



**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN**

**NGUYỄN MẠNH HÙNG, NGUYỄN THỌ SÁO**

**MÔ HÌNH TÍNH SỐNG  
VÙNG VEN BỜ**

Hà Nội - 2005





# MỤC LỤC

## Mở đầu

### Chương 1

#### LÝ THUYẾT CƠ BẢN VỀ TRƯỜNG SÓNG TRÊN VÙNG BIỂN SÂU VÀ VEN BỜ

1.1 Các yếu tố sóng, dạng sóng và phân loại trường sóng	5
1.2 Các lý thuyết mô phỏng trường sóng, phạm vi áp dụng đối với các vùng nước sâu và ven bờ	8
1.3 Tác động và tương tác của trường sóng với các quá trình thủy thạch, động lực ven bờ	15

### Chương 2

#### BIẾN ĐỔI CÁC YẾU TỐ SÓNG KHI TRUYỀN VÀO VÙNG VEN BỜ

2.1 Tốc độ, độ dài và các yếu tố khác của chuyển động sóng vùng ven bờ	19
2.2 Biến dạng sóng vùng ven bờ	28
2.3 Khúc xạ sóng vùng ven bờ	30
2.4 Nhiễu xạ sóng do vật cản	33
2.5 Kết hợp sóng khúc xạ và nhiễu xạ	36
2.6 Phản xạ sóng	40
2.7 Sóng đổ	41
2.8 Tương tác giữa sóng và dòng chảy ở vùng ven bờ	48

### Chương 3

#### ỨNG SUẤT BỨC XẠ SÓNG VÀ CÁC QUÁ TRÌNH DO SÓNG SINH RA Ở VÙNG VEN BỜ

3.1 Các thành phần ứng suất bức xạ sóng	54
3.2 Mực nước dâng và rút tại vùng sóng đổ	57
3.3 Các loại dòng chảy do sóng vùng ven bờ	59
3.4 Lý thuyết dòng chảy sóng dọc bờ	60
3.5 Lớp biên sóng	65
3.6 Sóng dài vùng ven bờ	69

#### **Chương 4**

#### **LÝ THUYẾT PHỔ SÓNG ÁP DỤNG CHO VÙNG VEN BỜ**

- |   |    |
|---|----|
| 4.1 Phổ sóng trong vùng biển có độ sâu giới hạn | 71 |
| 4.2 Biến đổi phổ sóng vùng ven bờ               | 78 |

#### **Chương 5**

#### **CÁC MÔ HÌNH TÍNH TOÁN SÓNG GIÓ, SÓNG LỪNG VÙNG VEN BỜ**

- |  |     |
|--|-----|
| 5.1 Các yếu tố tạo sóng và điều kiện khí tượng hải văn ảnh hưởng đến trường sóng   | 80  |
| 5.2 Các phương pháp tính sóng dựa trên các mối tương quan lý thuyết và thực nghiệm giữa các yếu tố sóng và các yếu tố tạo sóng. Quy phạm tính toán sóng của Việt Nam | 93  |
| 5.3 Các mô hình tính sóng vùng ven bờ dựa trên phương pháp giải phương trình lan truyền sóng   | 103 |

#### **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

123

## MỞ ĐẦU

Giáo trình “ Mô hình tính sóng vùng ven bờ” được biên soạn như một sự kế tiếp cuốn giáo trình “Động lực học Biển – phần 1 – Sóng biển” [1] được biên soạn năm 1998 dành cho học sinh Hải dương học tại khoa Khí tượng, Thủy văn và Hải dương học . Đây là một cuốn sách viết khá đầy đủ các kiến thức cơ bản về trường sóng, trong đó đề cập đến cả trường sóng vùng khơi và trường sóng ven bờ, các phương pháp tính toán dự báo sóng trên cơ sở lý thuyết và thực nghiệm. Tuy nhiên do sự phát triển rất nhanh của các nghiên cứu lý thuyết, thực nghiệm của ngành Hải dương học nói chung và động lực sóng biển nói riêng, đặc biệt tại khu vực ven bờ là nơi tập trung mọi hoạt động kinh tế, xây dựng, du lịch nghỉ dưỡng, nên trong khoảng từ những năm 90 lại đây, nhiều lý thuyết, mô hình tính toán trường sóng mới đã được nghiên cứu và đưa vào áp dụng trong nghiệp vụ hàng ngày. Cuốn giáo trình này được biên soạn nhằm đáp ứng được các yêu cầu năng cao, cập nhật các lý thuyết, mô hình tính sóng vùng ven bờ, và với phương hướng nâng cao trình độ, kỹ năng thực hành tính toán cho sinh viên. Một số các phần lý thuyết cơ bản về trường sóng sẽ được nhắc lại so với giáo trình đầu, tuy nhiên các lý thuyết về phương trình lan truyền sóng trên vùng biển có độ dốc thoải, lý thuyết bức xạ sóng và các mô hình tính sóng theo phương pháp số là những phần hoàn toàn mới và những năm vừa qua các sinh viên đã được truyền đạt từng phần.

Giáo trình gồm 5 chương sắp xếp theo thứ tự từ lý thuyết cơ bản đến thực hành và các mô hình tính sóng.

Chương I đề cập đến lý thuyết cơ bản về trường sóng vùng biển sâu và ven bờ do PGS. TS. Nguyễn Mạnh Hùng biên soạn.

Chương II viết về biến đổi các yếu tố sóng khi lan truyền vào vùng ven bờ do PGS. TS. Nguyễn Mạnh Hùng biên soạn.

Chương III trình bày lý thuyết ứng xuất bức xạ sóng và các quá trình do sóng sinh ra ở vùng ven bờ do TS. Nguyễn Thọ Sáo biên soạn.

Chương IV liên quan tới lý thuyết phổ sóng áp dụng cho vùng ven bờ do PGS. TS. Nguyễn Mạnh Hùng biên soạn.

Chương V là các mô hình tính toán sóng gió, sóng lừng vùng ven bờ do PGS. TS. Nguyễn Mạnh Hùng và TS. Nguyễn Thọ Sáo cùng biên soạn.

Trong quá trình biên soạn, các tác giả đã cố gắng trình bày một cách cô đọng các phần lý thuyết và thực hành, liên quan đến trường sóng vùng ven bờ. Đồng thời cũng chọn lựa các thuật ngữ chung nhất trong nghiên cứu sóng, trong nghiên cứu địa hình địa mạo vùng bờ nhằm bước đầu thống nhất các thuật ngữ chuyên môn trong ngành Hải dương. Tuy vậy có thể vẫn còn những vấn đề bỏ sót, cần được bổ sung và các thuật ngữ cần được thống nhất. Chúng tôi biết ơn và đánh giá cao các phát hiện và đóng góp của người đọc và các bạn đồng nghiệp.

## Chương 1

# LÝ THUYẾT CƠ BẢN VỀ SÓNG TRÊN VÙNG BIỂN SÂU VÀ VEN BỜ

Sóng biển là một trong các yếu tố hết sức quan trọng đối với các hoạt động trên đại dương, sóng tác động lên tàu thuyền, công trình và các phương tiện trên biển. Đối với vùng ven bờ, sóng lại càng trở nên quan trọng. Sóng là yếu tố cơ bản quyết định đến địa hình đường bờ, đến việc thiết kế các công trình cảng, luồng ra vào cảng và các công trình bảo vệ bờ biển. Sóng tạo ra các dòng vận chuyển trầm tích dọc bờ và ngang bờ làm thay đổi địa hình đáy.

Sóng là quá trình thay đổi mặt nước tuần hoàn giữa các đỉnh và bụng sóng. Hướng truyền sóng được xác định là hướng truyền của các sóng đơn. Mô phỏng dạng chuyển động của mặt nước khi có sóng hết sức khó khăn do các sóng đơn tác động qua lại lẫn nhau. Các sóng truyền nhanh hơn sẽ đuổi kịp các sóng truyền chậm và có thể kết hợp thành một sóng. Như vậy các sóng đôi khi sẽ tăng lên hoặc bị mất đi do sự tương tác giữa chúng. Sóng gió khi ra khỏi vùng gió thổi sẽ ổn định dần và trở thành các sóng đều hơn - sóng lừng. Năng lượng sóng bị tiêu hao trong bản thân khối nước, trong quá trình tương tác giữa các sóng và trong quá trình sóng đổ. Khi truyền vào vùng ven bờ năng lượng sóng còn bị mất mát do ma sát đáy. Ở vùng sát bờ, một nguồn năng lượng rất lớn của sóng sẽ tác động đến bờ biển. Ngoài ra năng lượng sóng cũng có thể chuyển thành nhiệt năng trong quá trình trao đổi rối ở trong khối nước khi sóng đổ hoặc dưới tác động của ma sát đáy. Trong khi nhiệt năng không có ảnh hưởng gì lớn thì cơ năng (sóng đổ, áp lực sóng) lại hết sức quan trọng đối với bờ biển và các công trình trên biển. Như vậy việc thiết kế các công trình biển phụ thuộc rất nhiều vào độ chính xác của các tham số sóng. Dự báo, dự tính trường sóng thường được thực hiện cho các sóng đơn, sau đó sử dụng các dạng phân bố để nhận được trường sóng thực tế.

Việc nắm vững các lý thuyết cơ bản của chuyển động sóng là thực sự cần thiết cho nghiên cứu các mô hình sóng vùng ven bờ, phục vụ cho các công tác lập kế hoạch, thiết kế xây dựng và quản lý vùng ven bờ nói riêng và vùng biển nói chung.

### 1.1 CÁC YẾU TỐ SÓNG, DẠNG SÓNG VÀ PHÂN LOẠI TRƯỜNG SÓNG

#### 1.1.1 Các yếu tố sóng biển

Dao động tuần hoàn của mặt nước qua vị trí mực nước trung bình gọi là sóng. Mô phỏng mặt nước chuyển động có thể thực hiện dưới dạng một sóng - sóng đơn hoặc mặt nước chuyển động của nhiều sóng - sóng hỗn tạp. Sóng hình sin hoặc sóng điều hoà là các thí dụ về sóng đơn vì bề mặt của nó có thể mô phỏng qua hàm sin hoặc cosin. Mặt sóng chuyển động so với một điểm cố định gọi là sóng tiến, hướng mà sóng chuyển động tới gọi là hướng truyền sóng. Nếu mặt nước chỉ đơn thuần dao động lên xuống gọi là sóng đứng. Nếu trong chuyển động sóng mặt nước được mô phỏng bằng quỹ đạo khép kín hoặc gần khép kín đối với mỗi chu kỳ sóng gọi là dao động hoặc tựa dao động. Định nghĩa các yếu tố sóng được nêu tại bảng 1.1

**Bảng 1.1 Các yếu tố sóng**

Các yếu tố sóng	Ký hiệu	Định nghĩa
Chu kỳ sóng	T	Thời gian để một đỉnh và một bụng sóng đi qua một điểm cố định
Tần số sóng	f	=1/T: Số dao động trong một giây
Tốc độ pha	C	=L/T: Tốc độ chuyển động của mặt sóng
Độ dài (bước) sóng	L	Chiều dài của hai đỉnh hoặc hai bụng sóng kế tiếp
Độ cao sóng	H	Khoảng cách thẳng đứng giữa đỉnh và bụng sóng kế tiếp
Độ sâu	d	Khoảng cách từ đáy biển đến mặt nước trung bình

Liên hệ giữa tốc độ truyền sóng, chiều dài sóng và chu kỳ sóng:

$$C = \frac{L}{T} \quad (1.1)$$

$$C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \quad (1.2)$$

$$C^2 = \frac{gL}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$$

$$C^2 = \frac{gCT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right); C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (1.3)$$

Giá trị  $\frac{2\pi}{L}$  gọi là số sóng (k) - số bước sóng trong một chu trình sóng.

Giá trị  $\frac{2\pi}{T}$  gọi là tần số vòng của sóng - số chu kỳ sóng trong một chu trình sóng.

Từ (1.1) và (1.3) ta có:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (1.4a)$$

Tính gần đúng

$$L \approx \frac{gT^2}{2\pi} \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 d}{T^2 g}\right)} \quad (1.4b)$$

Công thức (1.4b) thuận tiện trong sử dụng và có độ chính xác phù hợp với các tính toán kỹ thuật. Sai số cực đại khoảng 5% khi  $\frac{2\pi d}{L} \approx 1$ .

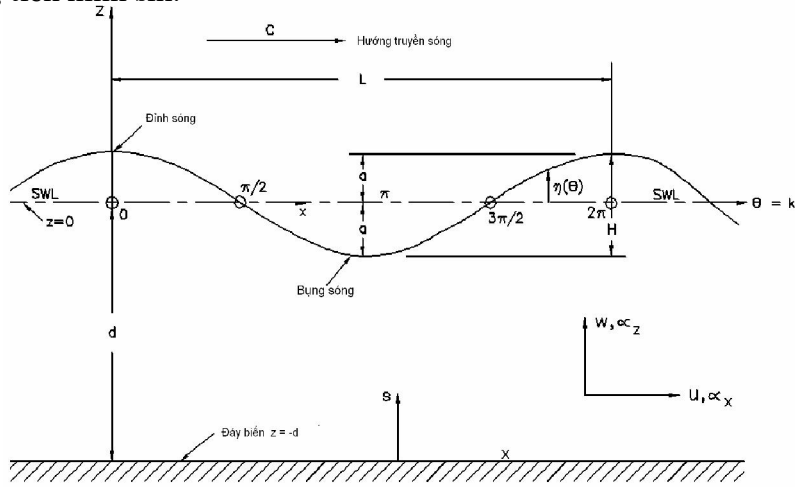
### 1.1.2 Dạng sóng biển

Dạng sóng biển thị hình dạng của mặt nước khi có sóng. Trên thực tế, phụ thuộc vào các điều kiện khác nhau (ví dụ vùng nước sâu, nước nông, vùng gió thổi vv..) sóng sẽ có các dạng khác nhau và tính chất sóng cũng có thể khác nhau (sóng điều hoà và không điều hoà). Dạng sóng đơn giản nhất là sóng tuyến tính, đôi khi cũng có các tên gọi khác như sóng Airy, sóng hình sin, sóng Stokes bậc một. Phương trình mô tả dạng của mặt

nước tự do khi có sóng là một hàm của thời gian  $t$ , khoảng cách  $x$  đối với sóng hình sin có dạng:

$$\eta = a \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) = \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) \quad (1.5)$$

Phương trình (1.5) mô tả chuyển động của sóng tiến theo hướng tăng của trục  $x$ , nếu sóng truyền theo hướng ngược lại ta có dấu dương trong ngoặc. Khi  $\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}$  tiến tới các giá trị  $0, \pi/2, \pi, 3/2\pi$  ta có  $\eta$  tiến tới  $H/2, 0, -H/2, \text{ và } 0$ . Hình 1 vẽ sơ đồ các yếu tố sóng đối với dạng sóng tiến hình sin.



**Hình 1.1** Các yếu tố sóng đối với dạng sóng tiến hình sin

### 1.1.3 Phân loại sóng biển

Sóng trên biển có thể phân loại theo nguồn gốc, bản chất hiện tượng, độ cao, độ sâu, tỷ số giữa bước sóng và độ sâu vv..

#### a. Phân loại sóng theo nguồn gốc, hiện tượng

Sóng gió là sóng chịu ảnh hưởng của gió sinh ra nó, sóng lừng là sóng vượt ra ngoài vùng tác động của gió, cũng tương tự như vậy có thể xác định các loại sóng theo nguồn gốc sinh ra nó. Bảng 2.1 trình bày phân loại sóng theo nguồn gốc, hiện tượng.

**Bảng 1.2.** Phân loại sóng theo nguồn gốc, hiện tượng

Hiện tượng	Nguyên nhân	Chu kỳ
Sóng gió	Lực kéo của gió	Đến 15s
Sóng lừng	Sóng gió truyền đi	Đến 30s
Sóng Seiche	Áp và gió	2-40 phút
Sóng Surf beat	Nhóm sóng	1-5 phút
Sóng cộng hưởng trong cảng	Tsunami, Surf beat	2-40 phút
Tsunami	Động đất	5-60 phút
Thủy triều	Lực hút của mặt trăng, mặt trời	12-24 giờ
Nước dâng	Lực kéo của gió, độ giảm áp	1-30 ngày

### **b. Phân loại sóng theo độ cao**

Theo độ cao sóng, có thể phân loại sóng theo tỷ số giữa độ cao và độ dài sóng (độ dốc) và độ cao sóng với độ sâu biển. Sóng được gọi là có độ cao vô cùng nhỏ khi độ dốc nhỏ  $H/L \rightarrow 0$  và tỷ số giữa độ cao sóng với độ sâu biển nhỏ  $H/d \rightarrow 0$ . Sóng có độ cao hữu hạn khi không thỏa mãn một trong hai điều kiện trên.

### **c. Phân loại sóng theo vùng sóng truyền, phát sinh**

Theo tỷ số giữa độ sâu với độ dài của sóng có thể phân ra 3 vùng sóng lan truyền hoặc phát sinh.

**Bảng 1.3 Phân loại sóng theo vùng sóng truyền, phát sinh**

Phân loại	$d/L$	$2\pi d/L$	$\tanh(2\pi d/L)$
Nước sâu	$>1/2$	$> \pi$	$\cong 1$
Biến dạng	$1/25 - 1/2$	$1/4 - \pi$	$\tanh(2\pi d/L)$
Nước nông	$<1/25$	$<1/4$	$\cong 2\pi d/L$

### **d. Phân loại sóng theo tỷ số giữa độ cao, độ dài và độ sâu - số Ursel ( $U_r$ )**

$$U_r = \frac{HL^2}{d^3} \quad (1.6)$$

$U_r \cong 0$  lý thuyết sóng tuyến tính,

$U_r$  nhỏ lý thuyết sóng Stokes

$U_r$  lớn lý thuyết sóng cnoidal

Ngoài ra có thể phân loại theo các đặc điểm của các lực tác động lên trường sóng, theo lực tác động lên hạt nước sau khi bị nhiễu động trở về vị trí cân bằng, theo biến động của trường sóng theo thời gian, theo đặc điểm lan truyền của mặt sóng hoặc theo dạng của mặt sóng v.v.. Các loại sóng được phân loại nêu trên có thể là sóng cưỡng bức, sóng tự do; sóng mao dẫn, sóng trọng lực; sóng ổn định, sóng đang phát triển; sóng tiến, sóng đứng; sóng hai chiều, sóng ba chiều; sóng đều hoặc sóng không đều.

## **1.2 CÁC LÝ THUYẾT MÔ PHỎNG TRƯỜNG SÓNG, PHẠM VI ÁP DỤNG ĐỐI VỚI CÁC VÙNG NƯỚC SÂU VÀ VEN BỜ**

Trong thực tế, trường sóng thường rất phức tạp và rất khó mô phỏng bằng các biểu thức toán học do đặc tính phi tuyến và ngẫu nhiên cùng với phân bố ba chiều của nó. Tuy nhiên lịch sử nghiên cứu sóng có thể được đánh dấu bằng hai lý thuyết cơ bản: Lý thuyết Airy (1845) và lý thuyết Stokes (1880). Hai lý thuyết này mô phỏng được trường sóng khá tốt tại vùng biển mà độ sâu khá lớn so với độ dài sóng. Đối với các vùng ngược lại, lý thuyết cnoidal cho kết quả tốt hơn và tại vùng sóng đổ khi độ sâu rất nhỏ thì lý thuyết solitary cho kết quả tốt hơn cả.

### **1.2.1 Lý thuyết sóng tuyến tính**

Lý thuyết Airy được gọi là lý thuyết sóng biên độ nhỏ hay lý thuyết sóng tuyến tính. Đây là lý thuyết cơ bản về chuyển động sóng. Trong lý thuyết này khi mô phỏng mặt



sóng với các bậc cao hơn có lý thuyết trocoit (Gerstner - 1802) mô phỏng dạng sóng có hình trocoit ứng với sóng có biên độ hữu hạn. Lý thuyết Stokes bậc cao cũng ứng với sóng có biên độ hữu hạn. Lý thuyết sóng cnoidal được Korteweg và De Vries đề xuất năm 1885, mô phỏng dạng sóng gần với thực tế hơn trong vùng nước nông. Tuy nhiên áp dụng lý thuyết này trong các tính toán thực tế rất khó và thường được tính sẵn thành các bảng. Đối với sóng vùng nước nông, thuận tiện hơn khi sử dụng lý thuyết sóng solitary.

Lý thuyết sóng tuyến tính gọi là lý thuyết sóng Stokes bậc 1, các lý thuyết sóng Stokes bậc cao được áp dụng cho vùng ven bờ khi biên độ sóng trở nên đáng kể so với độ dài sóng và độ sâu. Trong lý thuyết sóng tuyến tính đã áp dụng các giả định sau:

- Chất lỏng đồng nhất và không nén, do vậy mật độ nước không đổi,
- Bỏ qua sức căng mặt ngoài,
- Bỏ qua tác động của lực Coriolis đối với trường sóng,
- Áp suất trên mặt nước được coi là đồng nhất và không đổi,
- Chất lỏng được coi là lý tưởng – không nhớt,
- Sóng không tương tác với các chuyển động khác trong chất lỏng. Dòng chảy trong sóng không xoáy, do vậy quỹ đạo hạt nước trong chuyển động sóng sẽ không xoáy (chỉ tính đến các thành phần lực vuông góc bỏ qua các thành phần tiếp tuyến).
- Đáy biển bằng phẳng theo phương ngang và cố định, không thấm. Điều này có nghĩa là tốc độ thẳng đứng tại đáy bị triệt tiêu.
- Biên độ sóng nhỏ và dạng sóng bất biến theo thời gian và không gian.
- Trường sóng hai chiều – sóng có đỉnh dài vô tận.

Giả định không xoáy trong chuyển động sóng cho phép chúng ta áp dụng hàm thế tốc độ  $\Phi$ . Hàm thế tốc độ là đại lượng vô hướng với gradient của nó theo trục x và z tại tất cả các điểm của chất lỏng là vectơ tốc độ.

$$U = \frac{\partial \Phi}{\partial x}; W = \frac{\partial \Phi}{\partial z} \quad (1.7)$$

với: U, W là các thành phần tốc độ chất lỏng theo trục x và z.

Hàm  $\Phi$  có đơn vị là  $m^2/s$ . Như vậy nếu biết hàm thế tốc độ  $\Phi(x,z,t)$  trên toàn miền, có thể xác định các thành phần tốc độ quỹ đạo U và W.

Giả định chất lỏng không nén có nghĩa là chỉ có một hàm dòng duy nhất  $\Psi$  là hàm trực giao của hàm thế tốc độ. Các đường đẳng hàm thế và các đường đẳng hàm dòng vuông góc với nhau. Như vậy nếu biết  $\Phi$  có thể tìm được  $\Psi$  hoặc ngược lại, sử dụng các biểu thức sau:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial x} = \frac{\partial \Psi}{\partial z}; \frac{\partial \Phi}{\partial z} = -\frac{\partial \Psi}{\partial x} \quad (1.8)$$

Biểu thức (1.8) gọi là điều kiện Cauchy-Riemann (Whitham 1974, Milne-Thompson 1976). Cả  $\Phi$  và  $\Psi$  thoả mãn phương trình Laplac đối với dòng chảy trong chất lỏng lý tưởng (tham khảo chương 2 của giáo trình sóng biển).

Với các giả định nêu trên, phương trình mô phỏng mặt sóng tuyến tính – sóng hình sin, là một hàm của thời gian  $t$  và khoảng cách truyền sóng  $x$  có dạng :

$$\eta = \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) = \frac{H}{2} \cos \theta \quad (1.9)$$

với:  $\eta$  - biến đổi độ cao mặt nước so với mực nước biển trung bình khi lạng sóng,

$H/2$  - biên độ sóng ( $a$ ).

Biểu thức (1.9) biểu thị sự lan truyền của sóng tiến, tuần hoàn hình sin, lan truyền theo hướng trùng với hướng dương của trục  $x$ . Khi sóng lan truyền theo hướng ngược lại, dấu trừ trong biểu thức pha sóng được thay bằng dấu cộng. Khi pha sóng đạt các giá trị  $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$  các giá trị mặt nước sẽ là  $H/2, 0, -H/2$  và  $0$  tương ứng.

Chương 2 mục (2.1) sẽ đề cập đến các yếu tố của trường sóng khi truyền vào vùng ven bờ trên cơ sở lý thuyết sóng tuyến tính, nội dung của phần này sẽ tập trung chi tiết vào các yếu tố sóng ứng với các lý thuyết sóng bậc cao. Đối với các lý thuyết sóng này, phương trình mô phỏng tổng quát mặt sóng có dạng:

$$\eta = a \cos(\theta) + a^2 B_2(L, d) \cos(2\theta) + a^3 B_3(L, d) \cos(3\theta) + \dots + a^n B_n(L, d) \cos(n\theta) \quad (1.10)$$

với:  $a=H/2$  đối với sóng bậc 1 và 2;  $a<H/2$  với các sóng bậc cao hơn 2.

$B_2, B_3$  - các hàm phụ thuộc vào độ dài sóng và độ sâu.

### 1.2.2 Lý thuyết sóng có biên độ hữu hạn

Nếu biên độ sóng đạt một giá trị hữu hạn so với độ dài sóng ( $H/L > 0.01$ ) hay tỷ số giữa độ cao sóng và độ sâu đáng kể ( $H/d > 0.1$ ) thì lý thuyết sóng tuyến tính biên độ nhỏ không còn mô phỏng gần đúng được trường sóng với độ chính xác cần thiết nữa. Trong trường hợp này phải áp dụng lý thuyết sóng Stokes bậc cao đối với sóng ngắn - khi độ dài sóng nhỏ hơn độ sâu, hay phải áp dụng lý thuyết sóng solitary hoặc sóng cnoidal khi độ dài sóng lớn hơn độ sâu.

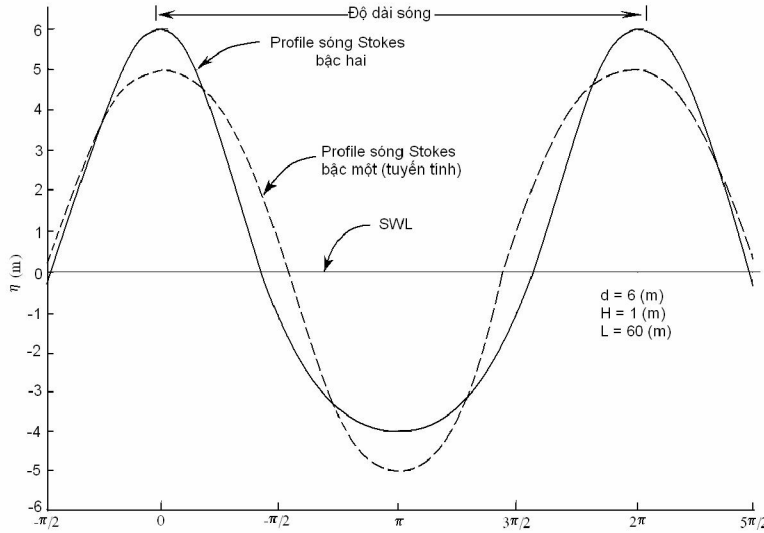
#### a. Lý thuyết sóng ngắn

Lý thuyết sóng ngắn được áp dụng đối với các sóng Stokes bậc cao. Ví dụ phương trình mặt nước có sóng Stokes bậc hai được viết dưới dạng:

$$\eta = \eta^1 + \eta^2 = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) + \frac{kH^2}{16} \{3 \coth^3(kh) - \coth(kh)\} \cos 2(kx - \omega t) \quad (1.11)$$

Hình 1.2 đưa ra hai dạng sóng tuyến tính (Stokes bậc 1) và sóng ngắn (Stokes bậc 2). Trên hình này chúng ta thấy bụng sóng ngắn trở nên bằng hơn so với sóng tuyến tính, trong khi đó sườn sóng lại trở nên dốc hơn và đỉnh sóng vươn cao hơn. Dạng sóng ngắn này thường quan trắc thấy trên biển trong các trường hợp sóng truyền vào vùng ven bờ có độ sâu nhỏ hoặc sóng chịu tác động của gió mạnh.

Trong phương trình thành phần tốc độ sóng ngắn theo hướng truyền sóng  $x$ , ngoài các thành phần tuần hoàn như đối với sóng tuyến tính, xuất hiện thành phần vận chuyển theo  $x$  biểu thị sự vận chuyển khối lượng nước cũng như năng lượng sóng theo hướng truyền sóng qua mỗi chu kỳ sóng gọi là dòng chảy Stokes.



Hình 1.2 So sánh sóng Stokes bậc một (tuyến tính) và sóng ngắn (Stokes bậc 2)

### b. Lý thuyết sóng dài

Tại vùng sát bờ, khi độ sâu nhỏ hơn rất nhiều so với độ dài sóng, cần áp dụng lý thuyết sóng dài. Phương trình lan truyền sóng dài có dạng:

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = C^2 \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \quad (1.12)$$

với:

$$C = \sqrt{gd}$$

Nếu  $\delta$  là tỷ số giữa độ cao sóng và độ sâu ( $\delta = H/d$ ) và  $\varepsilon$  là tỷ số giữa độ sâu và độ dài sóng ( $\varepsilon = d/L$ ), ta có các trường hợp sau:

$$- \delta < \varepsilon^2 \text{ hay } U_R = HL^2/d^3 \ll 1$$

Phương trình vi phân của mặt nước và tốc độ hạt nước trong chuyển động sóng sẽ được tuyến tính hoá dưới dạng:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + d \frac{\partial U}{\partial x} = 0 \quad (1.13)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{1}{3} d^2 \frac{\partial^3 U}{\partial x^2 \partial t} \quad (1.14)$$

$$- \delta > \varepsilon^2 \text{ hay } U_R = HL^2/d^3 \gg 1$$

Phương trình vi phân của mặt nước và tốc độ hạt nước trong chuyển động sóng đối với trường hợp này sẽ được tuyến tính hoá dưới dạng:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [(d + \eta)U] = 0 \quad (1.15)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (1.16)$$

Các phương trình trên mô tả quá trình phân tán biên độ sóng vì tốc độ pha của sóng trong trường hợp này sẽ là  $C = \sqrt{g(d + \eta)}$ .

$$- \delta = \varepsilon^2 \cong 1 \text{ hay } U_R = HL^2/d^3 \cong 1$$

Các phương trình trên chuyển thành dạng phương trình Boussinesq:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [(d + \eta)U] + \frac{1}{3}d^3 \frac{\partial \eta^3}{\partial x^3} = 0 \quad (1.17)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (1.18)$$

Trong trường hợp đặc biệt, sóng dài truyền theo một hướng x cho trước đã nhận được phương trình Korteweg De Vries:

$$\frac{1}{gd} \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{3}{2d} \eta \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{1}{6}d^2 \frac{\partial \eta^3}{\partial x^3} = 0 \quad (1.19)$$

Có hai dạng sóng dài vùng ven bờ dựa trên cơ sở lý thuyết sóng nêu trên đó là sóng solitary và sóng cnoidal.

### 1.2.3 Lý thuyết sóng solitary

Sóng solitary là loại sóng tiến có một đỉnh và bụng duy nhất (như bản thân tên gọi của loại sóng này), do vậy đây không phải loại sóng tuần hoàn (không có chu kỳ và độ dài sóng) như chúng ta đã nghiên cứu ở trên. Các đặc trưng của sóng solitary đã được J. Scott Russel lần đầu tiên mô tả vào năm 1844. Năm 1872 Boussinesq đã đưa ra cơ sở lý thuyết của sóng solitary. Phương trình mô tả chuyển động của đỉnh sóng solitary như sau:

$$\eta_s = H \operatorname{sech}^2 \left( \sqrt{\frac{3H}{4d}} \frac{x}{d} \right) \quad (1.20)$$

Trong đó mặt sóng  $\eta_s$  là tọa độ thẳng đứng của mặt biển khi có sóng so với mực nước trung bình khi lặng sóng, cách tọa độ tại đỉnh sóng ( $x=0$ ;  $\eta_s=H$ ) một khoảng cách x.

Tốc độ pha của sóng solitary được xác định theo:

$$C_s = \sqrt{gd} \left[ 1 + \frac{1}{2} \frac{H}{d} - \frac{3}{20} \left( \frac{H}{d} \right)^2 + \dots \right] \quad (1.21)$$

Chúng ta thấy rằng tốc độ này lớn hơn so với tốc độ pha của sóng tuyến tính tại vùng nước nông (2.7). Công thức (1.21) có thể cho các kết quả gần đúng như sau:

$$C_s = \sqrt{gd \left( 1 + \frac{H}{d} \right)} = \sqrt{g(d+H)} \quad (1.22)$$

Khi sóng solitary truyền vào vùng ven bờ có độ sâu giảm, độ cao sóng sẽ tăng và đến một độ sâu nhất định mặt sóng sẽ trở nên không ổn định và sóng sẽ đổ. Sự không ổn định của mặt sóng cũng sẽ đạt được khi tốc độ hạt nước trong chuyển động sóng tương đương với tốc độ pha. Đồng thời góc của mặt nước tại đỉnh sóng cũng bị giới hạn bởi chỉ tiêu  $120^\circ$ . Sử dụng các chỉ tiêu trên McCowan (1894) đã chứng minh bằng lý thuyết chỉ tiêu sóng đổ đối với sóng solitary.

$$\gamma_b = \left( \frac{H}{d} \right)_{\max} = 0.78 \quad (1.23)$$

Tổng năng lượng của sóng solitary bao gồm hai thành phần, thế năng và động năng gần như bằng nhau. Tổng năng lượng cho một đơn vị độ dài đỉnh sóng sẽ là:

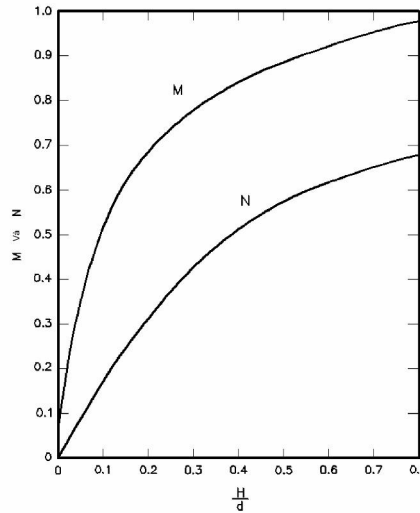
$$E_{sol} = \frac{8}{3} \rho g \left( \frac{H}{d} \right)^{3/2} d^3 \quad (1.24)$$

Tốc độ ngang và thẳng đứng của của hạt nước trong sóng solitary được xác định theo các biểu thức sau:

$$U = NC_s \frac{1 + \cos(Mz/d) \cosh(Mx/d)}{[\cos(Mz/d) + \cosh(Mx/d)]^2} \quad (1.25)$$

$$W = NC_s \frac{\sin(Mz/d) \sin(Mx/d)}{[\cos(Mz/d) + \cosh(Mx/d)]^2} \quad (1.26)$$

với M và N là các hằng số do Munk đưa ra năm 1949 (xem hình 1.3).



**Hình 1.3** Các hằng số M, N trong công thức tính tốc độ hạt nước trong chuyển động sóng solitary

Sóng solitary là sóng chuyển tải, có nghĩa là các hạt nước trong chuyển động sóng loại này chỉ chuyển động duy nhất về phía trước, không tồn tại các pha chuyển động về phía sau (như đối với sóng tuyến tính). Giả sử chúng ta quan trắc sóng solitary tại một điểm, khi đỉnh sóng cách vị trí khoảng 10 lần độ sâu các hạt nước bắt đầu chuyển động theo hướng truyền sóng x và lên phía trên. Vận tốc của hạt nước đạt giá trị cực đại tại vị trí quan trắc khi đỉnh sóng đi qua. Sau khi đỉnh sóng đi qua, hạt nước sẽ chuyển động tiến đi xuống và đạt tới vị trí ban đầu. Như vậy sóng solitary sẽ gây chuyển động tịnh tiến của khối nước theo hướng truyền sóng. Lưu lượng nước này cho một đơn vị đỉnh sóng tương đương với khối lượng nước của sóng solitary trên mực nước trung bình khi lặng sóng và được xác định như sau:

$$Q = \int_{-\infty}^{\infty} \eta dx = 4d^2 \left( \frac{1}{3} \frac{H}{d} \right)^{1/2} \quad (1.27)$$

Gần như toàn bộ khối lượng nước tập trung tại khu vực gần đỉnh sóng. Đối với sóng  $H/d=0.40$ , 90% lượng nước trên tập trung trong vực  $x = \pm 2.7d$  và cùng một phần trăm nêu trên của năng lượng sóng tập trung trong khu vực  $x = \pm 1.7d$ . Vì gần như toàn bộ năng lượng sóng tập trung tại khu vực gần đỉnh sóng, sóng solitary có thể được áp dụng đối với

trường sóng thực tế khi truyền vào sát bờ. Khu vực ngoài rìa của đỉnh sóng solitary không đóng vai trò quan trọng, do vậy có thể coi trường sóng thực tế là tập hợp một chuỗi các sóng Solitary có đỉnh liên tiếp đi qua một điểm, bỏ qua sự tương tác của các sóng này tại rìa cách xa các đỉnh. Đã xác định được độ dài của các sóng solitary đơn độc trong chuỗi sóng sao cho lớn hơn độ dài hiệu dụng của sóng solitary để có thể đạt được độ chính xác cho phép khi bỏ qua sự tương tác của các sóng này tại rìa cách xa các đỉnh. Từ đó có thể xác định được chu kỳ sóng thực tế  $T$  phải lớn hơn giá trị chu kỳ sóng hiệu dụng (Bagnold 1947):

$$T_{eff} = \frac{2\pi}{M} \sqrt{\frac{d}{g}} \quad (1.28)$$

Khi tiến vào gần bờ, do ảnh hưởng của độ dốc đáy biển sẽ làm biến đổi các yếu tố của sóng solitary như biên độ, tốc độ, dạng sóng so với các tính toán lý thuyết. Điều này làm giảm khả năng vận dụng lý thuyết sóng này trong các tính toán sóng vùng ven bờ.

### 1.2.4 Lý thuyết sóng cnoidal

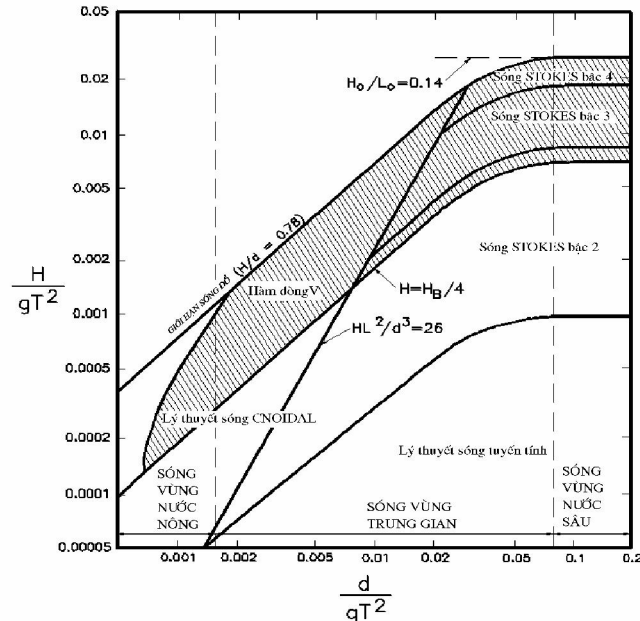
Sóng cnoidal đã được Korteweg và De Vries nghiên cứu năm 1895. Lời giải tổng quát của phương trình (1.19) là phương trình dao động sóng với chu kỳ  $T$  và độ dài  $L$ :

$$\eta = Hcn^2 \left[ 2K(\kappa) \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right), \kappa \right] \quad (1.29)$$

với:  $K(\kappa)$  - tích phân toàn phần bậc nhất của module  $\kappa$ ,

$\eta$  - độ cao của mặt sóng so với vị trí bụng sóng tại vị trí tọa độ ngang  $x$ ,

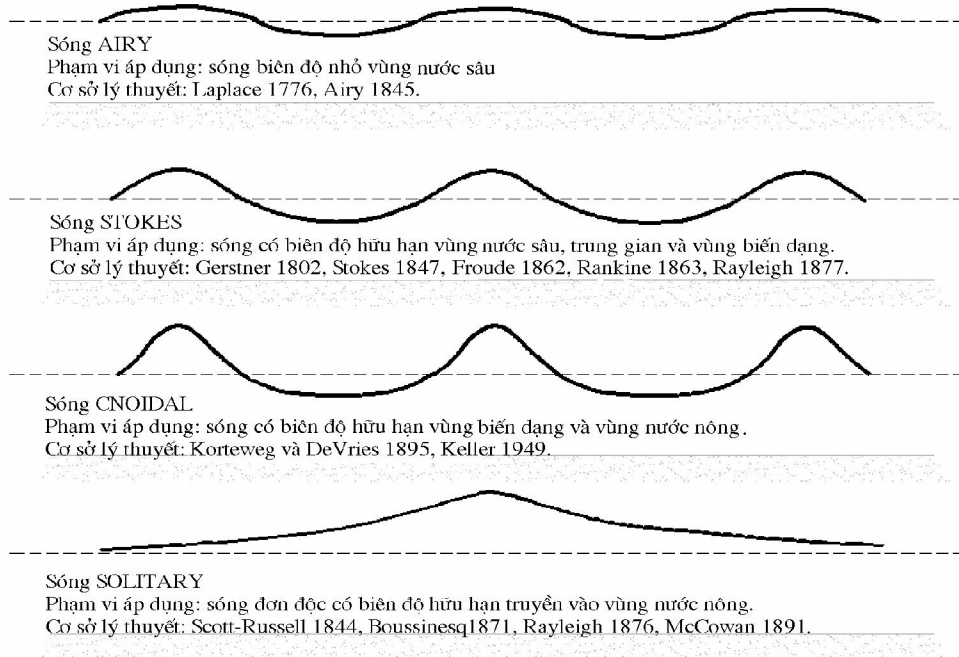
hàm  $cn(r)$  - là Jacobian của hàm elliptic ( $r$ ).



**Hình 1.4** Vùng áp dụng các loại lý thuyết sóng

Sóng cnoidal là loại sóng tuần hoàn có đỉnh nhọn và bụng rất bằng, phù hợp với trường sóng phía ngoài vùng sóng đổ. Điểm yếu của lý thuyết sóng này là ứng dụng các hàm toán học phức tạp, rất khó áp dụng trong thực tế. Hình 1.4 vẽ các vùng áp dụng các

lý thuyết sóng. Sóng cnoidal áp dụng khi  $H/L < 1/8$  và  $Ur = L^2H/d > 26$ . Hình 1.5 vẽ dạng các sóng Airy, Stokes, cnoidal và solitary



Hình 1.5 Dạng các sóng Airy, Stokes, Cnoidal và Solitary

### 1.3 TÁC ĐỘNG VÀ TƯƠNG TÁC CỦA TRƯỜNG SÓNG VỚI CÁC QUÁ TRÌNH THUỶ THẠCH, ĐỘNG LỰC VEN BỜ

#### 1.3.1 Tác động và tương tác của trường sóng với các quá trình ven bờ

Khi truyền vào vùng ven bờ sóng sẽ chuyển tải một nguồn năng lượng lớn. Nguồn năng lượng này có thể dưới dạng sóng bị mất nhiệt năng do quá trình rối trong chuyển động của các hạt nước khi sóng đổ, hoặc nhiệt năng truyền cho đáy biển do ma sát và thấm. Ngoài ra nguồn năng lượng do sóng sinh ra dưới tác động cơ học đối với đáy biển khi sóng truyền vào vùng có độ sâu nhỏ, khi sóng đổ và khi sóng tác động đến các công trình trên biển sẽ đóng vai trò đặc biệt quan trọng do nó tác động đến đáy biển, bờ biển và đến các công trình nhân tạo vùng ven bờ. Sóng là yếu tố cơ bản quyết định đến địa hình đường bờ, đến việc thiết kế các công trình cảng, luồng ra vào cảng và các công trình bảo vệ bờ biển. Sóng tạo ra các dòng vận chuyển trầm tích dọc bờ và ngang bờ làm thay đổi địa hình đáy. Ngoài các cấu trúc vi mô của bờ biển luôn gắn liền với các đặc trưng trường sóng, tại bất cứ một vùng bờ biển nào trên thế giới, chúng ta còn thấy rằng, động lực sóng quyết định đến các dạng bờ biển trên tất cả các vùng biển hở, chịu tác động trực tiếp của trường sóng vùng biển khơi, đại dương. Lewis (1938) đã nhận xét rằng bờ biển luôn có xu thế phát triển vuông góc với các hướng sóng thịnh hành. Silvester và Ho (1972) đã đưa ra dạng bờ biển cân bằng kiểu đường cong logarit hoặc đường cong trắng lưỡi liềm tại các vịnh. Các loại đường cong này có hướng theo hướng tác động của trường sóng lừng thịnh hành từ đại dương truyền đến. Sóng và dòng chảy do sóng cũng là nguyên nhân tạo ra các yếu tố bờ biển địa phương như các mũi nhô ra phía sau các đảo

chấn các hướng sóng chính hoặc các tombolo nối các đảo với khu vực đất liền phía sau, được đảo che chắn.

Đối với nước ta trường sóng đóng một vai trò đặc biệt quan trọng trên suốt hơn 3000 km đường bờ biển. Chế độ sóng trong gió mùa và đặc biệt trong bão quyết định mọi hoạt động trên toàn vùng biển và đặc biệt là tại các vùng ven bờ. Nền kinh tế của chúng ta chủ yếu dựa vào nông nghiệp, tập trung vào hai khu vực châu thổ đồng bằng sông Cửu Long và đồng bằng sông Hồng. Đặc điểm của hai vùng châu thổ này là các vùng đất thấp, rất dễ bị tác động của nước dâng, sóng. Ngoài ra đối với các công trình khai thác dầu khí vùng khơi và ven bờ phía nam, trường sóng cũng là yếu tố quan trọng bậc nhất, quyết định đến mức độ kinh phí đầu tư xây dựng công trình khai thác thăm dò và đến sản lượng khai thác hàng năm. Các vùng xói lở bờ nghiêm trọng phân bố hầu như trên toàn dải ven bờ phía đông nước ta như vùng Hải Hậu, vùng cửa Thuận An, vùng Gò Công, vùng Gành Hào và nguyên nhân của xói lở là ảnh hưởng của trường sóng. Trong khi đó, trường sóng cũng gây vận chuyển trầm tích, sa bồi tại các cảng, luồng lạch ra vào cảng và cửa sông, làm ảnh hưởng đến giao thông đường thủy như khu vực cửa Nam Triệu, cảng Hải Phòng, khu vực cửa Định An và luồng ra vào của dẫn đến cảng Cần Thơ vv..

Có thể thống kê sơ bộ ảnh hưởng và tương tác của sóng biển đối với các quá trình thủy thạch động lực ven bờ sau:

- a. Trường sóng làm thay đổi phân bố nhiệt muối trong nước biển, thay đổi phân bố các yếu tố hoá biển theo độ sâu vào theo không gian.
- b. Trường sóng làm thay đổi các đặc tính quang học của nước biển, thay đổi màu sắc, độ trong suốt của nước biển.
- c. Trường sóng làm thay đổi tốc độ và hướng truyền âm trong nước biển.
- d. Trường sóng tác động đến các công trình biển vùng khơi và ven bờ.
- e. Trường sóng tác động đến bờ biển, gây biến động bờ biển: xói lở và bồi tụ.
- f. Trường sóng tác động đến đáy biển vùng ven bờ, gây biến động đáy biển, bồi lấp các kênh ra vào cảng, cửa sông.
- g. Trường sóng gây dòng chảy ven bờ và dòng vận chuyển trầm tích, là nguyên nhân gây tác động của các công trình ven bờ đến các vùng lân cận. Tạo ra các loại mũi đất, tombolo địa phương.

Chính vì ý nghĩa quan trọng của trường sóng đối với các vùng biển sâu và ven bờ nên việc nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm về sóng biển có một lịch sử lâu đời nhất so với các yếu tố hải dương học khác. Lịch sử nghiên cứu sóng biển được trình bày khá chi tiết trong giáo trình [1].

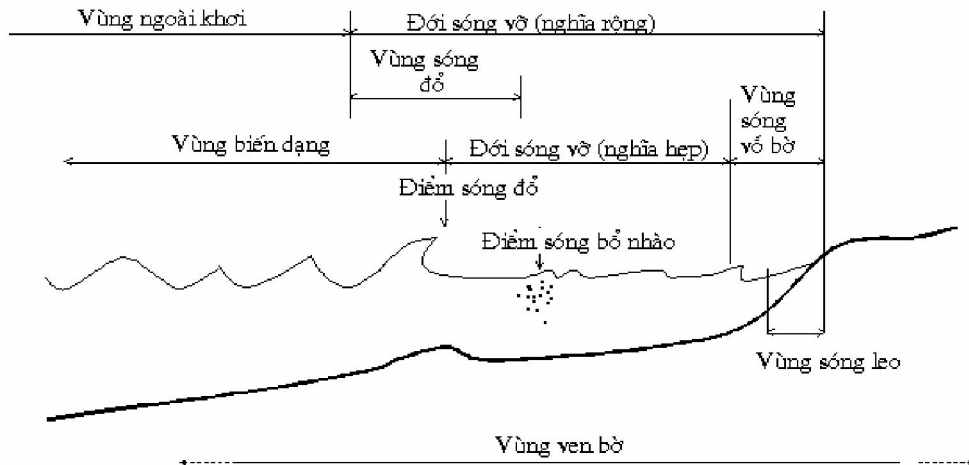
### **1.3.2 Các vùng tác động của trường sóng và các yếu tố địa mạo ven bờ.**

Cần thiết phải bắt đầu nghiên cứu sóng vùng ven bờ bằng việc xác định các vùng tác động của trường sóng khi truyền từ vùng khơi vào ven bờ, các thuật ngữ và cơ chế vật lý của quá trình. Thường thường do trường sóng có liên quan trực tiếp đến các yếu tố địa hình, địa mạo vùng ven bờ do nó sinh ra nên việc phân chia các vùng tác động của trường sóng luôn đi đôi với phân chia các yếu tố địa mạo ven bờ (các bar đáy biển, gờ sóng, vách bờ biển vv..).

