# NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ĐƯỜNG DÒNG TRONG BÃO

KS. VŨ ĐỨC DŨNG
**Trung tâm LHVX**
PTS. VŨ VĂN DIỄN
**Cục Dự báo KTTV**

## 1. MỞ ĐẦU

Như đã biết, nếu chuyển động của không khí là chuyển động dừng thì qũy đạo của các phần tử không khí trùng với đường dòng. Trong trường hợp bão, điều này được thể hiện bằng sự tồn tại của các dải mây hình xoắn nhìn thấy được trên ảnh mây vệ tinh và ra-đa. Do đó có thể xác định được đường dòng theo dạng các dải mây này.

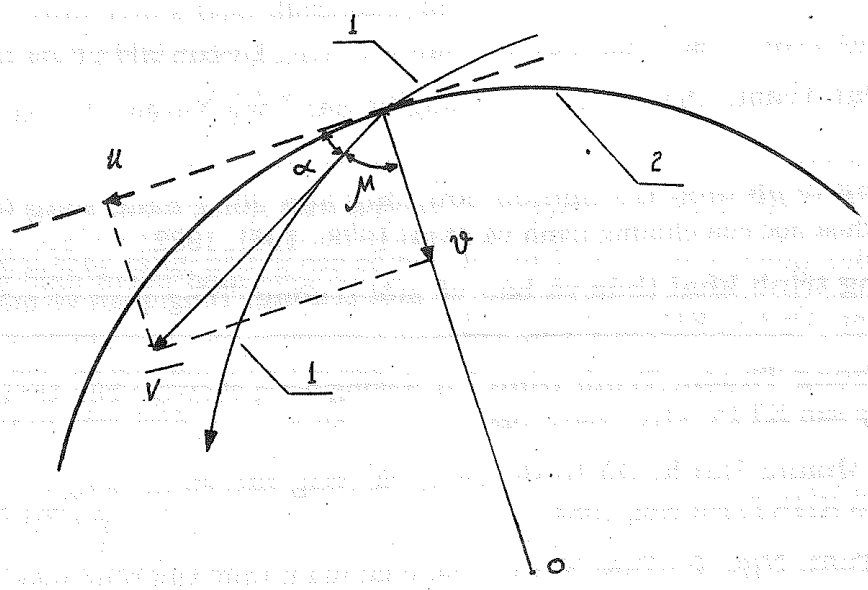
Theo [1],phương trình đường dòng trong hệ tọa độ cực được viết dưới dạng sau:

$$r\frac{d\varphi}{u} = \frac{1}{v}dr \qquad (1)$$

Trong đó r là bán kính véc-tơ; $\varphi$ là góc giữa bán kính véc-tơ và chiều dương của trục x; u và v là thành phần tiếp tuyến và hướng tâm của tốc độ gió.

Trong tài liệu nêu trên đã xem xét các phương án sau:

1. $u = \omega r$, $v = const$, $\omega$ là vận tốc góc;
2. $\frac{v}{u} = tg\alpha = const$, $\alpha$ là góc giữa hướng gió và tiếp tuyến tới đường đẳng áp (hình 1);
3. $tg\alpha = -\frac{r}{R}$, R là bán kính của bão;
4. $tg\alpha = -\frac{r-r_m}{R-r_m}$, $r_m$ là bán kính mắt bão.




*Hình 1. Hình thuyết minh cho việc giải phương trình đường dòng*

0 - Tâm bão; 1 - Đường dòng; 3 - Đường đẳng áp;

Đối với những trường hợp này, đã đưa ra những nghiệm sau của phương trình (1):

1. $r = a\varphi$, $a = \frac{v}{\omega}$, đường xoắn Acsimet;

2. $r = R\exp(\varphi tg\alpha)$, đường xoắn logarit;

3. $r = \frac{R}{\varphi}$, đường xoắn hypecbon;

4. $r = \frac{r_m R}{(R-r_m)\left[\frac{R}{R-r_m} - \exp\left(-\varphi\frac{r_m}{R-r_m}\right)\right]}$, đường cong gần với đường xoắn hypecbon.

