình Quang. *Về một cách tham số hoá lớp biên tà áp dụng của khí quyển*. Tạp chí Cơ học №1, Hà Nội, 1982.
 14. Le Dinh Quang. *Modèle de couche limite de L'atmosphère et quelques problèmes appliqués*. International Conference EMT '97 Engineering Mechanics Today. Proceedings Volume 1. Hanoi, 1–3 August, 1997.
 15. Lê Đình Quang, Vương Quốc Cường, Nguyễn Lê Tâm. *Profit của một vài đặc trưng lớp sát đất khi tính đến ảnh hưởng của phân tầng nhiệt theo số liệu thấp khí tượng*. Tuyển tập Cơ học Thủy khí và Môi trường. Tập 2. 2004.
 16. Buzova H. L. *Sự phát tán các tạp chất trong lớp biên khí quyển*. NXB Khí tượng Thuỷ văn, Leningrat, 1974 (Tiếng Nga).
 17. Dobrútman E. M. *Về một vài tính đặc biệt hoàn lưu tầng đối lưu ở vùng nhiệt đới*. Tạp chí Khí tượng Thuỷ văn, №5, 1964 (Tiếng Nga).
 18. Garger E. K. *Về khuếch tán ngang trong lớp biên khí quyển*. Tạp công trình №15, Matxcova, 1976. (Tiếng Nga).
 19. Pham Ngoc Ho and Pham Thi Viet Anh. *Determination of Variable Law of the Turbulent diffusion Parameters with Time Internal in the Air Environment in Vietnam*. Osaka University, Osaka, Japan, November, 2001.
 20. Hanna R.S. *Review of Atmospheric Diffusion Models for Regulatory Application*. WHO Technical Note.177, 1–37, WHO, 1982.
 21. Jenold L. Schonoor. *Environmental Modelling, Fate and Transport of Pollutants in Water, Air and Soil*. New York, 1990.

22. Jetske H., Hans J.S., Frank A.A. *Air Pollution Modeling and Its Application*. Plenum Press, PP. 99–109, 1989.
23. Krivelevich L. M, Laikhtman D. L. *Mô hình lớp biên xích đạo của đại dương*. Tạp chí “Tin tức Viện hàn lâm Liên Xô, Vật lý Khí quyển và Đại dương”, 1975”, T.11, №12. (Tiếng Nga).
24. Laikhtman. *Vật lý lớp biển khí quyển*. NXB Khí tượng Thuỷ văn, Leningrat 1970 (Tiếng Nga).
25. Laikhtman (hiệu đính). *Khí tượng động lực*. NXB Khí tượng Thuỷ văn, Leningrat, 1976. (Tiếng Nga).
26. Lamly. Dj, Panovski G. *Cấu trúc rối khí quyển*. NXB “Mir” Matxcova, 1966. (Tiếng Nga).
27. Noelde Nevers. *Air Pollution Control Engineering*. Printed in Singapore, 1995.
28. Pasquill. *Atmospheric Diffusion. The dispersion of Wind bound material from Industrial and other Source*. London, 1971.
29. Tarnopolski A. G, Snaidman V. A. *Tham số hoá lớp biển hành tinh ta áp của khí quyển*. Tập công trình Gidrometsentor Leningrat, 1976 (Tiếng Nga).
30. William J.Morze. *Air Pollution*, Printed in USA, 1989.
31. Zilitinkevich X.X. *Động lực học lớp biển khí quyển*. NXB Khí tượng Thuỷ văn Leningrat, 1970 (Tiếng Nga).

MỤC LỤC

Trang

Lời nói đầu.....	3
Danh mục các ký hiệu cơ bản	5

PHẦN 1. CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA LỚP BIÊN KHÍ QUYỀN

Chương I. LỚP BIÊN KHÍ QUYỀN

1.1. Khái niệm, định nghĩa và cấu trúc lớp biên khí quyển	9
1.1.1 Khái niệm, định nghĩa.....	9
1.1.2. Cấu trúc lớp biên khí quyển	11
1.2. Khái quát lớp biên khí quyển vùng vĩ độ thấp [12].....	19
Câu hỏi ôn tập chương I	22

Chương II. HỆ THỐNG PHƯƠNG TRÌNH ĐỐI VỚI LỚP BIÊN KHÍ QUYỀN (MÔ HÌNH CHÍNH ÁP VÀ MÔ HÌNH TÀ ÁP)