#### ***a. Vùng tác động của trường sóng***

Trên hình 1.6 vẽ các vùng tác động của trường sóng khi truyền từ vùng khơi vào ven bờ.





**Hình 1.6 Các vùng tác động của trường sóng ven bờ**

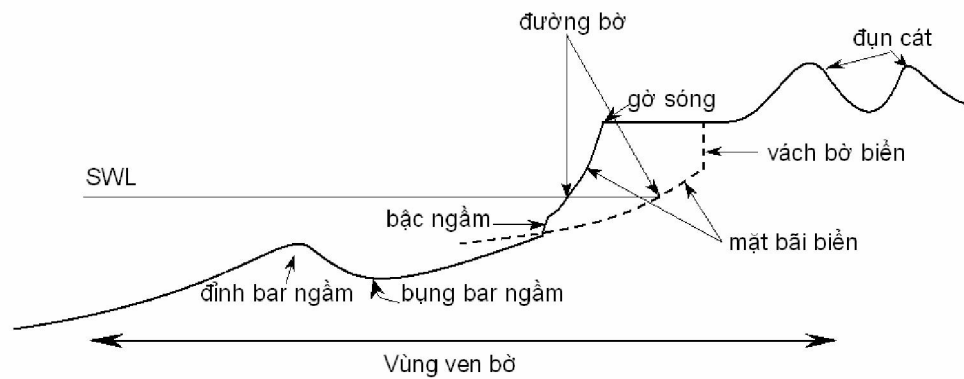
- Vùng ngoài khơi là vùng từ điểm sóng đổ ra khơi,
- Đới sóng đổ (nghĩa rộng) là vùng từ giới hạn ngoài của vùng sóng đổ và giới hạn phía trong của vùng sóng vỗ bờ. Đới sóng đổ (nghĩa hẹp) là vùng từ điểm sóng đổ đến giới hạn phía ngoài của vùng sóng vỗ bờ.
- Vùng biến dạng là vùng kể từ khi sóng bắt đầu chịu ảnh hưởng của đáy ( $d \leq 1/2L$ ) đến điểm sóng đổ.
- Điểm sóng đổ là vị trí tại đó sóng đạt độ cao cực đại và bắt đầu đổ.
- Điểm sóng vỡ nhào là vị trí tại đó sóng bị phá huỷ hoàn toàn khi đỉnh sóng bị đổ xuống mặt nước phía trước.
- Vùng sóng đổ là khu vực từ giới hạn ngoài của đới sóng đổ và điểm sóng vỡ nhào.
- Vùng sóng vỗ bờ là vùng được giới hạn phía trong cùng về phía bờ do sóng đổ dồn tới và khu vực xáo trộn mạnh giữa nước rút ra và sóng đổ dồn vào bờ.
- Vùng sóng leo là vùng bắt đầu từ vị trí tại đó sóng bắt đầu bị cuốn lên bãi và vị trí giới hạn trong cùng về phía bờ.

**b. Các yếu tố địa mạo và trường sóng ven bờ**

Như trong các phần trên chúng ta thấy rằng trường sóng có liên quan trực tiếp đến các yếu tố địa mạo ven bờ do sóng tạo ra, do vậy việc phân các vùng tác động của trường sóng thường đi đôi với thống kê các yếu tố địa mạo ven bờ. Hình 1.7 nêu các yếu tố địa mạo đặc trưng vùng ven bờ trên mặt cắt vuông góc với bờ.

- Bar ngầm dọc bờ, thường xuất hiện tại vị trí sóng đổ và sóng vỡ nhào do tại đây là khu vực hội tụ của dòng vận chuyển trầm tích ngang bờ với hai hướng, phía ngoài bar là hướng từ khơi vào bờ còn phía trong bar dòng này có hướng từ bờ ra.
- Bụng của bar ngầm dọc bờ tạo thành luồng sâu dọc bờ.
- Mặt bãi biển là khu vực dốc về phía biển của bãi biển luôn hứng chịu tác động xô bờ của sóng.

- Gò sóng là mép giữa bãi bằng phẳng phía trong đất liền và sườn dốc phía ngoài do sóng tạo ra.
- Vách bờ biển là sườn thẳng đứng của bờ biển do xói lở tạo ra.
- Đường bờ là đường tác động tương tác của đất liền và nước\*.
- Bạc ngầm là vách thẳng đứng ngầm dưới mặt nước.
- Đụn cát là các luống cát ngay sát bờ biển do gió tạo ra



**Hình 1.7 Các yếu tố địa mạo ven bờ**

\* Định nghĩa đường bờ theo khái niệm nêu trên áp dụng chung trong trường hợp mực nước ổn định, không đổi. Tại các vùng chịu tác động của thủy triều khái niệm đường bờ biển được mở rộng thành đường bờ biển biểu kiến. Đây là đường gianh giới giữa mực nước trung bình khi triều cường và bãi biển, có thể xác định gần đúng ở các vùng có các loại cây, thảm thực vật ven biển bằng giới hạn phía ngoài biển của dải cây, thảm thực vật (Ellis, 1978); tham khảo thêm trong Cẩm nang Công nghệ Ven biển 2001.

## Chương 2

### BIẾN ĐỔI CÁC YẾU TỐ SÓNG KHI TRUYỀN VÀO VÙNG VEN BỜ

#### 2.1 TỐC ĐỘ, ĐỘ DÀI VÀ CÁC YẾU TỐ KHÁC CỦA CHUYỂN ĐỘNG SÓNG VÙNG VEN BỜ

##### 2.1.1 Tốc độ và độ dài sóng vùng ven bờ

Trong lý thuyết sóng trochoid, khi xét quy luật biến đổi của áp suất sóng tại mặt biển sâu ta có:

$$\frac{p_0}{\rho} = \frac{1}{2}\omega^2 r_0^2 - \frac{r_0}{k}(\omega^2 - kg) \cos \theta + C1 \quad (2.1)$$

với:  $r_0$  - bán kính quỹ đạo sóng trên mặt biển,

$$\omega - \text{tần số vòng của sóng } \omega = \frac{2\pi}{T},$$

$$k - \text{số sóng } k = \frac{2\pi}{L},$$

$$\theta - \text{pha sóng } \theta = kx - \omega t.$$

Tại mặt biển, khi không xét tác động của gió có thể coi áp suất sóng không thay đổi và không phụ thuộc vào pha sóng. Để thỏa mãn điều kiện này, thành phần thứ hai trong vế phải của (2.1) phải bị triệt tiêu có nghĩa là:

$$\omega^2 - kg = 0 \quad (2.2)$$

hay

$$\frac{\omega^2}{k^2} = \frac{kg}{k^2} = \frac{gL}{2\pi} = \left(\frac{L}{T}\right)^2$$

Theo định nghĩa các yếu tố sóng ta có  $C = \frac{L}{T}$  từ đó rút ra:

$$C^2 = \frac{gL}{2\pi} \quad \text{tại vùng nước sâu.}$$

Ở vùng biển dạng, biểu thức quan hệ giữa tốc độ truyền sóng với độ dài sóng và độ sâu có dạng:

$$C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \quad (2.3)$$

với:  $d$  - độ sâu biển.

Biểu thức (2.3) cũng được gọi là hệ thức phân tán, nó chỉ ra rằng các sóng có chu kỳ khác nhau sẽ chuyển động với các tốc độ khác nhau. Nếu sóng bao gồm tập hợp các sóng đơn khác nhau, các sóng đơn có chu kỳ lớn hơn sẽ chuyển động nhanh hơn.

Từ (2.3) và định nghĩa các yếu tố sóng ( $C = L/T$ ) sẽ nhận được:

$$C = \frac{gL}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (2.4)$$

hay: 
$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (2.5)$$

- *Xấp xỉ gần đúng các hàm hypebol*

Các vùng nước sâu, biến dạng và nước nông, trong động lực sóng được biểu thị qua tỉ số giữa độ sâu và độ dài sóng ( $d/L$ ) hay là độ sâu tương đối trong chuyển động sóng. Các biểu thức liên hệ giữa tốc độ sóng, chu kỳ sóng và độ dài sóng (2.3, 2.4) phụ thuộc vào các hàm hypebol của độ sâu tương đối. Bảng 2.1 đưa ra các xấp xỉ gần đúng các hàm hypebol trong các vùng khi sóng truyền từ vùng nước sâu vào vùng ven bờ.

**Bảng 2.1 Xấp xỉ gần đúng các hàm hypebol**

Hàm	Biểu thức	Xấp xỉ gần đúng cho các biến lớn $e^\alpha \gg e^{-\alpha}$	Xấp xỉ gần đúng cho các biến nhỏ $e^\alpha \approx 1 + \alpha; e^{-\alpha} \approx 1 - \alpha$
$\sinh\alpha$	$\frac{e^\alpha - e^{-\alpha}}{2}$	$\frac{1}{2}e^\alpha$	$\alpha$
$\cosh\alpha$	$\frac{e^\alpha + e^{-\alpha}}{2}$	$\frac{1}{2}e^\alpha$	1
$\tanh\alpha$	$\frac{e^\alpha - e^{-\alpha}}{e^\alpha + e^{-\alpha}}$	1	$\alpha$
Vùng áp dụng	Biến dạng	Nước sâu	Nước nông

Chúng ta sẽ sử dụng các ký hiệu  $C_0$ ,  $C$ ,  $C_s$  và  $L_0$ ,  $L$ ,  $L_s$  để chỉ tốc độ pha và độ dài của sóng vùng nước sâu, vùng biến dạng và vùng nước nông. Đối với vùng nước sâu, độ sâu tương đối  $d/L_0$  lớn ( $\tanh\frac{2\pi d}{L_0} \approx 1$ ). Từ (2.4) và (2.5) ta có:

$$C_0 \approx \frac{gT}{2\pi} \text{ hay } L_0 \approx \frac{gT^2}{2\pi} \quad (2.6)$$

Trong vùng nước nông, độ sâu tương đối nhỏ ( $\tanh\frac{2\pi d}{L_s} \approx \frac{2\pi d}{L_s}$ ). Từ (2.3) ta có:

$$C_s = \sqrt{\frac{gL_s}{2\pi} \frac{2\pi d}{L_s}} = \sqrt{gd} \quad (2.7)$$

Dựa vào độ sâu tương đối đã lập ra bảng phân loại sóng theo các vùng nước sâu, vùng biến dạng và vùng nước nông (bảng 2.1).

**2.1.2 Tốc độ quỹ đạo và gia tốc hạt nước trong chuyển động sóng**

Thành phần ngang và thẳng đứng của tốc độ hạt nước có dạng:

$$U = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.8)$$

$$W = \frac{H g T \sinh[2\pi(z+d)/L]}{2 L \cosh(2\pi d/L)} \sin\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.9)$$

(2.8) và (2.9) là các biểu thức tốc độ của hạt nước trong chuyển động sóng tại các vị trí  $(d+z)$  so với đáy. Tốc độ của hạt nước là một hàm tuần hoàn theo  $x$  và  $t$ . Đối với một góc pha cho trước  $\theta = \frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}$  các hàm  $\cosh$  và  $\sinh$  sẽ phụ thuộc vào  $z$  dưới dạng lũy thừa,

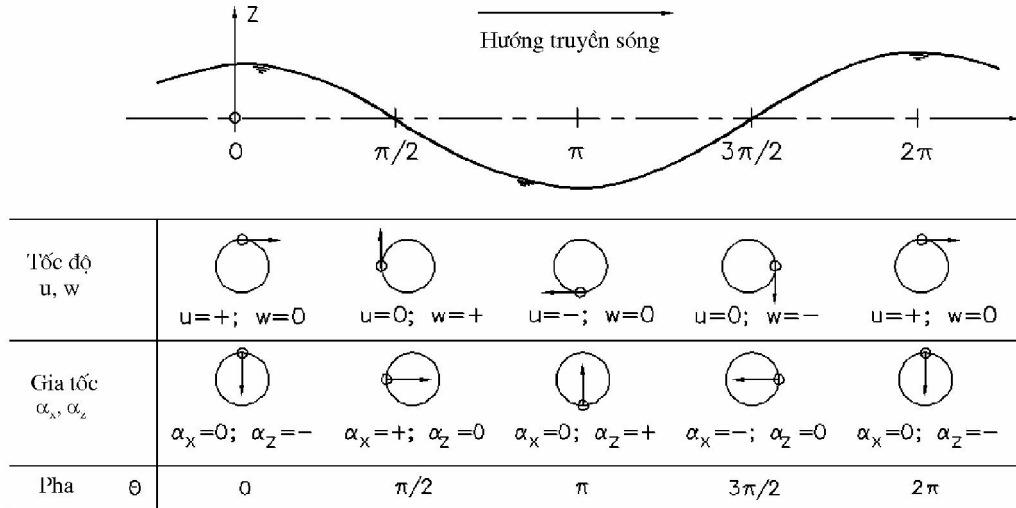
biểu thị sự giảm tốc độ theo hàm lũy thừa khi xuống sâu dưới mặt nước. Tốc độ hạt nước theo chiều ngang đạt cực đại theo hướng dương khi  $\theta = 0, 2\pi$  và đạt cực đại theo hướng âm khi  $\theta = \pi, 3\pi$ . Tốc độ theo chiều thẳng đứng đạt cực đại theo hướng dương khi  $\theta = \pi/2, 5\pi/2$  và ngược lại đạt cực đại theo hướng âm khi  $\theta = 3\pi/2, 7\pi/2$  (xem hình 2.1).

Gia tốc hạt nước sẽ nhận được bằng cách lấy đạo hàm của tốc độ theo thời gian  $t$ :

$$a_x = + \frac{g\pi H \cosh[2\pi(z+d)/L]}{L \cosh(2\pi d/L)} \sin\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.10)$$

$$a_y = - \frac{g\pi H \sinh[2\pi(z+d)/L]}{L \cosh(2\pi d/L)} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.11)$$

Hình 2.1 vẽ tốc độ và gia tốc của hạt nước trong chuyển động sóng. Từ hình 2.1 ta thấy các hạt nước phía trên mặt nước trung bình khi có sóng chuyển động theo hướng truyền sóng và các hạt nước ở phía dưới truyền theo hướng ngược lại.



Hình 2.1 Tốc độ quỹ đạo và gia tốc hạt nước trong chuyển động sóng

### 2.1.3 Quỹ đạo chuyển động sóng

Quỹ đạo của các hạt nước trong chuyển động sóng thường là hình tròn (vùng nước sâu) và ellip (vùng biển cạn và nước nông). Tích phân (2.8) và (2.9) theo  $x$  và  $d$  ta nhận được sự dịch chuyển theo phương ngang và phương thẳng đứng.

$$\xi = - \frac{HgT^2 \cosh[2\pi(z+d)/L]}{4\pi L \cosh(2\pi d/L)} \sin\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.12)$$

$$\zeta = + \frac{HgT^2 \sinh[2\pi(z+d)/L]}{4\pi L \cosh(2\pi d/L)} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.13)$$

Ta có :

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = \frac{2\pi g}{L} \tanh \frac{2\pi d}{L}$$

suy ra:

$$\xi = - \frac{H \cosh[2\pi(z+d)/L]}{L \sinh(2\pi d/L)} \sin\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.14)$$

$$\zeta = + \frac{H \sinh[2\pi(z+d)/L]}{L \sinh(2\pi d/L)} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.15)$$

Các biểu thức (2.14) và (2.15) được viết lại dưới dạng:

$$\sin^2\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) = \left[ \frac{\xi \sinh(2\pi d/L)}{a \cosh[2\pi(z+d)/L]} \right]^2$$

$$\cos^2\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) = \left[ \frac{\zeta \sinh(2\pi d/L)}{a \sinh[2\pi(z+d)/L]} \right]^2$$

Cộng các vế của hệ phương trình trên với nhau ta có:

$$\frac{\xi^2}{A^2} + \frac{\zeta^2}{B^2} = 1 \quad (2.16)$$

Đây là phương trình ellip với bán kính trục lớn A (ngang) và bán kính trục nhỏ B (thẳng đứng):

$$A = - \frac{H \cosh[2\pi(z+d)/L]}{2 \sinh(2\pi d/L)} \quad (2.17)$$

$$B = - \frac{H \sinh[2\pi(z+d)/L]}{2 \sinh(2\pi d/L)} \quad (2.18)$$

Như vậy theo lý thuyết sóng tuyến tính, hạt nước trong chuyển động sóng tạo thành quỹ đạo khép kín - sau một chu kỳ sóng hạt nước sẽ trở về trạng thái ban đầu. Trên thực tế không hoàn toàn như vậy, hạt nước không tạo thành một quỹ đạo khép kín và điều này gây ra vận chuyển vật chất.

Theo (2.17), (2.18) ở vùng nước sâu ta có A=B: quỹ đạo hạt nước trong chuyển động sóng tạo thành hình tròn:

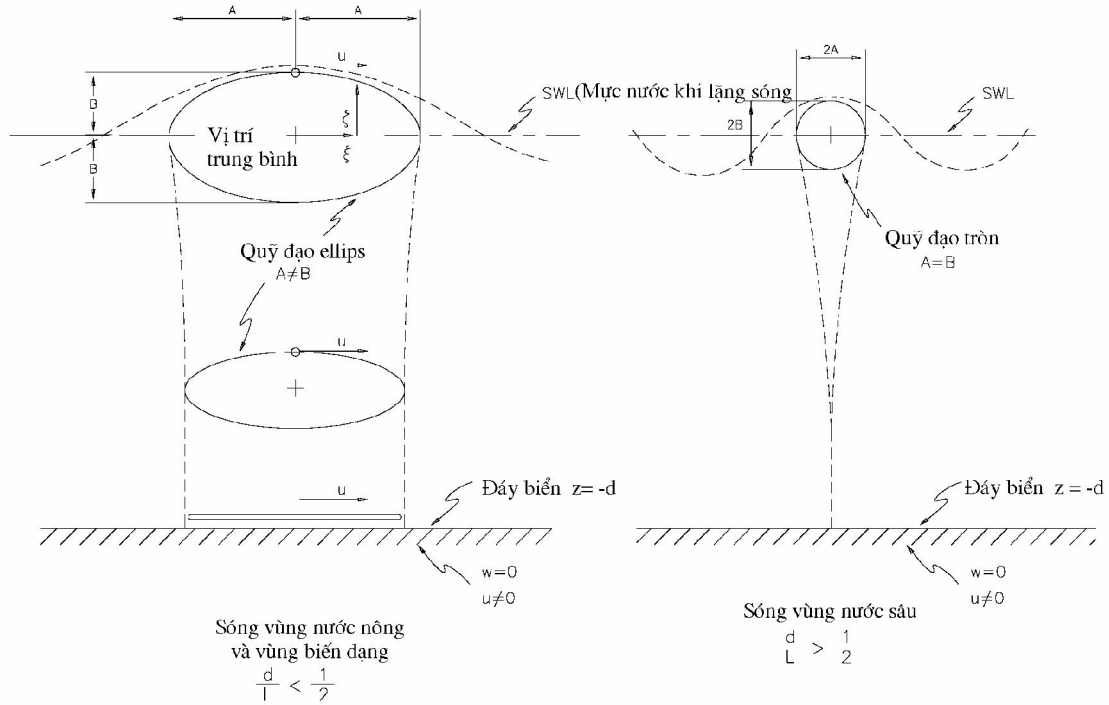
$$A = B = \frac{H}{2} e^{2\pi/L} \quad \text{với } d/L > 1/2 \quad (2.19)$$

Vùng nước nông:

$$A = \frac{H}{2} \frac{L}{2\pi d} \quad B = \frac{H}{2} \frac{z+d}{d} \quad \text{với } d/L < 1/25 \quad (2.20)$$

Càng vào vùng nông ellip càng dẹt.

Biên độ dao động sóng giảm với hàm mũ theo độ sâu. Tại vùng nước sâu ở độ sâu  $z = -L_0/2$  ta có  $A = B = H/2e^{-\pi} = H/2(0.04)$  (bằng khoảng 4% biên độ trên mặt nước). Hạt nước chuyển động nhỏ nhất ( $\approx 0$ ) tại đáy và cực đại trên mặt nước, bằng một nửa độ cao sóng. Hình 2.2 vẽ quỹ đạo chuyển động sóng ở vùng nước sâu và vùng ven bờ.



Hình 2.2 Quỹ đạo chuyển động sóng vùng nước sâu và ven bờ

### 2.1.4 Áp suất sóng

Từ phương trình Bernoulli cho thế vận tốc trong chuyển động sóng ta có:

$$\frac{P}{\rho} + gz + \frac{1}{2}(U^2 + W^2) + \frac{\partial \varphi}{\partial t} = 0 \quad (2.21)$$

với  $\varphi$  là thế vận tốc trong chuyển động sóng ( $U = \frac{\partial \varphi}{\partial x}; W = \frac{\partial \varphi}{\partial z}$ ). Trong (2.21) áp suất bao gồm cả áp suất thủy tĩnh ( $-\rho gz$ ).

Nếu chỉ chú ý đến biến động áp suất do sóng ta sẽ có:

$$\Delta P \cong P + \rho gz \rightarrow \frac{P}{\rho} + gz = \frac{\Delta P}{\rho}$$

Thay vào (2.21) ta có:

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{1}{2}(U^2 + W^2) + \frac{\partial \varphi}{\partial t} = 0 \quad (2.22)$$

với  $H/L$  rất nhỏ ta có:

$$\Delta P = -\rho \frac{\partial \varphi}{\partial t} \quad (2.23)$$

với:

$$\varphi = -\frac{HC \cosh[2\pi(z+d)/L]}{2 \sinh(2\pi d/L)} \sin\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right)$$

Thay  $\frac{\partial \varphi}{\partial t}$  vào (2.21) ta có:

$$\Delta P = \rho g \frac{H \cosh[2\pi(z+d)/L]}{2 \cosh(2\pi d/L)} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.24)$$

Ở vùng nước sâu:

$$\Delta P = \rho g \frac{H}{2} e^{2\pi d/L} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.25)$$

Áp suất giảm theo độ sâu theo quy luật hàm mũ ( $e^{kd}$ ).

Như vậy  $\Delta P$  sẽ tỷ lệ với độ cao sóng  $H$ . Dựa trên nguyên tắc này người ta thiết kế các máy đo sóng theo nguyên lý đo áp suất tại tầng sâu. Màng cảm ứng áp suất được đặt ở tầng sát đáy. Lúc đó độ cao sóng trên mặt biển sẽ được tính theo:

$$H = \frac{\Delta P \cosh(2\pi d/L)}{\rho g \cosh(2\pi a/L)}$$

với:  $\Delta P$  - dao động áp suất đo được,

$a$  - độ cao của màng đo áp so với đáy.

### 2.1.5 Tốc độ nhóm sóng

Trên thực tế mặt biển có sóng bao gồm nhiều sóng có độ cao, chu kỳ và pha khác nhau, do vậy xuất hiện tốc độ nhóm sóng. Tốc độ của từng sóng riêng biệt (tốc độ pha)  $C$  sẽ khác với tốc độ của nhóm sóng  $C_g$ . Ở vùng nước sâu hoặc vùng biển dạng, tốc độ của nhóm sóng sẽ nhỏ hơn tốc độ của từng sóng  $C > C_g$ . Để diễn giải tốc độ nhóm sóng, xét sự tương tác giữa hai sóng hình sin  $\eta_1$  và  $\eta_2$ , có cùng độ cao và chuyển động theo cùng một hướng với sự khác nhau rất ít về độ dài sóng và chu kỳ. Phương trình mặt biển có dạng:

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 = \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L_1} - \frac{2\pi t}{T_1}\right) + \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L_2} - \frac{2\pi t}{T_2}\right) \quad (2.26)$$

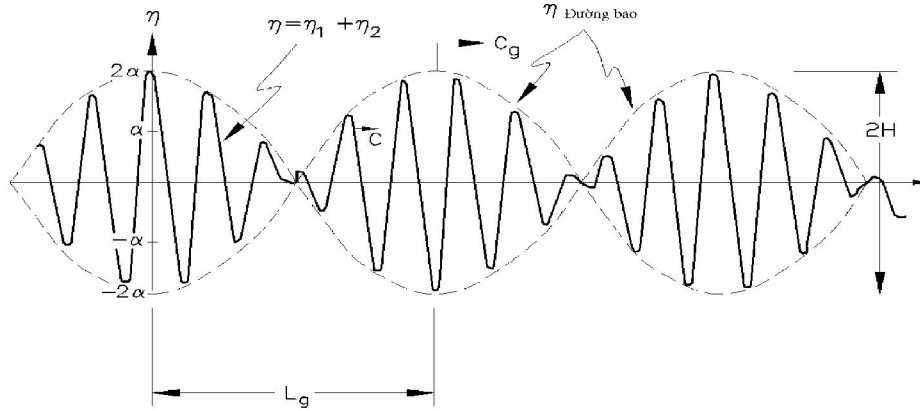
Do  $L_1$  rất gần với  $L_2$ , với một khoảng  $x$  nào đó tương ứng với thời gian  $t$ , hai sóng này sẽ trùng pha nhau và độ cao sóng tổng cộng sẽ là  $2H$ , và ngược lại sẽ có thời điểm khi hai sóng này ngược pha nhau và độ cao mặt nước tổng cộng sẽ bị triệt tiêu. Hình 2.3 mô tả quỹ đạo và đường bao của tổng hai sóng nêu trên. Phương trình đường bao có dạng:

$$\eta_{bao} = \pm H \cos\left[\pi \frac{L_2 - L_1}{L_1 L_2} x - \pi \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} t\right] \quad (2.27)$$

Tốc độ chuyển động của đường bao là tốc độ của nhóm sóng:



$$C_s = \frac{1}{2} \frac{L}{T} \left[ 1 + \frac{4\pi d / L}{\sinh(4\pi d / L)} \right] = nC \quad (2.28)$$



Hình 2.3 Nhóm sóng và đường bao

với:

$$n = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{4\pi d / L}{\sinh(4\pi d / L)} \right]$$

Ở vùng nước sâu:  $\frac{4\pi d / L}{\sinh(4\pi d / L)} \approx 0$

ta có :

$$C_s = \frac{1}{2} \frac{L_0}{T} = \frac{1}{2} C_0 \quad (2.29)$$

Ở vùng nước nông:  $\frac{4\pi d / L}{\sinh(4\pi d / L)} \approx 1$

ta có:

$$C_s = \frac{L}{T} = C \approx \sqrt{gd} \quad (2.30)$$

Ở vùng nước nông, tất cả các sóng đều truyền với một tốc độ bằng nhau, phụ thuộc vào độ sâu. Ở ngoài khơi hoặc vùng biển rộng tốc độ pha lớn hơn tốc độ nhóm. Tốc độ nhóm sóng rất quan trọng vì nó biểu thị tốc độ truyền năng lượng của sóng.

### 2.1.6 Năng lượng sóng

Tổng năng lượng sóng bao gồm động năng và thế năng:

- Động năng được gây ra bởi tốc độ quỹ đạo của hạt nước trong chuyển động sóng.
- Thế năng thể hiện ở phần nước phía trên bụng sóng.

Theo lý thuyết tuyến tính, thế năng tương ứng với mực nước trung bình khi lặng sóng. Các sóng chuyển động theo một hướng thì các thành phần thế năng và động năng bằng nhau. Năng lượng sóng cho mỗi bước sóng trên một đơn vị bề rộng của đỉnh sóng là:

$$E = E_K + E_p = \frac{\rho g H^2 L}{16} + \frac{\rho g H^2 L}{16} = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad (2.31)$$

Tổng năng lượng trung bình cho một đơn vị bề mặt biển - mật độ năng lượng sóng, là:

$$\overline{E} = \frac{E}{L} = \frac{\rho g H^2}{8} \quad (2.32)$$

Thông lượng năng lượng sóng là năng lượng sóng truyền theo hướng truyền sóng, qua một mặt phẳng vuông góc với hướng truyền sóng tính từ mặt biển đến đáy biển. Thông lượng năng lượng trung bình cho một đơn vị đỉnh sóng, truyền qua một mặt phẳng vuông góc với hướng truyền sóng sẽ được tính theo:

$$\overline{P} = \overline{EnC} = \overline{EC}_g \quad (2.33)$$

$\overline{P}$  cũng được gọi là lực sóng.

- Tại vùng nước sâu: 
$$\overline{P}_0 = \frac{1}{2} \overline{E}_0 C_0$$

- Tại vùng nước nông: 
$$\overline{P} = \overline{EC}_g = \overline{EC}$$

Khi đỉnh sóng song song với các đường đẳng sâu ta có phương trình cân bằng năng lượng sóng:

$$\overline{E}_0 n_0 C_0 = \overline{EnC} \quad (2.34)$$

Do  $n_0=1/2$  suy ra:

$$\frac{1}{2} \overline{E}_0 C_0 = \overline{EnC} \quad (2.35)$$

Khi đỉnh sóng không song song với đường đẳng sâu, biểu thức (2.35) sẽ không đúng vì các sóng sẽ truyền với các tốc độ khác nhau (hiện tượng khúc xạ sóng).

### 2.1.7 Các phương pháp tính độ dài sóng vùng ven bờ

Do trong vùng biển dạng và nước nông, độ dài sóng không thể tách riêng ra một vế trong biểu thức tính (2.5), để tính được yếu tố này cần thiết phải sử dụng các phương pháp khác nhau:

#### a, Phương pháp tra bảng:

Sử dụng bảng tính sẵn độ dài sóng và các tham số sóng khác thông qua các số liệu đầu vào là độ cao sóng, độ dài sóng vùng nước sâu và độ sâu tại điểm cần tính.

#### b, Phương pháp lặp:

Tính độ dài sóng theo các bước sau:

$$L_{i+1} = L_0 \tanh \frac{2\pi d}{L_i} \quad (2.36)$$

với  $i=1, 2, 3, \dots$  Sau đó so sánh giữa  $L_{i+1}$  và  $L_i$  sử dụng ngưỡng sai số để xác định kết quả tính.

#### c, Phương pháp lặp cải tiến:

$$L_{2i+1} = L_0 + \tanh \frac{2\pi d}{L_{2i}} \quad (2.37)$$

$$L_{2i+2} = \frac{2L_{2i+1} + L_{2i}}{3} \quad (2.38)$$

với  $i=1, 2, 3, \dots$

Sau đó cũng so sánh giữa  $L_{2i+1}$  và  $L_{2i}$  sử dụng ngưỡng sai số để xác định kết quả tính.

*d, Phương pháp tính gần đúng:*

$$L \approx L_0 \sqrt{\tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \approx L_0 \sqrt{\tanh\left(\frac{2\pi d}{L_0}\right)} \quad (2.39)$$

Công thức trên thuận tiện trong sử dụng và có độ chính xác phù hợp với các tính toán kỹ thuật. Sai số cực đại khoảng 5% khi  $\frac{2\pi d}{L} \approx 1$ .

*e, Phương pháp tính gần đúng PADE*

$$k_i = \sqrt{k_0 \frac{A}{d_i}} \quad (2.40)$$

$$A = k_0 d_i + \frac{1}{1 + k_0 d_i (0.6522 + k_0 d_i (0.462 + k_0 d_i (0.0864 + k_0 d_i (0.0675 + k_0 d_i)))})} \quad (2.41)$$

Bảng 2.2 đưa ra các kết quả tính bước sóng tại độ sâu  $d=50\text{m}$  với chu kỳ sóng  $T=19$  giây. Nếu dùng công thức (2.39) ta được  $L = 401.0$  m cho sai số +5.1%. Nếu sử dụng bảng ta có  $T=19\text{s}$ ,  $d= 50$  m suy ra  $L_0 = 563.80$  m và  $d/L_0 = 0.1310$  hay  $L=381.6$  m đúng với kết quả tính trên bảng 2.2.

**Bảng 2.2** Kết quả tính độ dài sóng theo các phương pháp khác nhau

Số lần lặp	Công thức lặp (2.36)	Công thức (2.37), (2-38)
$n$	$L_i$ (m)	$L_{2i+2}$ (m)
0	563.8	378.1
1	285.2	382.0
2	431.6	381.6
3	339.2	381.6
4	410.9	
5	362.9	
6	394.2	
7	373.4	
8	387.0	
9	378.0	
10	384.0	
11	380.1	
12	382.6	
13	380.9	
14	382.0	
15	381.3	
16	381.8	
17	381.5	

## 2.2 BIẾN DẠNG SÓNG VÙNG VEN BỜ

Khi sóng truyền vào vùng ven bờ, các tham số sóng sẽ bị biến đổi do tác động của đáy biển, do các sóng cát tại đáy biển, do đặc điểm trầm tích đáy biển và các vật liệu ở đáy biển. Đáy biển tác động lên sóng truyền vào vùng ven bờ thông qua các hiệu ứng biến dạng, khúc xạ. Ngoài ra, các công trình biển vùng ven bờ sẽ làm thay đổi các yếu tố sóng bởi các quá trình nhiễu xạ và phản xạ.

Nếu sóng truyền thẳng góc vào vùng ven bờ có các đường đẳng sâu thẳng và song song với đường bờ, sự thay đổi dạng sóng xảy ra chỉ do sự thay đổi độ sâu, sự thay đổi này gọi là biến dạng sóng. Dưới tác dụng của hiệu ứng biến dạng, đầu tiên độ cao sóng giảm dần sau đó tăng từ từ, đồng thời dạng của sóng vẫn đối xứng. Vào sát bờ, khi độ sâu giảm mạnh, độ cao sóng sẽ tăng nhanh đồng thời dạng của sóng trở nên bất đối xứng: sườn phía trước trở lên dốc hơn và cuối cùng sẽ bị đổ. Đánh giá các yếu tố sóng dưới tác dụng của hiệu ứng biến dạng sóng phụ thuộc vào lý thuyết mô phỏng trường sóng và các loại phương pháp tính biến dạng trường sóng. Có ba loại phương pháp để tính toán biến dạng sóng đó là phương pháp dòng năng lượng, phương pháp nhiễu động và phương pháp số. Bảng 2.3 đưa ra các phương pháp tính biến dạng sóng [6]. Hình (2.4) vẽ hệ số biến dạng sóng theo các lý thuyết sóng khác nhau.

### 2.2.1 Phương pháp tính biến dạng sóng trên cơ sở năng lượng sóng

Khi độ sâu thay đổi, độ cao và độ dài của sóng sẽ thay đổi. Tuy nhiên chu kỳ sóng sẽ không thay đổi do số các con sóng không đổi. Nếu cho rằng áp suất không đổi và bỏ qua độ nhớt của nước, có thể thấy rằng năng lượng sóng sẽ được bảo toàn. Trong điều kiện thực tế, đối với trường sóng ổn định, điều kiện năng lượng sẽ được bảo toàn khi bỏ qua dòng chảy, dòng vận chuyển vật chất và tiêu tán năng lượng. Dòng năng lượng sóng đối với lý thuyết sóng biên độ nhỏ được xác định theo.

$$F_x = \rho c \int_{-d}^{\zeta} u^2 dz \quad (2.42)$$

với dấu — biểu thị giá trị trung bình theo chu kỳ sóng.

Dòng năng lượng vùng trung gian đối với sóng biên độ nhỏ được tính theo:

$$F_x = \rho g H^2 C n / 8 \quad (2.43)$$

Đối với vùng nước sâu ta có:  $n=1/2$ ,  $C= C_0$ ,  $H= H_0$


$$F_x = \rho g H_0^2 C_0 / 16 \quad (2.44)$$

Hệ số biến dạng được xác định bằng tỉ số giữa độ cao sóng tại điểm tính và độ cao sóng vùng nước sâu trong điều kiện bảo toàn năng lượng ( $F_x = \text{const}$ ).

$$K_s = \frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{1}{2n} \frac{C_0}{C}} = \sqrt{\frac{1}{2n} \frac{1}{\tanh \frac{2\pi d}{L}}} \quad (2.45)$$

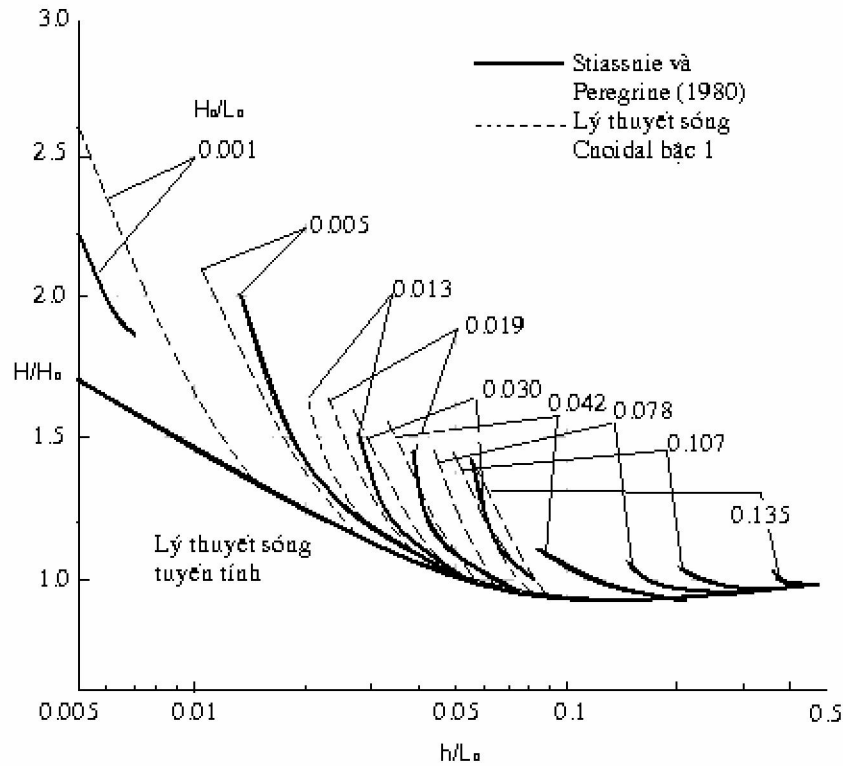
Hệ số biến dạng  $K_s$  là một hàm của  $\frac{2\pi d}{L}$  hay của  $\frac{d}{L_0}$ . Khi  $\frac{d}{L_0}$  giảm, đầu tiên hệ số biến dạng  $K_s$  giảm nhỏ hơn 1 sau đó tăng mạnh. Với vùng rất nông  $d/L_0 \ll 1$ ,  $K_s$  sẽ tỉ lệ với  $d^{-1/4}$ .

**Bảng 2.3 Các phương pháp tính sóng biến dạng**

	Độ dốc đáy  $d/L$	Độ sâu tương đối $d/L$	Độ cao tương đối $H/h$	Lý thuyết sóng	Bậc	Tác giả
Phương pháp năng lượng	$\approx 0$	1	$\varepsilon$	Stokes	1 3 3 4 5 cao <sup>a)</sup> cao <sup>b)</sup>	Horikawa(1978) Le Méhauté và Webb (1964) James (1974a) Tsuchiya và Yamaguchi (1972) Isobe và Horikawa (1982) Sakai và Battjes (1980) Stiassnie và Peregrine (1980)
		$\varepsilon$	$\varepsilon$	Sóng Cnoidal	1 1 2 3	Isobe (1985) Svendsen và Brink-Kjaer(1972) Tsuchiya và Yamaguchi (1972) Isobe và Horikawa (1982)
		0	$\varepsilon$	Sóng solitary	cao <sup>b)</sup>	Stiassnie và Peregrine (1980)
Phương pháp nhiễu động	$\delta$	1	$\varepsilon$	Sóng biên độ nhỏ		Biesel (1952)
	$\varepsilon$	$\varepsilon$	$\varepsilon$	Phương trình K-dV	1 2	Shuto (1974) Yasuda, Goto và Tsuchiya (1982)
Phương pháp số	1	$\approx 0$	1	Lý thuyết sóng nước nông phi tuyến tính		Carrier và Greenspan (1958) Whitham (1958)
		1	1	Phương pháp MAC*		Chan, Street và Strelkoff (1969)
				Phương pháp BEM**		Longuet-Higgins và Cokelet (1969)
Phương pháp lập đường phù hợp						Nadaoka và Hino (1984)

\* Phương pháp đánh dấu

\*\* Phương pháp phần tử biên



Hình 2.4 Hệ số biến dạng sóng

Đối với các lý thuyết sóng khác nhau (sóng biên độ hữu hạn, sóng Stokes bậc cao) hệ số biến dạng sẽ được tính theo các công thức khác nhau. Hệ số biến dạng sóng xác định theo (2.45) dựa trên giả thiết là độ dốc đáy biển rất nhỏ (cơ sở của phương pháp năng lượng). Đối với đáy biển dốc, bảo toàn năng lượng bị phá vỡ và hệ số biến dạng được xác định theo các phương pháp khác như phương pháp nhiễu động hoặc phương pháp số.

### 2.3 KHÚC XẠ SÓNG VÙNG VEN BỜ

Do tốc độ truyền sóng phụ thuộc vào độ sâu, ở trong vùng biến dạng, khi sóng truyền vào bờ sẽ chịu ảnh hưởng của độ sâu. Nếu hướng sóng chéo góc với đường đẳng sâu sẽ tạo ra gradient của tốc độ truyền sóng dọc theo đỉnh sóng. Gradient tốc độ truyền sóng này làm cho sóng thay đổi hướng đồng thời cũng làm cho độ cao sóng thay đổi. Hiện tượng sóng thay đổi hướng khi truyền chéo góc vào vùng bờ gọi là khúc xạ sóng. Theo lý thuyết sóng biên độ nhỏ, tốc độ pha của sóng sẽ là một hàm của độ dài sóng  $L$  và độ sâu  $d$  (2.3).

$$C = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh kd} \quad (2.46)$$

Độ cao của mực nước  $\zeta$  có thể viết dưới dạng [6]:

$$\zeta = a(\vec{x}) e^{i(\chi(\vec{x}) - \sigma t)}, \quad \chi(\vec{x}) = \vec{k} \cdot \vec{x} \quad (2.47)$$

với  $a$  là biên độ sóng ( $a = H/2$ ;  $H$  là độ cao sóng),  $\vec{x}$  là vectơ vị trí  $(x, y)$  và  $\vec{k}$  là vectơ số sóng với độ lớn  $k$  và có cùng hướng với hướng truyền sóng. Tần số góc  $\sigma$  ( $\sigma = 2\pi/T$  trong đó  $T$  là chu kỳ sóng) thoả mãn hệ thức phân tán:

$$\sigma = \sqrt{gk \tanh kd} \quad (2.48)$$

Biểu thức trên duy trì sự lan truyền sóng trên đáy có độ dốc biến đổi từ từ. Vì số sóng  $\overset{\cdot}{k}$  gần như không biến đổi trong trường hợp cục bộ này, hệ thức  $\overset{\cdot}{k} = \nabla\chi$  cũng gần như không biến đổi và:

$$\nabla \times \overset{\cdot}{k} = 0 \quad (2.49)$$

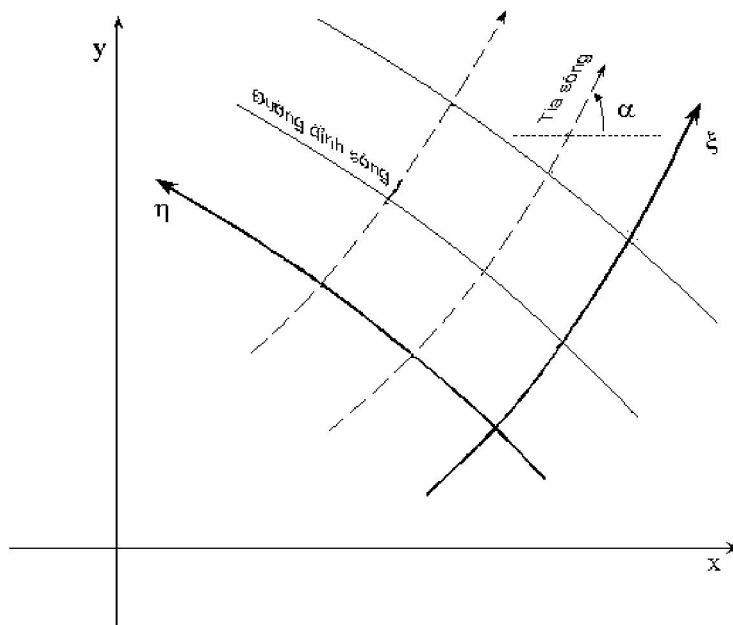
với  $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$ .

Mặt khác, từ phân tích hình học đơn giản dẫn đến biểu thức biểu thị hướng sóng sau:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial \xi} = -\frac{1}{c} \frac{\partial C}{\partial \eta} \quad (2.50)$$

với  $\xi$  và  $\eta$  là các tọa độ dọc theo tia sóng và đường đỉnh sóng như vẽ trên hình (2.5). Tương đương toán học giữa biểu thức (2.49) và (2.50) được diễn giải qua tọa độ chuyển đổi và qua việc sử dụng định nghĩa của vectơ số sóng:

$$\overset{\cdot}{k} = (k \cos \alpha, k \sin \alpha), k = |\overset{\cdot}{k}| \quad (2.51)$$



**Hình 2.5** Hệ tọa độ tính khúc xạ sóng

Biên độ của sóng khúc xạ,  $a$  được xác định trên cơ sở lý thuyết bảo toàn dòng năng lượng:

$$\nabla \cdot (E \overset{\cdot}{C}_g) = 0 \quad (2.52)$$

với:  $E = \rho g a^2 / 2 = \rho g H^2 / 8$  là mật độ năng lượng sóng,

$\overset{\cdot}{C}_g = (\overset{\cdot}{k} / k) n C$  là vectơ tốc độ nhóm sóng.

Cho rằng năng lượng sóng không truyền ngang các tia sóng (trong một cặp tia sóng năng lượng được bảo toàn), biểu thức (2.52) có thể viết lại dưới dạng:

$$\frac{\partial}{\partial \xi}(bEnC) = 0 \quad (2.53)$$

Có nghĩa là dọc theo một cặp tia sóng từ vùng nước sâu ( $n=1/2$ ) vào vùng ven bờ ta có:

$$\frac{1}{2}b_0E_0C_0 = bEnC \quad (2.54)$$

hay: 
$$\frac{a}{a_0} = \frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{b_0C_0}{2bnC}} = K_r \cdot K_s \text{ với } K_r = \sqrt{\frac{b}{b_0}} \quad (2.55)$$

Trong đó  $b_0$  là khoảng cách giữa hai tia sóng ở vùng nước sâu và  $b$  là khoảng cách giữa hai tia sóng ở vùng trung gian.  $K_s$  là hệ số biến dạng đã nêu ở 2.2 và  $K_r$  là hệ số khúc xạ, biểu thị hiệu ứng biến đổi khoảng cách giữa các tia sóng khi truyền từ khơi vào bờ lên độ cao sóng.

Ta có thể đưa ra biểu thức liên hệ giữa  $b$  và  $\alpha$  (hướng truyền sóng so với trục  $x$ ):

$$\frac{1}{b} \frac{\partial b}{\partial \xi} = \frac{\partial \alpha}{\partial \eta} \quad (2.56)$$

Bằng cách thế  $\alpha$  từ (2.50) vào (2.56) ta có:

$$\frac{1}{b} \frac{\partial^2 b}{\partial \xi^2} + \frac{1}{C} \frac{\partial^2 C}{\partial \eta^2} = 0 \quad (2.57)$$

Trong hệ tọa độ  $\xi$ - $\eta$  ta có:

$$\begin{aligned} C \frac{\partial^2 b}{\partial \xi^2} - \left( \frac{\partial C}{\partial x} \cos \alpha + \frac{\partial C}{\partial y} \sin \alpha \right) \frac{\partial b}{\partial \xi} \\ + \left( \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \sin^2 \alpha - 2 \frac{\partial^2 C}{\partial x \partial y} \sin \alpha \cos \alpha + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \cos^2 \alpha \right) b = 0 \end{aligned} \quad (2.58)$$

Có thể giải phương trình (2.53) liên kết với (2.58) để xác định sự biến đổi độ cao sóng dọc theo tia sóng. Trường hợp đặc biệt với địa hình đáy đồng nhất, có các đường đẳng sâu song song với trục  $Y$ , tích phân của (2.50) và (2.56) cho định luật Snell:

$$\frac{\sin \alpha}{C} = \frac{\sin \alpha_0}{C_0} \quad (2.59)$$

Hệ số khúc xạ trong trường hợp này có dạng:

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \quad (2.60)$$

Phương pháp giải phương trình vi phân tia sóng được thực hiện theo (2.50) và (2.58); khi tính toán khúc xạ sóng theo lưới với các nút cố định sử dụng giải số theo các biểu thức (2.49) và (2.52).