Nhược điểm của cách đặt vấn đề nêu trên là các phương án 1 - 4 chưa được chứng minh chặt chẽ. Theo phương án 1 thì thành phần tiếp tuyến của tốc độ gió tăng theo bán kính, còn theo phương án 2 thì các thành phần hướng tâm và tiếp tuyến của tốc độ gió phụ thuộc như nhau vào bán kính. Các số liệu thực nghiệm về sự phân bố các thành phần của tốc độ gió trong bão [2] đã cho thấy phương án 1 và 2 khó có thể thực hiện được trong bão. Theo [3], khi xuất hiện lực ma sát trong bão và chuyển động của không khí là chuyển động dừng thì góc lệnh của gió so với hướng của lực gradien được xác định không phải bằng các biểu thức trong các phương án 3 và 4, mà bằng biểu thức sau:

$$tg\mu = \frac{l}{K} + \frac{v_r}{Kr} \qquad (2)$$

Từ hình 1 ta có:

$$\alpha + \mu = \frac{\pi}{2}$$

Trong đó $l = 2\omega\sin\psi$ là tham số Coriolis; K là hệ số ma sát; $v_r$ là vận tốc gió trên khoảng cách r kể từ tâm bão. Như vậy, góc $\mu$ (hoặc $\alpha$) phụ thuộc vào sự phân bố tốc độ gió trong bão và hệ số ma sát.

Lưu ý đến những điều nêu trên, trong [4], đã tìm được nghiệm sau của phương trình (1):

$$\varphi = A\left(\frac{1}{Y^{t+1}} - 1\right) - a\ln Y \qquad (3)$$

Trong đó $Y = \frac{r}{r_o}$, $a = \frac{l}{K}$

Hệ số A phụ thuộc vào hệ số ma sát và được xác định trên cơ sở phương pháp bình phương tối thiểu.

$r_o$ là bán kính mà ở đó giá trị $\varphi = o$;

t là chỉ số mũ trong công thức thực nghiệm phân bố vận tốc gió tiếp tuyến theo khoảng cách kể từ tâm bão [5]:

$$V(r) = V_{max}\left(\frac{r_{V_{max}}}{r}\right)^t \qquad (4)$$

Như vậy, từ (3) có thể thấy rằng dạng của đường xoắn phụ thuộc vào hệ số ma sát K.

Dưới đây, chúng tôi sẽ trình bày phương pháp và các kết qủa tính toán hệ số ma sát trên biển Đông theo số liệu khảo sát bay, cũng như các kết qủa tính toán thực nghiệm các tham số của đường xoắn theo số liệu ra-đa thu nhận được tại trạm Phù Liễn (Hải Phòng).

## 2. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH HỆ SỐ MA SÁT THEO SỐ LIỆU KHẢO SÁT BAY

Để tính toán hệ số ma sát cần phải xác định tâm bão theo số liệu khảo sát bay. Muốn thực hiện công việc này, cần phải tính góc lệch thực tế và góc lệch lý thuyết của gió so với hướng của lực gradien trong bão. Góc lệch thực tế $\mu_T$ được xác định như một hàm của hướng gió $\beta$ và góc j:

$$\mu_T = f(\beta, j) \tag{5}$$

trong đó

$$j = \frac{180^o}{\pi} \operatorname{arctg} \left| \frac{\lambda_o - \lambda}{\psi_o - \psi} \right|$$

$\lambda_o$, $\psi_o$ là tọa độ tâm bão theo số liệu vệ tinh và mặt đất (điểm O trên hình 2);

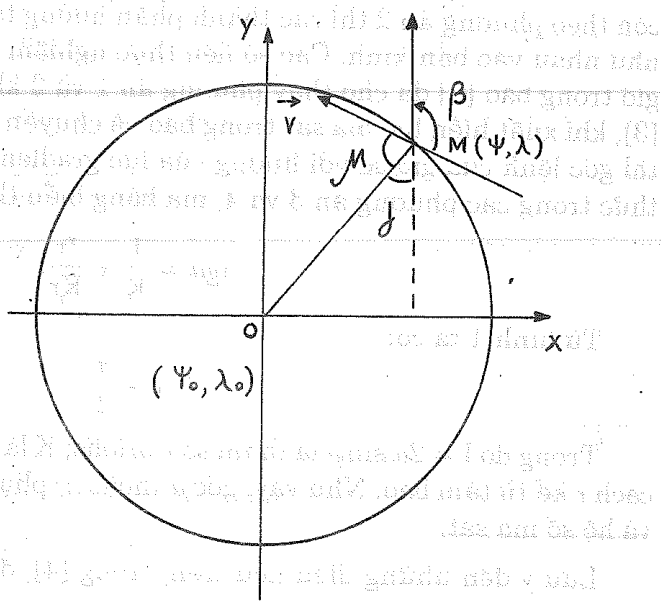
$\lambda$, $\psi$ là tọa độ của điểm đo gió dọc theo tuyến bay của máy bay - phòng thí nghiệm khí tượng trong bão (điểm M trên hình 2). Góc lệch lý thuyết $\mu_L$ được tính từ (2), có nghĩa là:

$$\mu_L = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{K} + \frac{V_r}{Kr}\right) \tag{6}$$

Để tính $\mu_L$, đã cho K = 0,482 x $10^{-4}S^{-1}$ (k=l)

Phương sai của $\mu_L$ so với $\mu_T$ được tính theo công thức sau:

$$\sigma_i^2 = \sum_{j=1}^{m} \frac{(\mu_{Lj} - \mu_{Tj})_i^2}{m} \tag{7}$$




*Hình 2. Hình thuyết minh cho việc tìm công thức tính góc lệch của gió so với hướng của lực gradien.*

Trong đó j = 1-m là chỉ số của điểm đo gió dọc theo tuyến bay của máy bay - phòng thí nghiệm khí tượng trong bão;

i = 0-N là chỉ số của điểm (tâm) được chọn tùy ý nằm trong bán kính không lớn hơn 30km kể từ tâm bão theo số liệu vệ tinh và mặt đất (tâm này có chỉ số là O).