2.1. Hệ phương trình tổng quát chuyển động của khí quyển [24, 25, 31]	23
2.2. Hệ thống phương trình nhiệt động học đối với khí quyển rối.....	24
2.2.1. Khái niệm về rối.....	24
2.2.2. Sự hình thành của rối	24
2.2.3. Cân bằng động năng của mạch động rối	26
2.2.4. Phương pháp trung bình hoá	28
2.2.5. Hệ phương trình nhiệt động lực tổng quát đối với khí quyển rối	29
2.2.6. Mô tả định lượng các quá trình trong lớp biên hành tinh.....	29
2.2.7. Mô hình lớp biên hành tinh của khí quyển	33
2.3. Các trạng thái tầng kết của lớp biên	36
2.3.1. Tầng kết gắn với trạng thái cân bằng phiếm định	36
2.3.2. Đối lưu tự do	37
2.3.3. Trạng thái ổn định có nghịch nhiệt	38
2.4. Lớp không khí sát đất, phân bố của các yếu tố khí tượng và đặc trưng rối gần mặt đất....	39
2.4.1. Lớp sát đất.....	39
2.4.2. Các đặc trưng rối trong lớp không khí sát đất.....	44
2.4.3. Các hệ số rối của quá trình trao đổi động lượng, dòng nhiệt và dòng ẩm	48
2.5. Ảnh hưởng của tầng kết khí quyển trong lớp sát đất đến các đặc trưng rối [15]	54
2.6. Lý thuyết rối khí quyển quy mô nhỏ (Lý thuyết rối thống kê)	61
Câu hỏi ôn tập chương II.....	64

Chương III. MÔ HÌNH LỚP BIÊN HÀNH TÌNH VỚI VIỆC SỬ DỤNG THÔNG TIN SYNOPSIS - CAO KHÔNG TIÊU CHUẨN

3.1. Các tham số cơ bản của lớp biên và việc xác định chúng theo các thông tin Synopsis	66
3.2. Mô hình chính áp (barotropic) của lớp biên khí quyển	67
3.3. Mô hình tà áp (baroclinic) lớp biên khí quyển	70
3.4. Lớp biên trên biển	76
Câu hỏi ôn tập chương III.....	79

PHẦN II. Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ VÀ MÔ HÌNH HOÁ QUÁ TRÌNH LAN TRUYỀN CHẤT Ô NHIỄM TRONG LỚP BIÊN KHÍ QUYỀN

Chương IV. Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH LAN TRUYỀN CHẤT Ô NHIỄM TRONG LỚP BIÊN KHÍ QUYỀN

4.1. Nguồn gây ô nhiễm môi trường không khí	79
4.1.1. Các nguồn gây ô nhiễm	79
4.1.2. Nguồn ô nhiễm công nghiệp	80
4.1.3. Nguồn ô nhiễm giao thông vận tải.....	83
4.1.4. Nguồn ô nhiễm sinh hoạt	84
4.2. Chất gây ô nhiễm môi trường không khí	85
4.2.1. Các chất khí.....	85
4.2.2. Bụi [1, 7]	88
4.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình lan truyền chất ô nhiễm trong không khí [7, 24, 26]	89
4.3.1. Ảnh hưởng của các yếu tố khí tượng	89
4.3.2. Ảnh hưởng của địa hình đối với sự phân bố chất ô nhiễm.....	95
4.3.3. Ảnh hưởng của nhà và công trình đối với sự phân bố chất ô nhiễm trong môi trường không khí	95
4.4. Các phương pháp nghiên cứu quá trình lan truyền chất ô nhiễm trong lớp biên khí quyển	96
4.4.1. Phương pháp thực nghiệm	96
4.4.2. Phương pháp mô hình hóa [8]	96
4.4.3. Phương pháp thống kê [7]	104
4.4.4. Phương pháp hồi quy tuyến tính.....	108
Câu hỏi ôn tập chương IV.....	110

Chương V. MỘT SỐ MÔ HÌNH TÍNH TOÁN SỰ LAN TRUYỀN CHẤT Ô NHIỄM TRONG LỚP BIÊN KHÍ QUYỀN

5.1. Sự phân bố chất ô nhiễm và phương trình vi phân cơ bản.....	111
5.2. Mô hình lan truyền chất ô nhiễm trong không khí của Berliand	115
5.3. Mô hình lan truyền chất ô nhiễm trong không khí của Sutton và Gauss.....	117
5.4. Nguồn thải hỗn hợp	121
Câu hỏi ôn tập chương V.....	122

Chương VI. XÁC ĐỊNH CÁC THAM SỐ KHÍ TƯỢNG VÀ KHUẾCH TÁN RỐI TRONG CÁC MÔ HÌNH TÍNH TOÁN QUÁ TRÌNH LAN TRUYỀN CHẤT Ô NHIỄM UNG VỚI ĐIỀU KIỆN KHÍ HẬU NHIỆT ĐỚI GIÓ MÙA Ở VIỆT NAM