Nếu tồn tại trường dòng chảy  $\dot{U}$  có tốc độ đồng nhất từ đáy biển lên mặt thì hệ thức phân tán (2.48) sẽ được thay thế bằng:

$$\sigma = \sigma_* + k \dot{U} \sigma_* = \sqrt{gk \tanh kd} \quad (2.61)$$



và biểu thức (2.52) sẽ trở thành:

$$\nabla \cdot \left\{ E \left( \vec{C}_g + \vec{U} \right) / \sigma_* \right\} = 0 \quad (2.62)$$

Biểu thức (2.62) biểu thị rằng tác động sóng  $E/\sigma_*$  sẽ được bảo toàn thay vì cho năng lượng sóng. Phương trình chuyển động của nước dưới tác động của sóng thông qua ứng suất bức xạ sóng  $S_{xx}$ ,  $S_{xy}$  và  $S_{yy}$  sẽ là:

$$\nabla \cdot \left\{ E \left( \vec{C}_g + \vec{U} \right) / \sigma_* \right\} + S_{xx} \frac{\partial U}{\partial x} + S_{xy} \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} + S_{yy} \frac{\partial V}{\partial y} \right) = 0 \quad (2.63)$$

với  $U$  và  $V$  là các thành phần dòng chảy trên trục  $x$ ,  $y$  của vectơ dòng chảy trung bình  $\vec{U}$ . Biểu thức (2.63) là phương trình bảo toàn năng lượng sóng dạng tổng quát (Longuet-Higgins và Stewart, 1961; Phillips, 1971).

Trong trường hợp khúc xạ đối với các sóng không đều, Karlsson (1969) đưa ra phương trình bảo toàn năng lượng dạng:

$$\nabla \cdot \left\{ S(f, \alpha) \vec{C}_g \right\} + \frac{\partial}{\partial \alpha} \left\{ S(f, \alpha) \vec{U}_\alpha \right\} = 0 \quad (2.64)$$

Với  $S(f, \alpha)$  là hàm mật độ phổ;  $S(f, \alpha) d f d \alpha$  là phần năng lượng sóng trong dải tần  $(f, f+df)$  và dải hướng  $(\alpha, \alpha+d\alpha)$ . Lượng dòng năng lượng sóng qua mặt phẳng vuông góc với hướng sóng được tính trong thành phần thứ hai của (2.64):

$$\vec{U}_\alpha = n \left( \frac{\partial c}{\partial x} \sin \alpha - \frac{\partial c}{\partial y} \cos \alpha \right) \quad (2.65)$$

Trong trường hợp riêng đối với sóng đơn sắc, phương trình (2.64) trở thành (2.50) và (2.52).

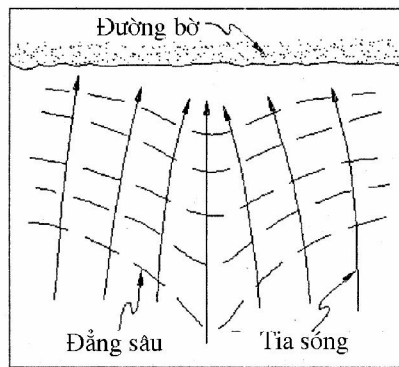
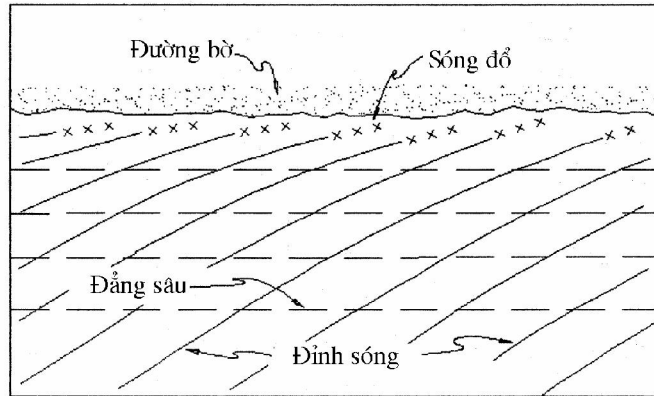
Khúc xạ sóng tác động lên quá trình biến đổi bờ biển và đáy biển. Xu thế chung là tại vùng có địa hình đáy lồi khúc xạ sẽ tạo nên vùng tập trung (hội tụ) năng lượng sóng, còn ngược lại tại các vùng địa hình đáy lõm tạo nên vùng phân tán (phân kỳ) năng lượng sóng. Kết quả sẽ tạo nên dòng chảy do sóng vận chuyển vật liệu đáy từ các vùng tập trung năng lượng đến các vùng phân tán năng lượng sóng, san bằng các biến động cho địa hình đáy biển vùng ven bờ. Hình 2.6 vẽ các trường hợp khúc xạ sóng với các loại địa hình đáy khác nhau [4].

## 2.4 NHIỀU XẠ SÓNG DO VẬT CẢN

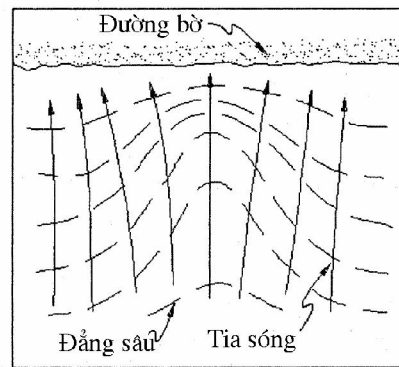
Khi sóng truyền vào các vùng được bảo vệ, ví dụ như phía sau của đê chắn sóng, sẽ xảy ra hiện tượng nhiễu xạ. Đối với sóng biên độ nhỏ truyền trong vùng có độ sâu biến đổi đồng nhất, các giá trị thể tốc độ  $\phi$ , hàm phân bố thẳng đứng của tốc độ quỹ đạo sóng theo phương ngang  $F(d, z)$  thoả mãn các điều kiện biên tuyến tính trên mặt biển (biên độ sóng nhỏ so với độ dài sóng) và điều kiện biên trên đáy biển (bằng phẳng) có dạng:

$$\phi = -\frac{g}{i\sigma} F(d, z) \zeta(x, y, t) \quad (2.66)$$

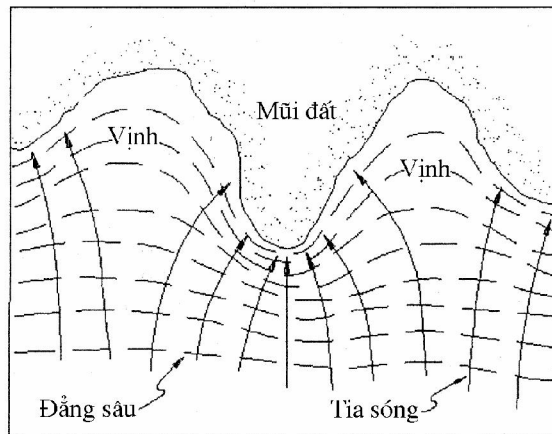
$$F(d, z) = \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} \quad (2.67)$$



(a)



(b)



**Hình 2.6** Các trường hợp khúc xạ sóng ở vùng ven bờ

$$\zeta = \hat{\zeta}(x, y)e^{i\sigma t} \quad (2.68)$$

với:  $\zeta$  - cao độ mặt nước,

$\hat{\zeta}$  - cao độ mặt nước dạng số phức.

Lúc đó phương trình Laplace sẽ chuyển thành phương trình Helmholtz đối với  $\hat{\zeta}$ :

$$\nabla^2 \hat{\zeta} + k^2 \hat{\zeta} = 0 \quad (2.69)$$

Phương trình trên được áp dụng đối với sóng vùng nước sâu và sóng dài.

Đối với nhiễu xạ sóng do đê chắn sóng có một đầu không giới hạn, Penney và Price (1952) đã nhận được lời giải của (2.69) dựa trên định luật Sommerfeld đối với nhiễu xạ tia sáng. Hệ số nhiễu xạ  $K_d$  là tỉ số giữa biên độ sóng bị nhiễu xạ và biên độ sóng ở đầu đê chắn sóng (chưa bị nhiễu xạ) trong hệ tọa độ cực  $r$  và  $\theta$  (Hình 2.7)

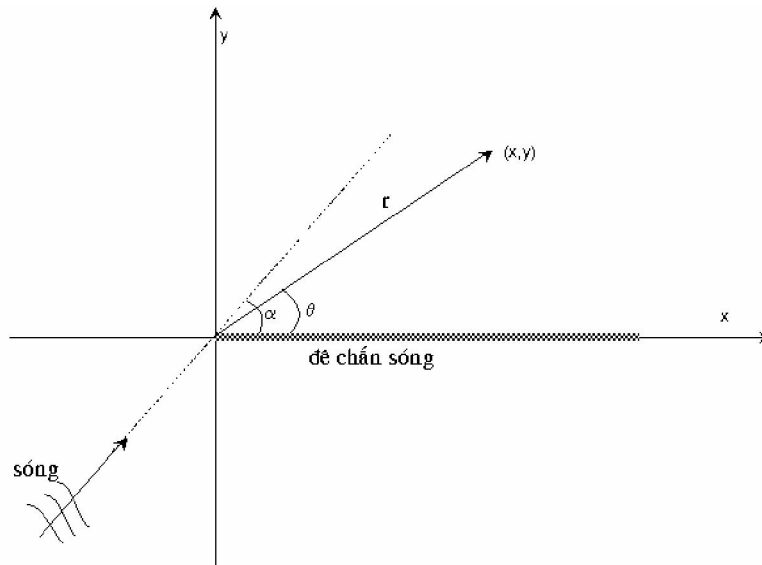
$$K_d = \left| I \left( -\sqrt{\frac{8r}{L}} \sin \frac{\alpha - \theta}{2} \right) e^{-ikr \cos(\alpha - \theta)} + I \left( -\sqrt{\frac{8r}{L}} \sin \frac{\alpha + \theta}{2} \right) e^{-ikr \cos(\alpha + \theta)} \right| \quad (2.70)$$

với: 
$$I(\lambda) = \frac{1+i}{2} \int_{-\infty}^{\lambda} e^{-i\frac{\pi\lambda^2}{2}} d\lambda \quad (2.71)$$

Hay: 
$$I(\lambda) = \frac{1 + C(\lambda) + S(\lambda)}{2} + i \frac{C(\lambda) - S(\lambda)}{2} \quad (2.72)$$

với  $C(\lambda)$  và  $S(\lambda)$  là tích phân Fresnel:

$$C(\lambda) = \int_0^{\lambda} \cos \frac{\pi\lambda^2}{2} d\lambda, \quad S(\lambda) = \int_0^{\lambda} \sin \frac{\pi\lambda^2}{2} d\lambda \quad (2.73)$$



Hình 2.7 Sóng nhiễu xạ do vật cản

## 2.5 KẾT HỢP SÓNG KHÚC XẠ VÀ NHIỄU XẠ

Khi truyền vào vùng biến dạng và vùng ven bờ các quá trình khúc xạ và nhiễu xạ sóng thường xảy ra đồng thời. Cơ sở tính toán trường sóng dưới tác dụng đồng thời của hai quá trình trên được nêu ra dưới đây:

### 2.5.1 Phương trình độ dốc đáy thoải

Phương trình Laplace của thế tốc độ sóng  $\phi$  với giả thuyết là dòng chảy không xoáy, được viết dưới dạng:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x_i^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (2.74)$$

với:  $x_i$  - ( $i=1,2$ ) là toạ độ ngang,

$z$  - toạ độ thẳng đứng.

Phương trình (2.74) nhân với một hàm  $F$  và lấy tích phân theo chiều thẳng đứng từ đáy lên mặt biển sẽ nhận được:

$$\int_{-d}^0 \left( F \nabla^2 \phi + F \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \right) dz = 0 \quad (2.75)$$

Phương trình (2.75) biểu thị tích phân gần đúng bậc nhất năng lượng sóng đối với đáy dốc. Điều kiện biên tại đáy là thành phần vuông góc của tốc độ quỹ đạo hạt nước sẽ bị triệt tiêu:

$$w = -u_i \frac{\partial d}{\partial x_i} \quad (z = -d) \quad (2.76)$$

Điều kiện biên tại mặt biển, ứng với lý thuyết sóng tuyến tính trên mặt nước có thể thoả mãn điều kiện biên độ sóng nhỏ hơn rất nhiều so với độ dài sóng. Từ đó có thể bỏ qua các thành phần bậc cao khi khai triển chuỗi Taylor cho điều kiện biên trên mặt biển:

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad (z = 0) \quad (2.77)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + g\zeta = 0 \quad (z = 0) \quad (2.78)$$

Loại  $\zeta$  từ (2.77) và (2.78) ta được:

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = -\frac{1}{g} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \quad (z = 0) \quad (2.79)$$

với  $\zeta(x_i, t)$  là cao độ mặt nước.

Lấy tích phân thành phần của (2.75) với điều kiện biên tại đáy (2.76) nhận được.

$$\nabla \cdot \int_{-d}^0 F \nabla \phi dz + \int_{-d}^0 k^2 F \phi dz - \int_{-d}^0 \nabla F \cdot \nabla \phi dz + \left( F \frac{\partial \phi}{\partial z} - \frac{\partial F}{\partial z} \phi \right)_{z=0} = 0 \quad (2.80)$$

Nếu sóng là sóng hình sin theo thời gian, thành phần thứ tư trong (2.80) sẽ triệt tiêu. Nếu áp dụng các điều kiện biên trên mặt biển (2.77), (2.78) và hệ thức phân tán (2.48), lời giải của (2.80) sẽ được lấy dưới dạng (2.66) và (2.68). Tuy không hoàn toàn thoả mãn

với điều kiện đáy dốc, nhưng theo các kết quả nghiên cứu theo phương pháp nhiễu động của Biesel (1952) cho thấy, thậm chí đối với sóng xấp xỉ bậc một, hiệu ứng độ dốc của đáy biển có thể bỏ qua vì hiệu ứng của độ dốc đáy biển rất nhỏ, loại trừ tại các tầng rất sát đáy. Như vậy từ (2.80) đã nhận được phương trình độ dốc đáy thoải (Berkhoff, 1972, 1976; Smith và Sprinks, 1975; Mei, 1983).

$$\nabla \cdot (nC^2 \nabla \hat{\zeta}) + n\sigma^2 \hat{\zeta} = 0 \quad (2.81)$$

Trong đó các thành phần chứa các hàm mũ bậc cao hơn và các đạo hàm của độ sâu  $d$  được bỏ qua. Nếu  $n$  là hằng số thì (2.81) chuyển thành biểu thức Helmholtz (2.69). Lý thuyết phương trình độ dốc thoải được áp dụng đối với khu vực đáy biển có độ dốc tới 1/3.

Phương trình chuyển động sóng (2.74) với điều kiện biên trên đáy (2.76) áp dụng cho thế tốc độ của sóng trong khu vực biển có dòng chảy ổn định. Tuy nhiên ứng với điều kiện dòng chảy ổn định này, để có được sự phù hợp với biểu thức phân tán (2.61) cần đưa thêm các thành phần tương tác trong điều kiện biên trên mặt biển (2.77) và (2.78) như sau (Longuet-Higgins và Stewart, 1961):

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{U} \cdot \nabla\right) \phi + g\zeta = 0 \quad (z=0) \quad (2.82)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} - \left(\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{U} \cdot \nabla\right) \zeta = 0 \quad (z=0) \quad (2.83)$$

Bằng cách giả định các biểu thức riêng sẽ như:

$$\phi = F(d, z) \Phi(x, y, t) \quad (2.84)$$

chúng ta nhận được:

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{U} \cdot \nabla\right)^2 \Phi - \nabla \cdot \left(\frac{n\sigma_*^2}{k^2} \nabla \Phi\right) + (1-n)\sigma_*^2 \Phi = 0 \quad (2.85)$$

Phương trình (2.85) biểu thị phương trình độ dốc thoải mở rộng trong trường hợp có sự tồn tại đồng thời giữa trường sóng và trường dòng chảy (Booij, 1981 [6]).

### 2.5.2 Phương trình độ dốc thoải theo thời gian

Dạng chặt chẽ của tích phân theo chiều thẳng đứng của phương trình liên tục có dạng:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{Q} = 0 \quad (2.86)$$

với:  $\mathbf{Q}$  là vectơ của độ lớn dòng chảy cho một đơn vị bề rộng và được xác định theo:

$$\mathbf{Q} = \int_{-d}^{\zeta} \mathbf{u} dz \quad (2.87)$$

với:  $\mathbf{u}$  là vectơ tốc độ quỹ đạo do sóng.

Phương trình (2.81) và (2.86) biểu thị tồn tại một biểu thức gần đúng:

$$\frac{\partial \mathbf{Q}}{\partial t} + \frac{C^2}{n} \nabla(n\zeta) = 0 \quad (2.88)$$

Biểu thức trên được coi là tích phân thẳng đứng của phương trình chuyển động. Để nhận được phương trình trên trực tiếp bằng cách lấy tích phân phương trình chuyển động sẽ rất phức tạp. Trong thực tế, bằng cách thế các giá trị của thế vận tốc  $\phi$  trong phương trình (2.66) vào (2.74) chúng ta sẽ nhận được:

$$\nabla^2(F\zeta) + \frac{\partial^2 F}{\partial z^2}\zeta = 0 \quad (2.89)$$

Có thể thấy rằng sẽ không tồn tại lời giải thoả mãn phương trình trên với mọi giá trị  $z$  trong vùng biển có địa hình tùy ý. Nếu giá trị hàm số biến đổi  $z$  được loại trừ từ (2.89) thông qua tích phân thẳng đứng, phương trình nhận được sẽ có lời giải dưới dạng trung bình. Theo một phương pháp khác, bằng cách loại  $\dot{Q}$  khỏi phương trình (2.86) và (2.88) chúng ta được:

$$\nabla \cdot \left\{ \frac{C^2}{n} \nabla(n\zeta) \right\} + \sigma^2 \zeta = 0 \quad (2.90)$$

Phương trình này bao hàm đạo hàm bậc hai của độ sâu ở dạng ẩn. Mặc dù các đạo hàm này không làm giảm bậc chính xác của phương trình, chúng có thể gây khó khăn về mặt kỹ thuật trong tính toán theo phương pháp số ở các vùng có địa hình đáy phức tạp.

Các phương trình tương đương hoàn toàn với phương trình (2.81) được đưa ra dưới dạng:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{n} \nabla \cdot (n \dot{Q}^r) = 0 \quad (2.91)$$

$$\frac{\partial \dot{Q}^r}{\partial t} + C^2 \nabla \zeta = 0 \quad (2.92)$$

với  $\dot{Q}^r$  được xác định theo:

$$\dot{Q}^r = \frac{C^2}{\sigma^2} \nabla \left( \frac{\partial \zeta}{\partial t} \right) \approx \frac{gk}{n\sigma^2} \int_{-d}^0 F \vec{u} dz \quad (2.93)$$

Hay:

$$\dot{Q}^r = \dot{Q} - \frac{C^2}{n\sigma^2} \nabla n \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad (2.94)$$

và  $\dot{Q}^r$  không hoàn toàn trùng lặp chính xác với lượng dòng chảy thực tế  $\dot{Q}$ .

Mặc dù các phương trình độ dốc thoả theo thời gian đã được dẫn ra như trên, chúng không mô phỏng được trường sóng vùng trung gian vì các chuyển động sóng tuần hoàn đã được giả định trước đó trong phương trình (2.68).

### 2.5.3 Các phương trình parabolic

Mặc dù phương trình độ dốc thoả (2.81) rất có ích cho mô phỏng trường sóng nhưng nó được viết dưới dạng elliptic, do vậy để tính toán trường sóng cần thiết phải giải theo phương pháp lặp. Radder (1979) đã đưa ra xấp xỉ dạng parabolic của phương trình độ dốc thoả bằng cách cho rằng sóng truyền chủ yếu theo trục của hướng truyền sóng và có thể bỏ qua các sóng phản xạ:

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = \left\{ ik - \frac{1}{2knC^2} \frac{\partial}{\partial x} (knC^2) \right\} \psi + \frac{i}{2knC^2} \frac{\partial}{\partial y} \left( nC^2 \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) \quad (2.95)$$

Với  $\psi$  là biên độ sóng dạng số phức, được tính theo biên độ sóng,  $a$ , và pha sóng  $\chi$ :

$$\psi = ae^{i\chi} \quad (2.96)$$

Từ các phần thực và phần ảo của (2.95) ta có

$$\frac{1}{nC^2 a} \frac{\partial}{\partial y} \left( nC^2 \frac{\partial a}{\partial y} \right) - \left\{ \left( \frac{\partial \chi}{\partial y} \right)^2 + 2k \frac{\partial \chi}{\partial x} - 2k^2 \right\} = 0 \quad (2.97)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (knC^2 a^2) + \frac{\partial}{\partial y} \left( nC^2 \frac{\partial \chi}{\partial y} a^2 \right) = 0 \quad (2.98)$$

Xét vùng bờ có đường đẳng sâu thẳng và song song theo trục  $y$ . Trục  $x$  theo hướng vuông góc với bờ, trường sóng ban đầu chéo góc với các đường đẳng sâu đồng nhất dọc bờ:

$$\frac{\partial a}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \chi}{\partial y} = k \sin \alpha = \text{const.} \quad (2.99)$$

với:  $\alpha$  - là góc giữa hướng sóng với đường vuông góc với đường bờ.

Với các điều kiện trên, phương trình (2.97), (2.98) sẽ được viết lại ở dạng:

$$\frac{\partial \chi}{\partial x} = k \left( 1 - \frac{1}{2} \sin^2 \alpha \right) \approx k \cos \alpha \quad (2.100)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (nca^2) = 0 \quad (2.101)$$

Phương trình (2.100) chỉ đúng với các góc  $\alpha$  nhỏ, với  $\alpha$  lớn nó sẽ cho kết quả lớn hơn thực. Từ phương trình (2.101) cho thấy phương trình parabolic (2.95) tính đến sự biến dạng sóng ( $a \approx nC^{-1/2}$ ) trong khi đó hiệu ứng khúc xạ sóng ( $a \approx (\cos \alpha)^{-1/2}$ ) bị loại trừ. Việc không tính đến toàn vẹn các hiệu ứng này là do việc làm gần đúng theo phương trình parabolic, giả định rằng sóng truyền theo chủ yếu theo trục  $X$ . Độ cao sóng tăng không giới hạn ở các điểm hội tụ tia sóng, thường xảy ra trong tính toán theo phương pháp tia sóng tại các vùng có địa hình phức tạp. Berkhoff, Booy, Radder (1982) và Hashimoto (1982) cho rằng phương pháp parabolic cho các kết quả tính sóng khá hiện thực, thậm trí trong trường hợp địa hình khá phức tạp tạo ra hiệu ứng gradient ngược lại của biên độ sóng lên hàm pha sóng  $\chi$ . Có thể nhận được các phương trình parabolic gần đúng của phương trình độ dốc thoải, ví dụ như:

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = \left\{ i \left( k_x + \frac{k_y}{2k_x} \right)^2 - \frac{1}{2k_x nC^2} \frac{\partial}{\partial x} (k_x nC^2) \right\} \psi + \frac{i}{2k_x nC^2} \frac{\partial}{\partial y} \left( nC^2 \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) \quad (2.102)$$

với:  $k_x, k_y$  - các thành phần của vectơ số sóng theo trục  $x, y$ :

$$k_x = k \cos \alpha; k_y = k \sin \alpha \quad (2.103)$$

Các phương trình riêng rẽ ứng với (2.97), (2.98) được cho dưới dạng:

$$\frac{1}{nC^2} \frac{\partial}{\partial y} \left( nC^2 \frac{\partial a}{\partial y} \right) - \left\{ \left( \frac{\partial \chi}{\partial y} \right)^2 + 2k_x \frac{\partial \chi}{\partial x} - 2k_x^2 - k_y^2 \right\} = 0 \quad (2.104)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (nC^2 k_x a^2) + \frac{\partial}{\partial y} \left( nC^2 \frac{\partial \chi}{\partial y} a^2 \right) = 0 \quad (2.105)$$

Với các điều kiện riêng (2.99), các phương trình trên có thể được tích phân và nhận được các biểu thức dưới đây mô phỏng chính xác hiệu ứng khúc xạ:

$$\frac{\partial \chi}{\partial x} = k \cos \alpha \quad (2.106)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (nC a^2 \cos \alpha) = 0 \quad (2.107)$$

## 2.6 PHẢN XẠ SÓNG

Sóng sẽ bị phản xạ bởi công trình trên biển hoặc đáy biển dốc. Hệ số phản xạ  $K_p$  được xác định là tỉ số giữa độ cao sóng phản xạ  $H_p$  với độ cao sóng truyền tới  $H_I$  :

$$K_p = H_p / H_I \quad (2.108)$$

Miche đã tính được giới hạn của độ dốc sóng để có được phản xạ toàn phần đối với đáy dốc:

$$\left( \frac{H_0}{L_0} \right)_{\max} = \sqrt{\frac{2\beta \sin^2 \beta}{\pi}} \quad (2.109)$$

với  $\beta$  là độ dốc đáy biển.

Nếu sóng truyền tới có độ cao sóng lớn hơn độ cao sóng ở vế phải của phương trình (2.109), thì năng lượng lớn hơn năng lượng ứng với độ dốc giới hạn của phương trình (2.109) sẽ bị tiêu hao qua hiệu ứng sóng đổ. Như vậy hệ số phản xạ đối với đáy sẽ là:

$$K_p = \begin{cases} \left( \frac{H_0}{L_0} \right)_{\max} / \left( \frac{H_0}{L_0} \right) & \frac{H_0}{L_0} > \left( \frac{H_0}{L_0} \right)_{\max} \\ 1 & \left( \frac{H_0}{L_0} \right) \leq \left( \frac{H_0}{L_0} \right)_{\max} \end{cases} \quad (2.110)$$

Phương trình (2.110) cho các kết quả tính hệ số phản xạ cao hơn thực khi hệ số phản xạ  $K_p$  gần bằng 1.

Battjes (1974) đã nhận được công thức thực nghiệm cho hệ số phản xạ đối với đáy dốc:

$$K_p = 0.1\xi^2 \quad (2.111)$$

Với  $\xi$  được gọi là tham số đồng nhất đối sóng đổ được xác định theo:

$$\xi = \tan \beta / \sqrt{H/L} \quad (2.112)$$

Nếu mặt cắt đáy phức tạp,  $\tan \beta$  có thể được xác định từ độ dốc phía trước của bãi sát bờ biển. Madsen, 1974 đã thực hiện các nghiên cứu lý thuyết về hệ số phản xạ đối với tường chắn thấm nước, tuy nhiên đối với các loại tường thẳng đứng thấm nước phức tạp



như dạng các đê chắn sóng dạng tiêu huỷ năng lượng, cần có các thử nghiệm bằng mô hình. Goda (1985) đã đưa ra các giá trị gần đúng của hệ số phản xạ đối với các dạng công trình biển khác nhau.

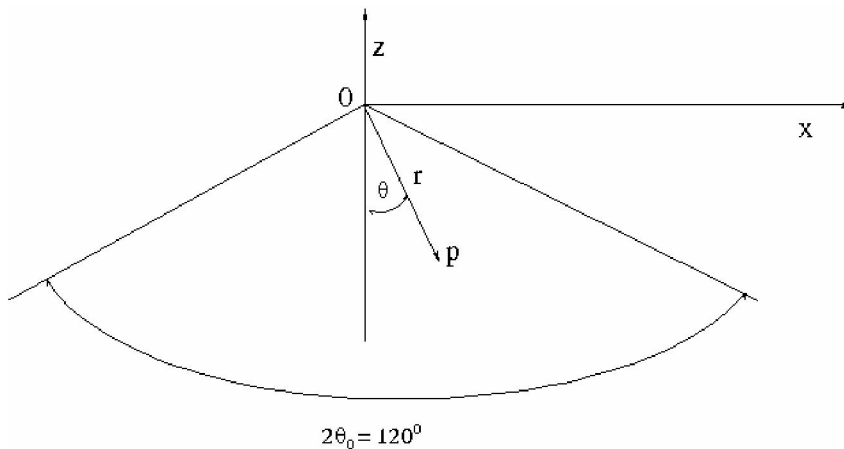
## 2.7 SÓNG ĐỔ

Sóng đổ khi truyền vào bờ biển là một quá trình khốc liệt nhất trong động lực ven bờ. Sự khốc liệt về cơ chế vật lý là ở chỗ quá trình sóng đổ tiêu tán hầu như toàn bộ năng lượng của sóng. Năng lượng này sẽ tạo ra dòng chảy ngang bờ và dọc bờ và có thể dẫn đến vận chuyển trầm tích làm biến động đáy biển. Sóng cũng có thể đổ ở ngoài vùng biển sâu khi hình dạng (độ dốc) sóng vượt qua giới hạn cho phép.

Trong thời gian gần đây, đã đạt được kết quả khá tốt về nghiên cứu chuyển động của các hạt chất lỏng trong đới sóng đổ. Tuy nhiên trong các điều kiện tự nhiên, sự tương tác giữa các hạt nước trong đới sóng đổ còn cần phải được nghiên cứu và vẫn chưa có được một mô hình tổng quát để có thể mô phỏng được biến đổi của toàn bộ dải phổ của trường sóng trong đới sóng đổ. Một trong các khó khăn là chưa có được một mô hình toán mô tả đầy đủ chuyển động của chất lỏng trong đới sóng đổ khi mà chuyển động này thường là phi tuyến và phụ thuộc vào thời gian. Gia tốc của hạt nước trong chuyển động sóng ở đới sóng đổ không còn được coi là nhỏ so với gia tốc trọng trường, tốc độ quỹ đạo của hạt nước cũng không được coi là nhỏ so với tốc độ pha. Các quá trình sóng đổ sẽ được nghiên cứu theo trình tự các sóng dốc dần khi đi vào bờ, cơ chế sóng đổ và biến đổi trường sóng trong đới sóng đổ.

### 2.7.1 Quá trình tăng độ dốc sóng dẫn tới sóng đổ

Từ lý thuyết sóng Trochoid đã nhận được giới hạn của sóng là góc đỉnh sóng đạt  $120^\circ$  (hình 2.8 [5]).



**Hình 2.8** Góc giới hạn của đỉnh sóng

Về cơ chế vật lý thì giới hạn trên biểu thị giới hạn của tốc độ quỹ đạo so với tốc độ pha của trường sóng. Chúng ta cho rằng đỉnh sóng được tạo bởi hai đường thẳng là tiếp tuyến của mặt nước cong trong chuyển động sóng trên thực tế. Chuyển động sóng được

coi là chuyển động ổn định trong giới hạn nêu trên hình 2.8. Điều kiện về tốc độ quỹ đạo và tốc độ pha được hiểu một cách khác là tốc độ quỹ đạo ở tại đỉnh sóng phải bị triệt tiêu (= 0). Thế tốc độ trong vùng đỉnh sóng theo tọa độ cực (r,θ) trên hình 2.8 có thể được xấp xỉ bằng biểu thức:

$$\phi(r, \theta) = Br^n \sin(n\theta) \quad (2.113)$$

với B và n là các hệ số hiệu chỉnh, r và θ là tọa độ cực.

Để hiệu chỉnh hệ số n với thực tế mặt nước là một đường dòng ta có:

$$u_\theta = -\frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} = 0 \quad (2.114)$$

Hay: 
$$\frac{\partial \phi}{\partial \theta} = \cos(n\theta) = 0 \text{ tại } \theta = \theta_0 \quad (2.115)$$

và: 
$$n\theta_0 = \frac{\pi}{2} \quad (2.116)$$

Cho rằng áp suất trên mặt thoáng bằng không, phương trình Bernoulli của mặt nước ở lân cận đỉnh sóng sẽ là:

$$\frac{1}{2}(u_r^2 + u_\theta^2) + gz = 0 \quad (2.117)$$

Thế các giá trị tốc độ  $u_r = -\frac{\partial \phi}{\partial r}$ ;  $u_\theta = -\frac{\partial \phi}{r \partial \theta}$  và tọa độ trên mặt  $z = -r \cos\theta$  vào (2.117) ta được:

$$\frac{1}{2}n^2 B^2 r^{2n-3} = g \cos\theta_0 = \text{const} \quad (2.118)$$

Vì vế phải của (2.118) không đổi do vậy giá trị mũ của r phải bằng 0:

$$2n-3=0 \text{ hay } n=3/2 \quad (2.119)$$

Thay vào (2.116) ta được:

$$\theta_0 = 60^\circ \quad (2.120)$$

Thay B từ (2.118) vào (II.113) ta được thế tốc độ dưới dạng:

$$\phi(r, \theta) = \frac{2}{3} g^{1/2} r^{3/2} \sin\left(\frac{3}{2}\theta\right) \quad (2.121)$$

Hay ở dạng số phức (Longuet-Higgins, Fox, 1977):

$$w = \frac{2}{3i} g^{1/2} z_1^{3/2} \quad (2.122)$$

Trong đó:  $w = \phi + i\psi$  và  $z_1 = r \exp(i\theta)$ .

Các thành phần của tốc độ quỹ đạo trong chuyển động sóng sẽ có dạng:

$$\left. \begin{aligned} u_r &= -\frac{\partial \phi}{\partial r} = -g^{1/2} r^{1/2} \sin\left(\frac{3}{2}\theta\right) \\ u_\theta &= -\frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} = -g^{1/2} r^{1/2} \cos\left(\frac{3}{2}\theta\right) \end{aligned} \right\} \quad (2.123)$$

Cả hai thành phần của tốc độ quỹ đạo sẽ tiến tới 0 khi  $r$  tiến tới 0, điều này thoả mãn chỉ tiêu động lực của hiện tượng sóng đổ. Giả định thứ hai về đỉnh sóng được tạo bởi hai đường thẳng tiếp tuyến của hai mặt sườn sóng sẽ được biểu thị qua việc xác định mặt nước tự do với một góc tọa độ cực  $\theta_0$ . Lời giải (2.120) cho rằng góc của mặt sóng giảm tới giá trị tới hạn  $120^\circ$ . Đây là trường hợp ứng với các sóng dốc nhất. Khi  $r > 0$  đỉnh sóng sẽ trở lên tù hơn. Để xác định dòng chảy tới hạn chúng ta xét tọa độ  $(r, \theta)$  với điểm gốc 0 ở khoảng cách  $l$  phía trên đỉnh sóng (hình 2.9). Chúng ta cần tìm lời giải theo đó với  $r/l \rightarrow \infty$  sẽ có dạng dòng chảy góc Stokes; (2.122). Longuet- Higgins và Fox (1977) từ các kết quả tính toán đã nhận được mặt nước tự do sẽ cắt tiệm cận của chúng ở khoảng  $r/l = 3.32$  và sau đó đạt tới tiệm cận với dao động về hai phía rất chậm. Giữa hai lần cắt tiệm cận ở  $r/l = 3.32$  và  $r/l = 68.5$  góc cực đại của độ dốc vượt quá một chút so với  $30^\circ$  và giá trị tính toán số là  $30.37^\circ$ . Hơn nữa gia tốc thẳng đứng của hạt nước tại đỉnh sóng là  $0.388g$  nhưng ở vị trí xa đỉnh  $r/l \rightarrow \infty$  gia tốc tiến tới giá trị  $1/2g$  tương ứng với dòng chảy góc Stokes.

Để chứng minh giá trị này chúng ta xác định các thành phần gia tốc hạt nước trong hệ tọa độ chuyển động sau:

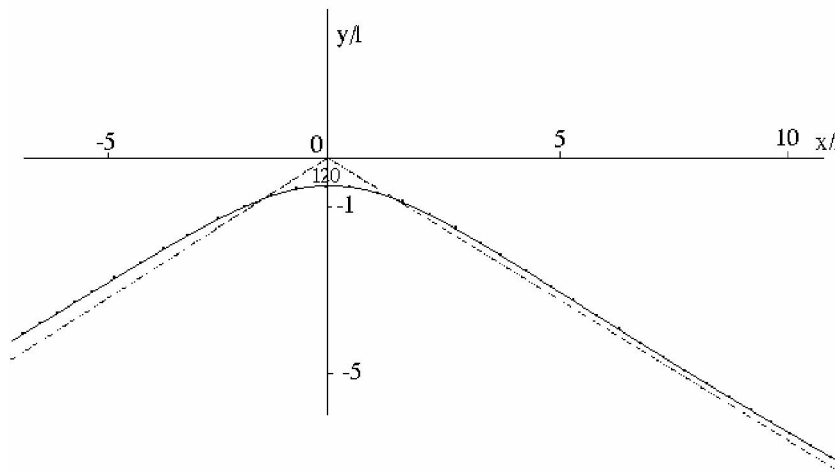
$$\left. \begin{aligned} a_r &= u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} - \frac{u_\theta^2}{r} \\ a_\theta &= u_r \frac{\partial u_\theta}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{u_r u_\theta}{r} \end{aligned} \right\} \quad (2.124)$$

Sử dụng phương trình (2.123) để tính các thành phần của phương trình (2.124) và tìm được rằng  $a_\theta = 0$  và:

$$a_r = \frac{1}{2}g \sin^2\left(\frac{3}{2}\theta\right) + \frac{3}{2}g \cos^2\left(\frac{3}{2}\theta\right) - g \cos^2\left(\frac{3}{2}\theta\right) \quad (2.125)$$

Hay:

$$a_r = \frac{1}{2}g \quad (2.126)$$

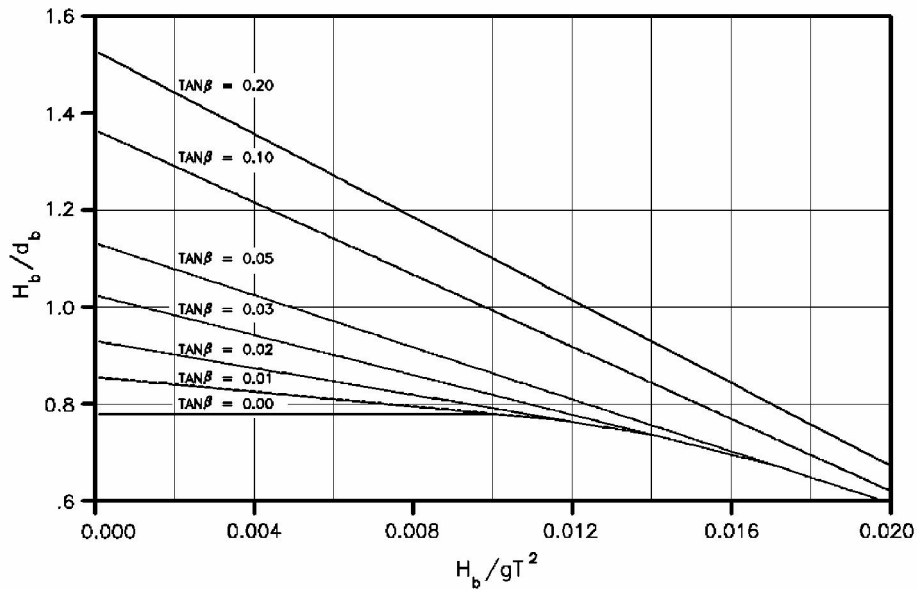


Hình 2.9 Dạng tiệm cận của các sóng có độ dốc cực đại

Như vậy gia tốc hạt nước gần đỉnh sóng giảm trực tiếp từ đỉnh sóng trở xuống với giá trị là  $(1/2)g$ . Ở vùng nước sâu, sóng có độ dốc cực đại là 0.142, thường được biểu thị là sóng có độ cao cực đại đạt  $1/7$  độ dài. Đối với sóng ở độ sâu hữu hạn, khi đáy biển đóng vai trò quan trọng đối với quá trình sóng đổ, các đặc trưng về độ dốc địa phương của mặt nước trong chuyển động sóng và chỉ tiêu động lực giới hạn sóng đổ sẽ hạn chế sự tăng độ cao sóng ở vùng ven bờ. Miche (1944) đã nhận được biểu thức độ dốc giới hạn cho vùng biển dạng:

$$\left(\frac{H}{L}\right)_{\max} = 0.142 \tanh(kd) \quad (2.127)$$

Trong thực tế, chỉ tiêu động lực giới hạn sóng đổ thường được biểu thị qua tỉ số lớn nhất giữa độ cao sóng và độ sâu  $(H/d)_{\max}$ . Tỷ số này gọi là hệ số sóng đổ ( $\gamma_d$ ) và phụ thuộc vào độ dốc của đáy biển và chu kỳ sóng. Hình 2.10 vẽ hệ số sóng đổ với các độ dốc và chu kỳ khác nhau [4].



Hình 2.10 Hệ số sóng đổ với các độ dốc đáy biển, chu kỳ sóng khác nhau

### 2.7.2 Các dạng sóng đổ vùng ven bờ

Có 4 dạng sóng đổ dưới tác động của độ sâu khi sóng truyền vào vùng ven bờ:

- *Sóng đổ dạng sạt đỉnh*: đỉnh sóng trở lên không ổn định và bị sạt về phía trước tạo thành một lớp bọt trắng.
- *Sóng đổ dạng bỏ nhào*: đỉnh sóng bị vờn về phía trước và đổ xuống ngay tại chân phía trước của sóng.
- *Sóng đổ dạng vỡ chân*: đỉnh sóng giữ nguyên nhưng sườn phía trước bị đổ khi tiến vào bãi sát bờ biển.
- *Sóng đổ dạng sạt sườn*: đỉnh sóng giữ nguyên nhưng sườn phía trước bị vờn lên tăng độ dốc và đổ xuống.

Ngoài ra dưới tác động của gió, sóng cũng có thể bị đổ dưới dạng bạc đầu. Hình 2.11 đưa ra hình ảnh của bốn dạng sóng đổ nêu trên.

Dạng sóng đổ có thể được xác định bằng tham số:

$$\zeta_0 = \left( \frac{H_0}{L_0} \right)^{-1/2} \tan \beta \quad (2.128)$$

Sóng đổ dạng vỡ chân sườn:  $3.3 < \zeta_0$

Sóng đổ dạng bờ nhào:  $0.5 < \zeta_0 < 3.3$

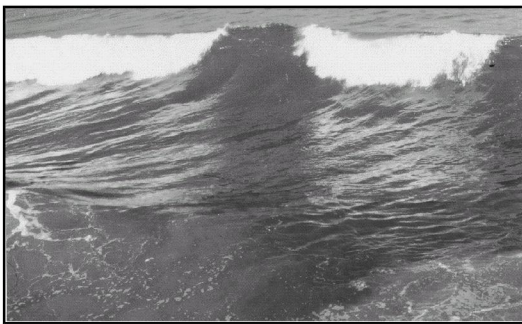
Sóng đổ dạng sạt đỉnh:  $\zeta_0 < 0.5$

Nếu xét đối tham số  $\zeta_\beta = (H_b/L_0)^{1/2} \tan \beta$ , ứng với dải sóng đổ ta có:

Sóng đổ dạng vỡ chân hoặc sạt sườn:  $2.0 < \zeta_\beta$

Sóng đổ dạng bờ nhào:  $0.4 < \zeta_\beta < 2.0$

Sóng đổ dạng sạt đỉnh:  $\zeta_\beta < 0.4$



a) Sóng đổ dạng sạt đỉnh



b) Sóng đổ dạng bờ nhào



c) Sóng đổ dạng vỡ chân



d) Sóng đổ dạng sạt sườn

**Hình 2.11 Các dạng sóng đổ vùng ven bờ**

Dạng sóng đổ bờ nhào là dạng sóng gây biến động đáy biển mạnh nhất. Các mô hình tính toán vận chuyển trầm tích và biến động bờ biển, đáy biển thường áp dụng cho dạng sóng đổ này.

### 2.7.3 Biến đổi trường sóng trong vùng sóng đổ

Sự biến đổi trường sóng trong vùng sóng đổ, hay nói cách khác biến đổi năng lượng sóng trong vùng sóng đổ là nguyên nhân cơ bản của nhiều quá trình ven bờ: hoàn lưu gần bờ, sóng leo, vận chuyển trầm tích vv... Các mô hình tính mô phỏng quá trình biến đổi lan truyền sóng trong vùng này được chia thành 3 loại:

- Dựa trên cơ sở độ cao sóng đổ giới hạn,
- Các mô hình lan truyền Bore,
- Mô phỏng tổng quát sự biến đổi theo không gian các tham số sóng (năng lượng tác động sóng).

Theo loại cuối, phân bố độ cao sóng được tính theo phương trình cân bằng năng lượng:

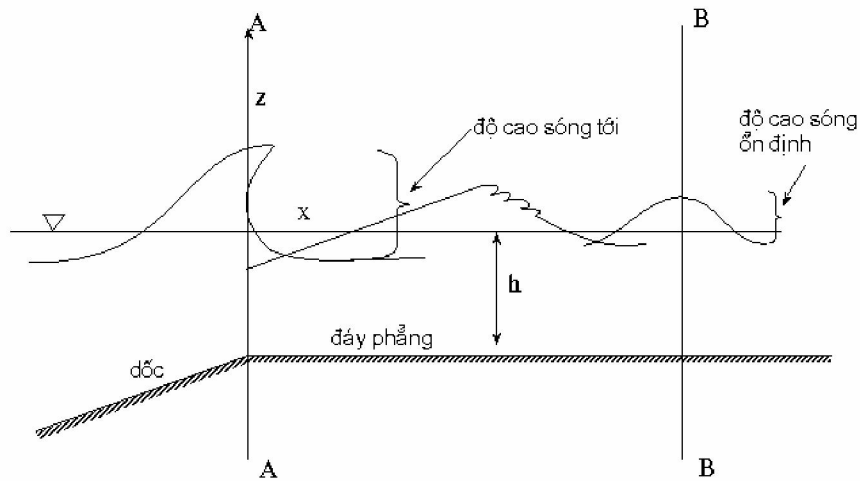
$$\frac{\partial(EC_g)}{\partial x} = -\delta(x) \quad (2.129)$$

Trong đó:  $\delta$  - là năng lượng tiêu hao cho một đơn vị diện tích mặt biển do ma sát đáy, do dòng rối phát sinh khi sóng đổ vv...

Các nghiên cứu của Horikawa và Kno (1966) và đo đạc thực tế cho thấy độ cao sóng sẽ đạt được giá trị ổn định sau khi sóng đổ đầu tiên trên đáy đồng nhất.

$$H_{stab} = \Gamma h \quad (2.130)$$

Xét biến đổi trường sóng sau khi sóng đổ (hình 2.12).



Hình 2.12 Sơ đồ biến đổi sóng trong đới sóng đổ

Theo hình 2.12 năng lượng tiêu hao giữa mặt cắt AA và BB là:

$$\frac{\partial(EC_g)}{\partial x} = \frac{-K}{d} [EC_g - (EC_g)_{stab}] \quad (2.131)$$

với:  $(EC_g)_{stab}$  - dòng năng lượng của sóng ổn định.

K - hệ số tiêu tán, không thứ nguyên.

Trong phương trình (2.129) áp dụng  $C_g = \sqrt{gd}$  vùng nước nông ta có:

$$\frac{\partial G(x)}{\partial x} + \frac{K}{d(x)} G(x) = K\Gamma^2 d^{3/2}(x) \quad (2.132)$$

trong đó:

$$G(x) = H^2(x) d^{1/2}(x)$$

Trong trường hợp đơn giản nhất khi sóng đổ trong vùng sóng đổ có địa hình lý tưởng, ta có các lời giải sau:

**a. Độ sâu không biến đổi:**

$$\frac{H}{d} = \left\{ \left[ \left( \frac{H}{d} \right)_b^2 - \Gamma^2 \right] \exp\left(-K \frac{x}{d}\right) + \Gamma^2 \right\}^{1/2} \quad (2.133)$$

Ở  $x = 0$ :  $H/d = (H/d)_b$  điểm sóng đổ.

**b. Độ dốc không đổi:**

Nếu độ sâu biến đổi tuyến tính theo  $x$ , có nghĩa là:

$$d(x) = d_b - \beta x \quad (2.134)$$

Ta có:

$$\frac{H}{H_b} = \left[ \left( \frac{d}{d_b} \right)^r (1 + \alpha) - \alpha \left( \frac{d}{d_b} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.135)$$

với:

$$\alpha = \frac{K\Gamma^2}{\beta \left( \frac{5}{2} - \frac{K}{\beta} \right)} \left( \frac{d}{H} \right)_b^2, \quad r = \frac{K}{m} - \frac{1}{2} \quad (2.136)$$

Trong trường hợp đặc biệt, nếu  $K/\beta = 5/2$ ; phương trình (2.135) có dạng:

$$\frac{H}{H_b} = \left( \frac{d}{d_b} \right) \left[ 1 - \alpha_1 \ln \left( \frac{d}{d_b} \right) \right]^{1/2} \quad (2.137)$$

trong đó:

$$\alpha_1 = \frac{5}{2} \Gamma^2 \left( \frac{d}{H} \right)_b^2 \quad (2.138)$$

Chú ý rằng nếu  $K=0$ , phương trình (2.135) trở thành biểu thức mô tả định luật Green. Các công thức tính nêu trên phụ thuộc rất nhiều vào các hệ số  $K$  và  $\Gamma$ .

Sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu có thể xác định được các giá trị  $K$  và  $\Gamma$  ứng với các độ dốc khác nhau (bảng 2.4 [5])

**Bảng 2.4** Hệ số K và  $\Gamma$  ứng với các độ dốc đáy biển khác nhau

Độ dốc	K	$\Gamma$
1/80	0.200	0.350
1/65	0.115	0.355
1/30	0.275	0.475

Đối với đáy biển có dạng tùy ý, việc lan truyền sóng trong vùng sóng đổ có tính đến các hiện tượng biến dạng, sóng đổ và sóng tái tạo chưa có được các kết quả giải tích. Trong các tính toán số cần tính tới mực nước biển đổi trong vùng sóng đổ dựa trên cơ sở lý thuyết ứng suất bức xạ sóng (chương III).

## 2.8 TƯƠNG TÁC GIỮA SÓNG VÀ DÒNG CHẢY Ở VÙNG VEN BỜ

Sự tương tác giữa sóng và dòng chảy đóng vai trò quan trọng trong hầu hết các khu vực ven bờ đặc biệt là ở các vùng cửa sông, luồng ra vào cảng, lạch triều. Việc tính đến quá trình tương tác này trong tính sóng cần thiết cho thiết kế công trình, tính toán vận chuyển trầm tích, hàng hải, giao thông ven biển.