Điểm có phương sai nhỏ nhất của góc lệch lý thuyết ($\mu_L$) so với góc lệch thực tế ($\mu_T$) được coi như tọa độ tâm bão theo số liệu máy bay.

Sau khi đã xác định được tâm bão theo số liệu của máy bay thì tính hệ số ma sát căn cứ theo tâm này.

Từ (2) ta có:

$$K = \operatorname{ctg}\mu_T\left(1 + \frac{V_r}{r}\right) \tag{8}$$

(8) là công thức dùng để tính hệ số ma sát theo số liệu khảo sát bay trong bão trên biển Đông.

## 3. PHƯƠNG PHÁP TÍNH CÁC THAM SỐ CỦA ĐƯỜNG XOẮN THEO SỐ LIỆU RA-ĐA

Để xác định các tham số của đường xoắn trong bão, đã sử dụng phương pháp trình bày trong [4] trong đó các tham số của đường xoắn được tính theo giá trị của hệ số ma sát K = 0,482 x $10^{-4}$ $S^{-1}$ (K = l).

Ở đây, để tính các tham số nêu trên, đã sử dụng giá trị của hệ số ma sát thu nhận được trên biển Đông, theo phương pháp trình bày trong mục 2.

Hệ số A trong (3) được tính trên cơ sở phương pháp bình phương tối thiểu, theo công thức sau:

$$A = \frac{[\varphi_{Ti}X_i] + [L_iX_i]}{[X_i^2]} \tag{9}$$

Trong đó [] là ký hiệu gaoxơ; i = 1 - n là chỉ số của điểm lấy số liệu ra-đa; $\varphi_T$ là góc lệch thực tế trong hệ tọa độ cực;

$$X_i = \frac{1}{Y_i^{t+1}} - 1, \qquad L_i = a_i \ln Y_i \quad , \qquad a_i = \frac{L_i}{K} \tag{10}$$

Sai số xác định hệ số A được tính theo công thức sau:

$$\Delta A = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \frac{|\Delta\varphi_i|}{X_i} \tag{11}$$

Trong đó $\Delta\varphi_i$ là sai số của điểm thứ i.

$$\Delta\varphi_i = \varphi_{Ti} - \varphi_{Li} \tag{12}$$

Góc lí thuyết trong hệ tọa độ cực được tính theo công thức sau:

$$\varphi_{Li} = A.X_i - a_i \ln Y_i \tag{13}$$

Ưu điểm của phương pháp này là có thể tính được gió cực đại trong bão. Theo [4] thì:

$$V_{r_o} = A(t+1)Kr_o \tag{14}$$

Trong đó $V_{ro}$ là vận tốc gió trên khoảng cách $r_o$ kể từ tâm bão (mà ở đó $\varphi = 0$)

Sai số xác định $V_{ro}$:

$$\Delta V_{r_o} = \Delta A[(t+1)kr_o] \tag{15}$$

Tốc độ gió cực đại trong bão được tính theo công thức sau:

$$V_{max} = V_{r_o}\left(\frac{r_o}{r_{V_{max}}}\right)^t \tag{16}$$

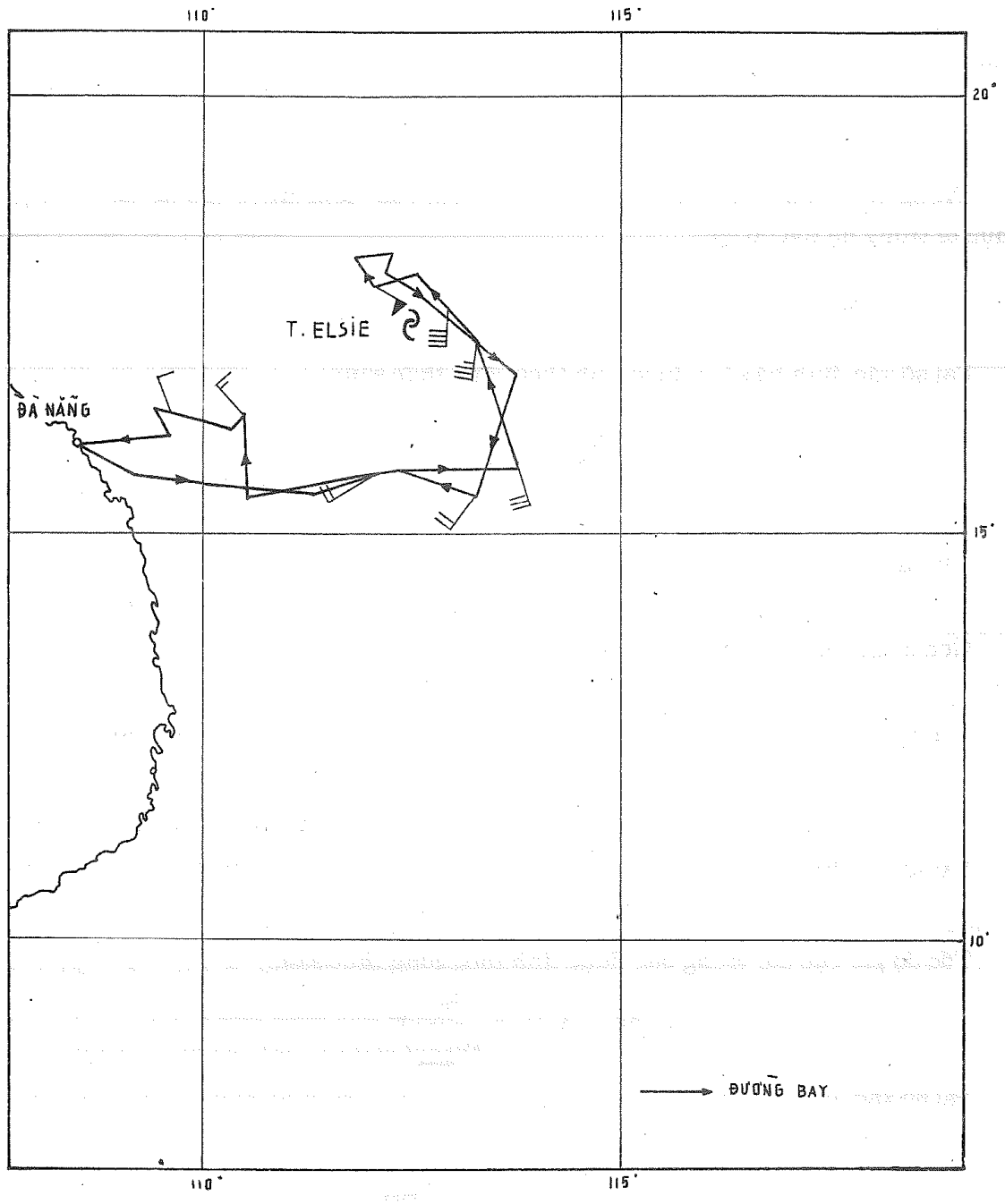
Sai số xác định $V_{max}$:

$$\Delta V_{max} = \Delta V_{r_o}\left(\frac{r_o}{r_{V_{max}}}\right)^t \tag{17}$$

Trong đó t là chỉ số mũ, đặc trưng cho mức độ giảm vận tốc gió theo khoảng cách kể từ tâm bão. Công thức (16) chỉ đúng với các giá trị $r > r_{Vmax}$ và phù hợp với các số liệu quan trắc cho đến r ≈ 300 km [5, 6].

## 4. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

Để tính hệ số ma sát trên biển Đông, đã sử dụng các số liệu về gió thu nhận được trong các chuyến bay vào bão ELSIE (1989), ANGELA (1989) và ED (1990). Sơ đồ chuyến bay trong các cơn bão này được trình bày trên các hình 3-5. Bảng 1 đưa ra các kết qủa tính toán độ lệch giữa góc $\mu_L$ và $\mu_T$, cũng như giá trị của hệ số ma sát trong các cơn bão nêu trên.