6.1. Cơ sở vật lý và khí tượng đối với bài toán phát tán của tạp chất trong lớp biên khí quyển [12, 13, 16]	123
6.2. Tính toán các tham số đầu vào của các mô hình toán lan truyền tạp chất trong lớp biên khí quyển.....	127
6.2.1. Tốc độ gió.....	127
6.2.2. Tính toán hệ số khuếch tán rối ngang K_y , kích thước khuếch tán rối K_0 của Berliand, các hệ số khuếch tán rối suy rộng C_y, C_z của Sutton và các hệ số phát tán Gauss σ_y, σ_z	130

Chịu trách nhiệm xuất bản:

Chủ tịch HĐQT kiêm Tổng Giám đốc NGÔ TRẦN ÁI
Phó Tổng Giám đốc kiêm Tổng biên tập NGUYỄN QUÝ THAO

Chịu trách nhiệm nội dung:

Chủ tịch HĐQT kiêm Giám đốc CTCP SÁCH ĐH - DN

TRẦN NHẬT TÂN

Bíên tập và sửa bản in:

HOÀNG THỊ QUY

Trình bày bìa:

BÍCH LA

Chép bản:

HUYỀN TRANG

Giáo trình ĐỘNG LỰC HỌC MÔI TRƯỜNG LỚP BIÊN KHÍ QUYỀN

Mã số: 7K798Y9 – DAI

In 1.000 bản (QĐ : 39), khổ 16 x 24 cm. In tại Nhà in Đại học Quốc Gia Hà Nội.
Địa chỉ : 16 Hàng Chuối, Hà Nội.

Số ĐKKH xuất bản : 161 – 2009/CXB/31 – 208/GD.

In xong và nộp lưu chiểu tháng 7 năm 2009.



CÔNG TY CỔ PHẦN SÁCH ĐẠI HỌC - DẠY NGHỀ
HEVOBCO
25 HÀN THUYỀN - HÀ NỘI
Website : www.hevobco.com.vn



VƯƠNG MIỀN KIM CƯƠNG
CHẤT LƯỢNG QUỐC TẾ

TÌM ĐỌC

Giáo trình về sinh thái và môi trường của Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam

- | | |
|---|---|
| 1. Khoa học môi trường | GS. Lê Văn Khoa |
| 2. Đất ngập nước | GS. Lê Văn Khoa |
| 3. Môi trường và giáo dục bảo vệ môi trường | GS. Lê Văn Khoa |
| 4. Môi trường và phát triển bền vững | GS. Lê Văn Khoa |
| 5. Cẩm nang quản lý môi trường | PGS. Lưu Đức Hải |
| 6. Giáo trình Khoa học Trái Đất | PGS. Lưu Đức Hải -
GS. Trần Nghi |
| 7. Giáo trình Cơ sở môi trường không khí | GS. Phạm Ngọc Hồ -
TS. Đồng Kim Loan -
PGS. Trịnh Thị Thanh |
| 8. Giáo trình Cơ sở môi trường nước | GS. Phạm Ngọc Hồ -
TS. Đồng Kim Loan -
PGS. Trịnh Thị Thanh |
| 9. Kinh tế môi trường | PGS. Hoàng Xuân Cơ |
| 10. Kinh tế chất thải | GS. Nguyễn Đình Hương |
| 11. Cơ sở sinh thái học | GS. Vũ Trung Tặng |
| 12. Sinh thái học các hệ sinh thái | GS. Vũ Trung Tặng |
| 13. Sinh thái học các hệ sinh thái nước | GS. Vũ Trung Tặng |

Bạn đọc có thể mua sách tại các Công ty Sách - Thiết bị trường học ở các địa phương hoặc các cửa hàng sách của Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam :

- Tại TP. Hà Nội : 25 Hán Thuyên ; 187 Giảng Võ ; 232 Tây Sơn ; 23 Tràng Tiền.
- Tại TP. Đà Nẵng : 15 Nguyễn Chí Thanh ; 62 Nguyễn Chí Thanh.
- Tại TP. Hồ Chí Minh : Cửa hàng 451B - 453 ; Hai Bà Trưng - Quận 3 ;
240 Trần Bình Trọng - Quận 5.
5/5, đường 30/4.
- Tại TP. Cần Thơ :

Website : www.nxbgd.com.vn



8 9 3 4 9 8 0 9 8 4 4 0 6



Giá: 20.500đ