### 2.8.1 Truyền sóng trên dòng chảy đồng nhất.

Giả định trường sóng tiến ổn định, truyền vào vùng bờ có độ sâu  $d$  với một góc  $\theta$  ngược lại với trục  $x$ . Trường dòng chảy  $\vec{U}(U_1, 0, 0)$  song song với trục  $x$ . Hệ thức phân tán có dạng:

$$(\omega - \vec{k}\vec{U})^{1/2} = gk \tanh(kd) \quad (2.139)$$

Hay:

$$\omega - k|\vec{U}| \cos\Theta = \pm\sigma \quad (2.140)$$

Trong đó:

$$k = |\vec{k}|, \quad \sigma = [gk \tanh(kd)]^{1/2} \quad (2.141)$$

Tần số  $\omega$  là tần số quan trắc trên cơ sở của hệ cố định còn  $\delta$  là tần số thực tế trên cơ sở hệ chuyển động với tốc độ  $\vec{U}$ , cho rằng:

$$a = \omega \sqrt{\frac{d}{g}}, \quad b = \frac{|\vec{U}| \cos\Theta}{\sqrt{\omega d}}, \quad \sigma^* = (kd \tanh kd)^{1/2} \quad (2.142)$$

Lúc đó phương trình (2.140) có thể viết lại dưới dạng:

$$a - b(kd) = \pm\sigma^* \quad (2.143)$$

Phương pháp đơn giản nhất để giải (2.143) đối với  $\vec{k}$  là xác định vùng cắt nhau của mặt phẳng:

$$\chi = a - b(\Theta)kd \quad (2.144)$$



với sự biến đổi bề mặt:

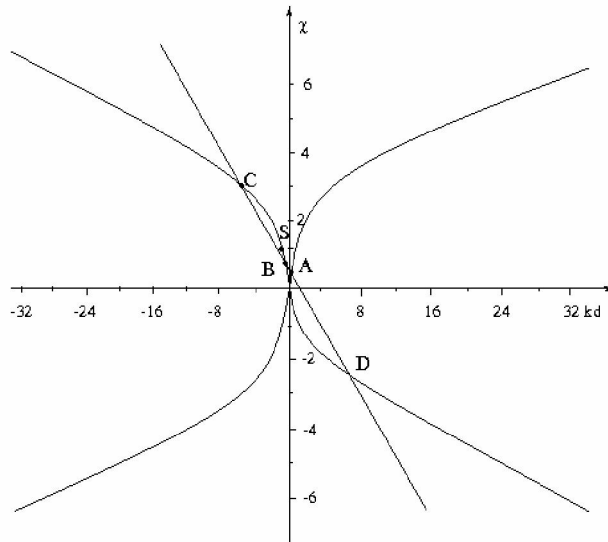
$$\chi = \pm \sigma^* \quad (2.145)$$

Trong không gian  $(kd, \chi)$  hướng quay được tính ngược lại với trục  $\chi$ . Nếu  $\vec{U} = 0$  hay  $\theta = 90^\circ$  thì  $b=0$  và  $\omega = \sigma$ . Như vậy nếu véc tơ  $\vec{k}$  vuông góc với  $\vec{U}$  thì dòng chảy không ảnh hưởng đến lời giải. Với hướng bất kỳ khác, lời giải sẽ là đường cong trên hình 2.13. Trên mặt cắt phẳng xuyên tâm của hình 2.13 có thể phân biệt bốn lời giải khác nhau tại các điểm A, B, C, D. Điểm A, trong đó  $\chi = \sigma_A > 0$  và  $(kd)_A > 0$  tương ứng với sóng có thành phần  $\vec{k}$  cùng hướng với dòng chảy. Tần số quan trắc  $\omega$  sẽ lớn hơn tần số thực tế  $\sigma_A$ . Thế  $\sigma = \sigma_A$  vào (2.140) và chia cho số sóng  $k_A$  ta có:

$$C_A^{(a)}(k_A) = C_A(k_A) + |\vec{U}| \quad \text{tại } \Theta = 0^\circ \quad (2.146)$$

với:  $C_A$  - tần số pha tương ứng với tần số  $\sigma_A$  nghĩa là  $C_A = \sigma_A / (k_A)$

$C_A^{(a)}$  - tốc độ pha tuyệt đối của người quan trắc đứng trên hệ không chuyển động.



**Hình 2.13** Lời giải của hệ thức phân tán khi sóng truyền trên trường dòng chảy

Tại điểm B và C chúng ta có  $\delta_A > 0$  và  $kd < 0$ . Trong trường hợp riêng khi điểm B tương ứng với sóng truyền ngược với dòng chảy:

$$C_B^{(a)}(k_B) = C_B(k_B) - |\vec{U}| \quad \text{tại } \Theta = 180^\circ \quad (2.147)$$

Phương trình (2.146) và (2.147) biểu thị hiệu ứng Doppler.

Để giải thích cơ chế vật lý của trường sóng tương ứng với điểm C, chúng ta chọn điểm S trên đường cong. Tại điểm này, đường (2.144) là tiếp tuyến đối với đường cong (2.145), do vậy:

$$C_g(k_s) + |\vec{U}| \cos \Theta = 0 \quad (2.148)$$

Với điều kiện (2.148) năng lượng sóng hoặc là ổn định, hoặc là truyền vuông góc với dòng chảy. Tại thời điểm B nằm ở phía phải điểm S chúng ta có:

$$|\vec{U}| < |C_g(k_B)| < |C_B(k_B)| \quad (2.149)$$

Trong khi đó tại điểm C:

$$|C_g(k_B)| < |\vec{U}| < |C_B(k_B)| \quad (2.150)$$

Sóng trong trường hợp này truyền ngược lại với dòng chảy có nghĩa là đỉnh của nó truyền về phía nguồn của dòng chảy còn năng lượng lại bị cuốn về phía cuối dòng chảy. Điểm D tương ứng với sóng với  $\delta_D < 0$ . Hướng sóng ngược với hướng dòng chảy nhưng sóng bị cuốn về phía cuối dòng nhanh hơn tốc độ pha của nó:

$$|\vec{U}| > |C_D(k_D)| > |C_g(k_D)| \quad (2.151)$$

### 2.8.2 Truyền sóng trên dòng chảy thay đổi chậm

Trường dòng chảy vùng ven bờ thường không đồng nhất và không ổn định. Sự biến đổi trường dòng chảy có thể gây biến đổi các tham số của trường sóng. Nếu sóng truyền trong các trường dòng chảy nhanh hơn hoặc chậm hơn so với tốc độ truyền sóng, tần số sẽ không thay đổi nhưng độ dài sóng sẽ tăng hoặc giảm. Hơn thế nữa, nếu hướng của trường sóng và trường dòng chảy không trùng nhau, sự thay đổi tốc độ dòng chảy sẽ tạo ra khúc xạ sóng và làm thay đổi quá trình trao đổi năng lượng giữa sóng và dòng chảy. Với điều kiện là các đặc trưng và khoảng cách của dòng chảy lớn hơn nhiều so với của sóng, theo hệ thức phân tán (2.132), ta có:

$$\frac{\partial \vec{k}}{\partial t} + \nabla_d \left[ \sigma(kd) + \vec{k} \cdot \vec{U} \right] = 0 \quad (2.152)$$

Nếu hướng của tốc độ pha được lấy theo hướng của số sóng địa phương, đặc trưng bởi đơn vị vectơ  $\vec{l} = \vec{k}/|\vec{k}|$ , phương trình (2.152) có dạng:

$$\frac{\partial \vec{k}}{\partial t} + (C_g + \vec{l} \cdot \vec{U}) \nabla k + \left[ \frac{\partial \sigma}{\partial d} \nabla d + k \nabla (\vec{l} \cdot \vec{U}) \right] = 0 \quad (2.153)$$

Với trường sóng ổn định, sự biến đổi số sóng dọc theo tia sóng và sự biến đổi hướng của tia sóng có thể được viết dưới dạng:

$$\frac{\partial k}{\partial s} = (C_g + \vec{l} \cdot \vec{U})^{-1} \left[ \frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial s} + k \frac{\partial}{\partial s} (\vec{l} \cdot \vec{U}) \right] \quad (2.154)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial s} = -(C_g + \vec{l} \cdot \vec{U})^{-1} \left[ \frac{1}{k} \frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial n} + \frac{\partial}{\partial n} (\vec{l} \cdot \vec{U}) \right] \quad (2.155)$$

vì:  $\nabla \times \vec{k} = 0$ .

Một khi đã biết được các đặc trưng của tia sóng, sự biến đổi của biên độ sóng sẽ tìm được bằng cách áp dụng định luật bảo toàn tác động sóng. Với các sơ đồ hướng sóng và dòng chảy nêu trên hình 2.14 ta có:

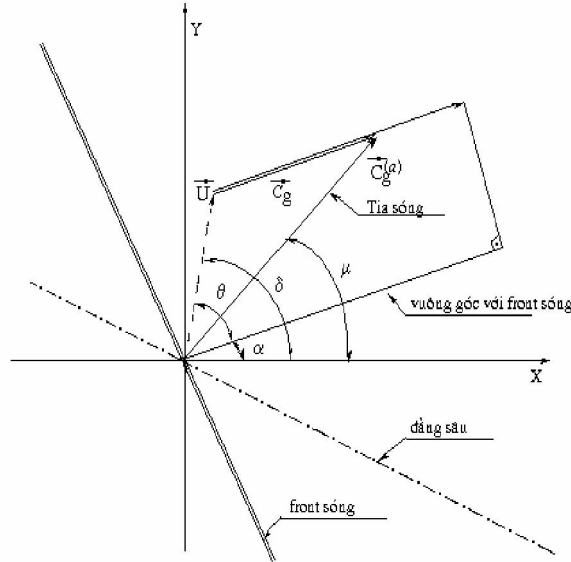
$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{E}{\sigma} (U \cos \delta + C_g \cos \alpha) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{E}{\sigma} (U \sin \delta + C_g \sin \alpha) \right] = 0 \quad (2.156)$$

Tốc độ nhóm tuyệt đối:  $\vec{C}_g^{(a)} = \vec{C}_g + \vec{U}$

Hướng của tia sóng:

$$\tan \mu = \frac{U \sin \delta + C_g \sin \alpha}{U \cos \delta + C_g \cos \alpha} \quad (2.157)$$

Khi  $U=0$  và  $\alpha = \delta$  hướng của tia sóng sẽ trùng với hướng vuông góc với đỉnh sóng.



Hình 2.14 Sơ đồ vectơ dòng chảy và hướng sóng

### 2.8.3 Truyền sóng trên dòng chảy thay đổi theo chiều ngang

Nếu sóng truyền trên dòng chảy với trường tốc độ thay đổi thì sự thay đổi dòng mô men sẽ dẫn đến sự trao đổi năng lượng giữa sóng và dòng chảy. Để đơn giản hoá chúng ta giả định rằng  $\vec{U} = U(U_1(x), 0, 0)$  tương ứng với trường dòng chảy trong các kênh hoặc sông, với tốc độ thay đổi theo độ sâu  $d(x)$ .

Giả thuyết là dòng chảy ổn định ta có:

$$\sigma^2 = (\omega - kU_1)^2 = gk \tanh kd \quad (2.158)$$

với các giá trị  $U_1$  và  $d$ , chỉ cần xác định  $k$  trong phương trình (2.158). Cho rằng đối với trường hợp đơn giản nhất là ở vùng nước sâu:

$$\omega = k(C + U_1) = \text{const} = K \quad (2.159)$$

Giá trị  $K$  được lấy bằng  $\omega_0$  là tần số sóng ở điểm có  $U_1 = 0$  có nghĩa là  $\omega_0 = (gk_0)^{1/2}$  và  $C_0 = (gk_0)^{1/2}$ . Phương trình (2.159) có thể được viết lại dưới dạng:

$$\left(\frac{C}{C_0}\right)^2 - \left(\frac{C}{C_0}\right) - \frac{U_1}{C_0} = 0 \quad (2.160)$$

với lời giải là:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left(1 + \frac{4U_1}{C_0}\right)^{1/2} \quad (2.161)$$

Lời giải (2.161) cho thấy tốc độ của dòng chảy ngược  $U_1=(1/4)C_0 = (-1/2)C = -C_g$  tương ứng với giới hạn động lực. Như vậy, nếu tốc độ dòng chảy lớn hơn và ngược lại với tốc độ nhóm địa phương của trường sóng, năng lượng sẽ không truyền được theo hướng ngược dòng chảy.

Các kết quả nghiên cứu chi tiết về truyền sóng trên nền dòng chảy biến đổi theo chiều ngang có thể tìm đọc trong các công trình nghiên cứu của Kirby (1988).

### 2.8.4 Truyền sóng trên nền dòng chảy biến đổi theo độ sâu

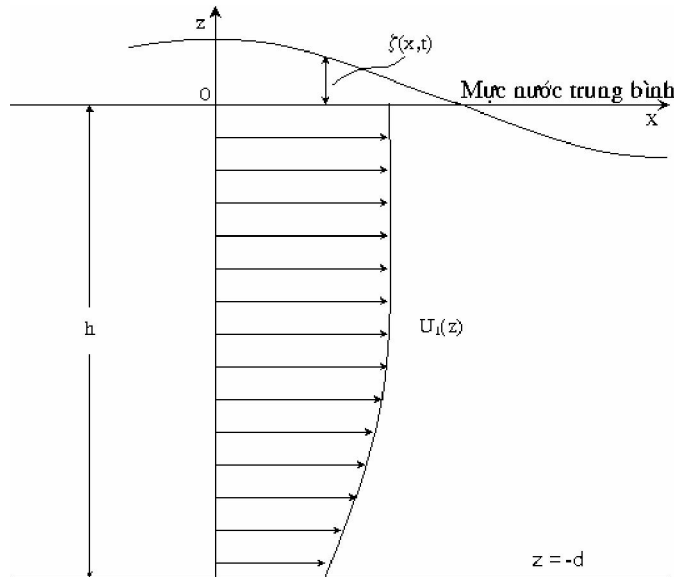
Chúng ta đã nghiên cứu tương tác giữa sóng và trường dòng chảy có cỡ biến đổi theo thời gian lớn hơn nhiều so với chu kỳ sóng do vậy có thể coi như dòng chảy ổn định. Cũng tương tự như vậy, biến thiên dòng chảy theo chiều ngang có kích cỡ lớn hơn nhiều so với bước sóng. Tuy nhiên trong trường hợp dòng chảy biến đổi theo chiều thẳng đứng thì các giả định trên không phù hợp. Khó khăn nhất để đưa ra các lời giải giải tích là phương trình xuất phát không thể giải chính xác đối với số sóng tổng hợp và tần số sóng trừ khi hệ số xoáy được giả định không đổi. Sơ đồ đơn giản nhất của profile thẳng đứng của tốc độ dòng chảy  $U_1(z)$  có dạng như hình 2.15.  $U_1$  trượt tại đáy và phân bố đồng dạng theo chiều thẳng đứng. Chuyển động được giả định là không xoáy và có thể áp dụng lý thuyết sóng ổn định không xoáy. Xét sự tương tác giữa sóng tuyến tính tuần hoàn với dòng chảy trượt ổn định với profile tùy ý trong không gian 2 chiều (hình 2.15), biến đổi mực nước  $\zeta(x,z)$  theo hình sin có nghĩa là:

$$\zeta(x,t) = a \cos(kx - \omega t) \quad (2.162)$$

và trường dòng chảy tổng cộng ( $u_T(x,z,t)$ ,  $w_T(x,z,t)$ ) có thể được viết dưới dạng:

$$\left. \begin{aligned} u_T(x,z,t) &= U_1(z) + u(z) \cos(kx - \omega t) \\ w_T(x,z,t) &= w(z) \sin(kx - \omega t) \end{aligned} \right\} \quad (2.163)$$

Tốc độ  $U_1(z)$  tương ứng với dòng chảy khi không có sóng.



Hình 2.15 Hệ tọa độ biến đổi dòng chảy theo độ sâu

Từ lý thuyết ổn định động lực, đã đưa ra phương trình dưới dạng thuận tiện để mô phỏng tương tác giữa sóng và dòng chảy thông qua tốc độ thẳng đứng  $w$ .

$$\frac{d^2 w}{dz^2} - \left[ k^2 - \frac{k}{\omega - kU_1} \frac{d^2 U_1}{dz_1^2} \right] w = 0 \quad (2.164)$$

Các điều kiện trên thích hợp với  $w(z)$  là:

$$w(z) = 0 \quad \text{tại } z = -d \quad (2.165)$$

$$(\omega - kU_1)^2 \frac{dw}{dz} + k(\omega - kU_1)w \frac{dU_1}{dz} - gk^2 w = 0 \quad \text{tại } z = 0 \quad (2.166)$$

$$w(z) = a(\omega - kU_1) \quad \text{tại } z = 0 \quad (2.167)$$

Điều kiện (2.166) biểu thị hệ thức phân tán còn (2.167) là điều kiện động lực của mặt thoáng. Các phương trình (2.164) - (2.167) đối với  $k$  và  $w(z)$  được giải với giả thiết rằng  $\omega, a, k$  và  $U_1(z)$  đã biết. Trong trường hợp riêng, tỷ số giữa tốc độ quỹ đạo ngang và thẳng đứng trong sóng  $u(z)$  và  $w(z)$  có thể nhận được từ phương trình liên tục:

$$u(z) = \frac{1}{k} \frac{dw}{dz} \quad (2.168)$$

Tuy nhiên các phương trình (2.164) - (2.167) không thể giải bằng phương pháp giải tích cho các số sóng  $k$  và tần số  $\omega$  tùy ý, trừ khi dòng chảy phụ thuộc vào độ sâu (biến đổi tuyến tính theo độ sâu). Trong trường hợp tổng quát, cần giải số các phương trình (2.164) - (2.167). Các kết quả tính toán đã được so sánh với số liệu thực nghiệm và có sự phù hợp khá tốt. Các nghiên cứu tương tác giữa sóng và dòng chảy đối với dòng chảy xoáy còn rất ít và không thể áp dụng đối với phân bố xoáy tùy ý và sóng có biên độ hữu hạn.

### Chương 3

## ỨNG SUẤT BỨC XẠ SÓNG

### VÀ CÁC QUÁ TRÌNH DO SÓNG SINH RA Ở VÙNG VEN BỜ

#### 3.1. CÁC THÀNH PHẦN ỨNG SUẤT BỨC XẠ SÓNG

##### 3.1.1. Sóng vuông góc với bờ

Các sóng mặt sẩn sinh động lượng  $M$  theo hướng lan truyền sóng. Đại lượng này xác định bằng:

$$M = \frac{1}{2} \rho a^2 \sigma \coth kd = \frac{1}{8} \rho H^2 \frac{2\pi}{T} \coth kd = \frac{1}{8} \rho g H^2 \frac{2\pi}{gT} \coth kd = \frac{\bar{E}}{C} \quad (3.1)$$

Trong đó:  $\rho$  - mật độ nước,  $H$  - độ cao sóng,  $a = H/2$  - biên độ sóng,  $T$  - chu kỳ sóng,  $\sigma = 2\pi/T$  - tần số sóng,  $k = 2\pi/L$  - số sóng,  $L$  - độ dài sóng,  $d$  - độ sâu,  $\bar{E}$  - năng lượng trung bình trên một đơn vị diện tích bề mặt.

Khi sóng đang lan truyền bị chặn lại bởi vật cản như dề chắn sóng, sẽ xảy ra phản xạ tại mặt vật cản và như vậy hướng động lượng bị thay đổi. Điều đó có nghĩa là sóng tạo ra một lực thuỷ động có độ lớn bằng suất biến đổi động lượng. Lực này liên quan đến ứng suất gọi là ứng suất bức xạ, các ứng suất này tương đương với dòng động lượng về hướng và xác định bằng dòng động lượng dư do chuyển động sóng tạo nên.

Mặc dù trong thực tế mọi chất lỏng đều nhớt và nén được, nhưng trong nhiều trường hợp số hạng nhớt có thể bỏ qua so với số hạng áp suất và gia tốc. Trường hợp này ta có chuyển động không nhớt, không xoáy và gọi là chuyển động thế. Giả thiết sóng lan truyền theo hướng  $x$ , dòng thế đối với chuyển động sóng có thể mô tả bằng phương trình Euler. Lúc đó, cân bằng động lượng theo hướng lan truyền sóng  $x$  là:

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U U)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho U V)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho U W)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial x} \quad (3.2)$$

Trong đó:  $U, V, W$  là những vận tốc tức thời theo hướng  $x$  (vuông góc với bờ),  $y$  (song song bờ) và  $z$  (thẳng đứng).

Phương trình (3.2) có thể viết lại như sau:

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} = -\frac{\partial(P + \rho U U)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho U V)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho U W)}{\partial z} = \sum F_x$$

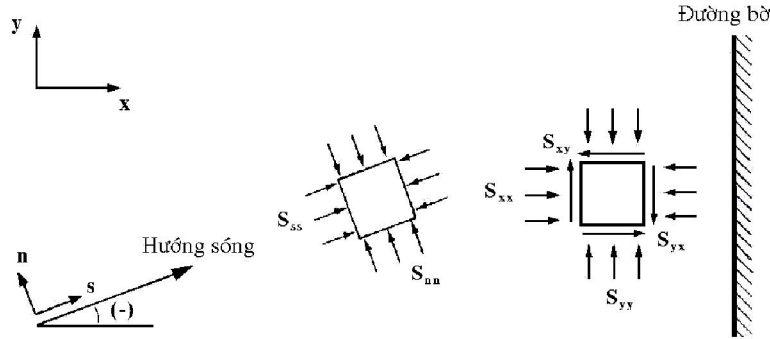
Những thành phần bên vế phải phương trình (3.2) có thể xem như lực hiệu quả tác động lên thể tích chất lỏng có các cạnh  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ , lực này sản sinh sự thay đổi động lượng cục bộ theo thời gian của thể tích đang xét. Giả thiết độ sâu nước không đổi, tích phân những thành phần phương trình (3.2) theo chu kỳ sóng  $T$  và theo toàn bộ độ sâu ( $-d$  đến  $\eta$ ) và trừ đi áp suất chất lỏng thuỷ tĩnh khi không có sóng, có thể nhận được các lực hướng ngang, trung bình thời gian trên bề rộng đơn vị:

$$S_{xx} = \frac{1}{T} \int_0^T \int_{-d}^{\eta} (P + \rho U U) dz dt - \int_{-d}^{\eta} P_0 dz \quad (3.3)$$

$$S_{XY} = \frac{1}{T} \int_0^T \int_{-d}^{\eta} (\rho UV) dz dt \quad (3.4)$$

Trong đó:  $P_0$  - áp suất thủy tĩnh của chất lỏng tại độ sâu  $z$ .

Vì sóng lan truyền vuông góc với bờ ( $V = 0$ ) ta có  $S_{XY} = 0$ .



**Hình 3.1** Ứng suất bức xạ sóng

Tương tự đối với hướng y cho ta:

$$S_{YY} = \frac{1}{T} \int_0^T \int_{-d}^{\eta} (P + \rho VV) dz dt - \int_{-d}^{\eta} P_0 dz. \quad (3.5)$$

Những lực biểu thị bằng phương trình (3.3-3.5) gọi là ứng suất bức xạ, và là những lực trên bề rộng đơn vị (N/m). Có thể liên hệ các ứng suất bức xạ này với các tham số sóng bằng cách lấy tích phân. Sử dụng các biểu thức của lý thuyết sóng tuyến tính ta có:

$$S_{XX} = (2n - 1/2) \frac{1}{8} \rho g H^2 = (2n - 1/2) \overline{E} \quad (3.6)$$

$$S_{YY} = (n - 1/2) \frac{1}{8} \rho g H^2 = (n - 1/2) \overline{E} \quad (3.7)$$

$$S_{XY} = 0 \quad (3.8)$$

Trong đó:  $n = C_g/C$  - tỷ lệ tốc độ nhóm và tốc độ pha,  $H$  - độ cao sóng,  $\overline{E}$  - mật độ năng lượng sóng trung bình.

Khi sóng lan truyền trong một miền có độ sâu không đổi và giả thiết không có tổn thất năng lượng (độ cao sóng không đổi), ta có  $S_{XX}$  không đổi,  $S_{YY}$  không đổi và  $\partial S_{XX}/\partial x = 0$ ,  $\partial S_{YY}/\partial y = 0$ , có nghĩa là động lượng không đổi. Những gradient  $S_{XX}$ ,  $S_{YY}$  và  $S_{XY}$  theo các hướng  $x$ ,  $y$  có thứ nguyên là lực trên đơn vị diện tích\*. Chúng thể hiện ngoại lực tác động trên diện tích đơn vị lên một phần tử chất lỏng ở độ cao  $h$ :

$$\sigma_{XX} = \frac{\partial S_{XX}}{\partial x}, \sigma_{YY} = \frac{\partial S_{YY}}{\partial y}, \sigma_{XY} = \frac{\partial S_{XY}}{\partial x}. \quad (3.9)$$

**Ví dụ:**

Tính toán giá trị  $S_{XX}$  và  $S_{YY}$  cho một sóng lan truyền từ nước sâu ( $h = 5 \text{ m}$ ,  $h = 150 \text{ m}$ ,  $T = 12 \text{ s}$ ,  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ) tới bờ.

Độ sâu nước	Độ cao sóng	Bước sóng	Hệ số	Năng lượng $\bar{E}$ (N/m)	Ứng suất bức xạ	
					$S_{XX}$	$S_{YY}$
d (m)	H (m)	L (m)	n		(N/m)	(N/m)
150	5,0	225	0,502	30656	15451	61
100	4,91	225	0,521	29561	16022	620
60	4,59	220	0,611	25834	20150	2868
25	4,56	170	0,799	25497	27996	7623
10	5,07	120	0,919	31480	42120	13190

### 3.1.2. Sóng truyền dưới một góc với bờ

Ứng suất bức xạ sóng trong trường hợp này, để thuận tiện cho các tính toán các quá trình động lực ven bờ, được xác định theo hệ tọa độ của đường bờ (x vuông góc và y song song với bờ) và được ký hiệu bằng  $S_{xx}$ ,  $S_{xy}$ ,  $S_{yy}$ . Các thành phần ứng suất bức xạ dựa trên hệ tọa độ của đường bờ được tính từ các thành phần ứng suất bức xạ dựa trên hệ trục tọa độ của trường sóng  $S_{XX}$ ,  $S_{XY}$ ,  $S_{YY}$ . Để chuyển đổi có thể sử dụng sơ đồ Mohr (xem hình 3.2). Các thành phần ứng suất bức xạ sóng theo hệ trục tọa độ của đường bờ có dạng sau:

$$S_{xx} = \frac{S_{XX} + S_{YY}}{2} + \frac{S_{XX} - S_{YY}}{2} \cos 2\theta$$

$$S_{yy} = \frac{S_{XX} + S_{YY}}{2} - \frac{S_{XX} - S_{YY}}{2} \cos 2\theta \quad (3.10)$$

$$S_{xy} = \frac{S_{XX} - S_{YY}}{2} \sin 2\theta$$

Hay:

$$S_{xx} = (n - 1/2 + n \cos^2 \theta) \bar{E} \quad (3.11)$$

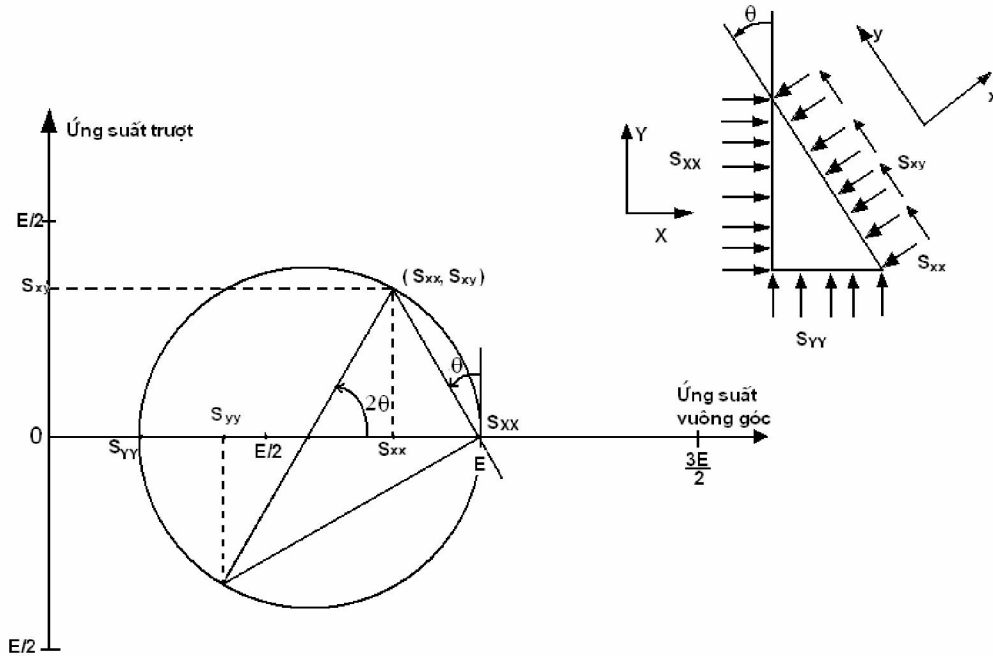
$$S_{xy} = S_{yx} = n \cos \theta \sin \theta \bar{E} \quad (3.12)$$

$$S_{yy} = (n - 1/2 + n \sin^2 \theta) \bar{E} \quad (3.13)$$

\* Các gradient ứng suất bức xạ sóng  $\sigma_{XX}$ ,  $\sigma_{XY}$ ,  $\sigma_{YY}$ , trong thực tế chính là ứng suất bức xạ sóng với thứ nguyên là lực trên đơn vị diện tích (Van Rijn 1989). Tuy nhiên hiện nay trong các sách chuyên môn đều coi các lực bức xạ  $S_{XX}$ ,  $S_{XY}$ ,  $S_{YY}$ , là ứng suất bức xạ sóng nên trong giáo trình này chấp nhận các quy ước trên [7].



Trong đó:  $\theta$  - góc giữa hướng lan truyền sóng và hướng x vuông góc với bờ,  $\theta = 0^\circ$  đối với sóng vuông góc với bờ. Những lực  $S_{xx}$  và  $S_{yy}$  là lực pháp tuyến.  $S_{xy}$  là lực tiếp tuyến.



Hình 3.2 Sơ đồ Mohz chuyển đổi ứng suất bức xạ sóng sang hệ tọa độ đường bờ biển

### 3.2. MỤC NƯỚC DÂNG VÀ RÚT TẠI VÙNG SÓNG ĐỔ

Sóng tác dụng một lực lên khối chất lỏng mà trong đó chúng lan truyền. Điều này tạo ra một dòng khối lượng và một dòng động lượng rờng, dẫn tới những biến đổi độ sâu nước trung bình (dâng và rút), khi có gradient độ cao sóng hướng ngang. Khi sóng tiếp cận bờ dưới một góc, sẽ phát sinh dòng chảy dọc bờ trong vùng sóng đổ. Hiện tượng này có thể giải thích bằng khái niệm ứng suất bức xạ của Longuet - Higgins và Stewart (1964) như đã nói trên. Dòng động lượng rờng và dòng khối lượng rờng là những hiệu ứng phi tuyến bởi vì liên quan đến số hạng  $H^2$ , có thể nhận được các ứng suất này bằng cách áp dụng lý thuyết sóng tuyến tính.

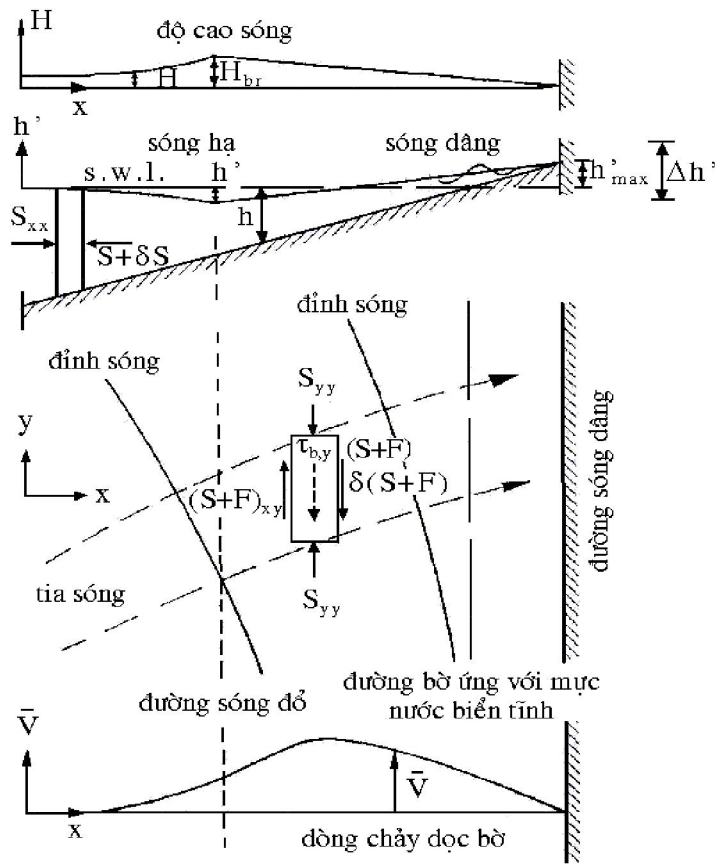
#### 3.2.1. Nước rút do sóng trong sóng không đổ

Những phương trình (3.6) đến (3.13) hợp lệ trong trường hợp độ dốc đáy thay đổi dần dần. Cân bằng lực theo hướng x cho ta:

$$\sigma_{xx} + \rho g(d + h') \frac{dh'}{dx} = 0 \quad (3.14)$$

Trong đó:  $d$  - độ sâu nước tĩnh,  $h'$  - biến đổi mực nước so với mực nước tĩnh,  $\sigma_{xx} = \partial S_{xx} / \partial x$  - gradient ứng suất bức xạ.

Phương trình (3.14) cho thấy rằng gradient ứng suất bức xạ ngang cân bằng với gradient áp suất thủy tĩnh do sự biến đổi mực nước trung bình.



**Hình 3.3** Biến đổi mực nước và dòng chảy do sóng

Giả thiết cân bằng dòng năng lượng không có những hiệu ứng tiêu tán  $d(\overline{E} nC)/dx = 0$  và giả thiết  $h' \ll d$ , có thể tích phân phương trình (3.14) đối với sóng vuông góc với bờ ( $\theta = 0^\circ$ ):

$$h' = -\frac{kH^2}{8 \sinh 2kd} \quad (3.15)$$

Trong đó:  $H$  - độ cao sóng,  $K = 2\pi/L$  - số sóng,  $L$  - độ dài sóng.

Phương trình (3.15) cho ta độ rút mực nước trung bình, vì  $S_{xx}$  tăng theo hướng vào bờ  $dS_{xx}/dx > 0$ . Phương trình (3.15) hợp lệ cho tới ranh giới đường sóng đố:

$$h'_{br} = -\frac{H_{br}^2}{16d_{br}} = -\frac{1}{16}\gamma H_{br} \quad (3.16)$$

Với:  $\gamma = H_{br}/d_{br} = 0,78$  - hệ số sóng đố,  $H_{br}$  - độ cao sóng tại đường sóng đố,  $d_{br}$  - độ sâu tại đường sóng đố.

### 3.2.2. Nước dâng do sóng trong vùng sóng đố

Trong vùng sóng đố, có thể áp dụng xấp xỉ nước nông  $S_{xx} = 1,5 \overline{E}$ . Cho rằng  $H = \gamma(d + h')$  và giả thiết hệ số sóng đố  $\gamma$  không đổi trong vùng sóng đố, ta có:

$$S_{xx} = \frac{3}{2} \overline{E} = \frac{3}{16} \rho g \gamma^2 (d + h')^2 \quad (3.17)$$

Ứng suất bức xạ giảm theo hướng vào bờ do mực nước giảm, dẫn tới mặt nước trung bình tăng, phù hợp với phương trình (3.14). Thay phương trình (3.16) vào phương trình (3.14) ta có:

$$\frac{d}{dx} \left( \frac{3}{8} \gamma^2 (d + h') + h' \right) = 0. \quad (3.18)$$

Như vậy: 
$$\frac{3}{8} \gamma^2 (d + h') + h' = \text{const} \text{ hoặc } \frac{3}{8} \gamma H + h' = K. \quad (3.19)$$

Hệ số K có thể xác định từ phương trình (3.16). Thay phương trình (3.16) vào phương trình (3.19):

$$\frac{3}{8} \gamma H_{br} - \frac{1}{16} \gamma H_{br} = K$$

Hoặc: 
$$\frac{5}{16} \gamma H_{br} = K \text{ cho ta: } h' = \frac{5}{16} \gamma H_{br} - \frac{3}{8} \gamma H \quad (3.20)$$

Trong đó:  $H_{br}$  - độ cao sóng tại đường sóng đở,  $H$  - độ cao sóng,  $\gamma$  - hệ số sóng đở.

Giá trị lớn nhất là  $h'_{\max} = 5/6 \gamma H_{br}$  đối với  $d = 0$ . Độ chênh lệch tổng cộng của mực nước trung bình trên vùng sóng đở là:

$$\Delta h' = \frac{5}{16} \gamma H_{br} + \frac{1}{16} \gamma H_{br} = \frac{3}{8} \gamma H_{br} = \frac{3}{8} \gamma^2 d_{br}. \quad (3.21)$$

Phương trình (3.20) cũng có thể biểu thị như sau:

$$h' = \frac{\frac{5}{16} \gamma H_{br} - \frac{3}{8} \gamma^2 d}{1 + \frac{3}{8} \gamma^2} \quad (3.22)$$

Phương trình trên cho ta độ dâng mực nước tuyến tính trong vùng sóng đở trong trường hợp đáy phẳng dốc.

Nước dâng do sóng là một hiện tượng liên quan đến hoạt động của sóng trong một thời gian đủ để thiết lập những điều kiện cân bằng. Những nhóm sóng lớn vận chuyển lượng nước tương đối lớn về phía đường bờ, gây ra nước dâng, nhưng một ít nước này có thể chảy ngược lại trong những khoảng thời gian tương đối yên tĩnh giữa những nhóm sóng.

### 3.3 CÁC LOẠI DÒNG CHẢY DO SÓNG VÙNG VEN BỜ

Trong đại dương tồn tại những dòng chảy có hướng và vận tốc hầu như không đổi suốt cả năm. Chúng thường do gió sinh ra và được phân thành dòng chảy trôi và dòng chảy gradient, hoặc dòng chảy mật độ, dòng chảy ấm và dòng chảy lạnh, tùy theo cơ chế phát sinh ra chúng. Những dòng chảy này ít ảnh hưởng đến vùng ven bờ. Một loại dòng chảy khác do chuyển động của thủy triều sinh ra gọi là dòng triều. Dòng triều bị tác động mạnh của đáy biển và hình dạng đường bờ.

Ở khu vực gần bờ thường tồn tại dòng chảy do sóng, thường được gọi là dòng chảy ven bờ. Khi sóng truyền vào vùng nước nông ven bờ, do biến đổi của địa hình đáy và đường bờ, sóng bị khúc xạ, phản xạ, biến dạng. Dưới tác động của ma sát đáy, xảy ra tiêu tán năng lượng sóng, đồng thời với hiện tượng sóng đổ đã dồn một khối lượng nước vào bờ tạo ra các ứng suất không đồng đều gây ra các dòng chảy. Loại dòng chảy do sóng này được nghiên cứu cách đây không lâu, và theo D. W. Johnson (1919) thì có thể chia ra hai loại: dòng chảy dọc bờ và dòng sóng dội hay dòng tách bờ ngầm khi áp dụng để tính toán vận chuyển trầm tích.

Những người dân đánh cá, người cứu hộ và những người sống ven biển nhận thấy có những dòng chảy khá mạnh hướng từ bờ ra thẳng ngoài khơi. Do vậy vào năm 1941 Shepard, Emery và La Fond gọi đây là dòng tách bờ (còn gọi là dòng gián đoạn), chúng đưa nước biển do sóng mang vào bờ trở lại biển. Những dòng này chủ yếu ở trên mặt, khác với dòng sóng dội nằm dưới đáy. Về sau, năm 1950 Shepard và Inman từ các quan trắc hiện trường đã thiết lập hệ thống dòng chảy gần bờ như được mô tả trên hình 3.4. Trong số 3 loại dòng chảy do sóng: dòng dọc bờ, dòng tách bờ và dòng sóng dội thì dòng dọc bờ được nghiên cứu nhiều nhất cũng như dễ quan trắc nhất vì nó thường xuyên hiện diện và thường ở một quy mô không gian khá lớn. Hơn nữa, dòng chảy dọc bờ đóng vai trò chủ đạo trong việc vận chuyển trầm tích và biến đổi địa mạo bờ, do đó ta sẽ nghiên cứu kỹ hơn ở mục dưới đây.

### 3.4 LÝ THUYẾT DÒNG CHẢY SÓNG DỌC BỜ

Sóng đóng vai trò chủ đạo trong việc tạo ra các dòng chảy chuyển động ổn định như dòng chảy dọc bờ, dòng sóng dội, dòng gián đoạn. Khi sóng vỡ trong vùng sóng đổ, chúng giảm động lượng, gây ra ứng suất bức xạ. Thành phần ngang bờ của ứng suất bức xạ đẩy nước vào bờ và tạo ra sự dâng mực nước, mực nước tăng về phía bờ so với mức nước tĩnh. Độ dốc mặt nước do nó gây ra cân bằng với gradient ngang bờ của thành phần ứng suất bức xạ vuông góc với bờ. Đối với sóng đến xiên một góc với bờ, còn có thành phần dọc bờ của ứng suất bức xạ, gradient của nó tạo nên dòng chảy dọc bờ bên trong vùng sóng đổ (và ngay sát bên ngoài), cân bằng với ma sát đáy.

#### 3.4.1 Mở đầu

Có một loạt các tham số tác động lên dòng chảy sóng dọc bờ, để đơn giản chúng ta giả định rằng trường sóng ổn định, hai chiều truyền chéo góc với đường bờ. Trong vùng sóng đổ hệ số sóng đổ được coi là không đổi. Bãi biển được coi là thẳng, dài vô tận, có các đường đẳng sâu song song, độ dốc đáy vừa phải và đáy không thấm. Dòng chảy dọc bờ tính được trong điều kiện bỏ qua lực tác động của gió, lực Coriolis, lực tác động của thủy triều, lực cản của đáy ở ngoài vùng sóng đổ và tương tác giữa sóng và dòng chảy. Với các giả định nêu trên, phương trình cân bằng lực đối với dòng chảy dọc bờ sẽ là:

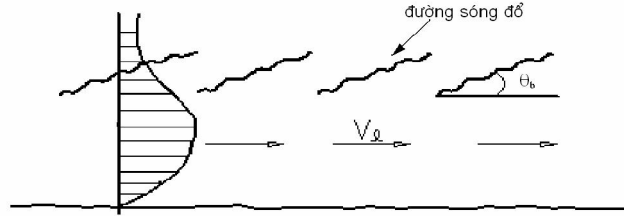
$$\text{Lực tác động} + \text{Ma sát đáy} + \text{Trao đổi rối ngang} = 0$$

Trong hệ tọa độ nêu trên hình 3.3 ta có:

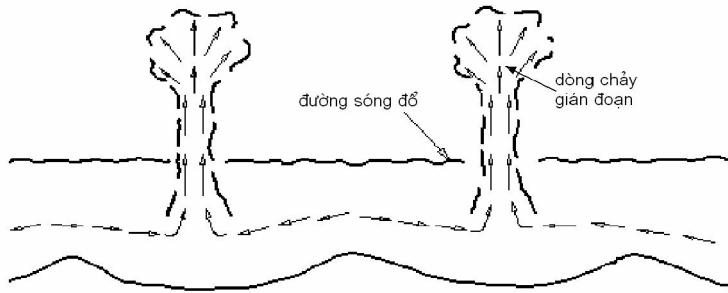
$$-\frac{dS_{xy}}{dx} + \tau_{b,y} - \frac{d(\overline{d\tau_{xy}})}{dx} = 0. \quad (3.23)$$

Trong đó:  $\frac{dS_{xy}}{dx}$  là ứng suất bức xạ sóng;  $\tau_{b,y}$  là ứng suất ma sát đáy và  $\frac{d(\overline{d\tau_{xy}})}{dx}$  là ứng suất trao đổi rối ngang.

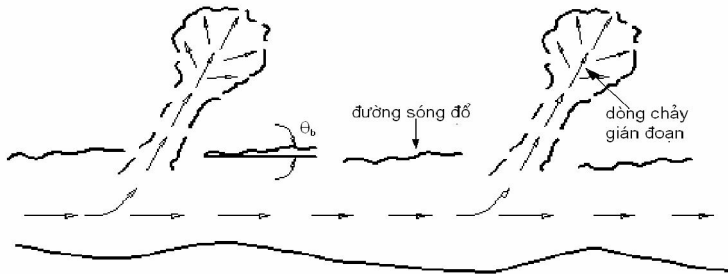
Sau khi tính được các thành phần trong (3.23) có thể lấy tích phân cho toàn vùng sóng đồ và nhận được phân bố dòng chảy dọc bờ trong vùng sóng đồ.



A. Góc sóng tới  $\theta$  lớn, đường đẳng sâu song song với đường bờ



B. Góc sóng tới  $\theta \approx 0$



C. Góc sóng tới  $\theta$  nhỏ

**Hình 3.4** Hệ thống dòng chảy gần bờ

### 3.4.2 Bên ngoài vùng sóng đồ

Từ lý thuyết khúc xạ, với giả định đáy biển nêu trên ta thấy rằng  $\sin\theta/C = \text{const}$ , ta có:

$$\frac{dS_{xy}}{dx} = \frac{\sin\theta}{C} \frac{d}{dx} (\overline{EnC \cos\theta}) = \frac{\sin\theta}{C} \frac{d\overline{F}_x}{dx} \quad (3.24)$$

Trong đó:  $\overline{F}_x = \overline{Enc \cos\theta}$  - dòng năng lượng sóng theo hướng x.

Giả thiết rằng dòng năng lượng không đổi bên ngoài khu vực sóng đồ (tiêu tán bởi ma sát đáy không đáng kể), ta có:

$$\frac{dS_{xy}}{dx} = 0. \quad (3.25)$$

Như vậy, lực tác động bằng không và không có dòng chảy phát sinh theo hướng dọc bờ.

### 3.4.3 Bên trong vùng sóng đổ

Dòng năng lượng  $\vec{F}_x$  không phải là hằng số do tiêu tán năng lượng bởi sóng đổ. Vì  $d\vec{F}_x/dx < 0$  ( $\vec{F}_x$  giảm theo hướng x dương), trong khi gradient ứng suất bức xạ tác động theo hướng y dương đối với lan truyền sóng như trên hình 3.2, gradient ứng suất bức xạ được xác định như sau:

$$\frac{dS_{xy}}{dx} = -\frac{\sin \theta}{C} \frac{d\vec{F}_x}{dx}. \quad (3.26)$$

Cho rằng  $\cos \theta \approx 1$ ,  $n \approx 1$ ,  $C \approx (gd)^{0.5}$  và  $H \approx \gamma d$  (bỏ qua nước dâng do sóng) trong nước nông, ta có:

$$\frac{dS_{xy}}{dx} = -\frac{\sin \theta}{C} \frac{d(\overline{EC})}{dx} = -\frac{5}{16} \rho \gamma^2 (gd)^{1.5} K \frac{d(d)}{dx} \quad (3.27)$$

Trong đó:  $K = \sin \theta / C = \sin \theta_{br} / C_{br} = \sin \theta_0 / C_0 = \text{const}$  (có thể xác định tại đường sóng đổ hoặc tại nước sâu),  $\gamma$  - hệ số sóng đổ,  $d$  - độ sâu nước.

Thành phần ứng suất trao đổi rối ngang  $\frac{d(\overline{\tau_{xy}})}{dx}$  được nghiên cứu rất ít, đối với giá trị trung bình theo thời gian có thể được đưa ra dưới dạng (Longuet Higgins 1970):

$$\overline{\tau_{xy}} = \rho \overline{\varepsilon_f} \frac{\partial \overline{v}}{\partial x} \quad (3.28)$$

Trong đó:  $\overline{\varepsilon_f} = 0,1 \div 1 \text{ m}^2/\text{s}$  - hệ số xáo trộn chất lỏng trung bình theo độ sâu.

Thành phần ứng suất ma sát đáy thông thường thể hiện như sau:

$$\tau_{b,y} = \alpha_1 \rho \sqrt{f_c f_w} \hat{U}_\delta \overline{v} \quad (3.29)$$

Trong đó:

$f_c$  - hệ số ma sát liên quan đến dòng chảy,  $f_w$  - hệ số ma sát liên quan đến sóng,  $\hat{U}_\delta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{g}{d}} H$  - giá trị cực đại của vận tốc quỹ đạo sát đáy trong nước nông,  $\overline{v}$  - vận tốc trung bình theo độ sâu,  $\alpha_1 = \text{const}$  (theo Bijker (1986)  $\alpha_1 \approx 0,15$ ).