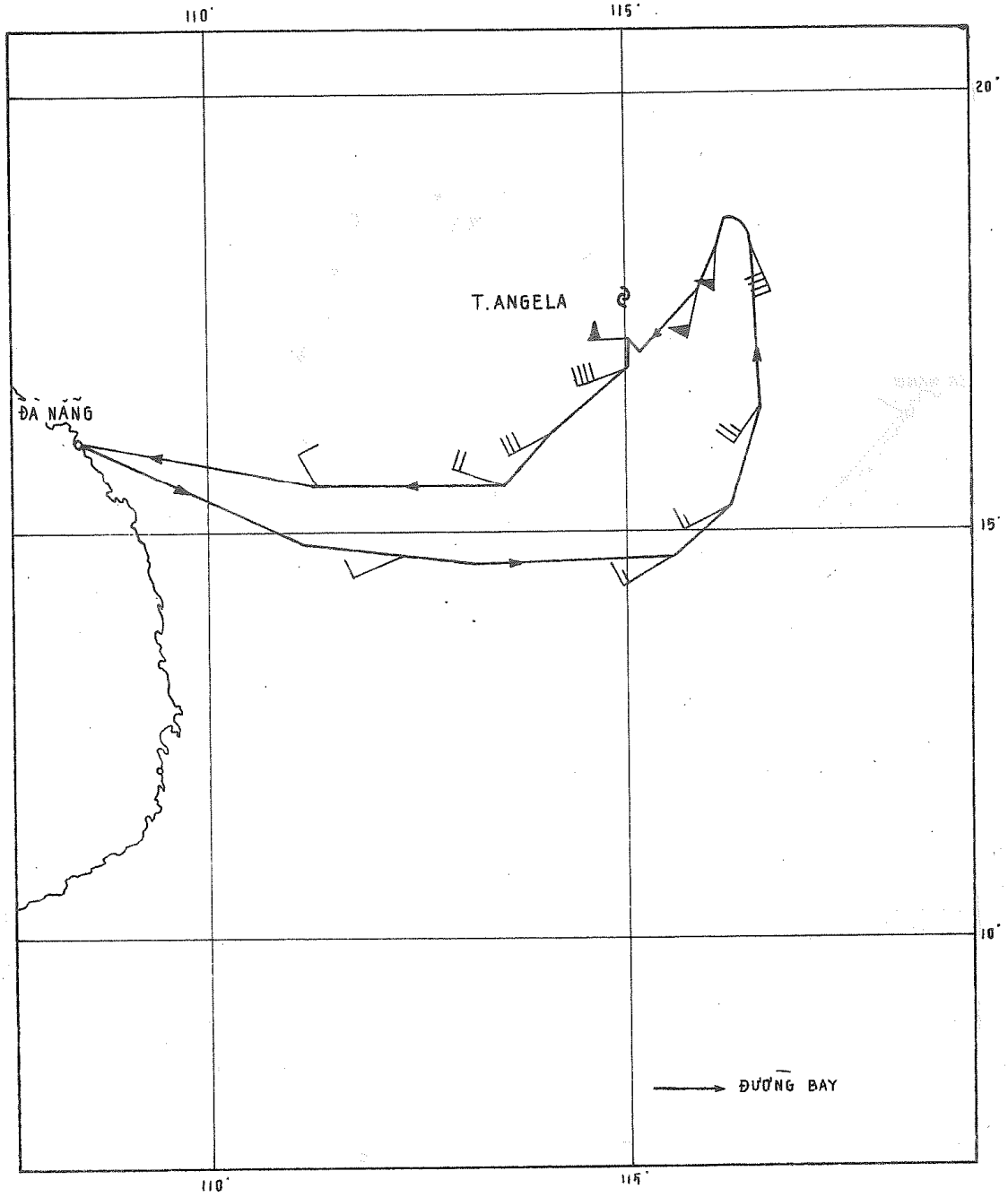



*Hình 3. Sơ đồ chuyến bay trong bão ELSIE (21-X-1989)*

Từ bảng 1 có thể thấy rằng độ lệch giữa góc $\mu_L$ và $\mu_T$ thay đổi trong giới hạn từ $15,2^o$ đến $27,2^o$. Độ lệch lớn nhất ($\Delta\mu_{max}$) tính được trong cơn bão ELSIE. Giá trị của hệ số ma sát trong các cơn bão nêu trên phù hợp với các kết qủa tính toán hệ số ma sát đã được công bố trong các tài liệu nước ngoài [3,. 7].