Thay phương trình (3.27), (3.28), (3.29) vào phương trình (3.23) cho ta:

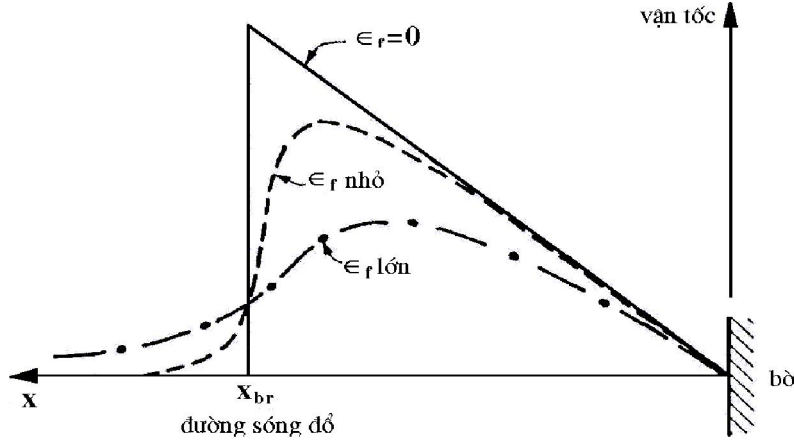
$$\frac{5}{16} \rho \gamma^2 (gd)^{1.5} \frac{d(d)}{dx} \frac{\sin \theta_{br}}{C_{br}} + \alpha_1 \rho \sqrt{f_c f_w} \hat{U}_\delta \overline{v} - \frac{d}{dx} (\rho d \overline{\varepsilon_f} \frac{d\overline{v}}{dx}) = 0. \quad (3.30)$$

Vận tốc  $\overline{v}$  có thể xác định bằng phương pháp số khi biết những biến sau: điều kiện sóng ( $H_{br}$ ,  $C_{br}$ ,  $\theta_{br}$ ,  $\gamma$ ), các hệ số ma sát ( $f_c$ ,  $f_w$ ), hệ số xáo trộn ( $\overline{\varepsilon_f}$ ) và địa hình đáy cục bộ ( $d$  và  $d(d)/dx$ ).

Phụ thuộc vào giá trị hệ số xáo trộn ( $\bar{\varepsilon}_f$ ), phân bố vận tốc theo bề rộng vùng sóng đổ sẽ có đỉnh nhọn hoặc tròn (hình 3.5).

Bỏ qua thành phần trao đổi rối ngang, ngang phương trình (3.30) có dạng đơn giản sau:

$$\frac{5}{16} \rho \gamma^2 (gd)^{1,5} \frac{d(d) \sin \theta_{br}}{dx c_{br}} = \alpha_1 \rho \sqrt{f_c f_w} \hat{U}_\delta \bar{v}. \quad (3.31)$$



Hình 3.5 Phân bố dòng chảy dọc bờ trong vùng sóng đổ

Thay  $\hat{U}_\delta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{g}{d}} H$  và  $c_{br} = (gd)^{0,5}$  và  $H = \gamma d$  ta có:

$$\bar{v} = \frac{\alpha_2 \gamma \sqrt{g} \sin \theta_{br}}{f_c f_w d_{br}} d \frac{d(d)}{dx}. \quad (3.32)$$

Cho rằng đáy biển phẳng dốc ( $d(d)/dx = \tan \beta = \text{const}$ ) và các hệ số ma sát ( $f_c$  và  $f_w$ ) không đổi, phương trình (3.32) thể hiện phân bố vận tốc dòng chảy dọc bờ tuyến tính theo bề rộng của vùng sóng đổ.

Vận tốc dòng chảy tại vị trí chính giữa vùng sóng đổ có thể nhận được gần đúng theo  $\bar{d} = 0,5 d_{br}$ , cho ta:

$$\bar{v} = \alpha_3 \tan \beta \sqrt{g d_{br}} \sin \theta_{br}. \quad (3.33)$$

Áp dụng  $d_{br} = H_{br}/\gamma$ , phương trình (3.33) cũng có thể biểu thị như sau:

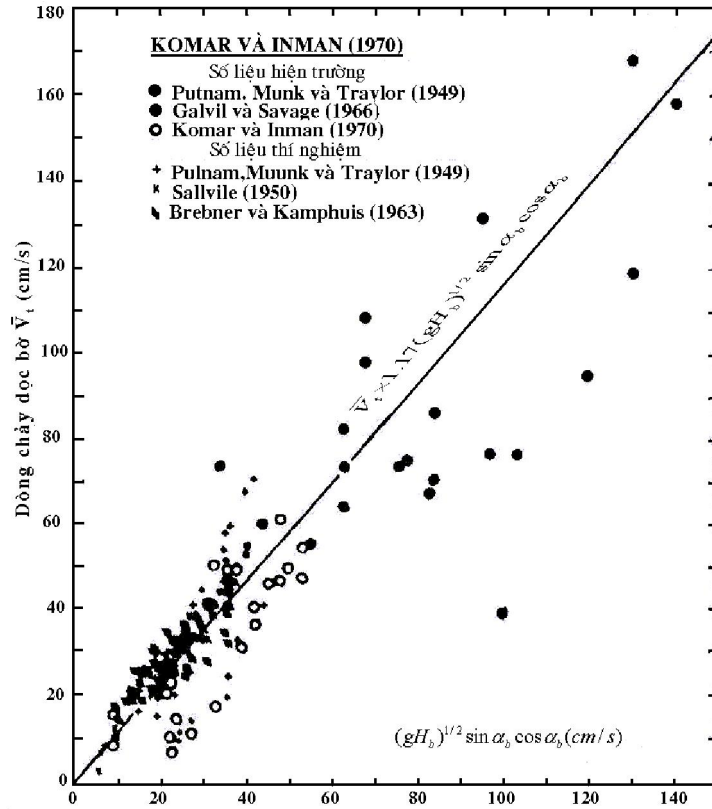
$$\bar{v} = \alpha_4 \tan \beta \sqrt{g H_{br}} \sin \theta_{br} \quad (3.34)$$

Trong đó:  $\tan \beta$  - độ dốc đáy trong vùng sóng đổ,  $d_{br}$  - độ sâu nước tại đường sóng đổ,  $H_{br}$  - độ cao sóng tại đường sóng đổ,  $\theta_{br}$  - góc giữa tia sóng và trục hoành (vuông góc với bờ) tại đường sóng đổ,  $\alpha_4$  - const.

Komar (1979) đã phân tích dữ liệu dòng chảy trong máng thí nghiệm và tại hiện trường nhưng không thấy ảnh hưởng của độ dốc đáy ( $\tan \beta$ ) lên vận tốc dòng chảy. Ông đưa vào hệ số  $\cos \theta_{br}$  và đề xuất:

$$\bar{v} = 1,17 \sqrt{g H_{br}} \sin \theta_{br} \cos \theta_{br}. \quad (3.35)$$

Tính xác đáng khi đưa hệ số  $\cos\theta_{br}$  vào phương trình (3.35) không hoàn toàn rõ ràng vì  $\cos\theta_{br} \approx 1$  trong vùng sóng đổ do khúc xạ sóng. Dòng chảy dọc bờ thường có giá trị từ 0,5 đến 1 m /s. Những giá trị lớn hơn là ngoại lệ và có thể một phần phát sinh bởi dòng chảy gió. Khoảng cách dọc bờ cần thiết để một dòng chảy dọc bờ nhất định phát triển hoàn toàn là từ 5 tới 10 lần bề rộng khu vực sóng đổ. Hình 3.6 đưa ra các kết quả so sánh tốc độ dòng chảy dọc bờ đo đạc và tính toán [3].



Hình 3.6 So sánh vận tốc dòng chảy đo đạc và tính toán dọc bờ theo Komar (1979)

### 3.4.4 Các hiện tượng ảnh hưởng đến dòng chảy dọc bờ

- dòng chảy do gió dọc bờ có vận tốc trung bình độ sâu xấp xỉ  $\bar{v}_w = 0,02 W_{10,y}$  với  $W_{10,y}$  là thành phần vận tốc gió dọc bờ tại độ cao 10 m trên mặt nước. Hubertz (1986) cho thấy với những điều kiện sóng tương tự, vận tốc dòng chảy dọc bờ ba lần lớn hơn đối với những vận tốc gió cao cũng như với những vận tốc gió thấp (thí nghiệm DUCK 1982, Hoa Kỳ),
- sóng đổ do sự có mặt của sóng ngẫu nhiên, mà có nghĩa rằng sóng đổ xảy ra tại nhiều vị trí trong vùng sóng đổ, cho ta một phân bố đồng đều hơn của vận tốc dòng chảy trên vùng sóng đổ,
- những biến đổi dọc bờ của mực nước trung bình (nước dâng và nước rút) tạo ra những gradient áp suất dọc bờ có ảnh hưởng đến vận tốc dòng chảy,
- sự có mặt những doi cát và vùng trũng tạo ra một luồng dọc bờ với phân bố vận tốc đồng nhất hơn (so với phân bố tuyến tính của phương trình (3.32) đối với một đáy phẳng dốc).



### 3.5. LỚP BIÊN SÓNG

#### 3.5.1 Bề dày lớp biên

Lớp biên sóng là một lớp mỏng quá độ hình thành giữa đáy và lớp trên với dòng chảy nhiễu động không quay. Bề dày  $\delta_w$  lớp này mỏng (0.01 đến 0.1 m) trong sóng chu kỳ ngắn ( $T \approx 10$  s) bởi vì dòng chảy đảo ngược trước khi lớp này có thể tăng trưởng theo hướng đứng. Bề dày lớp biên ( $\delta_w$ ) có thể định nghĩa là khoảng cách nhỏ nhất giữa đáy và tới một độ cao, tại đó vận tốc bằng giá trị lớn nhất của vận tốc dòng tự do ( $\hat{U}_\delta$ ). Trong dòng phân tầng bề dày lớp biên sóng là:

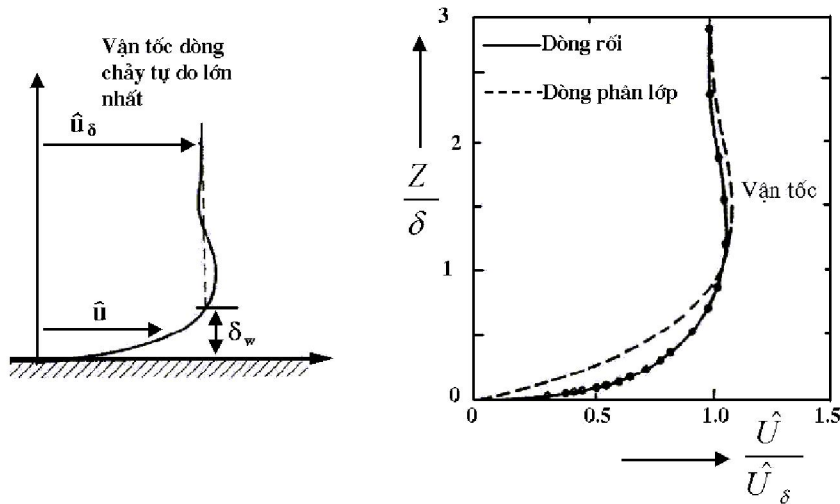
$$\delta_w = \frac{2\pi}{\beta} \quad (3.36)$$

Trong đó:  $\beta = (\omega/2\nu)^{0.5}$  - quy mô độ dài Stokes,  $\omega = 2\pi/T$  - tần số góc.

Trong trường hợp dòng rối (1976) Jonssen và Carlsen đề xuất:

$$\frac{\delta_w}{\hat{A}_\delta} = 0,072 \left( \frac{\hat{A}_\delta}{k_s} \right)^{-0,25} \text{ đối với } 10 < \frac{\hat{A}_\delta}{k_s} < 1000 \quad (3.37)$$

Trong đó:  $\delta_w$  - bề dày lớp biên sóng,  $\hat{A}_\delta$  - giá trị lớn nhất của quỹ đạo ngay ngoài lớp biên,  $k_s$  - độ cao nhám đáy Nikuradse.



Hình 3.7 Phân bố vận tốc trong lớp biên sóng

Phương trình (3.37) dựa trên nghiên cứu thí nghiệm và lý thuyết nhờ sử dụng những phần tử nhám nhân tạo trong một tuynen sóng thí nghiệm. Mặc dầu lớp biên sóng khá nhỏ, ứng suất trượt phát sinh và cường độ rối khá lớn và đóng vai trò quan trọng đối với những quá trình vận chuyển trầm tích.

#### 3.5.2. Phân bố vận tốc trong lớp biên sóng

Những phương trình động lượng cơ bản và điều kiện biên mô tả vận tốc ngang bên trong lớp biên:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_\delta}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial z} = 0 \quad (3.38)$$

$$\frac{\partial U_\delta}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_\delta}{\partial x} = 0 \quad (3.39)$$

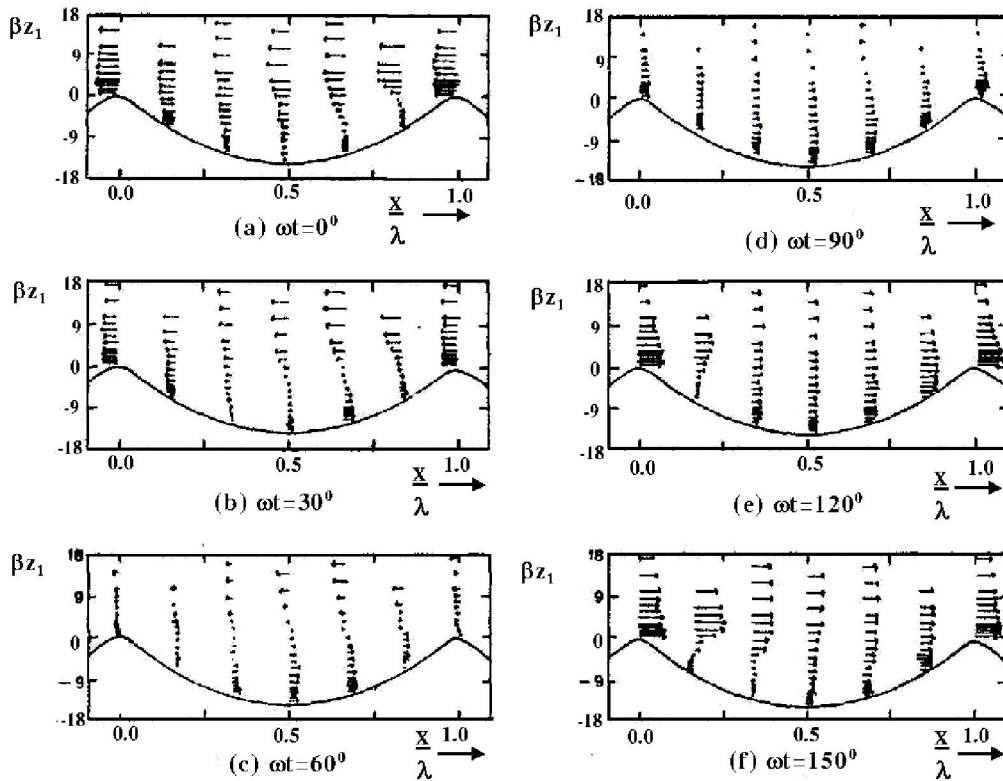
với:  $U = 0$  tại  $z = 0$   
 $U = U_\delta = \hat{U}_\delta \sin \omega t$  tại  $z = \delta_w$ .

Thay phương trình (3.39) vào phương trình (3.38) cho ta:

$$\frac{\partial(U - U_\delta)}{\partial t} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial z} = 0. \quad (3.40)$$

Phương trình (3.40) có thể giải bằng phương pháp giải tích đối với dòng phân tầng ( $\tau = \rho \nu \partial u / \partial z$ ) và bằng phương pháp số đối với dòng rối ( $\tau = \rho \epsilon \partial u / \partial z$ ). Cách tiếp cận đưa ra ở trên chỉ hợp lệ cho đáy phẳng.

Những ví dụ phân bố vận tốc khi dòng chảy lớn nhất đối với trường hợp rối và phân tầng được cho trong hình 3.7. Sự khác nhau cơ bản là hiệu ứng xáo trộn thẳng đứng trong dòng rối cho ta phân bố đồng nhất hơn. Dòng rối là trường hợp thú vị nhất đối với những quá trình vận chuyển trầm tích, bởi vì dòng chảy sẽ rối trong trường hợp đáy gợn sóng và trong trường hợp đáy phẳng có dòng mỏng sát đáy, cả hai đều là những chế độ vận chuyển trầm tích quan trọng.



Hình 3.7 Vận tốc tức thời trên gợn cát ( $\lambda =$  độ dài gợn sóng,  $z_1 =$  tọa độ thẳng đứng), DuToit, 1982

Một vài nghiên cứu thực nghiệm đã được thực hiện trong những tuynen sóng để đo vận tốc trên những đáy gợn sóng. Những thí nghiệm nhiều thông tin nhất được thực hiện bởi DuTolt và Sleath (1981). Hình 3.7 cho thấy thành phần vận tốc ngang trên một gợn cát trong nửa chu kỳ.

Những đặc tính quan trọng như sau:

- dòng tự do chuyển động với vận tốc lớn nhất từ phải sang trái và một xoáy để nhận thấy lấp đầy hầu hết nửa chân sóng trên phía thượng lưu gợn sóng,
- xoáy tăng kích thước khi dòng tự do giảm,
- xoáy hầu như lấp đầy toàn bộ chân sóng,
- dòng tự do đảo hướng, xoáy bật qua đỉnh và chất lỏng dâng mạnh (quét qua chân sóng và tràn lên đỉnh),
- dòng bắt đầu tách ra tại đỉnh và một xoáy mới bắt đầu hình thành,
- một tia (liên quan đến việc tách ra) bắn ra trên chân sóng và hầu như đạt đến chân sóng.

### 3.5.3. Ứng suất trượt và ma sát tại đáy

Sóng chịu lực ma sát tại đáy trong thời gian lan truyền. Ứng suất trượt tại đáy, quan trọng đối với sự tắt dần sóng và cuốn theo trầm tích, liên quan đến hệ số ma sát bằng (dòng rối):

$$\tau_{b,w} = \frac{1}{2} \rho f_w U_\delta^2 \quad (3.41)$$

Trong đó:

$\tau_{b,w}$  - ứng suất trượt tức thời tại đáy,  $f_w$  - hệ số ma sát (không đổi trong chu trình sóng),  $U_\delta$  - vận tốc chất lỏng tức thời ngay ngoài lớp biên,  $\rho$  - mật độ chất lỏng.

Ứng suất trượt tại đáy trung bình thời gian (một nửa chu trình sóng):

$$\bar{\tau}_{b,w} = \frac{1}{4} \rho f_w \hat{U}_\delta^2. \quad (3.42)$$

Trong phạm vi phân tầng hệ số ma sát có thể xác định bằng giải tích từ phương trình chuyển động đối với dòng chảy lớp biên, theo Jonsson (1966):

$$f_w = \frac{2}{\sqrt{\frac{\hat{U}_\delta \hat{A}_\delta}{\nu}}}. \quad (3.43)$$

Trong chế độ trơn thủy lực Jonsson (1966) đề xuất:

$$\frac{0,25}{\sqrt{f_w}} + 2 \log \frac{0,25}{\sqrt{f_w}} = -1,55 + \log \frac{\hat{U}_\delta \hat{A}_\delta}{\nu}. \quad (3.44)$$

Có thể xấp xỉ bằng:

$$f_w = 0,09 \left( \frac{\hat{U}_\delta \hat{A}_\delta}{\nu} \right)^{0,2}. \quad (3.45)$$

Trong chế độ nhám thủy lực với gợn sóng và điều kiện dòng mỏng sát đáy Jonsson (1966) đề xuất:

$$\frac{0,25}{\sqrt{f_w}} + 2 \log \frac{0,25}{\sqrt{f_w}} = -0,08 + \log \frac{\hat{A}_\delta}{k_s} \quad (3.46)$$

với:  $f_{w,\max} = 0,3$  đối với  $\frac{\hat{A}_\delta}{k_s} \leq 1,57$ .

Phương trình (3.46) có thể xấp xỉ bằng:

$$f_w = \exp(-6 + 5,2 \left(\frac{\hat{A}_\delta}{k_s}\right)^{0,19}) \quad (3.47)$$

với  $f_{w,\max} = 0,3$  đối với  $\frac{\hat{A}_\delta}{k_s} \leq 1,57$ .

**Ví dụ:**

- Cho:  $H = 2$  m,  $T = 7$  sec,  $h = 5$  m,  $L = 45$  m,  $k_s = 0,1$  m

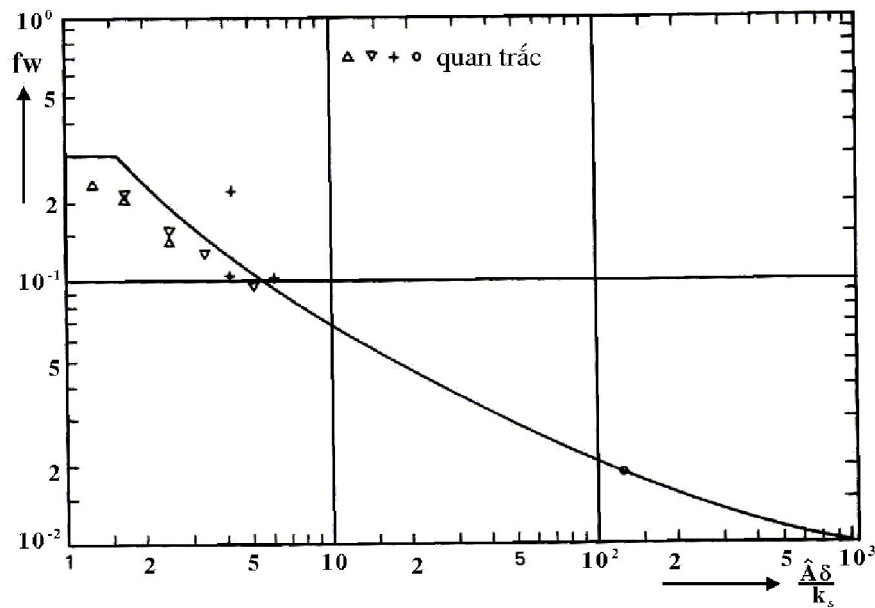
- Tính toán: ứng suất trượt tại đáy trung bình thời gian

- Lời giải:

$$\hat{U}_\delta = \frac{\omega H}{2 \sinh kh} = 1,19 \text{ m/s}, \quad \hat{A}_\delta = \frac{H}{2 \sinh kh} = \frac{\hat{U}_\delta}{\omega} = 1,32 \text{ m/s}$$

$$f_w = \exp(-6 + 5,2 \left(\frac{\hat{A}_\delta}{k_s}\right)^{0,19}) = 0,06 \text{ và } \bar{\tau}_{b,w} = \frac{1}{4} \rho f_w \hat{U}_\delta^2 = 250 \times 0,06 \times 1^2 = 15 \text{ N/m}^2$$

Giá trị này lớn hơn ứng suất trượt tại đáy trong dòng chảy với  $\bar{u} = 1$  m/s và  $h = 5$  m, cho thấy  $\bar{\tau}_{b,c} = \rho g \bar{u}^2 / C^2 = 4 \text{ N/m}^2$ .



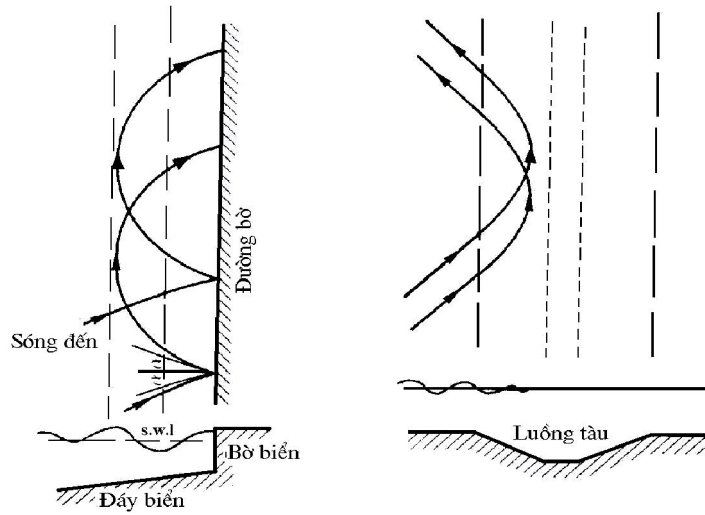
Hình 3.9 Hệ số ma sát trong chế độ nhám thủy lực

### 3.6 SÓNG DÀI VÙNG VEN BỜ

#### 3.6.1 Bẫy sóng

Khi tiếp cận một luồng tàu (có độ sâu nước lớn hơn) dưới một góc nhỏ, sóng có thể bị bẫy trong luồng bởi vì những tia sóng có xu hướng song song với những đường đẳng sâu trong trường hợp độ sâu tăng theo hướng sóng và chúng bị khúc xạ trở lại khi không thể cắt một đường đẳng sâu nhất định (xem hình 3.10).

Hiện tượng tương tự có thể xuất hiện gần đường bờ, nơi sóng bị phản xạ. Sóng phản xạ bị bẫy khi bị khúc xạ trở lại đường bờ. Độ cao sóng gần đường bờ sẽ tăng lên do hiệu ứng bẫy năng lượng sóng và do năng lượng mới từ ngoài khơi đi vào.



Hình 3.10 Bẫy sóng

#### 3.6.2 Sóng rìa

Sóng rìa là những dao động lan truyền dọc theo hướng dọc bờ biển, khi hiệu ứng khúc xạ ngăn cản chúng chạy ra phía biển (bẫy sóng). Nó có xu hướng tập trung năng lượng sóng về phía đường bờ. Phương trình mô tả sóng rìa là:

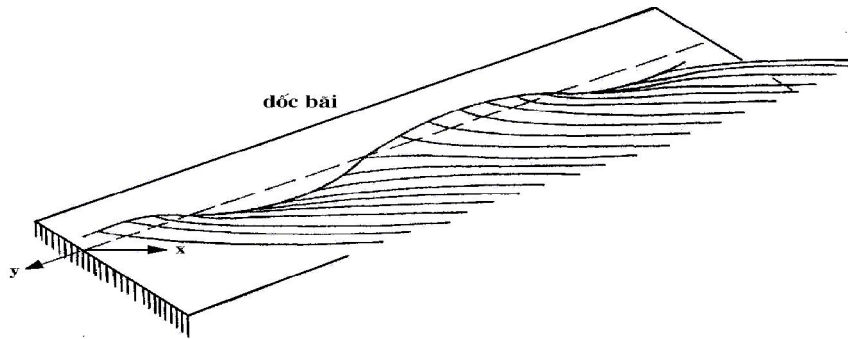
$$\eta_{x,y,t} = \frac{H}{2} e^{-kx} \cos(\omega t - ky) \quad (3.46)$$

Trong đó:

$x$  - tọa độ vuông góc với bờ,  $y$  - tọa độ song song với bờ,  $k = 2\pi/L$  - số sóng.

Hình 3.11 cho thấy kiểu sóng rìa đơn giản nhất trong số các kiểu. Sự phát sinh sóng rìa còn khó hiểu. Chúng có thể phát sinh bởi sóng dài đến xiên một góc bị bẫy, hoặc bởi những tương tác dưới điều hoà của sóng đến có tần số thấp. Sóng rìa thường quan sát được nhiều nhất dọc theo những bãi dốc gây phản xạ. Sóng rìa đứng cũng có thể phát sinh trong trường hợp hai sóng rìa lan truyền ngược nhau. Chu kỳ sóng rìa dọc theo một bãi dốc nghiêng lớn khoảng 2 lần sóng đến, trong khi trong trường hợp bãi biển dốc nhẹ chu kỳ sóng rìa khoảng 10 lần chu kỳ sóng đến. Sóng rìa có thể có tầm quan trọng rất lớn

đến sự phát sinh dòng gián đoạn (dòng chảy cục bộ hướng ra biển) do sự tương tác của sóng rìa và sóng lừng đang tiến đến.



**Hình 3.11** Sóng rìa

## Chương 4

### LÝ THUYẾT PHỔ SÓNG ÁP DỤNG CHO VÙNG VEN BỜ

#### 4.1 PHỔ SÓNG TRONG VÙNG BIỂN CÓ ĐỘ SÂU GIỚI HẠN

##### 4.1.1 Các phổ tần dạng tham số

###### a, Phổ tần vùng nước sâu

Dạng của phổ sóng gió thay đổi rất mạnh phụ thuộc vào địa hình của vùng biển, thời gian và đà gió, vào trạng thái phát triển của trường sóng và sự tồn tại của các hệ sóng (sóng gió, sóng lừng) tại khu vực nghiên cứu. Tuy nhiên, dạng của phổ sóng không phải tùy ý mà tuân theo các đặc trưng cơ bản, tương ứng với sự phân bố năng lượng sóng. Dựa trên cơ sở này đã phát triển phương pháp nghiên cứu phổ sóng theo các dạng phổ tổng quát và các tham số phổ. Một trong các đặc trưng cơ bản đó có liên quan đến giới hạn phía trên của mật độ phổ, tương ứng với điều kiện tạo sóng cho trước. Khi phổ sóng đạt đến trạng thái bão hoà này, năng lượng tiếp tục truyền từ gió cho sóng sẽ bị tiêu tán do sóng đổ hoặc bởi sự truyền năng lượng từ dải tần số này sang dải tần số khác. Phillips (1977) đã phát hiện ra trạng thái bão hoà này trong phổ sóng. Từ phân tích thứ nguyên, đã nhận được công thức sau đây đối với mật độ phổ sóng trong dải tần số lớn hơn tần số đỉnh phổ  $\omega_p$ .

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \quad \text{với } \omega \gg \omega_p \quad (4.1)$$

với:  $\alpha$  - là hằng số không thứ nguyên ( $\alpha = 8.1 \cdot 10^{-3}$ ).

Theo Kitaigorodski (1970), hằng số  $\alpha$  trong thực tế là hàm của đà sóng không thứ nguyên. Các nghiên cứu của Phillips sau đó (1985) đã đưa ra biểu thức chính xác hoá (4.1) với dải tần số cao (gọi là đuôi phổ sóng) ở dạng ( $\omega^4$ ) nhưng chỉ áp dụng cho vùng nước sâu.

Phổ sóng tổng quát cho toàn dải tần có dạng

$$S(\omega) = g^2 \omega^{-5} f\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right) \quad (4.2)$$

Nếu  $\omega/\omega_p \gg 1.0$  thì  $f \rightarrow \alpha$  trong (4.1). Dạng hiện của hàm  $f$  thường được đưa ra dựa vào các nghiên cứu thực nghiệm. Theo các kết quả nghiên cứu ở miền Bắc Đại Tây Dương, Pierson và Moskowitz (1964) đã đưa ra phổ sóng đại diện cho sóng gió phát triển hoàn toàn (gọi tắt là phổ PM) dưới dạng:

$$S(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp\left[-0.24 \left(\frac{2\pi f}{g}\right)^{-4}\right] \quad (4.3)$$

Chương trình đo đặc trường sóng JONSWAP đã được tiến hành vào các năm 1968, 1969 tại vùng biển Bắc (Hasselmann, 1973). Dựa vào các kết quả của chương trình này đã đưa ra phổ sóng JONSWAP ứng với sóng gió có đà giới hạn (sóng ổn định):

$$S(f) = \frac{\alpha_1 g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp \left[ -1.25 \left( \frac{f}{f_p} \right)^{-4} \right] \gamma^r \quad (4.4)$$

với:

$$r = \exp \left[ -\frac{(f - f_p)^2}{2\sigma^2 f_p^2} \right] \quad (4.5)$$

Dạng phổ này gồm bốn tham số  $\alpha_1$ ,  $\gamma$ ,  $f_p$ ,  $\sigma$ , với:

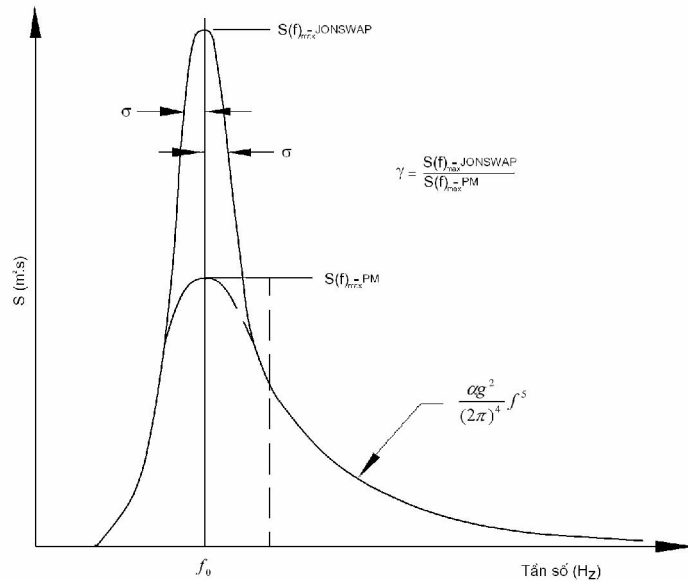
$$f_p = 3.5 \left[ \frac{g^2 F}{U_{10}^3} \right]^{-0.33} \quad (4.6)$$

$$\alpha_1 = 0.076 \left[ \frac{gF}{U_{10}^2} \right]^{-0.22} \quad (4.7)$$

$$1 \leq \gamma \leq 7$$

$$\sigma = 0.07 \text{ khi } f \leq f_p \text{ và } \sigma = 0.09 \text{ khi } f > f_p$$

Trong đó  $\alpha_1$  là hệ số tỷ lệ,  $\gamma$  là hệ số kích động đỉnh phổ,  $f_p$  là tần số đỉnh phổ,  $U_{10}$  là tốc độ gió đo tại 10m trên mặt biển và  $F$  là đà sóng.



**Hình 4.1** So sánh giữa phổ JONSWAP và phổ PM

**b, Phổ tần vùng ven bờ**

Đối với sóng trong vùng biển có độ sâu giới hạn, Kitaigorodski (1975) đã phát triển cơ sở lý luận dải phổ bão hoà của Phillips cho các độ sâu biển khác nhau:



$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} r(\omega^*) \quad (4.8)$$

với:

$$r(\omega^*) = \frac{1}{f^2(\omega^*)} \left\{ 1 + \frac{2\omega^{*2} f(\omega^*)}{\sinh[2\omega^{*2} f(\omega^*)]} \right\}^{-1} \quad (4.9)$$

$$\omega^* = \omega \sqrt{\frac{d}{g}}; \quad f(\omega^*) = \tanh^{-1}[k(\omega^*)d] \quad (4.10)$$

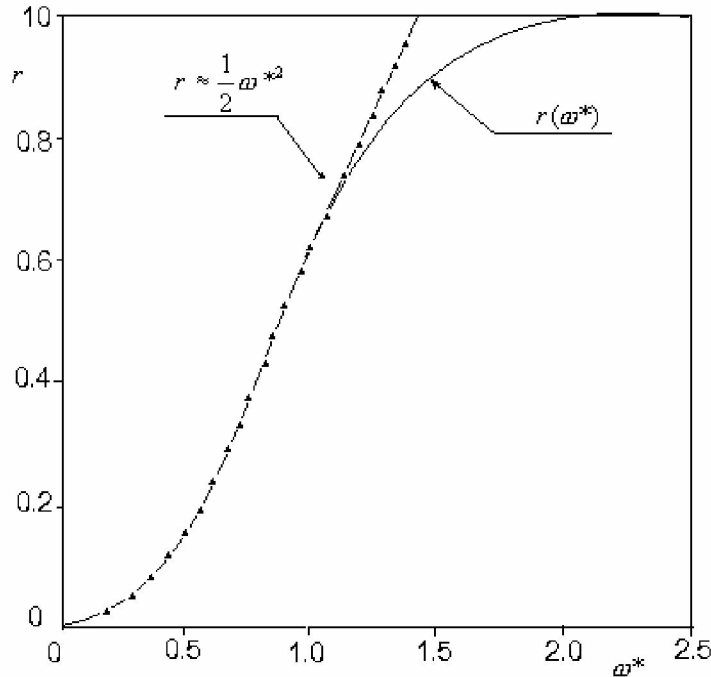
Hàm  $r(\omega^*)$  được vẽ tại hình 4.1. Có thể kiểm chứng dễ dàng rằng  $r(\omega^*) \rightarrow 1$  khi  $d \rightarrow \infty$  có nghĩa là biểu thức (4.8) trùng với (4.1) - phổ sóng tại vùng nước sâu.

Trong trường hợp giới hạn khác thì  $d \rightarrow 0$  hàm  $r(\omega^*) \rightarrow 1/2 \omega^{*2}$  và biểu thức (4.8) có dạng:

$$S(\omega) = \frac{1}{2} \alpha g d \omega^{-3} \quad (4.11)$$

Các số liệu đo đạc thực nghiệm cho thấy đối với vùng nước nông số mũ của tần số có thể thay đổi trong giới hạn (-5, -3). Bouws (1985) cho rằng gần đúng bậc một của phổ sóng vùng nước có độ sâu hạn chế có thể nhận được bằng cách đưa tham số  $r(\omega^*)$  vào phổ JONSWAP -  $S_j(\omega)$ :

$$S(\omega, d) = S_j(\omega) r(\omega^*) \quad (4.12)$$



Hình 4.1 Hàm  $r(\omega^*)$

Dựa vào số liệu thực nghiệm của các cơn bão TEXEL, MARSEN và ARLOE, (1985) đã nhận được dạng cụ thể của phổ sóng (4.12), phổ TMA.

$$S(f) = \frac{\alpha_1 g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp \left[ -\frac{5}{4} \left( \frac{f}{f_p} \right)^{-4} \right] \gamma^a \cdot \lambda(f, d) \quad (4.13)$$

với:  $\lambda(f,d)$  là hàm biểu thị tác động của độ sâu.

$$\lambda(f, d) = [R(\omega_d)]^{-2} \left\{ 1 + \frac{2\omega_d^2 R(\omega_d)}{\sinh[2\omega_d^2 R(\omega_d)][2\omega_d^2 R(\omega_d)]} \right\}^{-1} \quad (4.14)$$

Tần số  $\omega_d = 2\pi f \sqrt{(d/g)}$  và hàm  $R(\omega_d)$  nhận được từ giải biểu thức phân tán (4.16) bằng phương pháp lặp.

$$R(\omega_d) \tanh[\omega_d^2 R(\omega_d)] = 1 \quad (4.15)$$

Hàm  $\alpha_1$  phụ thuộc vào tốc độ gió và đà sóng, tính theo (4.7). Phổ TMA được sử dụng để tính trường sóng vùng ven bờ theo phương pháp phổ STWAVE (chương 5).

#### 4.1.2 Phổ hai chiều, hàm phân bố góc của phổ sóng

##### a. Phổ hai chiều, các dạng hàm phân bố góc

Phổ hai chiều của sóng biển  $S(\omega, \theta)$  biểu thị sự phân bố của năng lượng sóng theo các tần số và hướng truyền sóng. Một tính chất quan trọng của phổ hai chiều là có thể tính toán được dưới sự biểu diễn gần đúng tuyến tính tích của phổ tần  $s(\omega)$  và hàm phân bố góc  $D(\theta)$ .

Với tính toán gần đúng tuyến tính, phổ hai chiều của trường sóng có thể được biểu diễn dưới dạng tích của phổ tần và hàm phân bố góc.

$$S(\omega, \theta) = S(\omega)D(\theta) \quad (4.16)$$

Hàm phân bố góc biểu thị phân bố năng lượng của trường sóng không đều hoà theo các hướng. Hàm phân bố góc có thể xác định theo hướng truyền chính của trường sóng  $\theta_p$  và độ lệch chuẩn của hàm phân bố này. Độ lệch này được viết dưới dạng:

$$\sigma_\theta^2 = \int_{\theta_p - \pi/2}^{\theta_p + \pi/2} D(\theta) (\theta - \theta_p)^2 d\theta \quad (4.17)$$

Một loạt các dạng tham số của hàm phân bố góc được sử dụng để tính phổ hai chiều của sóng biển từ phổ tần, như hàm cosin lũy thừa, hàm hình tròn chuẩn, hàm phân bố chuẩn bao.

- *Hàm phân bố góc dạng cosin lũy thừa:*

Hàm này là dạng cải tiến của hàm phân bố góc cosin lũy thừa bậc 2 được St. Denis và Pierson đưa ra năm 1953, nó có dạng:

$$D(\theta) = \frac{\Gamma(s+1)}{\sqrt{\pi} \Gamma(s+1/2)} \cos^{2s}(\theta - \theta_p) \quad \text{với } |\theta - \theta_p| < \pi/2 \quad (4.18)$$

với:  $\Gamma$  - hàm gama.

$S$  - tham số chỉ mức độ phân tán theo góc, nếu  $s \rightarrow \infty$  biểu thị trường sóng vô hướng.

- *Hàm phân bố góc dạng hình tròn chuẩn:*

Hàm phân bố góc loại này được Borgman đưa ra năm 1969 dưới dạng:

$$D(\theta) = \frac{1}{2\pi I_0(a)} \exp[a \cos(\theta - \theta_p)] \quad (4.19)$$

với:  $I_0$  - hàm Bessel cải tiến dạng thứ nhất,

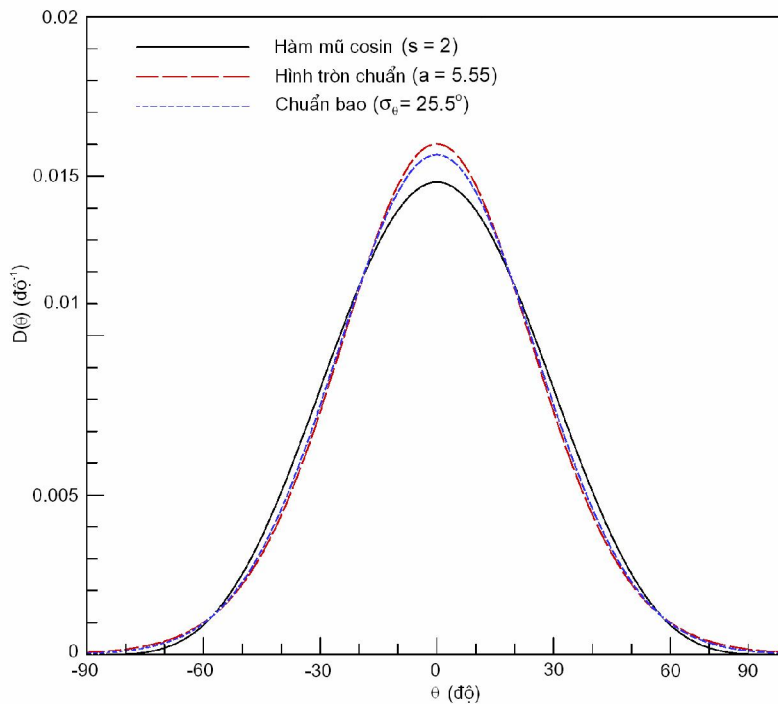
A - tham số biểu thị mức độ phân tán góc, nếu  $a \rightarrow \infty$  biểu thị trường sóng vô hướng.

- *Hàm phân bố góc dạng chuẩn bao*

Hàm phân bố góc loại này được Mardia đưa ra năm 1969 dưới dạng:

$$D(\theta) = \frac{1}{2\pi} + \frac{1}{\pi} \sum_{j=1}^N \exp\left[-\frac{1}{2}(j\sigma_\theta)^2\right] \cos[j(\theta - \theta_p)] \quad (4.20)$$

Hình 4.3 đưa ra kết quả so sánh 3 dạng hàm phân bố góc nêu trên ứng với độ lệch chuẩn  $\sigma_\theta$  là 22.5 độ. Các tham số phân tán tương ứng là  $s=2$  đối với dạng hàm phân bố góc dạng cosin lũy thừa và  $a=5.55$  đối với dạng hàm phân bố góc hình tròn chuẩn. 30 thành phần ( $N=30$ ) được sử dụng để tính hàm phân bố góc dạng chuẩn bao. Các hàm phân bố góc dạng hình tròn chuẩn và chuẩn bao hơi hẹp hơn so với hàm phân bố góc dạng cosin lũy thừa nhưng sai lệch nhau rất ít.



**Hình 4.3** kết quả so sánh 3 dạng hàm phân bố góc

**b. Tạo phổ hai chiều vùng ven bờ TMA**

Công thức (4.13) cho ta phổ tần TMA của trường sóng. Muốn tính toán trường sóng lan truyền vào vùng ven bờ theo phương pháp phổ chúng ta phải tạo phổ hai chiều sử dụng phổ tần và hàm phân bố góc. Trong mô hình tính sóng STWAVE sử dụng hàm phân bố góc dạng cosin lũy thừa hoặc chuẩn bao. Các bước tạo phổ với hàm phân bố góc dạng cosin lũy thừa thực hiện như sau:

- *Tạo phổ tần TMA với độ sâu d và tần số đỉnh phổ  $f_p$ :*

$$S(f, d) = \frac{\alpha_1 g^2}{(2\pi)^4 f^5} \Phi_1(f, d) \Phi_2(f / f_p) \Phi_3(f, f_p, \gamma, \sigma_a, \sigma_b)$$

$$\Phi_1(f, d) = \frac{k(f, d)^{-3} \frac{\partial k(f, d)}{\partial f}}{k(f, \infty)^{-3} \frac{\partial k(f, \infty)}{\partial f}}$$

$$\Phi_2(f / f_p) = \exp[-5/4(f / f_p)]^{-4}$$

$$\Phi_3(f, f_p, \gamma, \sigma_a, \sigma_b) = \exp[\ln(\gamma) \exp(-(f - f_p)^2 / 2\sigma^2 f_p^2)]$$

$$\sigma = \sigma_a, f_p \geq f$$

$$\sigma = \sigma_b, f_p < f$$

với:  $k$  – là số sóng ứng với độ sâu và tần số cụ thể,

Các hằng số không đổi là:  $\gamma = 2$ ;  $\alpha = 0.014$ ;  $\sigma_a = 0.07$ ;  $\sigma_b = 0.09$ .

- *Tạo phổ hai chiều sử dụng hàm phân bố góc cosin lũy thừa:*

$$S(f, d, \theta) = S(f, d) D(\theta)$$

$$D(\theta) = \sum_i w_i \cos^{2s_i} \left( \frac{\theta - \theta_i}{2} \right)$$

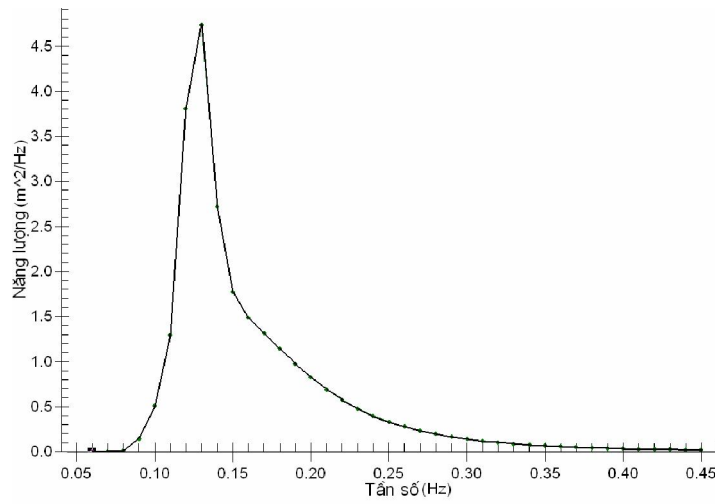
với:  $\theta_i$  – là hướng chính của mỗi hình thể hướng,

$w$  – là hệ số trọng lượng cho mỗi hình thể sao cho:

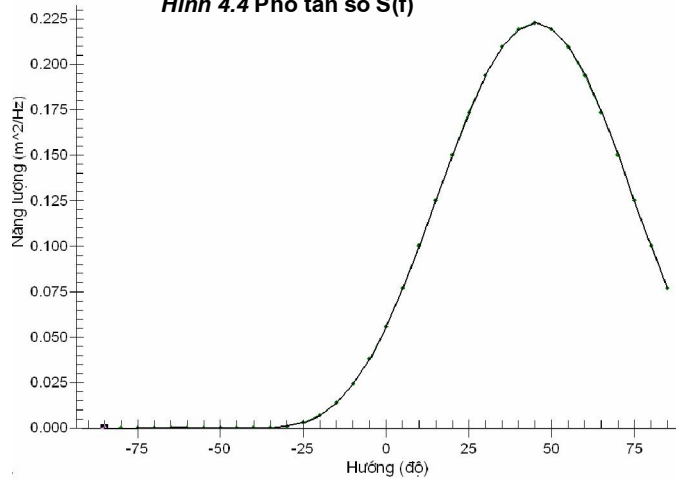
$$\int D(\theta) d\theta = 1$$

+ *Ví dụ tạo phổ TMA:*

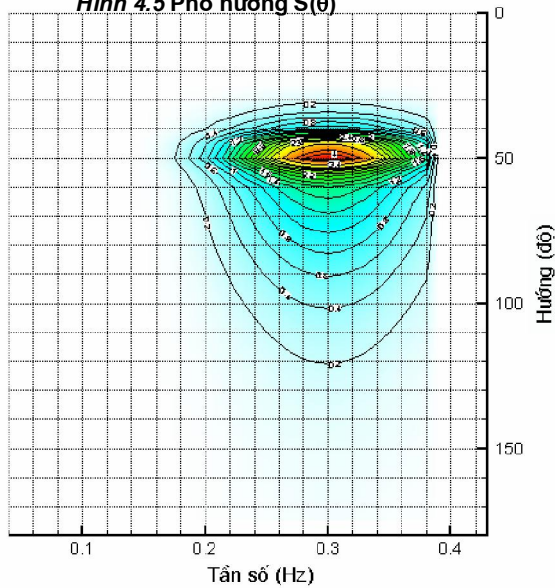
Xét một vùng tính sóng có hướng đường bờ theo trục bắc nam, biên ngoài của vùng tính tại độ sâu 15m. Tạo phổ TMA với sóng có độ cao  $H_s=2.0m$ , truyền từ bờ vào tạo thành một góc 45 độ so với trục vuông góc với đường bờ (sóng khởi điểm truyền theo hướng đông bắc). Các kết quả tạo phổ với dải tần số từ 0.01Hz đến 0.43Hz và bước tính theo tần số là 0.01Hz (gồm 40 thành phần phổ tần) và kết quả tạo phổ theo hàm phân bố góc với góc từ 0 độ đến 180 độ với bước tính là 5 độ (gồm 35 hướng) được trình bày trên các hình sau đây. Hình 4.4 Phổ tần số, hình 4.5 phổ hướng, hình 4.6 phổ hai chiều. Trên hình 4.5 ta thấy do lưới tính theo hướng bắc nam và trường sóng khởi điểm có hướng đông bắc, một phần năng lượng sóng phân bố từ 315 độ đến 360 độ bị mất (trên cơ sở lý thuyết phổ năng lượng sóng lan truyền đến điểm tính trong dải từ +90 độ đến -90 độ so với hướng sóng chính – xem thêm 5.1.2).



**Hình 4.4 Phổ tần số  $S(f)$**



**Hình 4.5 Phổ hướng  $S(\theta)$**



**Hình 4.6 Phổ hai chiều  $S(\theta)$**

## 4.2 BIẾN ĐỔI PHỔ SÓNG VÙNG BIỂN VEN BỜ

Giả thiết trường sóng ổn định, không phụ thuộc vào thời gian, bỏ qua tiêu hao năng lượng sóng do đáy, do sóng vỡ. Chúng ta sẽ nghiên cứu sự biến đổi của phổ sóng vùng biển dạng. Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng cho phổ sóng, biểu diễn dưới dạng không gian số sóng  $S(k_x, k_y)$  : ( $k_x = k \cos \theta$ ,  $k_y = k \sin \theta$ ) ta có:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial S}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial S}{\partial k_x} \frac{dk_x}{dt} + \frac{\partial S}{\partial k_y} \frac{dk_y}{dt} = 0 \quad (4.21)$$

Hai biểu thức sau cùng của vế trái của phương trình (4.21) cho tác động tổng hợp của khúc xạ và biến dạng. Phương trình (4.21) có thể viết lại dưới dạng:

$$\frac{dS(k_x, k_y)}{dt} = 0 \quad (4.22)$$

Biến đổi phổ sóng dưới dạng không gian số sóng có thể biểu diễn như sau:

$$S(k_x, k_y) = \frac{1}{k} S(k, \Theta) = \frac{C_g C}{\omega} S(\omega, \Theta) = \frac{C}{2\pi k} S(f, \Theta) \quad (4.23)$$

với:  $C$  - tốc độ pha,

$C_p$  - tốc độ nhóm sóng.

Thay dạng phổ (4.23) vào (4.22) ta có:

$$\frac{C_g}{2\pi\omega} \frac{d}{dt} [CC_g S(f, \Theta)] = 0 \quad (4.24)$$

có nghĩa là:  $CC_g S(f, \Theta) = \text{const}$  hay  $\frac{C_g}{k} S(\omega, \Theta, x, y) = \text{const}$

Biến đổi phổ sóng phụ thuộc vào phổ sóng tại gốc tọa độ vùng nước sâu  $S_0(\omega, \theta_0)$ , ta có:

$$S(\omega, \Theta) = \frac{k}{k_0} \frac{C_{g0}}{C_g} S_0(\omega, \Theta_0) \quad (4.25)$$

Xét trường hợp đơn giản, sóng tuần hoàn truyền vào vùng có các đường đẳng sâu song song  $d=d(x)$  dưới một góc  $\theta$ . Định luật Snell biểu thị:

$$k \sin \theta = \text{const} \quad \text{hay:} \quad \frac{\sin \Theta}{C} = \frac{\sin \Theta_0}{C_0} \quad (4.26)$$

Như vậy:

$$\Theta_0 = \arcsin\left(\frac{k}{k_0} \sin \Theta\right) \quad (4.27)$$

Thay (4.27) vào (4.26) ta được:

$$S(\omega, \Theta) = \frac{k}{k_0} \frac{C_{g0}}{C_g} S_0\left[\omega, \arcsin\left(\frac{k}{k_0} \sin \Theta\right)\right] \quad (4.28)$$

Trong trường hợp đang xét khi sóng truyền từ vùng nước sâu vào ven bờ, phương trình (4.28) biểu thị rằng:

$$\frac{k(\omega, x)}{k_0(\omega, x)} \sin \Theta \leq 1 \quad (4.29)$$

Đối với địa hình thực tế khi độ sâu biến đổi  $d=d(x,y)$ , ta có:

$$\begin{aligned} \frac{dS(k_x, k_y)}{dt} = 0 = \frac{C_g}{2\pi\omega} \left\{ \cos \Theta \frac{\partial(CC_g S(f, \Theta))}{\partial x} + \sin \Theta \frac{\partial(CC_g S(f, \Theta))}{\partial y} + \right. \\ \left. + \frac{1}{C} \left( \sin \Theta \frac{\partial C}{\partial x} - \cos \Theta \frac{\partial C}{\partial y} \right) \frac{\partial(CC_g S(f, \Theta))}{\partial \Theta} \right\} \end{aligned} \quad (4.30)$$

và:

$$\frac{dx}{ds} = \cos \Theta; \quad \frac{dy}{ds} = \sin \Theta \quad \frac{d\Theta}{ds} = \frac{1}{C} \left( \sin \Theta \frac{\partial C}{\partial x} - \cos \Theta \frac{\partial C}{\partial y} \right) \quad (4.31)$$

Trong đó S là khoảng cách dọc theo tia sóng.

Hiện nay có nhiều sơ đồ số giải các phương trình trên, ví dụ như Collins(1972); Shiau, Wang (1977). Bước đầu tiên cần tìm các tia sóng bằng cách giải hệ phương trình (4.31) cho các tần số riêng biệt, sau đó biến đổi năng lượng dọc theo các tia sóng được tính bằng cách giả định  $CC_g S(f, \theta) = \text{const}$  từ đó cho ta biến đổi phổ sóng dọc theo tia sóng đối với mỗi tần số sóng.

Phương pháp tiếp cận chung của các mô hình tính sóng là dựa trên biến đổi tuyến tính của phổ sóng khi truyền vào vùng bờ. Đối với mỗi thành phần phổ, năng lượng được coi là bất biến trong khi truyền. Do vậy biến đổi của mỗi thành phần phổ có thể được áp dụng hoàn toàn như là một sóng đơn sắc với cùng một biên độ, tần số sóng và năng lượng trong mỗi dải tần số và hướng truyền được truyền theo các tia sóng tương ứng với tốc độ nhóm tương ứng. Phổ sóng ở vùng ven bờ sau đó sẽ được xác định từ phổ sóng vùng nước sâu và bình phương hệ số biến đổi đối với từng tần số thành phần.

$$S(\omega, \Theta) = S_0(\omega, \Theta_0) K_H^2(\omega, \Theta_0, d) \quad (4.32)$$

Trong đó:

$$K_H^2 = \frac{b_0 C_{g0}}{b C_g} \quad (4.33)$$

Với  $b_0$  là khoảng cách giữa hai tia sóng cận kề vùng nước sâu,  $b$  là khoảng cách giữa hai tia sóng cận kề vùng ven bờ cần tính sóng;  $S_0(\omega, \theta_0)$  phổ sóng vùng nước sâu.

Có thể thấy rằng:

$$K_d^2 = \left( \frac{b_0}{b} \right) \left[ \frac{1}{2} \frac{g}{\omega} \left( \frac{d\omega}{dk} \right)^{-1} \right] = K_R^2 K_S^2 \quad (4.34)$$

với:  $K_R$  - hệ số khúc xạ,  $K_S$  - hệ số biến dạng.

Các nghiên cứu của Beji và Battjes (1993) cho thấy khi truyền vào vùng biến dạng, dưới tác động của độ sâu sẽ xảy ra quá trình tương tác phi tuyến giữa các sóng ở tần số cao. Năng lượng sóng sẽ được truyền từ các sóng có tần số thấp hơn trong dải tần số này sang các sóng có tần số cao hơn- các tương tác này gọi là tương tác bậc ba và được tính đến trong mô hình tính sóng SWAN (chương V).

## Chương 5

### CÁC MÔ HÌNH TÍNH TOÁN SÓNG GIÓ, SÓNG LỪNG VÙNG VEN BỜ

Hoạt động của con người trên biển phụ thuộc nhiều vào thời tiết và trạng thái mặt biển, đặc biệt là vào điều kiện sóng, thường là yếu tố quyết định trong việc hạn chế hoặc hoàn toàn làm ngừng trệ các công việc trên biển. Những thiệt hại gần đây đối với ngư dân trên vùng biển Việt Nam, ngoài những yếu tố xã hội, một phần liên quan đến việc dự báo và cảnh báo sóng trên Biển Đông và khu vực ven bờ. Do vậy những thông tin chính xác về điều kiện sóng thực tế hoặc dự báo có ý nghĩa thực tiễn rất lớn vì nó cho phép lựa chọn những con đường hành hải thuận lợi và bố trí hợp lý thời gian và vị trí thực hiện các công việc trên biển, do đó không chỉ đảm bảo sự an toàn trên biển mà còn làm tăng hiệu quả kinh tế.

Hiện nay có 2 con đường để giải quyết vấn đề dự báo sóng gió và sóng lừng. *Thứ nhất:* thiết lập các công thức kinh nghiệm và các chỉ dẫn thực hành để dự báo gió và sóng trong những điều kiện hình thành sóng khác nhau, trong đó có các khu vực áp thấp nhiệt đới và các front khí quyển. *Thứ hai:* thực hiện các mô hình tính toán, dự báo sóng đầy đủ (dưới dạng sóng đơn hoặc sóng phổ) với độ chính xác cao trên máy tính điện tử. Trong giáo trình “Động lực học biển – Phần 1 Sóng biển” đã đề cập khá chi tiết về sự phụ thuộc của các yếu tố sóng vào các yếu tố tạo sóng (chương 3) và lý thuyết thống kê sóng biển (chương 4). Nội dung của chương này chủ yếu bổ sung các cơ sở lý thuyết trường sóng ở vùng ven bờ phục vụ cho tính toán, dự báo trường sóng. Chúng ta sẽ lần lượt đề cập đến các yếu tố tạo sóng và điều kiện khí tượng hải văn ảnh hưởng đến trường sóng, hàm phân bố độ cao sóng và mô hình tính sóng gió sóng lừng vùng ven bờ.

#### 5.1 CÁC YẾU TỐ TẠO SÓNG VÀ ĐIỀU KIỆN KHÍ TƯỢNG HẢI VĂN ẢNH HƯỞNG ĐẾN TRƯỜNG SÓNG

##### 5.1.1 Thời gian tác động và đà gió

Sóng tăng kích thước là kết quả truyền năng lượng từ gió đến mặt nước thông qua tác động của áp lực gió và lực ma sát. Sự tăng trưởng sóng liên quan tới sức gió và khoảng thời gian gió thổi (trong đó gió tác động càng lâu và diện tích mặt nước trên đó gió thổi càng lớn, động lượng gió truyền cho sóng càng lớn), với khoảng cách trên đó gió có lực và hướng tác động không đổi lên mặt nước (đà gió, giới hạn bởi ranh giới từ hướng gió thổi đến điểm mà ta quan tâm, hoặc bởi những kích thước không gian của trường gió), và những quá trình tiêu tán năng lượng (ma sát nội và ma sát đáy). Nói chung trường gió chuyển động nhanh hơn sóng do nó phát sinh, kết quả là sóng có thể tụt lại sau trường gió. Sóng chỉ tăng trưởng khi vận tốc gió lớn hơn vận tốc pha của sóng. Sóng phát triển hoàn toàn (độ cao sóng lớn nhất) khi đà gió và thời gian gió thổi đủ lớn. Sóng lan truyền trong một vùng bên ngoài trường gió sinh ra nó gọi là sóng lừng. Những quá trình này tạo ra một trạng thái sóng ngẫu nhiên, phát triển hoàn toàn gồm một chuỗi vô hạn các sóng riêng lẻ với độ cao, độ dài, chu kỳ và hướng khác nhau.

Từ nay ta coi vận tốc và hướng gió là những yếu tố tạo sóng hiển nhiên, và chỉ xét đến các yếu tố tạo sóng khác. Nếu trên mặt nước tĩnh, phát sinh gió với vận tốc và hướng



không đổi, sẽ tạo nên trường sóng mà kích thước của nó tại mỗi thời điểm và tại mỗi vị trí chỉ phụ thuộc vào thời gian tác động của gió. Do vậy kích thước sóng tại vị trí tính toán sẽ phụ thuộc hoặc vào chiều dài đà gió, hoặc vào thời gian gió tác động trên mặt nước.

Trên thực tế, ranh giới trường gió và thời gian tác động gió không thể vô hạn, kể cả kích thước ngang của một cơn bão cũng như vậy, do đó sóng sẽ không phát triển vô hạn mà kích thước của chúng sẽ tiến tới giá trị tới hạn nào đó. Cùng sự phát triển của sóng, tổn thất năng lượng do ma sát rối nội (tỷ lệ với bình phương vận tốc hạt nước) tăng lên, sẽ xuất hiện thời điểm mà các tổn thất này sẽ bằng dòng năng lượng của gió truyền cho, gọi là giai đoạn phát triển sóng hoàn toàn. Các đặc trưng sóng khi sóng ổn định sẽ chỉ còn là hàm số của đà gió, còn ngoài ranh giới front chúng chỉ còn là hàm số của thời gian tác động gió. Theo các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm, độ cao sóng khi phát triển hoàn toàn sẽ tỷ lệ với bình phương vận tốc gió, còn chu kỳ tỷ lệ với vận tốc gió. Đà gió và thời gian tác động gió liên hệ với nhau qua biểu thức :

$$\frac{gt}{V} = 17.3 \left( \frac{gx}{V^2} \right)^{4/5} \quad (5.1)$$

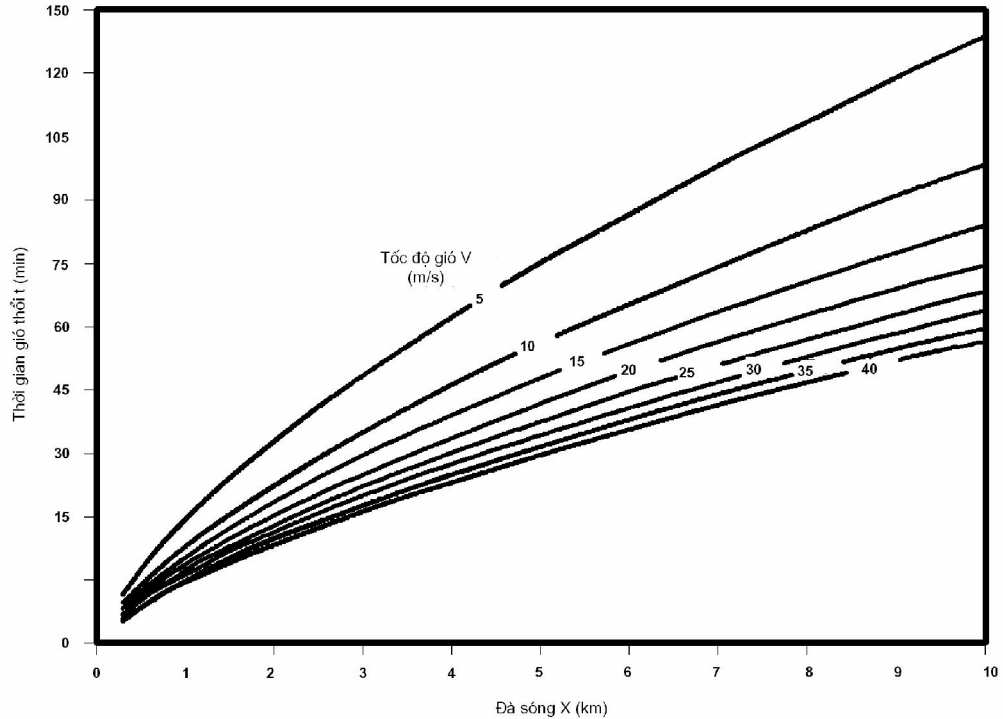
Sử dụng biểu thức (5.1) chúng ta có thể chuyển từ thời gian gió thổi sang đà sóng hoặc là ngược lại, trong khi đó vẫn đảm bảo tính được cùng một các yếu tố sóng. Các yếu tố tạo sóng chuyển đổi này gọi là đà tương đương hoặc là thời gian tương đương. Đã xây dựng biểu đồ tính đà sóng và thời gian gió thổi tương đương cho các tốc độ gió khác nhau. Trên hình 5.1 đưa ra một loại biểu đồ này, dựa vào đó nếu biết đà sóng và tốc độ gió chúng ta có thể xác định được thời gian gió thổi tương đương, hoặc ngược lại nếu biết thời gian gió thổi và tốc độ gió chúng ta cũng có thể xác định được đà sóng tương đương.

Trong thực hành, thường xây dựng các quan hệ các tham số sóng với các yếu tố tạo sóng riêng rẽ cho sóng ổn định và không ổn định (đang phát triển).

Vì trường gió có đặc trưng không ổn định, tức là gió không ngừng thay đổi theo đà và theo thời gian, cho nên để tính toán các yếu tố sóng trong các điều kiện phức tạp như vậy, sự thay đổi liên tục của vận tốc gió theo thời gian và theo đà gió được thay thế bằng các đoạn bậc thang, trong mỗi đoạn đà gió  $dX_1, dX_2, \dots$  hoặc mỗi khoảng thời gian  $dt_1, dt_2, \dots$  để có thể coi gió không đổi về vận tốc và hướng. Tính toán thực hiện theo từng bước, giá trị sóng tính toán trong mỗi bước là giá trị ban đầu cho bước tiếp theo. Người ta cũng có thể áp dụng phương pháp đơn giản hơn: vận tốc gió biến đổi theo đà gió và thời gian được thay bằng vận tốc gió tương đương  $\bar{V}_{x,n}$  và  $\bar{V}_{t,n}$  (chỉ số n biểu thị số lượng các bước thời gian hoặc không gian), theo các công thức dưới đây:

$$\bar{V}_{x,n} = \left[ \frac{\bar{V}_1^4 \Delta X_1 + \bar{V}_2^4 \Delta X_2 + \dots + \bar{V}_n^4 \Delta X_n}{x} \right]^{1/4} \quad (5.2)$$

$$\bar{V}_{t,n} = \left[ \frac{\bar{V}_1^3 \Delta t_1 + \bar{V}_2^3 \Delta t_2 + \dots + \bar{V}_n^3 \Delta t_n}{t - t_0} \right]^{1/3} \quad (5.3)$$



Hình 5.1 Biểu đồ tính đà sóng và thời gian gió thổi tương đương

### 5.1.2 Các yếu tố tạo sóng vùng ven bờ

Trong vùng ven bờ ngoài tác động của các yếu tố tạo sóng như tốc độ gió, đà sóng và thời gian gió thổi như đã nêu ở trên, độ sâu và địa hình đường bờ, các đảo che chắn là là các yếu tố gây ảnh hưởng trực tiếp đến sự phát triển của trường sóng.

#### a, Phát triển sóng vùng ven bờ trong điều kiện đơn giản.

Xét trong trường hợp đường bờ thẳng, độ sâu không đổi. Nếu gió thổi thẳng góc từ bờ ra khơi thì front trường sóng ổn định, theo thời gian sẽ tiến dần ra khơi. Tuy nhiên với các yếu tố sóng tăng dần, tại một khoảng cách  $X_1'$  và thời gian  $t_1'$  nào đó chúng sẽ bị ảnh hưởng của độ sâu. Ảnh hưởng này sẽ làm giảm tốc độ tăng của độ cao sóng. Đến một khoảng cách tới hạn  $X_2'$  và  $t_2'$  nào đó độ cao sóng sẽ đạt giá trị tới hạn (phụ thuộc vào tốc độ gió và độ sâu cụ thể). Như vậy trong trường hợp này, trường sóng vùng ven bờ được xác định theo 3 vùng:

- Vùng từ mép nước ra đến điểm  $X_1'$ , trường sóng phụ thuộc vào  $V$ ,  $X$ . (hay  $t$  tương đương theo (5.1) ) như đối với vùng biển sâu.
- Vùng từ điểm  $X_1'$  đến  $X_2'$  là vùng trường sóng phụ thuộc vào  $V$ ,  $X$  và độ sâu  $d$ .
- Vùng ngoài điểm  $X_2'$  trường sóng phát triển hoàn toàn và chỉ phụ thuộc vào  $V$  và  $d$ .

Tại vùng cuối cùng, trường sóng phát triển hoàn toàn, đã xác định được sự phụ thuộc thực nghiệm giữa độ cao sóng phát triển hoàn toàn và tốc độ gió, độ sâu như sau:

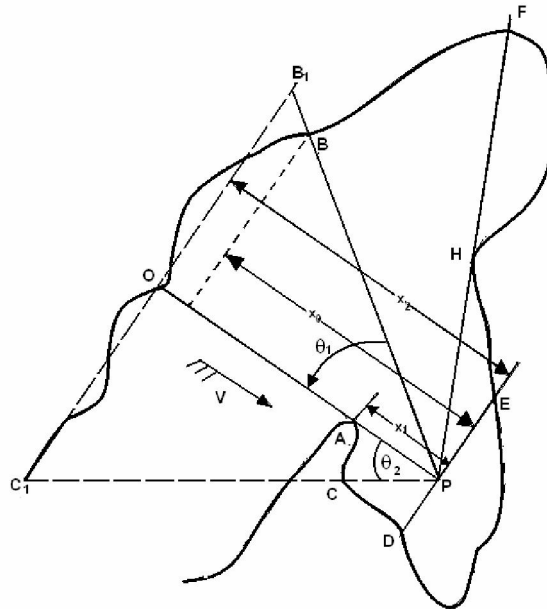
$$\frac{g\bar{H}}{V^2} = 0.07 \left( \frac{gd}{V^2} \right)^{3/5} \quad (5.4)$$

Tại vùng thứ hai – trường sóng phụ thuộc vào tốc độ gió, đà sóng, độ sâu và được xác định theo các công thức thực nghiệm, dựa vào đó lập thành các toán đồ tính sóng.

Cũng tương tự như đối với độ cao sóng có thể xác định chu kỳ sóng trong vùng ven bờ có độ sâu không đổi. Độ dài sóng và chu kỳ sóng trong vùng ven bờ, dưới tác động của độ sâu được tính theo công thức (2.5). Các quan trắc thực tế trường sóng vùng ven bờ cho thấy trong trường hợp độ sâu không đổi độ dài sóng có thể lớn hơn một số lần so với độ sâu (tới 5 lần). Thời gian cần thiết để trường sóng trở thành ổn định ở vùng ven bờ luôn nhỏ hơn so với thời gian tương tự ở vùng nước sâu. Do vậy ở các vùng ven bờ, đặc biệt là các vùng đường bờ phức tạp, được trình bày dưới đây, chúng ta thường sử dụng đà sóng để xác định các yếu tố sóng vùng ven bờ.

### ***b, Phát triển trường sóng vùng ven bờ trong điều kiện phức tạp***

Trong các trường hợp thực tế, khu vực ven bờ thường có địa hình phức tạp, độ sâu biến đổi và các địa hình đường bờ khúc khuỷu, có nhiều đảo che chắn. Trường sóng trong trường hợp này sẽ phụ thuộc vào các yếu tố tạo sóng như tốc độ gió, đà sóng, thời gian gió thổi, độ sâu và đặc điểm biến đổi địa hình bờ biển. Chương 2 đã đề cập đến các hiệu ứng gây biến đổi các yếu tố sóng khi truyền vào vùng ven bờ, dưới tác động của độ sâu và biến đổi địa hình đáy. Ở đây chúng ta tập trung vào việc tính tác động của địa hình đường bờ, đảo che chắn đến các yếu tố sóng thông qua ảnh hưởng của sự thay đổi đà sóng theo các hướng phân bố từ  $-\pi/2$  đến  $+\pi/2$  so với hướng gió thổi. Hình 5.2 vẽ trường hợp tính sóng trong khu vực có địa hình đường bờ phức tạp, có các đảo che chắn. Cho rằng trường sóng ổn định, chỉ phụ thuộc vào tốc độ gió, đà sóng và độ sâu. Từ hình 5.2 ta thấy theo hướng gió thổi đà sóng có thể là  $X=X_1=AP$  hay  $X=X_2=OP$ . Hai giá trị này sẽ cho các yếu tố sóng tại điểm P hoàn toàn khác nhau. Ví dụ nếu cần tính độ cao sóng ta có:  $H_1 = H_{X_1} \neq H_2 = H_{X_2}$ . Tuy nhiên cả hai giá trị độ cao sóng  $H_1$  và  $H_2$  đều không phải là độ cao sóng trong thực tế tại điểm P vì sóng truyền tới điểm P theo nhiều hướng chứ không phải chỉ theo hướng gió. Trong trường hợp cụ thể tại hình 5.2 thành phần sóng truyền theo hướng  $\theta_1$  truyền từ bờ đến điểm tính P với khoảng cách nhỏ hơn (BP), còn thành phần  $\theta_2$  với khoảng cách nhỏ hơn (CP) so với trường hợp có đường bờ thẳng vô tận ( $B_1P$  và  $C_1P$  tương ứng). Do vậy giá trị năng lượng sóng nhận được tại P sẽ nhỏ hơn so với trường hợp sóng tính theo đường bờ thẳng dài vô tận. Đối với trường hợp đường bờ phức tạp này cần phải tính sóng theo phương pháp truyền năng lượng từ nhiều hướng tới (phổ hướng). Để tính được thành phần năng lượng phổ sóng theo hướng dọc theo hướng BP cần xác định hình chiếu của vectơ bán kính  $r = BP$  trên hướng gió (tia OP). Sau đó sử dụng giá trị này ( $X_0 = r \cos \theta_1$ ) làm đà sóng và xác định độ cao sóng trung bình  $\bar{H}$  của thành phần phổ này theo tốc độ gió V, đà  $X_0$  và theo thời gian gió thổi t (nếu sóng đang phát triển) như đối với trường hợp các điều kiện tạo sóng đơn giản. Các tính toán trên được thực hiện cho tất cả các thành phần hướng với bước  $\theta_k = 22,5n$ ;  $n = \pm 1, 2, 3$  (phương pháp 7 tia), hoặc  $\theta_n = 30.0^\circ$ ;  $n = \pm 1, 2$  (phương pháp 5 tia). Trong đó đà sóng theo các hướng luôn luôn được xác định là hình chiếu của các vectơ bán kính r trên hướng gió. Năng lượng của mỗi thành phần phổ  $\theta_n$  được xác định là  $\bar{H}^2 \cdot \frac{2}{\pi} \cos^2 \theta_n$ . Các thành phần năng lượng này sẽ được nhân với hệ số trọng lượng  $m_n$  trên bảng 5.1 để xác định năng lượng của thành phần phổ tương ứng trong tổng năng lượng sóng tại điểm P.



Hình 5.2 Ví dụ tính sóng tại khu vực có đường bờ phức tạp

Bảng 5.1 Hệ số trọng lượng  $m_n$

Số thành phần phổ	n				$\sum m_n$
	0	$\pm 1$	$\pm 2$	$\pm 2$	
7	0,25	0,21	0,13	0,035	1,00
5	0,32	0,25	0,09	–	1,00

Độ cao sóng tại điểm P trong trường hợp đường bờ phức tạp này được xác định như sau:

$$\bar{H} = \sqrt{\sum_{i=1}^n m_n \bar{H}_n^2} \quad (5.5)$$

Chu kỳ trung bình đối với sóng vùng ven bờ xác định theo:

$$\frac{g\bar{T}}{V} = 18.7 \left( \frac{g\bar{H}}{V^2} \right)^{3/5} \quad (5.6)$$

Trong đó: tốc độ gió V (m/s); gia tốc trọng trường,  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ; chu kỳ sóng  $\bar{T}$  (s); độ cao sóng  $\bar{H}$  (m).

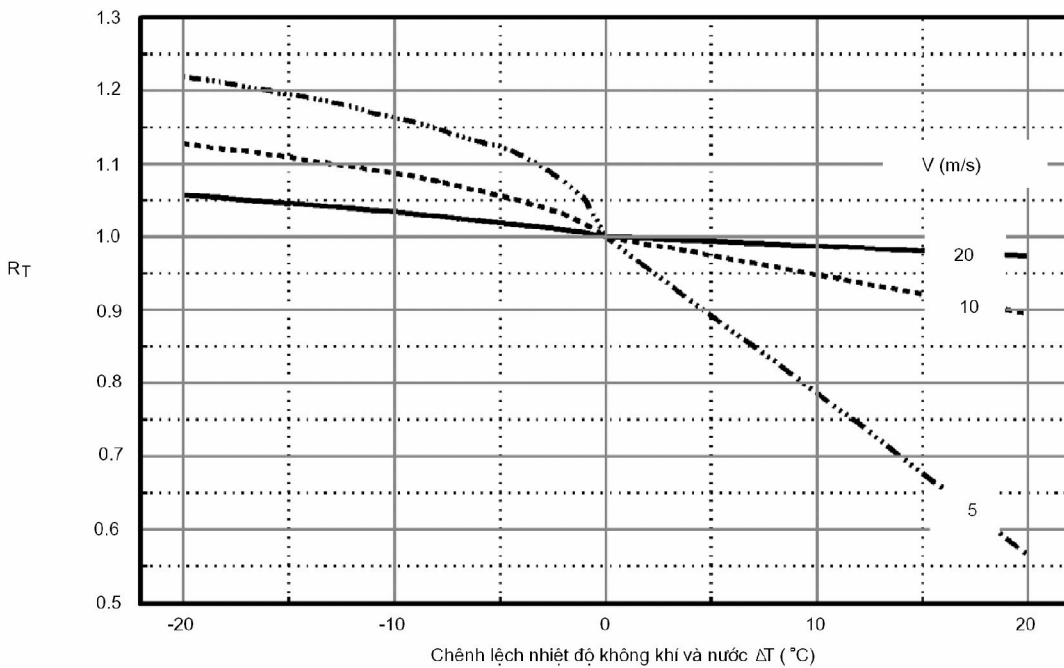
### 5.1.3 Các điều kiện khí tượng hải văn trên biển

Trường sóng trên biển phụ thuộc rất nhiều vào các điều kiện khí tượng, hải văn trên biển. Các điều kiện này làm thay đổi gradient của tốc độ gió theo độ cao trên mặt biển, có nghĩa là làm thay đổi quá trình trao đổi năng lượng giữa gió và sóng. Ngoài ra các điều

kiện (hình thể) synop trên biển cũng đóng vai trò cực kỳ quan trọng trong sự phát triển của trường sóng.

**a. Chênh lệch nhiệt độ không khí và nước**

Hiệu nhiệt độ của không khí và nước đặc trưng cho trạng thái khí quyển tại vùng biển tính sóng. Nếu giá trị này dương, có nghĩa là trạng thái khí quyển ổn định, gradient của tốc độ gió theo độ cao trên mặt biển sẽ lớn hơn so với trạng thái ngược lại không ổn định, khi giá trị này âm. Tốc độ gió trong trường hợp đầu sẽ nhỏ hơn so với trường hợp sau và dẫn đến các yếu tố sóng tính được theo tốc độ gió cũng sẽ nhỏ hơn. Trên hình 5.3 đưa ra hệ số hiệu chỉnh tốc độ gió  $R_T$  (ứng với các giá trị tốc độ gió 5, 10 và 20m/s) theo các giá trị chênh lệch nhiệt độ không khí và nước. Chúng ta thấy rằng trong trường hợp giá trị chênh lệch nhiệt độ này dương (trạng thái khí quyển ổn định) hệ số hiệu chỉnh  $R_T$  giảm rất mạnh đặc biệt là khi trường gió yếu, như vậy sóng tính được sẽ nhỏ hơn so với trường hợp không hiệu chỉnh.



**Hình 5.3** Hiệu chỉnh tốc độ gió theo độ chênh lệch nhiệt độ không khí và nước

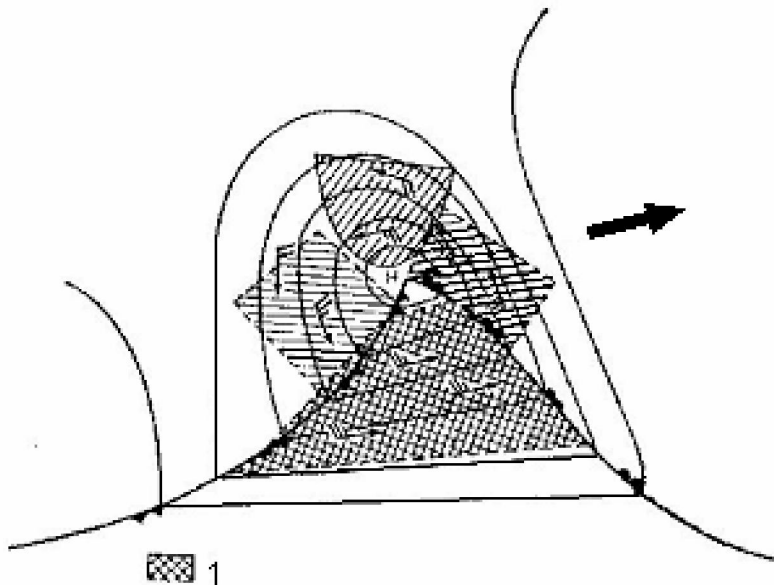
**b. Các điều kiện synop trên biển**

Sự hình thành trường sóng trên biển, vị trí sóng cực đại và sự phát triển của chúng quan hệ chặt chẽ với các điều kiện synop. Các dấu hiệu cho các quá trình synop là: vị trí của các xoáy thuận và xoáy nghịch, áp suất khí quyển tại tâm xoáy, quỹ đạo dịch chuyển của chúng và các front. Đặc trưng sóng gió xác định bằng các điều kiện khí áp, chủ yếu là cường độ, kích thước và vận tốc dịch chuyển của áp thấp, cũng như các front, vùng hội tụ hoặc phân kỳ các dòng không khí. Tồn tại mối quan hệ khá chặt chẽ giữa trường sóng và trường áp suất khí quyển với hệ số tương quan đạt 0.8.

Sóng mạnh nhất quan trắc được trong những tình huống, khi trên biển hình thành các tâm áp thấp rộng và sâu. Các áp thấp này đôi khi ít dịch chuyển, tồn tại khoảng 5

ngày và có gió mạnh liên tục, bao phủ một vùng khá rộng, có thể tạo ra sóng có độ cao 10 m hoặc lớn hơn. Độ cao sóng tính toán lớn nhất có thể xảy ra là ở Nam băng dương, khu vực đảo Kergelen (30-35 m), còn trên thực tế độ cao sóng lớn nhất đã đo được ở Nam cực là 24.5 m, ở vịnh Mêhicô là 23m. Thống kê cho thấy hàng năm đều xuất hiện độ cao sóng 15m trong đại dương thế giới. Đặc điểm của độ cao sóng cực đại là đều nằm ở các khu vực hình thành xoáy thuận. Cường độ sóng trong bão cũng liên quan đến lực gió, thời gian tác động và chiều dài đà gió. Các đặc trưng này lại phụ thuộc vào giai đoạn phát triển của các xoáy thuận, vận tốc

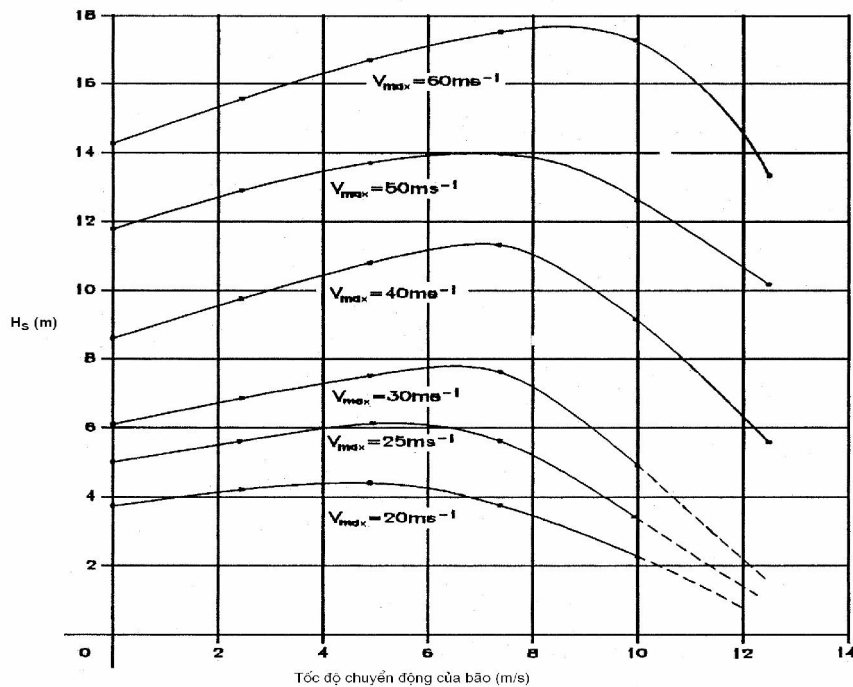
và hướng dịch chuyển của chúng. Trong xoáy thuận có thể chia ra nhiều khu vực theo đặc trưng tác động gió lên sóng. Trong trường hợp các xoáy thuận ít chuyển động, sự phát triển sóng xác định chủ yếu bằng chiều dài đà gió, còn khi xoáy thuận chuyển động nhanh, thời gian tác động gió là yếu tố quan trọng. Nếu điểm tính toán nằm trong một hình quạt của xoáy thuận, nơi hướng gió trùng với hướng dịch chuyển của nó, thời gian tác động của gió lên sóng sẽ lớn nhất, điểm này nhận năng lượng lớn hơn so với các điểm khác và do vậy sẽ có độ cao sóng lớn nhất (xem hình 5.4). Trong các xoáy thuận ở Bắc bán cầu, khu vực có điều kiện thuận lợi nhất để sóng tăng trưởng nằm ở phía Nam và Tây Nam xoáy thuận, phần phía Bắc của xoáy thuận điều kiện phát triển sóng ít thuận lợi hơn. Tại tâm xoáy thuận sóng có đặc trưng mô nước, do sự giao thoa của sóng có các hướng khác nhau, ở đây sóng rất dốc và rất nguy hiểm cho tàu bè. Trong phần đuôi của xoáy thuận đang dịch chuyển về phía Đông, sóng nằm trong khu vực gió yếu, tắt dần và chuyển thành sóng lừng, ở trước xoáy thuận, trước front hình thành sóng gió, còn sau front là sóng hỗn hợp (hình 5.4). Nếu điểm tính toán không nằm trong một hình quạt nào đó, nó sẽ chịu tác động cho đến khi gió với chiều dài đà gió hoàn toàn đi qua nó, còn thời gian tác động của gió tại điểm này xác định bằng tỷ số độ dài đà gió trên vận tốc gió.



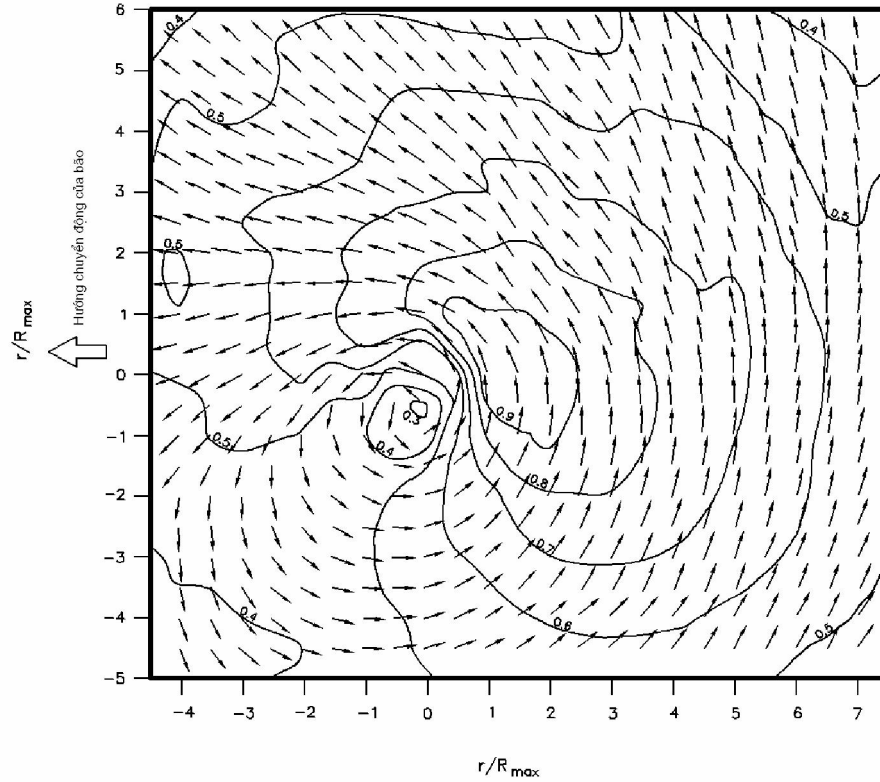
**Hình 5.4 Trường gió và dịch chuyển của xoáy thuận**  
(1-khu vực có điều kiện phát triển sóng thuận lợi nhất)

Độ cao sóng cực đại trong bão là một trong các yếu tố cực kỳ nguy hiểm đối với tàu bè, công trình trên biển và ven bờ. Hình 5.5 đưa ra toán đồ tính độ cao sóng cực đại trong bão với các tốc độ gió cực đại và tốc độ chuyển động của bão. Ngoài ra phân bố trường sóng trong bão cũng hết sức quan trọng đối với tàu thuyền chạy tránh bão và tổ chức phòng chống khi biết được khả năng bão sẽ đổ bộ vào các vùng ven bờ cụ thể. Cũng tương tự như đối với nước dâng trong bão, vùng có sóng cực đại trùng với vùng bán kính gió cực đại về phía bên phải của tâm bão theo hướng chuyển dịch của tâm bão. Hình 5.6 vẽ phân bố trường sóng trong bão  $H_s/(H_s)_{\max}$  trong các cơn bão với tốc độ gió cực đại mạnh ( $>40\text{m/s}$ ).

Thông thường diện tích mà sóng gió bao phủ lớn hơn nhiều diện tích sóng lừng hoặc sóng hỗn hợp. Hướng của sóng lừng ít khi trùng với hướng sóng gió, sự trùng hợp chỉ xảy ra khi gió hoặc có vận tốc lớn, hoặc có hướng ổn định. Sóng lừng phát triển mạnh nhất khi một chuỗi các xoáy thuận liên tục xảy ra trong một thời gian ngắn. Nếu hướng của sóng lừng gần với hướng của sóng gió, thì sóng phát triển rất nhanh chỉ trong vài giờ. Các đặc điểm phát triển sóng gió và sóng lừng mô tả ở trên thể hiện sự phức tạp của vấn đề dự báo sóng. Vai trò của các yếu tố tạo sóng trong việc hình thành trường sóng theo những điều kiện địa lý khác nhau sẽ khác nhau, có nghĩa là mặc dù có các nguyên lý phát triển và tắt dần sóng, vẫn cần thiết phân tích và kiểm tra các phương pháp tính toán các yếu tố sóng cho một khu vực cụ thể trong các điều kiện synop cụ thể. Trong tất cả các trường hợp dự báo sóng, không phụ thuộc vào phương pháp áp dụng, người dự báo phải hiểu rõ các quy luật phát triển, lan truyền và tắt dần của sóng về mặt vật lý, cũng như chế độ gió, sóng và các tính chất vĩ mô của trường sóng.



Hình 5.5 Độ cao sóng cực đại trong bão



Hình 5.6 Phân bố  $H_s / (H_s)_{\max}$  trong vùng tâm bão

### 5.1.4 Phân bố Rayleigh của độ cao sóng

Việc phân tích sóng gió và sóng lừng từ các chuỗi sóng hình sin có chu kỳ gần nhau cho thấy có thể mô tả khá tốt loại sóng này bằng phân bố Rayleigh. Lấy  $H_{\text{rms}}$  làm tham số, hàm mật độ xác suất là:

$$P(H) = \frac{2H}{H_{\text{rms}}^2} e^{-(H/H_{\text{rms}})^2} \quad (5.7)$$

Công thức (5.7) cho thấy các độ cao sóng có giá trị nằm trong phạm vi  $H + dH$  có xác suất là  $P(H)dH$ . Khi  $dH$  tăng, tức là dải độ cao sóng rộng hơn, xác suất mà chúng xuất hiện sẽ tăng. Ví dụ, xác suất độ cao sóng trong phạm vi  $1 \pm 0,01\text{m}$  của giã đồ ghi sóng có  $H_{\text{rms}} = 1,5\text{ m}$  là rất nhỏ. Xác suất mà độ cao sóng vượt quá một giá trị chỉ định  $H_*$  (xác suất vượt) bằng:

$$P(H > H_*) = \int_{H_*/H_{\text{rms}}}^{\infty} P(H) d(H/H_{\text{rms}}) = e^{-(H_*/H_{\text{rms}})^2} \quad (5.8)$$

Theo định nghĩa, tích phân trên toàn dải có giá trị bằng 1. Xác suất để xảy ra độ cao sóng lớn hơn  $H_{1/3} = 3,17\text{ m}$  là  $P(H > 3,17\text{ m}) = \exp[-(3,17/2,32)^2] = 0,15$ , tức là khoảng 15% các sóng trong giã đồ ghi lớn hơn sóng hữu hiệu. Áp dụng phân bố Rayleigh, có thể liên hệ những sóng với suất đảm bảo tiêu biểu  $H_{1/100}$ ,  $H_{1/10}$ ,  $H_{1/3}$  với  $H_{\text{rms}}$  (bảng 5.2). Trong bảng 5.2, các kết quả quan hệ giữa  $H_{\text{rms}}$  và các sóng với suất đảm bảo khác nhau trong vùng sóng đồ nhận được từ các quan trắc của Hotta và Mizuguchi năm 1980. Như vậy phân bố



Rayleigh áp dụng cho vùng sóng đố sẽ cho kết quả độ cao sóng thiên lớn so với thực tế. Các công thức trên cũng cho ta những mối liên hệ khác, ví dụ vì  $H_{1/100} = 2,4H_{rms}$  và  $\bar{H} = 0,89H_{rms}$  nên  $H_{1/100} = 2,7\bar{H}$ . Thay công thức (5.7) vào (5.8) ta có:

$$P(H > H_{1/3}) = \exp(-1,41^2) = 0,13. \quad (5.9)$$

Như vậy,  $H_{1/3}$  bằng độ cao sóng có xác suất vượt 13% và trong thiết kế công trình biển người ta coi tần suất 13% là một chỉ tiêu quan trọng. Không có quan hệ trực tiếp giữa  $H_{max}$  và  $H_{rms}$ , vì  $H_{max}$  là độ cao sóng chỉ ngẫu nhiên là sóng lớn nhất trong số N sóng của giản đồ ghi. Vì trong một chuỗi N sóng chỉ có một giá trị  $H_{max}$  duy nhất, xác suất vượt  $H_{max}$  bằng  $1/N$ . Trong công thức (5.8) ta có:

$$P(H > H_{max}) = e^{-(H_{max}/H_{rms})^2} = N^{-1} \text{ hay } H_{max} = H_{rms} \sqrt{\ln N} \quad (5.10)$$

do đó  $H_{max} = 2,6H_{rms}$  đối với  $N = 1000$  và  $H_{max} = 3H_{rms}$  đối với  $N = 10000$ .

Dựa theo kinh nghiệm, thấy rằng chu kỳ của sóng có thể xác định theo:

$$T_{1/10} = (0,6 \div 1,3)T_{1/3} \quad (5.11)$$

$$\bar{T} = (0,7 \div 1,1)T_{1/3} \quad (5.12)$$

$$T_{max} = (0,6 \div 1,3)T_{1/3}. \quad (5.13)$$

Điều này cho thấy về cơ bản có thể coi chu kỳ sóng là không đổi. Tuy nhiên trong một bản ghi, sóng có độ cao nhỏ thường có chu kỳ ngắn, còn sóng có độ cao lớn (hơn độ cao trung bình) không cho thấy mối tương quan rõ ràng với chu kỳ. Phân tích giản đồ ghi sóng trong Biển Bắc thấy rằng  $T = 4H^{0,4}$ , còn mô hình Sverdrup-Munk-Bretschneider cho  $T = 5H^{0,4}$ . Quan hệ giữa chu kỳ sóng và độ cao sóng thường thể hiện bằng một sơ đồ "rải rác", trên sơ đồ này độ cao sóng trong một nhóm nhất định (ví dụ  $H_s = 2,5 - 3$  m) có chu kỳ trong một dải cố định ( $T_z = 5 - 11$  s).