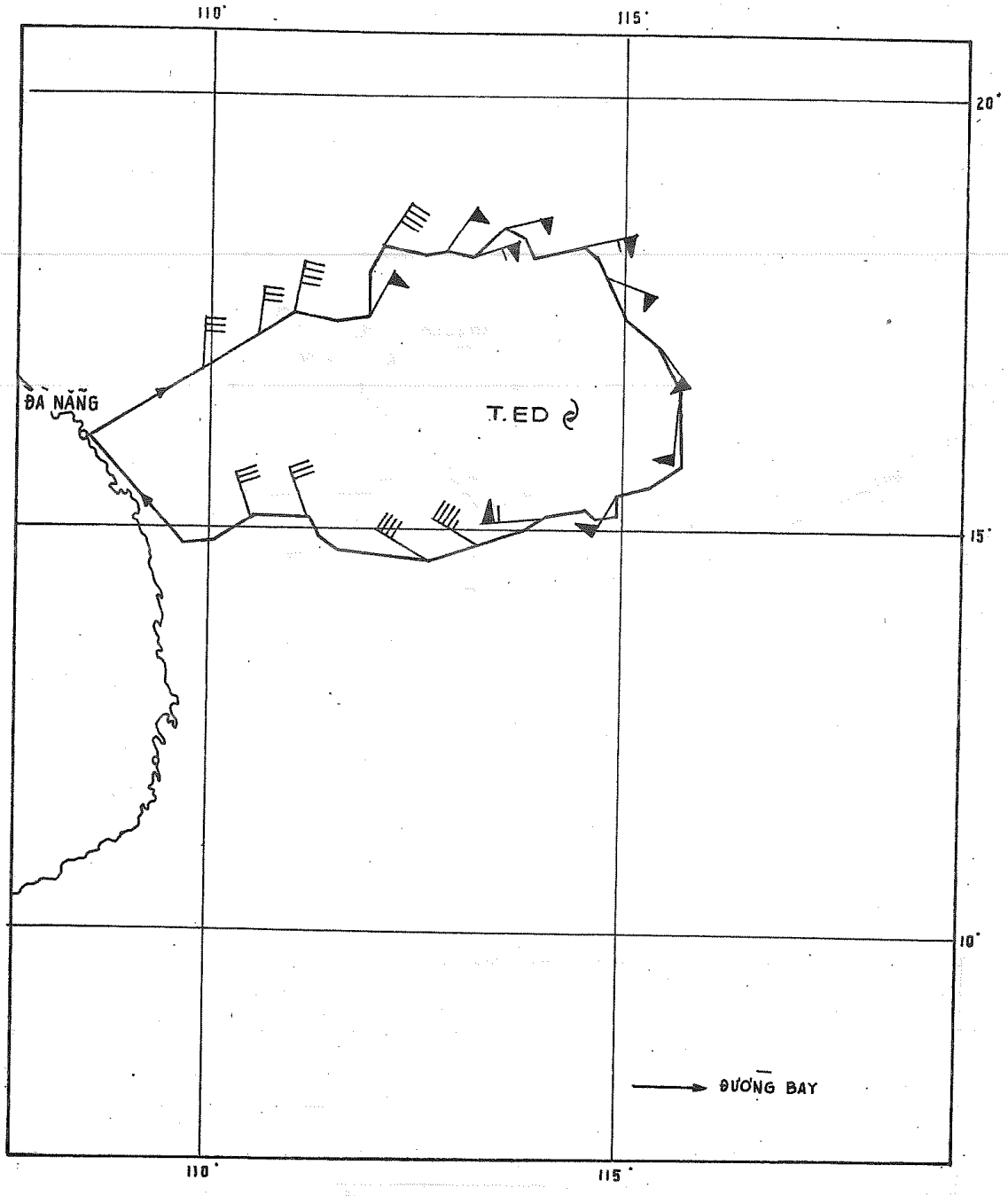
*Bảng 1 - Giá trị $\Delta\mu$ và hệ số ma sát trong bão trên biển đông*

| Tên bão | $\Delta\mu$(độ) | K x $10^{-4}S^{-1}$ |
|---|---|---|
| ELSIE (1989) | 27,2 | 0,6928 |
| ANGELA (1989) | 18,3 | 0,4734 |
| ED (1990) | 15,2 | 0,2501 |




*Hình 4. Sơ đồ chuyến bay trong bão ANGELA (8-10-1989)*

Giá trị hệ số ma sát thu nhận được trên biển Đông theo số liệu khảo sát bay đã được dùng để tính các tham số của đường xoắn trong các cơn bão IRVING (1989) và ZEKE (1991). Ngoài ra, để tính các tham số nêu trên, đã sử dụng các số liệu ra-đa thu nhận được tại trạm Phù Liễn trong các cơn bão này khi chúng hoạt động trên biển Đông và nằm trong bán kính quan trắc của ra-đa MRL-5.




*Hình 5. Sơ đồ chuyến bay trong bão ED (16-IX-1990)*

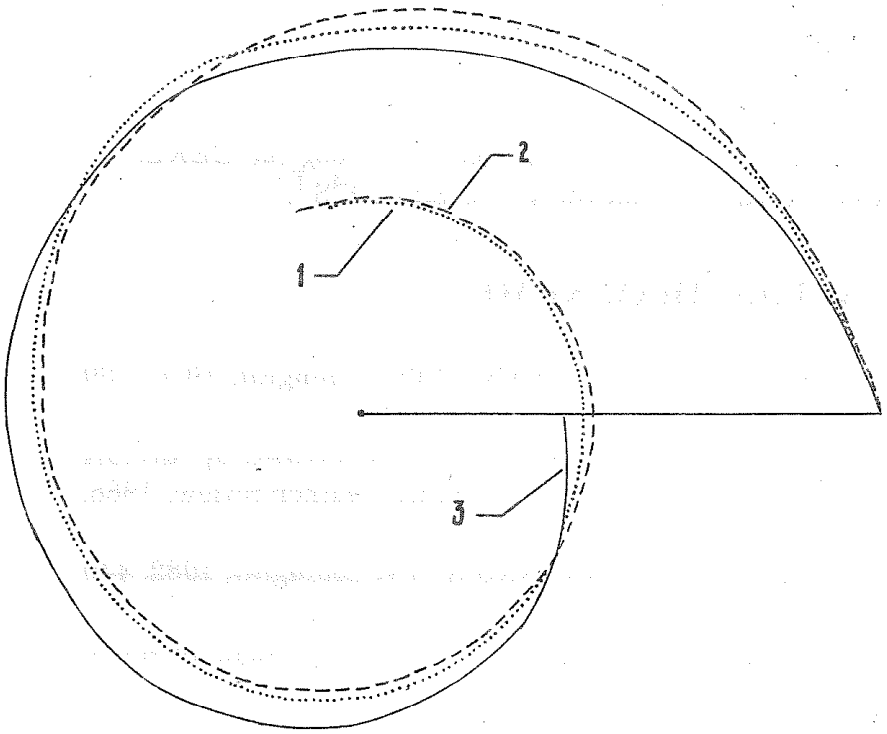
*Bảng 2. Giá trị của hệ số A và tốc độ gió cực đại trong bão trên biển Đông. Ở hàng dưới là các giá trị tương ứng tính được với K = 0,482 x $10^{-4}S^{-1}$*

| Tên bão | $r_o$, (km) | $r_{Vmax}$ (km) | A | ΔA | $V_{max}$ tính, (m/s) | $\Delta V_{max}$ tính, (m/s) | $V_{max}$ thực, (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| IRVING 24.VII.1989 | 148 | 30 | 2,063<br>2,424 | 7,719<br>7,621 | 25,6<br>57,9 | 9,6<br>18,2 | 28 |
| ZEKE 14.VII.1991 | 338 | 30 | 5,6<br>5,798 | 2,22<br>2,318 | 45,1<br>47,6 | 17,9<br>19,0 | 35 |

Bảng 2 trình bày các kết qủa tính hệ số A (trong nghiệm của phương trình đường dòng) và tốc độ gió cực đại trong các cơn bão IRVING và ZEKE. Để so sánh, trong bảng này cũng đưa ra (ở hàng dưới) các giá trị tương ứng được tính trong điều kiện K = 0,482 x $10^{-4}S^{-1}$ (K = l).

Các kết qủa nêu trong bảng 2 cho thấy, tốc độ gió cực đại trong bão được tính theo các giá trị của hệ số ma sát thu nhận được theo số liệu khảo sát bay (hàng trên) gần với thực tế hơn so với các giá trị tương ứng được tính trong điều kiện K = 0,482 x $10^{-4}S^{-1}$ (giá trị hàng dưới). Sai số tính $V_{max}$ trong trường hợp thứ nhất cũng nhỏ hơn so với trong trường hợp thứ hai. Tuy nhiên, $\Delta V_{max}$ có giá trị tương đối lớn. Điều này có thể giải thích bằng việc chọn chỉ số mũ t (chỉ số thực nghiệm) trong (16). Ở đây, chúng tôi đã chọn t = 0,5.

Hình 6 và 7 trình bày các đường xoắn tính được trong các cơn bão IRVING và ZEKE. Trên các hình này cũng có vẽ các đường xoắn thực tế trong các cơn bão nêu trên. Đường xoắn thu nhận được theo giá trị của hệ số ma sát tính theo số liệu khảo sát bay gần với đường xoắn thực tế hơn so với đường xoắn thu nhận được trong điều kiện K = 0,482 x $10^{-4}S^{-1}$.




*Hình 6. Các đường xoắn tính toán (1, 2) và đường xoắn thực tế (3) trong bão Irving.*