**Bảng 5.2 Quan hệ giữa độ cao sóng  $H_{rms}$  và các sóng với suất đảm bảo khác nhau**

Ngoài vùng sóng đố	Trong vùng sóng đố
$H_{1/100} = 2,4 H_{rms}$	
$H_{1/10} = 1,8 H_{rms}$	$H_{1/10} = 1,6 H_{rms} = 1,2 H_{1/3}$
$H_{1/3} = \sqrt{2} H_{rms} = 1,41 H_{rms}$	$H_{1/3} = 1,3 H_{rms}$
$\bar{H} = \frac{1}{\sqrt{2}} H_{rms} = 0,89 H_{rms}$	

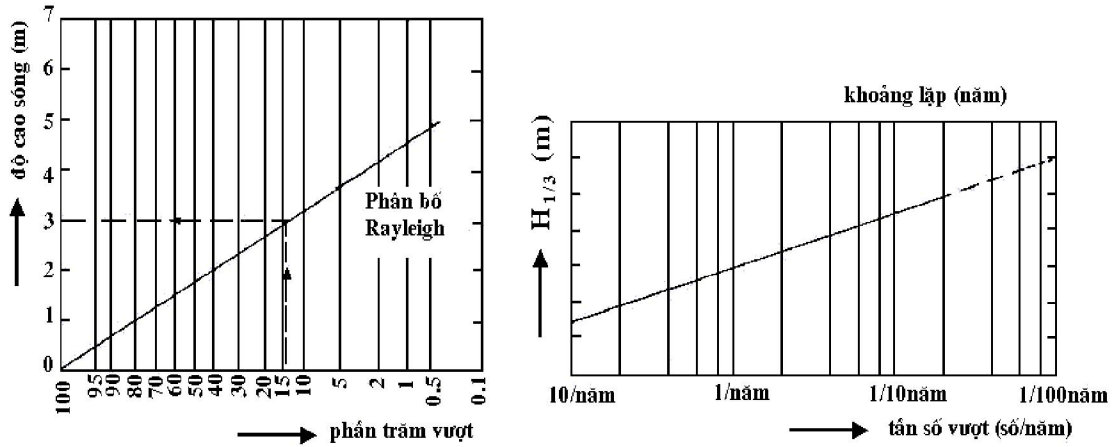
Công thức (5.8) cho ta một đường thẳng theo xác suất vẽ trên tỷ lệ lôgarit (hình 5.7). Loại đường này cũng có thể áp dụng cho những thời đoạn dài, ví dụ nhiều năm. Mỗi cơn bão được thể hiện bởi một giá trị  $H_{1/3}$  dựa trên những độ cao sóng phát triển hoàn toàn. Số lượng quan trắc của một giá trị  $H_{1/3}$  cụ thể trong một năm được vẽ theo giá trị  $H_{1/3}$ . Độ cao sóng với chu kỳ lặp nhất định (ví dụ 100 năm), có thể xác định bằng ngoại suy nhờ sử dụng phân bố loga chuẩn hoặc các phân bố thống kê khác (Gumbel, Weibull).

### 5.1.5 Thống kê sóng gió

Sóng biển rất đa dạng với kích thước này hay kích thước khác, do vậy cần xác định tần suất các đặc trưng sóng theo hàm phân bố. Có 3 loại hàm phân bố:

- Hàm loại 1 mô tả các yếu tố sóng trong trường hợp sóng tựa ổn định,

- Hàm loại 2 mô tả các yếu tố sóng trong thời gian tác động của bão,
- Hàm loại 3 mô tả các yếu tố sóng trong những thời gian dài, tính hàng năm. Loại này gọi là hàm chế độ.



Hình 5.7 Đường xác suất vượt của độ cao sóng

Nghiên cứu trong những năm gần đây cho thấy có thể sử dụng phân bố Weibul làm hàm phân bố yếu các tố sóng:

$$F(x) = \exp\left[-\alpha\left(\frac{x}{\bar{x}}\right)^\beta\right] \quad (5.15)$$

trong đó  $\bar{x}$  - giá trị trung bình của yếu tố sóng bất kỳ,  $\alpha, \beta$  - các tham số, xác định trên cơ sở số liệu thực đo. Giá trị các tham số này cho những phân bố các yếu tố sóng khác nhau được dẫn ra trong bảng 5.2.

Bảng 5.2 Tham số của hàm phân bố Weibul

Yếu tố sóng	$\beta$	$\alpha$
Độ cao sóng	2	0.785
Chu kỳ sóng	4	0.654
Chiều dài	2.3	0.757

**a. Hàm phân bố các yếu tố sóng vùng ven bờ khi sóng tựa ổn định**

Crulov (1954) đã sử dụng phân bố độ cao sóng cho biển sâu:

$$P(H) = \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{H}{\bar{H}}\right)^2\right] \quad (5.16)$$

Trong đó  $\bar{H}$  - độ cao sóng trung bình.

Quy luật phân bố này tương tự như trong công thức (5.7) và cũng gọi là phân bố Rayleigh. Theo công thức (5.16) tần suất của độ cao sóng trung bình  $\bar{H}$  bằng 46%. Hàm phân bố độ cao sóng có xét đến độ sâu biển cho vùng biển ven bờ do Vilensky và Glukhovsky đưa ra trên cơ sở tổng hợp một số lớn số liệu đo đạc. Nó có dạng :

$$P(H) = \exp\left[-\frac{\pi\left(\frac{H}{\bar{H}}\right)^{1-H/d}}{4\left(1 + \frac{1}{2\pi}\left(\frac{H}{d}\right)\right)}\right] \quad (5.17)$$

Hay: 
$$K_H = \frac{H}{\bar{H}} = \left[ -2.932 \left( 1 + 0.4 \frac{\bar{H}}{d} \right) \lg P(H) \right]^{\frac{1-\frac{\bar{H}}{d}}{2}} \quad (5.18)$$

Trong đó  $d$  - độ sâu biển.

Giá trị  $K_H$  gọi là hệ số phân bố độ cao sóng cho vùng ven bờ, sử dụng hệ số này chúng ta có thể tính được độ cao sóng ven bờ với các suất đảm bảo khác nhau nếu biết độ cao sóng trung bình hoặc độ cao sóng có suất đảm bảo bất kỳ. Bảng 5.3 đưa ra hệ số  $K_H$  với các suất đảm bảo độ cao sóng khác nhau tại các độ sâu khác nhau trong vùng biển ven bờ. Cùng sự tăng độ sâu, tỷ số  $H/d$  giảm, tiến tới 0 và công thức (5.17) chuyển thành công thức (5.16). Trong vùng sóng đổ  $H/d=0.5$ , hàm phân bố độ cao sóng (5.17) có dạng:

$$P(H) = \exp\left[-\frac{\pi}{4.8} \left(\frac{H}{\bar{H}}\right)^4\right] \quad (5.19)$$

**Bảng 5.3 Hệ số  $K_H$  và các suất đảm bảo độ cao sóng  $F\%$  ứng với các giá trị  $H/d$**

F%	H/d										
	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.20	0.35	0.40	0.45	0.50
0.1	3.20	3.09	2.85	2.36	2.48	2.36	2.24	2.12	2.01	1.95	1.89
1.0	2.52	2.48	2.34	2.20	2.10	2.01	1.92	1.83	1.74	1.69	1.62
5.0	1.91	1.90	1.88	1.83	1.77	1.72	1.66	1.60	1.54	1.50	1.43
10	1.69	1.68	1.66	1.63	1.59	1.54	1.50	1.45	1.41	1.38	1.35
20	1.38	1.38	1.36	1.35	1.34	1.33	1.30	1.28	1.27	1.25	1.22
30	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
50	0.93	0.94	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	1.02	1.03

Theo bảng (5.3) nếu biết độ cao sóng với một suất đảm bảo nào đó có thể tính được độ cao sóng với bất kỳ suất đảm bảo khác. Cũng trên bảng này cho thấy khi truyền từ biển sâu vào vùng ven bờ, cùng với độ sâu giảm, sự đa dạng của độ cao sóng sẽ giảm đi. Tại vùng biển sâu ( $H/d=0$ ) độ cao sóng có suất đảm bảo 0.1% cao hơn độ cao sóng trung bình hơn 3 lần, nhưng vào đến vùng sóng đổ chỉ còn 1.9 lần. Đối với sóng có suất đảm bảo 5% các giá trị tương ứng này là 1.91 và 1.43 lần. Độ cao sóng có xác suất lớn nhất (thường hay quan trắc được nhất) tại vùng biển sâu bằng  $4/5 \cdot \bar{H}$ , có nghĩa là nhỏ hơn 20% so với độ cao sóng trung bình. Độ cao sóng có xác suất lớn nhất tại vùng sóng đổ cao hơn độ cao sóng trung bình khoảng 3 – 4%.

Hàm phân bố chu kỳ sóng không phụ thuộc vào độ sâu biển và có dạng :

$$F(T) = \exp\left[-\frac{\pi}{4.8} \left(\frac{T}{\bar{T}}\right)^4\right] \quad (5.20)$$

Trong đó  $\bar{T}$  - chu kỳ sóng trung bình.

Hệ số phân bố chu kỳ sóng  $K_T$  được đưa ra tại bảng 5.4

**Bảng 5.4 Hệ số  $K_T$  và các suất đảm bảo chu kỳ sóng F%**

F%	$K_T$	F%	$K_T$
0.1	1.78	20	1.23
1.0	1.65	30	1.15
5	1.47	50	1.00
10	1.37		

Các nghiên cứu thực nghiệm cho thấy hàm phân bố độ cao và chu kỳ sóng ở vùng ven bờ trong các trường hợp sóng truyền thẳng góc và truyền xiên góc với đường bờ không thay đổi.

Hàm phân bố độ dài sóng ở vùng ven bờ có thể nhận được bằng cách tính từ hàm phân bố chu kỳ sóng cùng với tỷ số giữa chu kỳ và độ dài sóng tại vùng nước sâu và vùng ven bờ. Hệ số phân bố độ dài sóng  $K_L$  được đưa ra tại bảng 5.5

**Bảng 5.5 Hệ số  $K_L$  và các suất đảm bảo độ dài sóng F%**

$\bar{L}/H$	F%					
	1.0	5.0	10	20	30	50
0	2.52	1.94	1.71	1.44	1.26	0.93
1	2.39	1.91	1.69	1.43	1.26	0.95
2	2.24	1.88	1.68	1.41	1.25	0.97
3	2.04	1.77	1.61	1.38	1.23	0.99
4	1.94	1.69	1.55	1.37	1.22	1.01
5	1.85	1.63	1.51	1.34	1.21	1.02
6	1.80	1.58	1.47	1.32	1.21	1.02
7	1.76	1.56	1.44	1.31	1.20	1.02
8	1.74	1.54	1.41	1.30	1.19	1.02
9	1.72	1.52	1.40	1.29	1.19	1.02
10	1.70	1.51	1.39	1.28	1.19	1.02
11	1.69	1.50	1.39	1.28	1.19	1.02
12	1.68	1.49	1.39	1.28	1.18	1.02
13	1.67	1.49	1.39	1.27	1.18	1.02
14	1.66	1.49	1.39	1.27	1.18	1.02
15	1.65	1.48	1.39	1.26	1.17	1.02

Nếu thay  $\bar{H}/d$  trong (5.18) bằng một hàm  $L^*$  phụ thuộc vào  $2\pi\bar{H}/\bar{L}$  được xác định từ bảng 5.6 thì ta được hàm phân bố độ dài sóng vùng ven bờ.

$$K_H = \frac{\bar{L}}{L} = [-2.932(1 + 0.4L^*) \lg P(L)]^{\frac{1-L^*}{2}} \quad (5.21)$$

Trong đó  $L^*$  được xác định từ bảng 5.6.

**Bảng 5.6** Sự phụ thuộc của tham số  $L^*$  vào  $2\pi H / \bar{L}$

$2\pi H / \bar{L}$	$L^*$	$2\pi H / \bar{L}$	$L^*$	$2\pi H / \bar{L}$	$L^*$
0	0.5	2.5	0.16	5.0	0.020
0.5	0.44	3.0	0.12	5.5	0.010
1.0	0.37	3.5	0.09	6.0	0.000
1.5	0.30	4.0	0.065		
2	0.225	4.5	0.045		

**b. Hàm phân bố các yếu tố sóng trong bão**

Các yếu tố sóng trong thời gian một cơn bão được Matusevsky nghiên cứu. Hàm phân bố độ cao sóng do ông đưa ra có dạng tích của hàm phân bố khi sóng tựa ổn định với mật độ phân bố độ cao sóng trung bình trong cơn bão đã biết:

$$\Phi(H) = \int_0^{H_{\max}} P(H, \bar{H}, d) f(\bar{H}) d\bar{H} \quad (5.22)$$

Trong đó  $H_{\max}$  – độ cao sóng lớn nhất trong bão,  $d$  – độ sâu biển.

Trong thực hành, hàm (5.22) dẫn đến công thức :

$$\Phi(H) = \sum P(H, \bar{H}, d) f(\bar{H}_j) \quad (5.23)$$

Trong đó :  $f(\bar{H}_j) = \frac{T_j(H_j, \Delta H)}{T}$ , ở đây  $T_j(H_j, \Delta H)$  – tổng thời gian có độ cao sóng trung bình trong khoảng  $(\bar{H} - \frac{\Delta H}{2}, \bar{H} + \frac{\Delta H}{2})$ , xác định theo đường cong độ cao sóng,  $T = \sum T_j$  thời gian cơn bão,  $J = \frac{\bar{H}_{\max} - \bar{H}_{\min}}{\Delta H}$ , trong đó  $\bar{H}_{\max}$  và  $\bar{H}_{\min}$  độ cao sóng trung bình lớn nhất và nhỏ nhất trong cơn bão.

Trong tính toán, hàm  $\Phi(H)$  phải cắt giá trị lớn nhất của độ cao  $H_{\max}$  trong cơn bão. Điểm cắt cho:

$$\hat{\Phi}(H) = \frac{\Phi(H) - \Phi(H_{\max})}{1 - \Phi(H_{\max})} \quad (5.24)$$

**5.2 CÁC PHƯƠNG PHÁP TÍNH SÓNG DỰA TRÊN CÁC MỐI TƯƠNG QUAN LÝ THUYẾT VÀ THỰC NGHIỆM GIỮA CÁC YẾU TỐ SÓNG VÀ CÁC YẾU TỐ TẠO SÓNG. QUY PHẠM TÍNH TOÁN SÓNG CỦA VIỆT NAM**

Về căn bản, dự báo sóng yêu cầu áp dụng các mô hình toán học phức tạp, cho phép mô tả sự phát sinh và lan truyền sóng dựa vào trường gió. Khi thực hiện dự báo sóng, người ta xuất phát từ 2 lập luận về sự phát triển sóng gió trong đại dương và biển. Thứ nhất, sự phát triển sóng trong biển liên quan chặt chẽ với trạng thái khí quyển trên đó. Lúc đó năng lượng từ khí quyển truyền cho sóng không chỉ phụ thuộc vào lực gió mà còn vào giai đoạn phát triển sóng, tức là khi đưa ra các phương pháp dự báo ngoài gió ra cần tính đến trường sóng đã hình thành vào thời điểm dự báo. Thứ hai, trường sóng có tính chất quán

tính, tức là khả năng gìn giữ các đặc trưng của nó trong thời gian nào đó. Nếu trên biển đã hình thành chế độ sóng xác định, và nếu không xuất hiện các yếu tố gây nhiễu động như gió mạnh, thì sự thay đổi các đặc trưng sóng chỉ xảy ra sau một vài giờ. Để xác định thời gian trong đó trường sóng có thể coi như không đổi, người ta đã thiết lập tương quan giữa độ cao sóng theo các thời đoạn 6, 12, 18, 24 giờ. Hệ số tương quan tương ứng bằng 0.87, 0.71, 0.35, 0.29. Điều này chứng tỏ rằng, quán tính của sóng tồn tại trong khoảng 12 giờ đầu tiên, sau đó giảm đi và sau 18-24 giờ trường sóng hầu như hoàn toàn dừng lại tương ứng với hình thế synop. Với tính chất quán tính của sóng, thường áp dụng thời gian dự báo là 12h.

Trong thực hành dự báo hải dương, các phương pháp thống kê được sử dụng rộng rãi mà cơ sở của chúng là các công thức kinh nghiệm, thể hiện sự phụ thuộc các yếu tố sóng gió vào yếu tố tạo sóng, trước hết là vận tốc và hướng gió, thời gian tác động, chiều dài đà gió và độ sâu biển. Để tiện lợi cho tính toán chúng được biểu diễn ở dạng các biểu đồ. Dưới đây ta xem xét một số phương pháp đó.

### 5.2.1 Các công thức tính sóng Sverdrup-Munk-Bretschneider

Có thể dự báo độ cao sóng trong nước sâu theo công thức Sverdrup-Munk-Bretschneider (phương pháp SMB), như đã cho trong Hướng dẫn Bảo vệ Bờ, 1984, 2002. Các công thức tính sóng theo tốc độ gió và đà sóng được đưa ra tại bảng 5.3.

**Bảng 5.7 Các công thức tính sóng theo phương pháp SMB**

Sóng đang phát triển	Sóng phát triển hoàn toàn $F > 2.10^4$
$H_s = 0,0016F_*^{0,5} \frac{U^2}{g}$	$H_s = 0,234 \frac{U^2}{g}$
$T_p = 0,286F_*^{0,33} \frac{U}{g}$	$T_p = 8,13 \frac{U}{g}$
$t_d = 68,8F_*^{0,67} \frac{U}{g}$	$t_d = 7,15 \times 10^4 \frac{U}{g}$

Trong đó:  $F_* = gF / U^2$  - đà gió phi thứ nguyên,  $F$  - đà gió (m),  $U = 0,7 V^{1.2}$  - vận tốc gió đã hiệu chỉnh (m/s),  $V$  - vận tốc gió tại 10 m trên mặt nước (m/s),  $H_s$  = độ cao sóng hữu hiệu (m),  $T_p$  - chu kỳ sóng ứng với đỉnh phổ (s),  $t_d$  - thời gian gió thổi (s),  $g$  - gia tốc trọng trường (m/s<sup>2</sup>).

Các công thức trên được biểu thị ở dạng những số hạng vận tốc gió đã hiệu chỉnh  $U$  theo mối quan hệ phi tuyến giữa vận tốc gió  $V$  và ứng suất trượt trên mặt nước. Khi không có dữ liệu vận tốc gió trên mặt nước, có thể sử dụng dữ liệu gió trên mặt đất nhưng lưu ý rằng vận tốc gió trên biển hở có thể lớn hơn (từ 10 tới 20 %) gió trên đất.

#### **Quy trình tính toán:**

1. xác định đà gió  $F$ ,
2. xác định khoảng thời gian gió thổi  $t$ ,
3. xác định đà gió và vận tốc gió trung bình khoảng thời gian đó  $X, V, U$ ,
4. tính toán độ cao sóng, bước sóng và thời gian tăng trưởng  $H_s, T_p, t_d$ ,

5. nếu  $t_d < t$  những giá trị tính toán hợp lý,  
nếu  $t_d > t$  sự tăng trưởng sóng bị hạn chế bởi thời gian tăng trưởng,
6. tính toán đà gió mới, áp dụng  $t_d = t$ ,
7. tính toán độ cao sóng và chu kỳ mới,  $H_s, T_p$ .

### 5.2.2 Các công thức tính sóng GOIN và Soyuzmorproekt

Nhóm nghiên cứu GOIN và Soyuzmorproekt (Liên bang Nga) nhận được các mối quan hệ tin cậy của các yếu tố sóng với yếu tố tạo sóng cho các thủy vực nước sâu và nước nông trên cơ sở lý thuyết thứ nguyên, các dẫn xuất từ phương pháp thống kê và các tương quan thực nghiệm từ số liệu sóng đo đạc bằng phương pháp tự ghi. Các công thức có dạng:

a. nước sâu:

$$\frac{\overline{gH}_x}{V^2} = 0,0042 \left( \frac{gX}{V^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (5.25a)$$

$$\frac{\overline{gH}_t}{V^2} = 0,0013 \left( \frac{gt}{V} \right)^{\frac{5}{12}} \quad (5.25b)$$

$$\frac{\overline{gT}_x}{V} = 0,7 \left( \frac{gX}{V^2} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (5.25c)$$

$$\frac{\overline{gT}_t}{V} = 0,34 \left( \frac{gt}{V} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (5.25d)$$

b. nước nông:

$$\frac{\overline{gH}_d}{V^2} = 0,07 \left( \frac{gd}{V^2} \right)^{\frac{3}{5}} \quad (5.26a)$$

$$\frac{\overline{gT}_d}{V} = 18,7 \left( \frac{gH}{V^2} \right)^{\frac{3}{5}} \quad (5.26b)$$

Trong đó  $\overline{H}$  – độ cao sóng trung bình ;  $\overline{T}$  - chu kỳ sóng trung bình ;  $V$  - vận tốc gió m/s;  $X$ - chiều dài đà gió km;  $d$  - độ sâu biển m;  $g$  – gia tốc trọng trường, các chỉ số dưới  $X, T$  và  $d$  biểu thị sự phụ thuộc vào đà gió, thời gian tác động và độ sâu, tương ứng.

Để thuận tiện cho tính toán, dẫn ra đồ thị thực hành trên hình 5.8. Đường bao phía trên ứng với điều kiện nước sâu. Các đường cong phía dưới nó là với điều kiện nước nông. Sử dụng sơ đồ như sau:

- Theo giá trị vận tốc gió đã cho  $V$ , thời gian tác động  $t$  và chiều dài đà gió  $X$ , xác định các giá trị tham số  $d/V^2$ ,  $t/V$ ,  $X/V^2$  và đưa chúng vào biểu đồ.
- Nếu điểm ứng với giá trị  $t/V$  nằm bên trái điểm ứng với  $X/V^2$ , thì sự phát triển sóng hạn chế bởi thời gian tác động gió, khi đó từ điểm cắt đường  $t/V$  với đường cong  $d/V^2$  kéo ngang sang trái và được các giá trị.

- Nếu điểm ứng với giá trị nằm bên phải điểm ứng với  $t/V$ , thì sự phát triển sóng hạn chế bằng đà gió. Khi đó từ điểm cắt đường  $X/V^2$  với đường cong  $d/V^2$  kéo ngang sang trái và được các giá trị cần thiết.

Các công thức này áp dụng cho các điều kiện vận tốc và hướng gió trong một thời đoạn và một khoảng cách là không đổi. Trong thực hành cho phép thay đổi vận tốc gió không quá 2.5m/s và thay đổi hướng không quá  $45^0$  so với hướng gió chính.

*Quy trình tính toán sóng tại một điểm xác định bao gồm:*

- 1: đánh giá ảnh hưởng của gió lên sóng đang tồn tại (sóng cũ)
- 2: tính toán hệ thống sóng mới, ứng với gió
- 3: xác định độ cao sóng theo kết quả 1 và 2
- 4: đánh giá các yếu tố sóng lừng đến từ vùng khác
- 5: tổng hợp các yếu tố sóng hỗn hợp.

### 5.2.3 Tính toán các yếu tố sóng lừng

Chỉ tiêu tồn tại sóng lừng tại điểm tính toán là thoả mãn bất đẳng thức:

$$\frac{H_G}{V^2} > 0.016 \quad (5.27)$$

Tính toán các yếu tố sóng lừng được xét theo 2 trường hợp:

#### *a. Sóng lừng hình thành do sự yếu dần của vận tốc gió dọc theo đà gió*

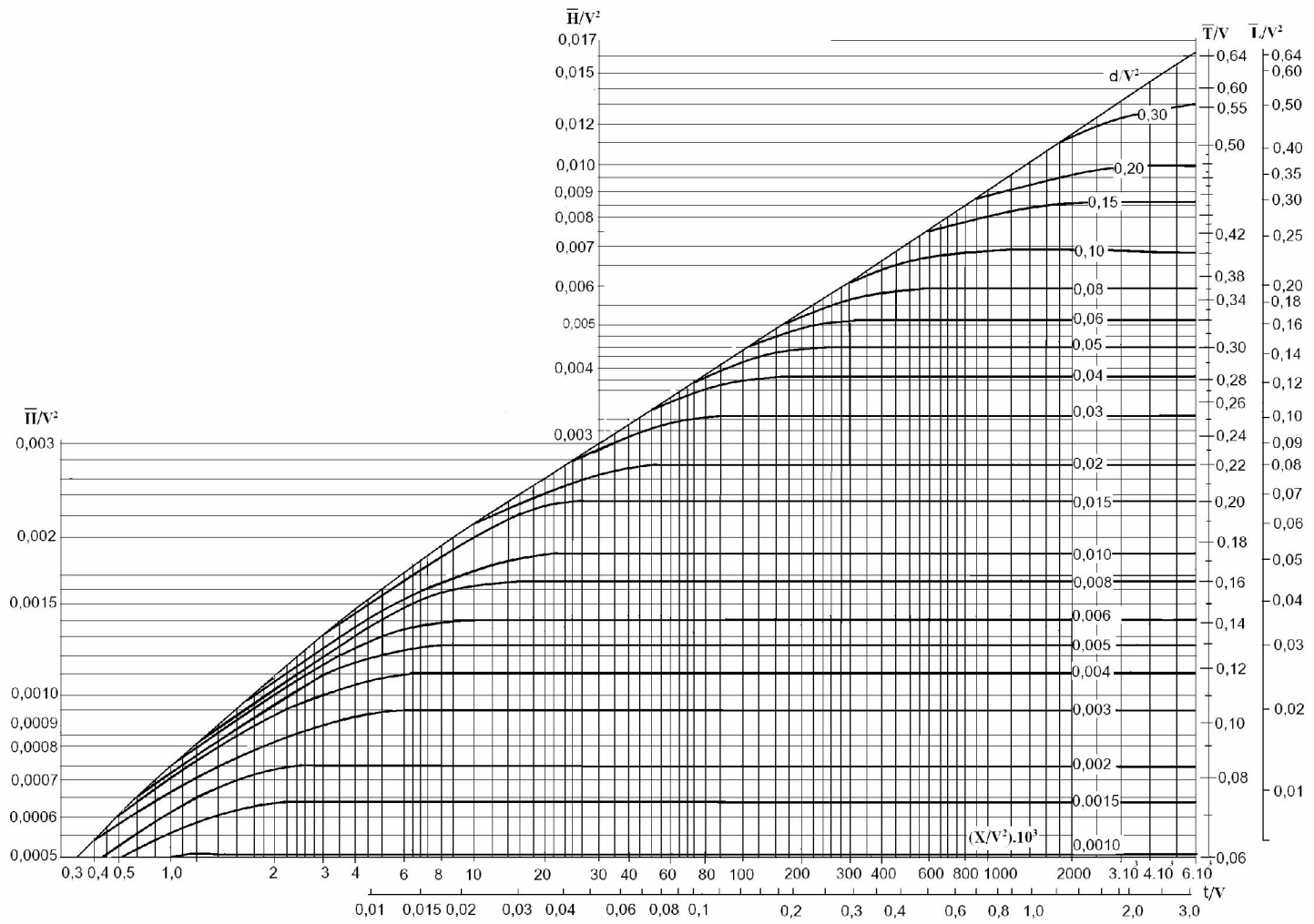
Trong trường hợp này, đà gió được chia ra các đoạn  $\Delta X_1, \Delta X_2, \dots, \Delta X_n$  theo hướng từ khu vực gió tác động đến điểm tính sao cho trên mỗi đoạn vận tốc gió không thay đổi quá 4m/s. Với mỗi đoạn xác định vận tốc gió trung bình  $\bar{V}_1, \bar{V}_2, \dots, \bar{V}_n$ . Điểm cuối của đoạn cuối cùng cần trùng với điểm tính toán. Với tốc độ gió  $\bar{V}_1$  và đà sóng  $\Delta X_1$  sẽ tính được  $\bar{H}_1$  (sử dụng hình 5.8), sau đó kiểm tra bất đẳng thức (5.27) trong đó  $H_G$  là  $\bar{H}_1$  và tốc độ gió là  $\bar{V}_2$  nếu không thoả mãn thì tiếp tục tính sóng cho đoạn  $\Delta X_2$  (cần tính đến trường sóng đã có từ cuối đoạn  $\Delta X_1$ , ví dụ bằng cách tính đoạn đà phụ). Tiếp tục tính cho đến khi kiểm tra thấy thoả mãn bất đẳng thức (5.27). Ví dụ tại cuối đoạn đà  $\Delta X_m$  kiểm tra  $\bar{H}_m$  và  $\bar{V}_{m+1}$  thấy thoả mãn (5.27), lúc đó cần tính sóng lừng truyền từ vị trí cách điểm tính sóng khoảng cách là  $D = \sum_{i=m+1}^n \Delta X_i$  và với độ cao và chu kỳ sóng gió là  $\bar{H}_m$  và  $\bar{T}_m$ . Trên

biểu đồ qua điểm  $T_G$  ở thang thẳng đứng bên trái kẻ một đường thẳng ngang, qua điểm D ở đường thẳng ngang phía trên (*Khoảng cách từ tâm bão Xkm*) kẻ một đường thẳng đứng. Qua điểm cắt hai đường trên kẻ một đường thẳng song song với hệ các đường xiên trên biểu đồ cho đến khi cắt trục nằm ngang phía trên và sau đó kéo thẳng lên trên cho đến khi cắt đường cong I và II. Theo đường cong I tìm được hệ số giảm độ cao  $\frac{\bar{H}_L}{\bar{H}_G}$ , còn theo

đường cong II là hệ số tăng chu kỳ  $\frac{\bar{T}_L}{\bar{T}_G}$  (trục thẳng đứng bên phải). Từ đó dễ dàng xác

định được các giá trị  $\bar{H}_L$  và  $\bar{T}_L$  cho điểm tính toán. Trong thực tế tính toán sóng lừng thường không gặp trường hợp phức tạp như đã nêu mà chúng ta chỉ cần tính sóng lừng truyền từ tâm bão đến vị trí cách tâm bão một khoảng cách D cho trước.





Hình 5.8 Biểu đồ GOIN tính các tham số sóng vùng nước sâu và ven bờ



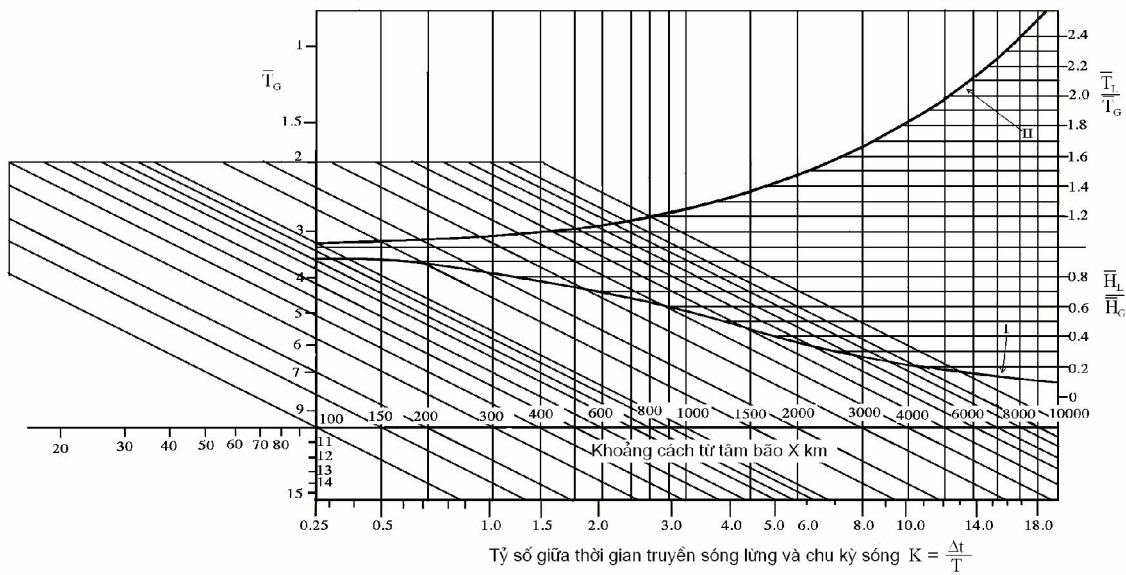
**b. Sóng lừng hình thành do sự giảm đột ngột vận tốc gió theo thời gian**

Trong trường hợp này chúng ta sẽ biết các yếu tố sóng  $\bar{H}_G$  và  $\bar{T}_G$  tại thời điểm gió giảm tốc độ và thời gian cần tính  $\Delta t$  là thời gian tính từ thời điểm gió giảm tốc độ đến thời điểm cần tính. Lúc đó sử dụng đường ngang phía dưới của biểu đồ (5.9), xác định hệ số K (Tỷ số giữa thời gian truyền sóng lừng và chu kỳ sóng). Với giá trị K xác định được, kéo thẳng lên gặp hai đường cong I và II.

Nếu vận tốc gió tại điểm tính toán khác 0, tại đó sẽ có sóng gió ứng với gió địa phương. Sau khi xác định được độ cao sóng lừng và sóng gió địa phương độ cao sóng trung bình hỗn hợp có thể xác định theo công thức

$$\bar{H} = \sqrt{\bar{H}_{gio}^2 + \bar{H}_{lung}^2} \tag{5.28}$$

Để thuận tiện cho tính toán cũng có thể sử dụng các bảng 5.8, 5.9. Theo bảng 5.9, biết độ cao sóng khởi điểm tại nguồn tạo sóng lừng, có thể dễ dàng xác định khoảng cách sóng lừng đi qua sau thời gian t, và độ cao sóng lừng tại cuối khoảng cách này. Biết được khoảng cách sóng lừng đi qua sau thời gian t, có thể xác định xác suất đi qua điểm tính toán của nó.



**Hình 5.9** Biểu đồ tính toán các giá trị sóng lừng theo sóng gió

**5.2.4 Tính toán các yếu tố sóng trong bão nhiệt đới**

Bão nhiệt đới đặc trưng bởi gió rất mạnh và độ cao sóng lớn, đạt 10m hoặc hơn. Sự phát sinh sóng trong khu vực bão nhiệt đới xảy ra cũng theo các quy luật như trong các xoáy thuận ôn đới. Hiện tại có nhiều phương pháp tính toán sóng và gió trong các khu vực bão nhiệt đới. Có thể sử dụng hình 5.5 và 5.6 để đưa ra các tính toán gần đúng độ cao sóng cực đại và phân bố của nó trong các cơn bão. Để tính các yếu tố sóng trong bão theo các công thức thực nghiệm người ta thường sử dụng phương pháp Bretschneider. Dưới đây đưa ra các công thức xuất phát tính toán độ cao và chu kỳ sóng trong biển sâu.

**Bảng 5.8** Khoảng cách (D km, tử số), trên đó sóng lừng phát triển sau thời gian t và độ cao sóng lừng (H m, mẫu số) vào cuối khoảng cách đó

Độ cao sóng lừng khởi điểm (m)	t (giờ)				
	6	12	18	24	30
10	205/8.0	405/6.4	650/5.2	880/4.4	1110/4.0
9	185/7.2	370/5.8	575/4.9	795/4.1	1035/3.4
8	165/6.4	335/5.2	510/4.6	705/3.8	915/3.3
7	150/5.6	295/4.6	445/4.2	620/3.5	780/3.2
6	120/4.8	250/4.1	380/3.7	535/3.2	685/2.8
5	95/4.0	205/3.5	315/3.1	445/2.9	555/2.5
4	74/3.2	165/2.8	260/2.6	350/2.3	445/1.9
3	55/2.3	130/2.0	205/1.7	280/1.5	335/1.3
2	35/1.5	95/1.3	140/0.8	185/0.7	- / -

**Bảng 5.9** Giá trị xác suất lớn nhất của độ cao sóng tắt dần H tại một điểm theo các thời đoạn t khác nhau

Độ cao sóng lừng khởi điểm (m)	t (giờ)				
	6	12	18	24	30
10	8.3	6.8	5.9	5.2	4.6
9	7.5	6.2	5.5	4.7	3.9
8	6.7	5.6	5.1	4.3	3.6
7	5.9	5.1	4.4	3.7	3.0
6	5.1	4.4	4.0	3.2	2.8
5	4.3	3.6	3.2	2.8	2.4
4	3.3	2.9	2.6	2.4	2.2
3	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9
2	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3

a. Độ cao và chu kỳ sóng cực đại trong bão:

$$H_s = 5.03e^{\frac{R\Delta P}{4700}} \left[ 1 + \frac{0.29xV_F}{\sqrt{U_R}} \right] \quad (5.29)$$

$$T_s = 8.6e^{\frac{R\Delta P}{9400}} \left[ 1 + \frac{0.145xV_F}{\sqrt{U_R}} \right] \quad (5.30)$$

với:

- H<sub>s</sub> - Độ cao sóng hữu hiệu [m],
- T<sub>s</sub> - Chu kỳ sóng hữu hiệu [s],
- R - Bán kính gió cực đại [Km],

$\Delta$  - Độ chênh lệch áp suất giữa áp suất nền và tâm bão:  $\Delta P = P_n - P_0$

$P_n$  - Áp suất nền [mb],

$P_0$  - Áp suất tâm bão [mb],

$V_F$  - Tốc độ chuyển động của bão [m/s],

$U_R$  - Tốc độ gió cực đại [m/s],

$$U_R = 0.865U_{\max} \quad \text{Bão dừng} \quad (5.31)$$

$$U_R = 0.865U_{\max} + 0.5V_F \quad \text{Bão chuyển động} \quad (5.32)$$

$U_{\max}$  - Tốc độ gió gradient cực đại tại độ cao 10m trên mặt biển

$$U_{\max} = 0.447 \left[ 14.5(P_n - P_0)^{1/2} - R(0.31f) \right] \quad (5.33)$$

$f$  - Tham số Coriolis [rad/h]

Vĩ độ ( $\phi$ )	25°	30°	35°	40°
$f$ [rad/h]	0.221	0.262	0.300	0.337

$\alpha$  - Hệ số phụ thuộc vào tốc độ chuyển động của bão và sự tăng của đà sóng hiệu dụng do bão chuyển động. Với bão chuyển động chậm  $\alpha=1.0$ .

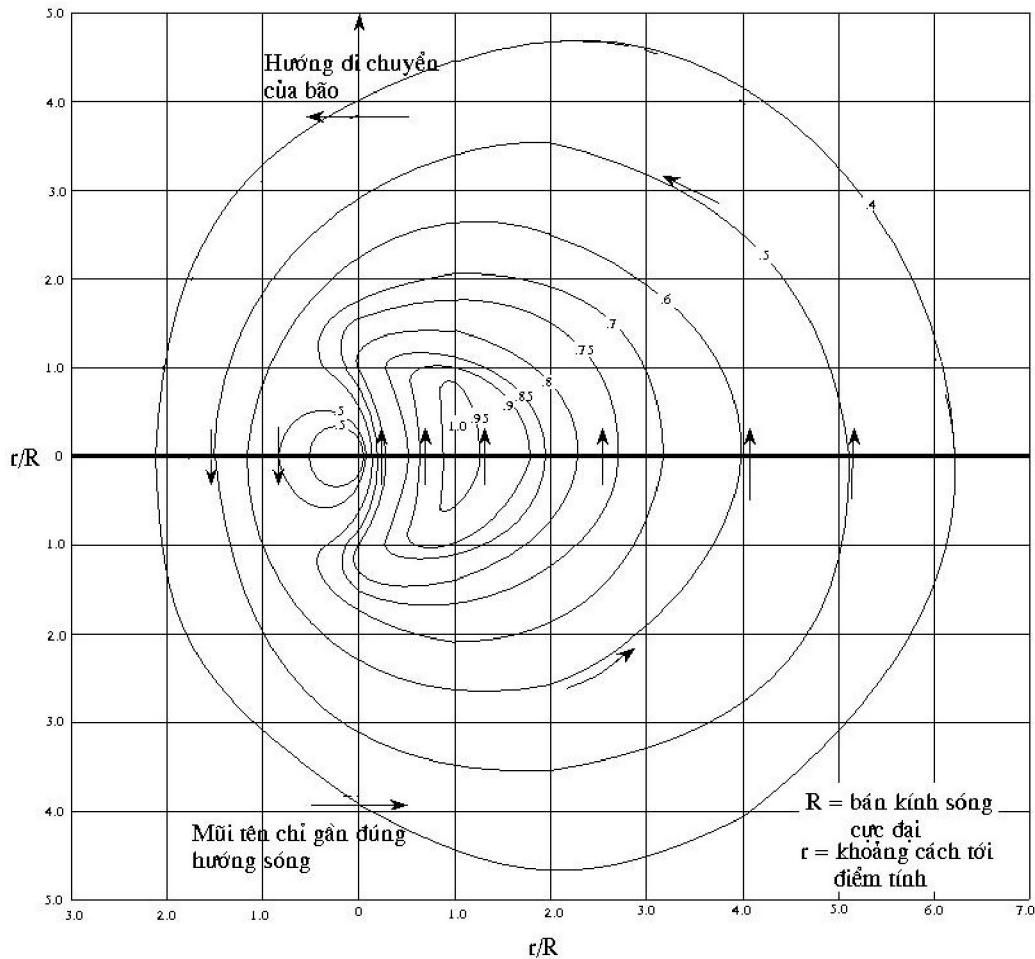
#### **b. Phân bố độ cao sóng trong bão**

Phân bố độ cao sóng cực đại tính theo (5.29) trong cơn bão có thể nhận được từ hình 5.10.

### **5.2.5 Quy phạm tính toán sóng của Việt Nam**

Các công thức tính toán sóng nêu trên được cho trong cẩm nang thực hành “Hướng dẫn tính toán các tham số sóng gió” và là tiêu chuẩn tính toán tải trọng sóng của Liên bang Nga, đồng thời cũng được kiến nghị sử dụng trong “Sổ tay Bảo vệ Bờ” của Hoa Kỳ. Hiện nay để tiện lợi cho sử dụng người ta viết các phần mềm máy tính cho phép tính toán các đặc trưng sóng, ví dụ chương trình CRESSWIN của Viện Thủy lực Delft, Hà Lan có thể sử dụng cho quy hoạch và thiết kế công trình biển.

Việt Nam là nước có hơn 3200km đường biển và rất nhiều công trình nằm trên bờ biển và ngoài khơi như cảng, luồng tàu, dàn khoan, đê chắn sóng, kè... Vì vậy công tác dự báo sóng không chỉ là nhiệm vụ của ngành Khí tượng Thủy văn mà thu hút sự quan tâm của các ngành khác như xây dựng, giao thông, thủy lợi. Để tính toán các đặc trưng sóng cho thiết kế hiện nay có 2 quy phạm chính: a) *22-TCN-222-95: Tải trọng và tác động (do sóng và do tàu) trên công trình thủy* của ngành giao thông, và b) *QP.TL.C-1-78: Tải trọng và lực tác dụng lên công trình thủy lợi (do sóng và tàu)* của ngành thủy lợi. Thực chất các quy phạm này thừa kế những nội dung trong SNIP (Tiêu chuẩn dùng trong xây dựng của Liên Xô cũ). Tuy các tiêu chuẩn này được thành lập đã lâu, nhưng do tính khoa học chặt chẽ của SNIP cũng như sự phù hợp của chúng với điều kiện Việt Nam, các quy phạm dựa theo SNIP này vẫn được ứng dụng rộng rãi. SNIP được xem xét và bổ sung sau 10 năm, tuy nhiên phần tính toán các đặc trưng sóng hầu như không thay đổi đáng kể.



**Hình 5.10 Phân bố trường sóng trong tâm bão theo phương pháp Bretschneider**

Trong thực hành dự báo sóng cần xét đến các đặc điểm khác nhau về sự phát triển sóng trong vùng này hay vùng khác của biển và đại dương, số liệu ban đầu, các điều kiện địa lý, vật lý. Cần phân biệt dự báo trong nước nông và nước sâu, vì sự phát triển và tắt dần sóng trong nước nông và nước sâu là khác nhau. Sau khi phân loại các hình thể áp suất và gió, tính toán được các yếu tố sóng: độ cao, chu kỳ. Các yếu tố sóng tính toán từ các quy phạm nêu trên là cho điều kiện sóng phát triển hoàn toàn, ứng với một tần suất nhất định mà công trình phải đảm bảo theo chỉ tiêu thiết kế. Các nội dung chính trong quy phạm như sau:

- Các nguyên tắc chung
- Các yếu tố của sóng ở các vịnh nước hỏ và được ngăn chắn
- Tải trọng và tác động sóng lên các công trình thuỷ có biên dạng thẳng đứng và nghiêng
- Tải trọng do tàu (công trình nổi) lên công trình thuỷ

Trong quy phạm này, phần ta quan tâm là tính toán các yếu tố sóng. Phần này bao gồm các mục:

- Các mục nước tính toán

- Các đặc trưng tính toán của gió
- Các yếu tố của sóng ở vùng nước sâu
- Các yếu tố của sóng ở vùng nước chuyển tiếp
- Các yếu tố của sóng ở vùng nước nông
- Các yếu tố của sóng ở vùng sóng đổ
- Các yếu tố của sóng ở vùng nước được che chắn.

Phương pháp tính toán đã được trình bày ở mục 5.2.2.

### 5.3 CÁC MÔ HÌNH TÍNH SÓNG VÙNG VEN BỜ DỰA TRÊN PHƯƠNG PHÁP GIẢI PHƯƠNG TRÌNH LAN TRUYỀN SÓNG

Chương II đã đưa ra các quá trình biến đổi các yếu tố sóng khi truyền từ vùng nước sâu vào vùng ven bờ. Trong hai mục 5.1, 5.2 của chương này đã nêu các phương pháp tính sóng theo các công thức tương quan giữa các yếu tố sóng và các yếu tố tạo sóng. Việc tính toán trường sóng khi các yếu tố tạo sóng biến đổi phức tạp, đặc biệt là đối với các vùng bờ biển phức tạp, địa hình đáy biển biến đổi mạnh, có các vật cản (tự nhiên và công trình nhân tạo) theo các phương pháp đã nêu sẽ tốn nhiều thời gian, độ chính xác kém và trong nhiều trường hợp không thể tính toán chi tiết được sự biến đổi của các yếu tố tạo sóng theo không gian và thời gian. Với các trường hợp phức tạp nêu trên để tính toán các yếu tố sóng vùng ven bờ, hiện nay thường sử dụng phương pháp tính toán số trên cơ sở phương trình lan truyền sóng. Hiện nay có rất nhiều các mô hình tính sóng được công bố rộng rãi trên các sách, tài liệu chuyên môn và Internet về công nghệ biển, tuy nhiên việc sử dụng loại mô hình nào là phù hợp với yêu cầu tính toán trường sóng ven bờ là một vấn đề rất quan trọng, phụ thuộc vào từng loại yêu cầu cụ thể và đặc biệt là phụ thuộc vào các số liệu đầu vào như độ phân giải của bản đồ độ sâu, số liệu trường gió hiện có, các đặc trưng của trường sóng ban đầu và trường sóng tại biên ngoài khơi.

**Bảng 5.10** Hướng dẫn sử dụng các mô hình tính sóng

Đặc điểm khu vực và trường sóng	Mô hình tính sóng				
	ACES	NMLONG	RCPWAVE	REFDIF	STWAVE
Địa hình đáy đồng nhất	được	được	được	được	được
Địa hình phức tạp, sóng lừng, không có công trình	không được	không được	được	được	được
Địa hình phức tạp, sóng lừng, có công trình	không được	không được	không được	được	được
Địa hình phức tạp, sóng có phổ hướng phức tạp, nhưng dải phổ hẹp	không được	không được	không được	được	được
Địa hình phức tạp, sóng gió đang phát triển hay có dải phổ rộng	không được	không được	không được	không được	được
Địa hình phức tạp, tính sóng chi tiết tại sát công trình	không được	không được	không được	được	không được

Trong đó:

ACES	hệ thống công nghệ ven bờ
NMLONG	mô hình số tính dòng chảy dọc bờ
PCPWAVE	mô hình trường sóng ven bờ địa phương
REPDIF	mô hình tổng hợp khúc xạ và nhiễu xạ
STWAVE	mô hình tính sóng ổn định theo phương pháp phổ

Trên bảng 5.10 [4] đưa ra hướng dẫn sơ bộ để chọn các mô hình tính sóng theo các đặc trưng địa hình đáy biển, các đặc trưng của trường sóng và đặc điểm khu vực tính (công trình biển vv..). Dưới đây chúng ta sẽ đề cập đến một số các mô hình tính sóng ven bờ hiện đang được sử dụng trong tính toán dự báo trường sóng vùng ven bờ: mô hình RCPWAVE, STWAVE và SWAN.

Trong các mô hình nêu tại bảng 5.10 các mô hình ACES và NMLONG sử dụng giả định các đường đẳng sâu song song tại khu vực ven bờ.

### 5.2.1 Mô hình RCPWAVE

#### a, Trường sóng vùng biến dạng

Phương trình truyền sóng trên đáy biển có độ dốc thoải (2.81) viết dưới dạng elliptic đã được chuyển sang dạng xấp xỉ parabolic (2.95):

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = \left[ ik - \frac{1}{2kCC_g} \frac{\partial}{\partial x} (kCC_g) \right] \phi + \frac{1}{2kCC_g} \frac{\partial}{\partial y} \left( CC_g \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) \quad (5.34)$$

với:

$x, y$  - trục tọa độ tính,

$C(x,y)$  - tốc độ pha của trường sóng,

$C_g(x,y)$  - tốc độ nhóm của trường sóng,

$k(x,y)$  - số sóng  $\sigma^2 = gk \tanh(kd)$ ,

$\sigma$  - tần số góc của trường sóng  $\sigma = 2\pi/T$ ,

$T$  - chu kỳ sóng (được coi là không đổi khi sóng truyền vào bờ),

$n$  - tỷ số giữa tốc độ nhóm và tốc độ pha  $n = C_g/C$ ,

$\psi$  - biên độ sóng dạng số phức  $\psi = ae^{ix}$ ,

$a$  - biên độ sóng  $a(x,y) = gH(x,y)/2\sigma$ ,

$H(x,y)$  - độ cao sóng,

$\chi(x,y)$  - hàm pha sóng  $\chi = kx - \sigma t$ ,

$i$  - số ảo ( $i = \sqrt{-1}$ ).