1. Tính với K theo số liệu khảo sát bay;
2. Tính với K = 0,482 x $10^{-4}S^{-1}$.

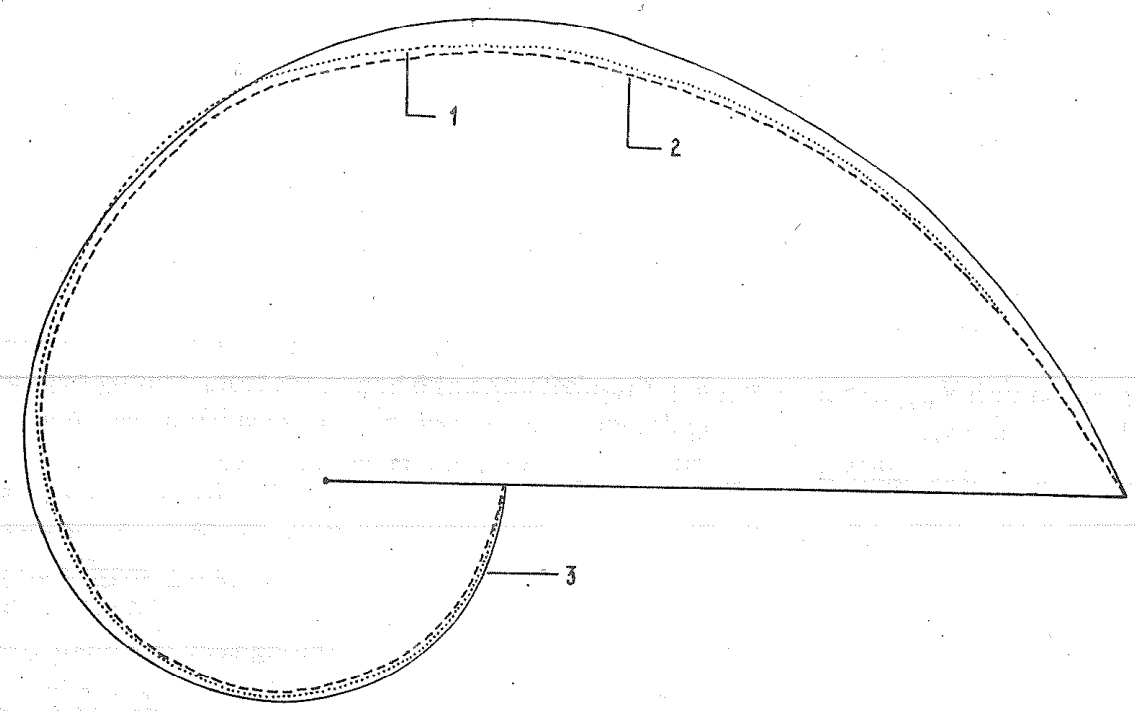
## 5. KẾT LUẬN

Trên đây là một số kết qủa bước đầu thu nhận được trong việc nghiên cứu thực nghiệm đường dòng trong bão trên biển Đông. Còn nhiều vấn đề cần được nghiên cứu tiếp. Tuy nhiên, có thể kết luận sơ bộ như sau:

- Phương pháp tính hệ số ma sát nêu trên là phương pháp thực nghiệm. Để tính hệ số ma sát theo phương pháp này, cần phải xác định vị trí tâm bão theo số liệu khảo sát bay.

Phương pháp này có thể áp dụng được trong thực tiễn nghiên cứu bão bằng máy bay;

- Các kết qủa trình bày ở trên có thể có ích cho việc phân tích các số liệu ra-đa, cụ thể là tính toán các tham số của các đường xoắn và xác định vị trí tâm bão theo số liệu ra-đa. Chúng cũng có thể có ích trong việc phân tích các số liệu vệ tinh về bão.




*Hình 7. Các đường xoắn tính toán (1, 2) và đường xoắn thực tế (3) trong bão ZEKE.*
1. Tính với K theo số liệu khảo sát bay; 2. Tính với $K = 0,482 \times 10^{-4} S^{-1}$.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. MAMEDOV E.S, PAVLOV N.I. Các cơn bão. - NXB KTTV, Leningrat, 1974, 139 trang, (tiếng Nga).

2. WEATHERFORD C.L., GRAY W.M. Typhoon structure as revealed by aircraft reconnaissance. Part 1: Data analysis and climatology. - Monthly weather review, 1988, v.116, p.1032-1043.

3. GURILNHIK I.I và các tác giả. - Khí tượng học. NXB KTTV, Leningrat, 1982, 440 trang, (tiếng Nga).

4. IURCHAK B.S. Về xấp xỉ hình dạng của các dải xoắn ốc trong xoáy thuận nhiệt đới. TS KTTV số 3 (363)/1991, trang 17-21.

5. KHAIN A.P., SUTURIN G.G. Xoáy thuận nhiệt đới và sự tương tác của chúng với đại dương. NXB KTTV, Leningrat, 1983, 271 trang (tiếng Nga).

6. PORTELA M.A. Xoáy thuận nhiệt đới nhìn từ quan điểm nhiệt - thủy động lực như hệ thống các xoáy tuyến tính. - Tuyển tập Hội thảo quốc tế về khí tượng nhiệt đới. NXB KTTV, Leningrat, 1982, trang 22-30, (tiếng Nga).

7. PUDOV V.D., PETRICHENKO S.A. Về cấu trúc nhiệt động lực của vết bão (virdjunia).-Tuyển tập "Taiphun 78", NXB KTTV Leningrat, 1980, trang 82-93, (tiếng Nga)