Dưới dạng xấp xỉ parabolic, chúng ta giả định rằng sóng truyền theo trục  $x$  có nghĩa là trục tọa độ  $y$  gần như song song với các đường truyền sóng chính. Giả định này sẽ gây ra sai số khi tính toán trường sóng tại các khu vực phức tạp và có hướng chính không chiến ưu thế rõ ràng. Mô hình RCPWAVE tính đến các hiệu ứng biến dạng, khúc xạ và nhiễu xạ bỏ qua thành phần phản xạ. Thế biên độ sóng dạng số phức:  $\psi = ae^{ix}$ , vào



(5.34) và giải tách biệt đối với phần thực và phần ảo ta có các phương trình tương tự như (2.97) (2.98).

$$\frac{1}{a} \left\{ \frac{\partial^2 a}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 a}{\partial y^2} + \frac{1}{cc_g} [\nabla a \cdot \nabla (cc_g)] \right\} + k^2 - |\nabla \chi|^2 = 0 \quad (5.35)$$

$$\nabla \cdot (a^2 cc_g \nabla \chi) \quad (5.36)$$

với:  $\nabla$  - là toán tử gradient ngang.

Các phương trình (5.35), (5.36) mô phỏng tác động của các hiệu ứng khúc xạ và nhiễu xạ khi sóng truyền vào vùng bờ. Phương trình (5.36) cho thấy năng lượng sẽ truyền theo hướng vuông góc với đỉnh sóng. Hiện ứng nhiễu xạ sẽ làm thay đổi hàm pha sóng do gradient đáng kể của độ cao sóng và độ cong của tia sóng (chúng ta gọi là nhiễu xạ). Các hiệu ứng này sẽ làm cho hướng cục bộ của tia sóng biến đổi. Nếu bỏ qua hiệu ứng nhiễu xạ các phương trình (5.35), (5.36) sẽ đơn giản là mô phỏng hiệu ứng khúc xạ trong đó số sóng biểu thị cho độ lớn gradient của hàm pha sóng. Với giả định trường sóng tuyến tính, gradient của hàm pha sóng là đại lượng không xoáy, ta có:

$$\nabla \chi (\nabla \chi) = 0 \quad (5.37)$$

Phương trình (5.37) được viết dưới dạng vectơ:

$$\nabla \chi = |\nabla \chi| \cos \theta \vec{i} + |\nabla \chi| \sin \theta \vec{j} \quad (5.38)$$

với  $\vec{i}$  và  $\vec{j}$  là các vectơ đơn vị theo trục x và y  $\theta(x,y)$  là hướng sóng địa phương.

Kết hợp (5.37) và (5.38) ta được:

$$\frac{\partial}{\partial x} (|\nabla \chi| \sin \theta) - \frac{\partial}{\partial y} (|\nabla \chi| \cos \theta) = 0 \quad (5.39)$$

Nếu biết được gradient của pha sóng có thể xác định hướng sóng theo phương trình (5.39). Cũng tương tự như vậy có thể đưa  $\nabla \chi$  từ (5.38) vào (5.36) ta có:

$$\frac{\partial}{\partial x} (a^2 CC_g |\nabla \chi| \cos \theta) + \frac{\partial}{\partial y} (a^2 CC_g |\nabla \chi| \sin \theta) = 0 \quad (5.40)$$

Phương trình này cho phép tính được hàm biên độ sóng nếu biết  $\nabla \chi$  và  $\theta(x,y)$ , và từ đó xác định được độ cao sóng. Các phương trình (5.35), (5.39), (5.40) biểu thị tác động tổng hợp của các hiệu ứng khúc xạ và nhiễu xạ đối với lý thuyết sóng tuyến tính và giả định độ dốc đáy nhỏ, bỏ qua sóng phản xạ và có hiệu lực ở ngoài vùng sóng đổ. Các phương trình trên được giải bằng phương pháp số. Các đạo hàm riêng trong các phương trình trên được xấp xỉ gần đúng bằng sơ đồ sai phân hữu hạn với các bước lưới theo trục x và y tùy ý. Góc trục tọa độ trong mô hình RCPWAVE được lấy trên bờ với trục y gần như song song với đường bờ trục x gần như vuông góc với đường bờ. Hướng sóng truyền từ vùng nước sâu vào được quy ước có góc 0 độ vuông góc với trục x theo hướng ngược với chiều dương của trục x. Từ góc 0 độ này, góc truyền sóng sẽ dương theo chiều ngược chiều kim đồng hồ và âm nếu theo chiều kim đồng hồ, (xem hình 5.11).

- Các số liệu đầu vào bao gồm trường độ sâu tại các điểm lưới, độ cao sóng vùng nước sâu  $H_0$ , hướng sóng vùng nước sâu  $\theta_0$  và chu kỳ sóng T. Số sóng (k) sẽ được tính gần đúng tại tất cả các điểm nút lưới tính thông qua chu kỳ sóng và hệ thức phân tán

( $\left[\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = gk \tanh kd\right]$ ). Từ đó cũng sẽ có được tốc độ pha và tốc độ nhóm của trường sóng

tại các điểm nút.

- Từ định luật Snell

$$\frac{\sin \theta}{C} = \frac{\sin \theta_0}{C_0} \quad (5.41)$$

Với  $C_0$  là tốc độ pha của trường sóng vùng nước sâu. Giả định là các đường đẳng sâu song song với trục  $y$ , tính ước lượng ban đầu hướng sóng tại các điểm nút. Trong trường hợp nếu đường bờ tạo thành một góc  $\theta_c$  với trục  $y$  thì hướng sóng  $\theta$  sẽ được tính toán gần đúng theo:

$$\theta = \pi - \sin^{-1} \left( \frac{\sin(\theta_0 - \theta_c)}{\frac{C_0}{C}} \right) + \theta_c \quad (5.42)$$

Với  $\theta_c$  dương theo hướng ngược chiều kim đồng hồ và âm theo chiều kim đồng hồ (xem hình 5.11).

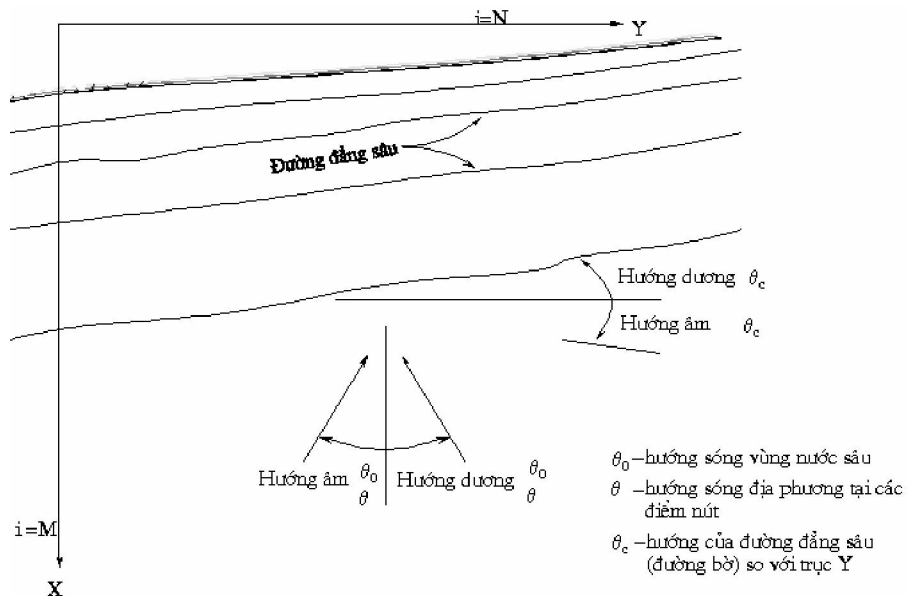
Sau đó sẽ ước lượng gần đúng độ cao sóng tại các điểm nút theo:

$$H = H_0 K_r K_S \quad (5.43)$$

với:

$$K_r = \left( \frac{\cos \theta_0}{\cos \theta} \right)^{1/2} \quad (5.44)$$

$$K_S = \left[ \frac{1}{\left( 1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right) \tanh(kd)} \right]^{1/2} \quad (5.45)$$



Hình 5.11 Hệ tọa độ và hướng sóng quy ước trong mô hình RCPWAVE

Sau khi có được các tham số sóng ước lượng gần đúng tại các điểm tính sẽ tiến hành tính toán trường sóng từ các hàng  $i = M-3$  và cho các cột từ  $j=2$  đến  $j=N-1$ . Đối với mỗi hàng sẽ tính độ cao và hướng sóng theo phương pháp lặp với chỉ tiêu của hướng là 0.0005 rad và độ cao 0.0003 m. Để tính toán được hiệu ứng nhiễu xạ cần tính được giá trị chính xác của gradient pha sóng, sử dụng sơ đồ sai phân lùi theo trục x. Sau đó tính toán lại độ cao và hướng sóng sử dụng các số sóng mới. Các tính toán này sẽ thực hiện theo phương pháp lặp dọc theo mỗi hàng cho đến khi tính được tất cả các số sóng từ các hàng  $i= M-3$  đến  $i=1$ . Sau đó sẽ sử dụng phương pháp lọc của Sheng, Segur và Lewellen (1978) để lọc các kết quả tính toán cho các hàng từ  $i = M-3$  đến  $i= 2$  với mục đích loại trừ các nhiễu động về số sóng do sử dụng các sơ đồ tính khác nhau.

Tại các biên lỏng, các hàng được giả định là tất cả các yếu tố sóng tại các biên tính toán sẽ không đổi tại  $j = 1$ ;  $j = 2$  và  $j = N$ ;  $j =N-1$ . Điều kiện biên này có nghĩa là tại các biên lỏng các yếu tố sóng theo trục y không thay đổi. Tại biên vùng nước sâu được giả định là các đường đẳng sâu từ biên  $i=M$  đến vùng nước sâu là thẳng và song song với góc tạo giữa đường bờ và trục y ( $\theta_c$ ). Nói một cách khác từ vùng nước sâu đến biên của vùng tính sẽ sử dụng định luật Snell để tính các yếu tố sóng với giả định các đường đẳng sâu nằm song song với nhau và tạo với trục y một góc nhất định ( $\theta_c$ ). Không cần các điều kiện biên tại biên cứng ( $i=1$ ) vì sử dụng sơ đồ tiến.

#### ***b. Trường sóng trong vùng sóng đổ***

+ Xác định điểm sóng đổ:

Điểm sóng đổ được xác định theo phương pháp của Weggel đưa ra năm 1972

$$H_b = \frac{\bar{b}d_p}{1 + \frac{ba}{gT^2}} \quad (5.46)$$

với:

$$\bar{a} = 43.75[1 - e^{(-19m)}]$$

$$\bar{b} = 1.56/[1 + e^{(-19.5m)}]$$

m - độ dốc đáy

Sau khi sóng đổ cần phải tính toán trường sóng lan truyền trong vùng sóng đổ. Tiêu hao dòng năng lượng sóng trong vùng sóng đổ được tính theo:

$$\frac{\partial(EC_g)}{\partial x} = \frac{-\kappa}{d} [EC_g - (EC_g)_x] \quad (5.47)$$

với:  $\kappa$  - hệ số tiêu hao năng lượng trong vùng sóng đổ ( $\kappa=0.2$  trong tính toán),

$(EC_g)_x$  - dòng năng lượng ổn định của trường sóng trong vùng sóng đổ.

Vế phải của (5.47) biểu thị sự tiêu hao năng lượng sóng trong vùng sóng đổ. Sử dụng lý thuyết sóng tuyến tính đối với năng lượng sóng ( $E = \frac{1}{8}\rho gH^2$ ), thay vào (5.47) ta có:

$$\frac{\partial(H^2C_g)}{\partial x} = \frac{-\kappa}{d} (H^2c_g)_x \quad (5.48)$$

Từ các kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy ở trong vùng sóng đồ độ cao sóng sẽ đạt với giá trị ổn định dưới dạng:

$$H_s = \gamma d \quad (5.49)$$

với:  $H_s$  - độ cao sóng ổn định

$\gamma$  - hệ số tỷ lệ ( $\gamma = 0.4$ )

Thay vào (5.48) ta có

$$\frac{\partial(H^2 c_g)}{\partial x} = \frac{-\kappa}{d} [H^2 c_g - (\gamma^2 d^2 c_g) \chi] = D \quad (5.50)$$

Thay hàm tiêu tán năng lượng D vào vế phải của (5.36) sau khi được nhân với tốc độ pha và gradient của pha sóng và thay độ cao sóng bằng hàm biên độ (để phù hợp về thứ nguyên) ta có:

$$\nabla \cdot (a^2 C C_g \nabla \chi) = \frac{-\kappa}{d} \left\{ a^2 C C_g |\nabla \chi| - \left[ \left( \frac{g}{2\sigma} \right)^2 \gamma^2 d^2 C C_g |\nabla \chi| \right] \chi \right\} \quad (5.51)$$

Phương trình (18) có thể đúng cho cả vùng ngoài đới sóng vỡ. Ngoài đới sóng vỡ  $k=0$  và (5.51) trở thành (5.36). Trong đới sóng vỡ bỏ qua hiệu ứng nhiễu xạ.

Phương pháp RCPWAVE có nhược điểm lớn nhất là cho các kết quả tính sóng không được chính xác khi các tia sóng cắt nhau phía sau các vật cản như đảo, đê chắn sóng, hoặc ngay tại các vị trí sát các công trình (xem bảng 5.11). Do sử dụng phương trình truyền sóng trên vùng có độ dốc thoải dạng parabolic, hướng truyền sóng cũng không được quá khác so với hướng thịnh hành, có nghĩa là hướng truyền sóng không được quá chéo góc với đường bờ biển.

### 5.2.2 Mô hình STWAVE

Mô hình STWAVE là mô hình tính lan truyền sóng từ vùng nước sâu vào vùng ven bờ trên cơ sở phương trình lan truyền sóng dạng elliptic đối với đáy thoải. Các tính toán được thực hiện với các thành phần phổ sóng theo các hướng từ  $\pi/2$  đến  $-\pi/2$  (phổ lan truyền 1/2 vòng tròn). Trường sóng được coi là ổn định và tính đến quá trình trao đổi năng lượng từ gió cho sóng trong khi truyền cũng như tương tác giữa sóng và dòng chảy.

#### a. Các phương trình tính toán lan truyền sóng trong mô hình STWAVE

Tương tác giữa sóng và dòng chảy được xác định khi sóng truyền trên một nền dòng chảy. Các tham số sóng trên nền đó được ký hiệu là  $r$  gọi là tương đối với dòng chảy, còn các tham số sóng tuyệt đối là  $a$ . Phương trình khuếch tán sóng trên nền tương đối là:

$$\omega_r^2 = gk \tanh kd \quad (5.52)$$

Trong hệ tuyệt đối, phương trình này có dạng:

$$\omega_a = \omega_r + kU \cos(\delta - \alpha) \quad (5.53)$$

với:  $U$  - tốc độ dòng chảy,

$\delta$  - hướng của dòng chảy so với trục  $x$ ,

$\alpha$  - hướng truyền sóng (xem hình 5.12).

Số sóng được tính bằng phương pháp lặp khi thay các yếu tố của phương trình (5.52) vào phương trình (5.53). Để tính toán các hiệu ứng khúc xạ và nước nông cần có tốc độ pha của sóng,  $C$ , và tốc độ nhóm,  $C_g$  trong cả hai nền chuyển động. Trong nền chuyển động tương đối đối với dòng chảy ta có:

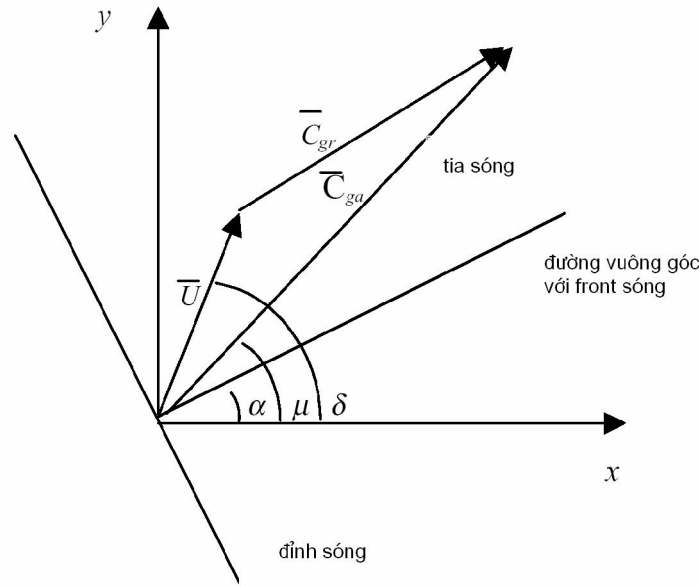
$$C_r = \frac{\omega_r}{k} \quad (5.54a)$$

$$C_{gr} = 0.5C_r \left( 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \quad (5.54b)$$

Hướng của tốc độ pha và nhóm là  $\alpha$ . Trên nền tuyệt đối ta có:

$$C_a = C_r + U \cos(\delta - \alpha) \quad (5.55)$$

$$(C_{gra})_i = (C_{gr})_i + (U)_i \quad (5.56)$$



**Hình 5.12 Sơ đồ tính sóng trong trường dòng chảy**

với  $i$  biểu thị giá trị tensor của các thành phần  $x$  và  $y$ . Hướng của tốc độ pha tuyệt đối trùng với hướng tia sóng. Tốc độ nhóm tuyệt đối sẽ xác định hướng của tia sóng do vậy tia sóng trên hình 5.12 được xác định như sau:

$$\mu = \tan^{-1} \left( \frac{C_{gr} \sin \alpha + U \sin \delta}{C_{gr} \cos \alpha + U \cos \delta} \right) \quad (5.57)$$

Sự khác nhau giữa hướng tia sóng và hướng vuông góc với front sóng là cơ sở để giải thích quá trình tương tác giữa sóng và dòng chảy. Nếu không có dòng chảy hai hướng này trùng với nhau, khi có dòng chảy hướng truyền năng lượng sóng sẽ dọc theo tia sóng còn hướng truyền sóng dọc theo hướng vuông góc với front sóng. Hướng này được xác định theo:

$$C_{gra} \frac{\partial \alpha}{\partial R} = - \frac{C_r}{\sinh 2kd} \frac{\partial d}{\partial n} - \frac{k_i}{k} \frac{\partial U}{\partial n} \quad (5.58)$$

với: R - tọa độ theo hướng của tia sóng,

n - tọa độ theo hướng vuông góc với front sóng.

Phương trình bảo toàn phổ sóng ở giai đoạn sóng ổn định dọc theo tia sóng có dạng:

$$(C_{gra})_i \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{C_a C_{gra} \cos(\mu - \alpha) E(\omega_a, \alpha)}{\omega_r} = \sum \frac{S}{\omega_r} \quad (5.59)$$

với: E - mật độ năng lượng sóng (chia cho  $\rho_w g$ ) với  $\rho_w$  là mật độ nước,

S - phần nguồn năng lượng

### ***b. Tính khúc xạ và biến dạng sóng***

Trong mô hình STWAVE tính toán khúc xạ và biến dạng trường sóng khi truyền vào vùng ven bờ dựa trên cơ sở áp dụng luật bảo toàn năng lượng dọc theo tia sóng. Hệ số biến dạng cho các thành phần phổ sóng tính dọc theo tia sóng theo phương trình (5.59). Trong trường hợp xuất hiện dòng chảy mạnh ngược chiều với hướng truyền sóng (ở các tuyến luồng hàng hải, cửa lạch triều vv.. trong pha triều rút), sóng có thể bị phá huỷ do dòng chảy. Hiện tượng này xuất hiện khi phương trình khuếch tán không có nghiệm, hay nói một cách khác là hiện tượng phá huỷ sóng xuất hiện khi tốc độ pha tương đối của sóng nhỏ hơn cường độ của dòng chảy. ở vùng nước sâu, hiện tượng này xuất hiện khi cường độ dòng chảy lớn hơn 1/4 tốc độ pha của sóng trong trường hợp không có dòng chảy. ( $0.25g T_a/(2\pi)$ , với  $T_a$  là chu kỳ tuyệt đối của sóng). Nếu trường hợp này xảy ra, năng lượng sóng sẽ bị triệt tiêu.

### ***c. Tính nhiễu xạ sóng***

Nhiễu xạ trong mô hình STWAVE được tính trên cơ sở sự phân tán năng lượng sóng theo nguyên lý là phẳng:

$$E_j(\omega_a, \alpha) = 0.55E_j(\omega_a, \alpha) + 0.22[E_{j+1}(\omega_a, \alpha) + E_{j-1}(\omega_a, \alpha)] \quad (5.60)$$

với j là ký hiệu của điểm tính dọc bờ. Theo phương trình trên sẽ xảy ra hiện tượng là tròn năng lượng sóng ở các vùng bị che khuất.

### ***d. Nguồn truyền và mất mát năng lượng - sóng đổ tại vùng ven bờ***

Chỉ tiêu sóng đổ tại vùng ven bờ là tỷ số giữa độ cao sóng và độ sâu:

$$\frac{(H_s)_{\max}}{d} = 0.64 \quad (5.61)$$

Ở các cửa vào của luồng lạch, khi độ dốc của sóng tăng do tác động của dòng chảy, sóng sẽ dễ bị đổ hơn. Trong trường hợp này chỉ tiêu sóng đổ của Miche (1951) là phù hợp nhất:

$$(H_s)_{\max} = 0.1L \tanh kd \quad (5.62)$$

Phương trình này được áp dụng trong mô hình để xác định giới hạn cao nhất của độ cao sóng. Năng lượng sóng trong dải phổ sóng sẽ bị giảm tại mỗi tần số và hướng tỷ lệ với số lượng năng lượng bị tiêu hao do sóng đổ trong mỗi dải tần số và hướng sóng tương ứng.

### ***e. Năng lượng truyền từ gió cho sóng***

Dòng năng lượng của gió truyền cho sóng được tính theo:

$$F_{in} = \lambda \frac{\rho_a}{\rho_w} 0.85 C_m \frac{u_*^2}{g} \quad (5.63)$$

với:  $\lambda$  - hệ số biểu thị phần năng lượng của khí quyển truyền trực tiếp cho sóng (0.75),

$\rho$  - mật độ không khí,

$C_m$  - tốc độ pha trung bình của sóng,

$u_*$  - tốc độ ma sát.

Năng lượng mà phổ sóng nhận được sẽ được tính bằng cách nhân dòng năng lượng với thời gian tương đương khi sóng truyền qua một điểm lưới tính:

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{\beta C_g \cos \alpha_m} \quad (5.64)$$

với:  $\Delta t$  - thời gian tương đương,

$\Delta x$  - bước lưới tính,

$\beta\alpha$  - hằng số (=0.9 đối với sóng gió),

$C_g$  - tốc độ nhóm trung bình của phổ sóng,

$\alpha_m$  - hướng sóng trung bình tương ứng với lưới tính.

Trong mô hình STWAVE chỉ có sóng thổi theo hướng từ biển vào mới được tính gây tác động đến sóng, đối với các trường hợp gió thổi từ bờ ra hiệu ứng tác động của sóng đến gió được bỏ qua.

#### **f. Tương tác giữa các sóng và hiệu ứng sóng đổ bậc đầu**

Năng lượng của gió truyền cho sóng được phân bố dưới tác động của hiện tượng tương tác phi tuyến giữa các sóng. Năng lượng này được phân bố từ khu vực đỉnh phổ tới các thành phần phổ với tần số thấp và tần số cao. Trong mô hình STWAVE tần số đỉnh phổ sẽ tăng lên cùng với đà sóng (hoặc là thời gian truyền tương đương dọc theo đà). Phương trình tính đến hiệu ứng thay đổi đỉnh phổ này là:

$$(f_p)_{i+1} = \left[ (f_p)_i^{7/3} - \frac{9}{5} \zeta \left( \frac{u_*}{g} \right)^{4/3} \Delta t \right]^{-3/7} \quad (5.65)$$

với:  $\zeta$  - hệ số không thứ nguyên (Resio và Perrie 1989),

$i$  và  $i+1$  là các cột trong lưới tính.

Năng lượng mà phổ sóng nhận được được phân bố trong giới hạn các tần số về phía giải các tần số thấp sao cho giữ nguyên dạng của phổ. Năng lượng sóng sẽ bị tiêu tán chủ yếu là sự tải năng lượng về các tần số cao và tiêu tán dưới tác động của hiệu ứng sóng đổ bậc đầu và hiệu ứng rối, nhớt của nước. Tồn tại sự cân bằng động lực giữa năng lượng của gió truyền cho sóng và năng lượng tiêu hao do hiệu ứng dòng năng lượng phi tuyến của sóng phân tán vào khu vực tần số cao. Dòng năng lượng này được tính như sau:

$$\Gamma_E = \frac{\varepsilon g^{1/2} E_{tot}^3 k_p^{9/2}}{\tanh^{3/4}(k_p d)} \quad (5.66)$$

với:  $\Gamma_E$  - dòng năng lượng,

$\varepsilon$  - hệ số (=30),

$E_{tot}$  - tổng năng lượng của phổ sóng chia cho ( $\rho_w g$ ),

$k_p$  - số sóng ứng với đỉnh phổ.

Năng lượng phổ sóng bị tiêu hao được tính bằng cách lấy tích của dòng năng lượng với thời gian tương đương để sóng truyền dọc theo lưới tính ( $\Delta t$  trong phương trình). Hệ số  $\beta$  cho bằng 1 đối với giải tần sóng lừng trong phổ và  $\beta$  cho bằng 0.9 đối với giải tần sóng gió.

### g. Ứng suất bức xạ sóng

Gradient của ứng suất bức xạ được tính trong mô hình STWAVE để đưa ra số liệu đầu vào cho mô hình tính dòng chảy và tính nước dâng, nước rút do sóng. Các tensor ứng suất bức xạ sóng được tính theo lý thuyết sóng tuyến tính:

$$S_{xx} = \rho_w g \iint E(f, \alpha) \left[ 0.5 \left( 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) (\cos^2 \alpha + 1) - 0.5 \right] df d\alpha \quad (5.67)$$

$$S_{xy} = \rho_w g \iint E(f, \alpha) \left[ 0.5 \left( 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \sin 2\alpha \right] df d\alpha \quad (5.68)$$

$$S_{yy} = \rho_w g \iint E(f, \alpha) \left[ 0.5 \left( 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) (\sin^2 \alpha + 1) - 0.5 \right] df d\alpha \quad (5.69)$$

Các gradient của ứng suất bức xạ:

$$\tau_x = -\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} - \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \quad (5.70)$$

$$\tau_y = -\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \quad (5.71)$$

### h. Dạng của phổ sóng

Trường sóng khỏi điểm vùng nước sâu gồm độ cao, chu kỳ và hướng sóng được tính toán dưới dạng phổ hai chiều  $E(f, \theta)$  xác định theo phổ tần TMA và hàm phân bố góc. Phổ tần TMA (Texel, Marsen và Arsløe) là dạng phát triển của phổ JONSWAP có tính đến tác động của độ sâu ở vùng ven bờ. Các dạng cụ thể của phổ TMA được xác định theo các công thức (4.14), (4.15) và (4.16) chương 4.

Phổ hai chiều  $E(f, \theta)$  nhận được từ phổ tần và hàm phân tán góc:

$$E(f, \theta) = E(f)G(f, \theta) \quad (5.72)$$

với:  $G(f, \theta)$  - hàm phân bố góc.

Thường hàm phân bố góc được xác định không phụ thuộc vào tần số  $f$  ( $G(\theta)$ ) và được tính từ công thức sau:

$$G(\theta) = \frac{2}{\pi} \cos^2 \theta \quad \text{với } |\theta| \leq 90^\circ \quad (5.73)$$

được gọi là hàm phân bố góc theo hàm số cosin. Dạng cụ thể của hàm phân bố góc này được xác định theo:

$$G(\theta) = \frac{\sqrt{\pi}}{2\pi} \frac{\Gamma(s+1)}{\Gamma\left(s+\frac{1}{2}\right)} \cos^{2s} \frac{\theta - \bar{\theta}}{2} \quad (5.74)$$

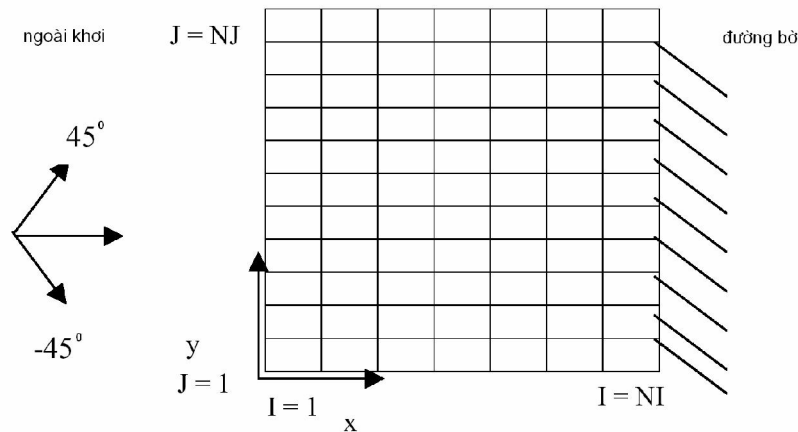
với  $\bar{\theta}$  - hướng trung tâm của phổ được xác định từ hướng sóng,



s - tham số hiệu chỉnh của hàm phân bố góc, khi  $s \rightarrow \infty$  sóng sẽ truyền theo một hướng,  $\Gamma$  - hàm Gama.

**i. Sơ đồ sai phân**

STWAVE sử dụng sơ đồ sai phân trên hệ lưới tọa độ Đề Các. Lưới tính theo hình vuông ( $\Delta x = \Delta y$ ). Có thể sử dụng phương pháp lưới lồng để tính với các bước lưới tính khác nhau. Sơ đồ lưới tính được vẽ trên hình 5.13. Mô hình STWAVE thực hiện các tính toán trong hệ lưới quy ước, với trục x theo hướng vuông góc với đường bờ (gốc tại vùng nước sâu), trục y song song với đường bờ. Hướng của trục x ( $\pm 87.5^\circ$ ) tạo ra vùng tính khoảng gần  $180^\circ$  (nửa mặt phẳng). Trục y thường có hướng vuông góc với đường đẳng sâu. Góc quy ước của sóng được xác định theo hướng ngược chiều kim đồng hồ. Các biên hông trong mô hình có thể là biên lỏng hoặc cứng bằng cách cho các điểm nút là dương (lỏng) hoặc âm (cứng). Các biên cứng làm giảm sự phát triển của sóng ở gần khu vực biên này vì nó ngăn sự lan truyền năng lượng sóng từ hướng biên. Nếu biên hông là biên lỏng thì trong mô hình chấp nhận giả thiết là không tồn tại gradient ngang qua biên, cho phép năng lượng truyền từ phía ngoài vào vùng tính hoặc từ trong vùng tính ra ngoài.



**Hình 5.13** Lưới tính trong mô hình STWAVE

Các số liệu đầu vào đối với mô hình STWAVE cũng như đối với mô hình RCPWAVE. Phổ TMA được tính trực tiếp từ độ cao, chu kỳ sóng trung bình và độ sâu tại biên ngoài khơi của vùng tính với tổng số tần số là 40 giá trị và bước tần số tùy chọn. Phổ hai chiều được tính theo công thức (5.74) với bước hướng là  $5^\circ$ .

Các kết quả kiểm tra với số liệu đo đạc cho thấy mô hình STWAVE cho các kết quả tính sóng nhỏ hơn so với trường sóng thực tế trong các hình thể trường sóng lừng có phổ rất hẹp. Tuy vậy mô hình STWAVE hiện đang được sử dụng rất rộng rãi trong tính toán động lực các vùng cửa sông, lạch triều và tính vận chuyển trầm tích, biến động bờ biển vì mô hình này có ưu điểm rất lớn là tính được tương tác giữa sóng với dòng chảy và trường sóng được mô phỏng dưới dạng phổ. Tuy là một mô hình trường sóng dừng, ổn định nhưng có thể tính với nhiều các yếu tố sóng liên tiếp tạo ra trường sóng biến đổi theo thời gian dạng tựa dừng. Mô hình đối với trường sóng phát triển được đưa ra dưới đây.

### 5.2.3 Mô hình SWAN

Mô hình SWAN là mô hình tính toán các đặc trưng của trường sóng trong vùng ven bờ, trong các hồ và cửa sông từ các điều kiện gió, địa hình đáy và dòng chảy. Mô hình dựa trên phương trình cân bằng tác động sóng (hoặc phương trình cân bằng năng lượng trong trường hợp không có dòng chảy) với các nguồn cung cấp và tiêu tán năng lượng. SWAN là mô hình tính sóng thể hệ ba với các lựa chọn kiểu tính sóng thể hệ một, hai và ba.

#### *a. Tính năng*

*Theo quá trình truyền sóng:*

- truyền sóng trong không gian địa lý,
- khúc xạ sóng do thay đổi đáy và dòng chảy,
- biến dạng do thay đổi đáy và dòng chảy,
- bị chặn và phản xạ bởi dòng chảy ngược hướng,
- truyền qua, bị chặn hoặc phản xạ do các vật cản có kích thước dưới lưới.

*Theo quá trình phát sinh và tiêu tán sóng:*

- phát sinh do gió,
- tiêu tán năng lượng do sóng bạc đầu,
- tiêu tán năng lượng do sóng đổ bởi độ sâu,
- tiêu tán năng lượng do ma sát đáy,
- tương tác giữa các sóng (bạc bốn và bạc ba)

Ngoài ra, nước dâng do sóng so với mực biển trung bình cũng có thể tính được trong mô hình. SWAN là mô hình tính sóng ổn định và không ổn định. Các công thức có thể áp dụng trong hệ tọa độ Đề Các hoặc cong tuyến tính (đối với quy mô nhỏ) hoặc tọa độ cầu (đối với quy mô nhỏ và lớn).

#### *b. Các hạn chế*

Hiện tượng nhiễu xạ không được tính tới trong mô hình, do vậy không nên sử dụng mô hình trong các vùng ở đó có sự thay đổi lớn về độ cao sóng trong quy mô chiều ngang vài bước sóng, do trường sóng tính toán sẽ không chính xác tại sát chân các vật cản và trong các cảng. SWAN cũng không tính dòng chảy gây ra do sóng. Mô hình có thể tính nước dâng do sóng. Trong các trường hợp một chiều tính toán dựa trên các công thức chính xác. Trong các trường hợp hai chiều, các tính toán dựa trên phương trình xấp xỉ (các hiệu ứng của dòng chảy bị loại bỏ).

Xấp xỉ LTA đối với tương tác sóng bạc ba dựa vào độ rộng phân bố hướng của phổ sóng. Nó được điều chỉnh trong SWAN cho một số trường hợp nhưng người ta đã thu được từ quan trắc trong luồng sóng hẹp (sóng đỉnh dài).

Xấp xỉ DIA đối với tương tác sóng bạc bốn dựa vào độ rộng phân bố hướng của phổ sóng. Nó được đưa vào trong một số trường hợp nhưng đã có sự xấp xỉ đơn giản cho sóng đỉnh dài (phân bố hướng hẹp). Nó cũng phụ thuộc vào tần số sóng tính toán. SWAN có thể sử dụng rất nhiều quy mô vùng tính sóng khác nhau. Lý do SWAN sử dụng linh hoạt các quy mô là:

- Cho phép áp dụng SWAN trong điều kiện phòng thí nghiệm tới các bãi biển.

- Lồng ghép SWAN trong mô hình WAM hoặc WAVEWATCH III.

Tuy nhiên, áp dụng SWAN cho quy mô vùng tính là đại dương sẽ không có hiệu quả như các mô hình tính sóng vùng nước sâu WAM hoặc WAVEWATCH III .

### c. Cơ sở lý thuyết của mô hình SWAN

#### \* Phương trình cơ bản

Trong mô hình SWAN các sóng được mô tả bằng phổ mật độ tác động sóng hai chiều, ngay cả khi hiện tượng phi tuyến chiếm ưu thế (ví dụ trong vùng sóng đỏ). Phổ sóng được xét đến trong mô hình SWAN là phổ mật độ tác động  $N(\sigma, \theta)$  hơn là phổ mật độ năng lượng  $E(\sigma, \theta)$  bởi vì khi có mặt dòng chảy, mật độ tác động được bảo toàn trong khi mật độ năng lượng thì không. Các biến độc lập đó là tần số tương đối  $\sigma$  và hướng sóng  $\theta$ . Mật độ tác động bằng mật độ năng lượng chia cho tần số tương đối  $N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma$ . Trong SWAN phổ này thay đổi theo thời gian và không gian.

Sự phát triển của phổ được mô tả bằng phương trình cân bằng tác động phổ. Trong hệ tọa độ Đề Các ta có:

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad (5.75)$$

Thành phần đầu tiên trong vế trái biểu thị lượng thay đổi địa phương của mật độ tác động theo thời gian, thành phần thứ hai và ba biểu thị sự truyền tác động trong không gian địa lý (với tốc độ truyền  $c_x$  và  $c_y$  trong hướng x và y). Thành phần thứ tư biểu thị thay đổi của tần số tương đối do thay đổi độ sâu và dòng chảy. Thành phần thứ năm đưa ra sự khúc xạ do độ sâu và dòng chảy. Các biểu thức đối với các tốc độ truyền được rút ra từ lý thuyết sóng tuyến tính. Giá trị S trong vế phải của phương trình là giá trị hàm nguồn mật độ năng lượng đưa ra từ các hiệu ứng tạo sóng, tiêu tán sóng và tương tác giữa các sóng. Khi sử dụng trong quy mô thêm lục địa hoặc đại dương người sử dụng có thể chọn cách viết trong hệ tọa độ cầu:

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial \lambda} c_\lambda N + (\cos \varphi)^{-1} \frac{\partial}{\partial \varphi} c_\varphi \cos \varphi N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad (5.76)$$

với  $\lambda$  là kinh tuyến,  $\varphi$  là vĩ tuyến.

#### \* Các công thức chi tiết

#### - Năng lượng cung cấp bởi gió ( $S_{in}$ )

Sự tăng trưởng của sóng do gió được mô tả bởi:

$$S_{in}(\sigma, \theta) = A + BE(\sigma, \theta) \quad (5.77)$$

với: A - hệ số tăng tuyến tính,

BE - hệ số tăng theo hàm mũ.

Trong mô hình sử dụng tốc độ gió đưa vào là tốc độ tại độ cao 10 m  $U_{10}$ , trong khi tính toán sử dụng tốc độ ma sát  $U_*$ , công thức chuyển từ  $U_{10}$  sang  $U_*$  nhận được như sau.

$$U_*^2 = C_D U_{10}^2 \quad (5.78)$$

Trong đó  $C_D$  là hệ số kéo theo Wu (1982), ta có:

$$C_D(U_{10}) = \begin{cases} 1.2875 * 10^{-3} & \dots\dots\dots U_{10} < 7.5 m/s \\ (0.8 + 0.065 s/m * U_{10}) * 10^{-3} & \dots\dots\dots U_{10} \geq 7.5 m/s \end{cases} \quad (5.79)$$

Đối với hệ số tăng tuyến tính A, biểu thức của Cavaleri và Malanotte-Rizzoli (1981) được sử dụng với cách chọn lọc để loại bỏ sự tăng trưởng sóng tại các tần số thấp hơn tần số Pierson-Moskowitz.

$$A = \frac{1.5 * 10^{-3}}{g^2 2\pi} [U_* \max[0, \cos(\theta - \theta_w)]]^4 H \quad (5.80)$$

$$H = \exp(-(\sigma / \sigma_{PM}^*)^{-4}) \dots \text{with} \dots \sigma_{PM}^* = \frac{0.13g}{28U_*} 2\pi$$

với:  $\theta_w$  - hướng gió,

H - hệ số chọn lọc,

$\sigma_{PM}$  - tần số đỉnh phổ trong trạng thái sóng phát triển hoàn toàn theo phổ Pierson và Moskowitz (4.3).

Hai biểu thức của tăng trưởng sóng theo hàm mũ được sử dụng trong SWAN. Biểu thức thứ nhất của Komen (1984) đưa ra như một hàm của  $U_*/c_{ph}$ :

$$B = \max \left[ 0, 0.25 \frac{\rho_a}{\rho_w} \left[ 28 \frac{U_*}{c_{ph}} \cos(\theta - \theta_w) - 1 \right] \right] \sigma \quad (5.81)$$

Trong đó  $C_{ph}$  là tốc độ pha và  $\rho_a$  và  $\rho_w$  là mật độ của không khí và nước. Biểu thức thứ hai của Janssen (1989,1991) dựa trên lý thuyết sóng gió tựa tuyến tính và được đưa ra như sau:

$$B = \beta \frac{\rho_a}{\rho_w} \left( \frac{U_*}{c_{ph}} \right)^2 \max[0, \cos(\theta - \theta_w)]^2 \sigma \quad (5.82)$$

Ở đây  $\beta$  là hằng số Miles. Trong lý thuyết của Janssen hằng số Miles được tính từ độ cao sóng tới hạn phi thứ nguyên  $\lambda$ .

$$\begin{cases} \beta = \frac{1.2}{\kappa^2} \lambda \ln^4 \lambda, \dots\dots\dots \lambda \leq 1 \\ \lambda = \frac{gz_e}{c_{ph}^2} e^r, \dots\dots\dots r = \kappa c_{ph} \left| U_* \cos(\theta - \theta_w) \right| \end{cases} \quad (5.83)$$

Ở đây  $\kappa$  là hằng số Von Karman  $\kappa=0.4$  và  $Z_e$  là hệ số nhám bề mặt hiệu dụng. Nếu  $\lambda > 1$  thì hằng số  $\beta=0$ . Janssen cho rằng Profil của gió đưa ra như sau:

$$U(z) = \frac{U_*}{\kappa} \ln \left( \frac{z + z_e - z_0}{z_e} \right) \quad (5.84)$$

Ở đây  $U(z)$  là tốc độ gió tại độ cao  $z$  trên mực nước biển trung bình,  $z_0$  là độ dài nhám. Độ dài nhám hiệu dụng phụ thuộc vào độ dài nhám  $z_0$  và trạng thái mặt biển thông qua ứng suất sóng  $\tau_w$  và ứng suất tổng cộng bề mặt  $\tau$ .

$$z_e = \frac{z_0}{\sqrt{1 - \tau_w / \tau}} \dots \text{and} \dots z_0 = \alpha \frac{U_*^2}{g} \quad (5.85)$$

với:  $\alpha = 0.01$

Vectơ ứng suất sóng cho dưới dạng.

$$I_w = \rho_w \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \sigma B E(\sigma, \theta) \frac{k}{k} d\sigma d\theta \quad (5.86)$$

Giá trị  $U_*$  có thể xác định cho từng tốc độ gió  $U_{10}$  và phổ sóng  $E(\sigma, \theta)$  được đưa ra từ phương trình trên. Trong SWAN quá trình lập được thực hiện theo sơ đồ lập của Mastenbroek (1993).

- *Tiêu tán năng lượng sóng ( $S_{ds}$ )*

Sóng bạc đầu gây ra do độ dốc của sóng vượt quá giới hạn sóng vỡ. Quá trình sóng bạc đầu được mô tả bằng mô hình mạch động của Hasselmann (1974). Các giá trị của số sóng được sử dụng trong vùng có độ sâu nước giới hạn.

$$S_{ds,w}(\sigma, \theta) = -\Gamma \frac{\tilde{k}}{k} E(\sigma, \theta) \quad (5.87)$$

Ở đây  $\tilde{\sigma}$  and  $\tilde{k}$  là tần số và số sóng trung bình và  $\Gamma$  là hệ số phụ thuộc vào độ dốc sóng tổng hợp. Hệ số phụ thuộc vào độ dốc này được đưa ra bởi nhóm WAMDI (1988) và được hiệu chỉnh bởi Gunther (1992) theo Janssen.

$$\Gamma = \Gamma_{KJ} = C_{ds} \left( (1 - \delta) + \delta \frac{\tilde{k}}{k} \right) \left( \frac{\tilde{S}}{S} \right)^p \quad (5.88)$$

với:  $\delta = 0$  biểu thức của  $\Gamma$  giống với biểu thức của WAMDI. Hệ số  $C_{ds}$ ,  $\delta$  và  $p$  là các hệ số hiệu chỉnh,  $\tilde{S}$  là độ dốc tổng hợp,  $s_M$  là giá trị của  $s$  với phổ Pierson-Moskowitz. Giá trị của độ dốc tổng hợp được cho như sau:

$$\tilde{S} = k \sqrt{E_{tot}} \quad (5.89)$$

Tần số trung bình  $\sigma$ , số sóng trung bình  $k$  và năng lượng tổng cộng  $E_{tot}$  được xác định theo WAMDI:

$$\tilde{\sigma} = \left( E_{tot}^{-1} \int_0^{2\pi\infty} \int_0^{\infty} \frac{1}{\sigma} E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta \right)^{-1} \quad (5.90)$$

$$\tilde{k} = \left( E_{tot}^{-1} \int_0^{2\pi\infty} \int_0^{\infty} \frac{1}{k} E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta \right)^{-2}$$

$$E_{tot} = \int_0^{2\pi\infty} \int_0^{\infty} E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta \quad (5.91)$$

Giá trị của các hệ số hiệu chỉnh  $C_{ds}$ ,  $\delta$  và hệ số mũ  $p$  trong mô hình này đã được Janssen và Komen thu được từ việc khép kín phương trình cân bằng năng lượng sóng trong điều kiện tăng trưởng sóng lý tưởng cho vùng nước sâu, Điều này có nghĩa rằng hệ số  $\Gamma$  phụ thuộc vào công thức của gió được sử dụng. Trong SWAN có hai công thức gió được sử dụng, do đó có hai giá trị  $\Gamma$  được sử dụng. Đối với biểu thức của Komen các hệ số cho như sau  $C_{ds}=2.36 * 10^{-5}$ ,  $\delta = 0$  và  $p=4$ . Với biểu thức của Janssen và Gunther (1992)  $C_{ds}=4.10*10^{-5}$ ,  $\delta= 0.5$  và  $p=4$ .

#### - Ma sát đáy

Mô hình ma sát đáy trong SWAN là mô hình thực nghiệm của JONSWAP, mô hình sức kéo của Collin và mô hình nhót xoáy của Madsen(1988). Công thức của các mô hình trên như sau:

$$S_{ds,b}(\sigma, \theta) = -C_{bottom} \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2(kd)} E(\sigma, \theta) \quad (5.92)$$

Ở đây  $C_{bottom}$  là hệ số ma sát, thường phụ thuộc vào tốc độ quỹ đạo chuyển động tại đáy  $U_{rms}$ .

$$U_{rms}^2 = \int_0^{2\pi\infty} \int_0^{\infty} \frac{\sigma^2}{\sinh^2(kd)} E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta \quad (5.93)$$

Hasselmann (1973) tìm ra từ kết quả thực nghiệm của JONSWAP như sau:  $C_{bottom}=C_{JON}=0.038m^2s^{-3}$  trong điều kiện sóng lừng. Bouws và Komen(1983) chọn hệ số  $C_{JON}=0.067m^2s^{-3}$  đối với điều kiện phát triển sóng hoàn toàn vùng ven bờ. Cả hai giá trị này có thể sử dụng trong SWAN.

Biểu thức của Collin (1972) dựa trên công thức sóng điều hoà với các tham số chọn thích hợp để hiệu chỉnh cho trường sóng ngẫu nhiên. Madsen(1988) đưa ra công thức tương tự của Hassen và Collins nhưng trong mô hình này nhân tố ma sát đáy là hàm của độ cao nhám của đáy và điều kiện sóng thực tế. Hệ số ma sát đưa ra như sau:

$$C_{bottom} = f_w \frac{g}{2} U_{rms} \quad (5.94)$$

Ở đây  $f_w$  là yếu tố ma sát phi thứ nguyên được tính từ công thức của Jonson (1966. Madsen 1988).

$$\frac{1}{f_w} + \log_{10} \left[ \frac{1}{f_w} \right] = m_f + \log_{10} \left[ \frac{a_b}{K_N} \right] \quad (5.95)$$

Ở đây  $m_f = -0.08$  và  $a_b$  là biên độ sóng sát đáy,  $K_N$  là quy mô độ dài nhám đáy.

$$a_b^2 = 2 \int_0^{2\pi\infty} \int_0^{\infty} \frac{1}{\sinh^2(kd)} E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta \quad (5.96)$$

với  $a_b/K_N$  nhỏ hơn 1.57 thì nhân tố ma sát  $f_w$  là 0.30.

- *Sóng vỡ do độ sâu*

Năng lượng tiêu tán của trường sóng ngẫu nhiên do hiện tượng sóng vỡ, trong SWAN sử dụng mô hình Bore của Battjes và Jansen. Tỷ lệ tiêu tán năng lượng trung bình trên một đơn vị bề ngang phụ thuộc vào độ vỡ của sóng  $D_{tot}$ .

$$D_{tot} = -\frac{1}{4} \alpha_{BJ} Q_b \left( \frac{\bar{\sigma}}{2\pi} \right) H_m^2 \quad (5.97)$$

Ở đây  $\alpha_{BJ}=1$  và  $Q_b$  là phân số sóng vỡ được xác định bằng phương trình:

$$\frac{1-Q_b}{\ln Q_b} = -8 \frac{E_{tot}}{H_m^2} \quad (5.98)$$

Ở đây  $H_m$  là độ cao sóng cực đại có thể tồn tại trong độ sâu đó và  $\bar{\sigma}$  là tần số sóng trung bình.

$$\bar{\sigma} = E_{tot}^{-1} \int_0^{2\pi\infty} \int_0^{\infty} \sigma E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta \quad (5.99)$$

Mở rộng biểu thức của Eldeberky và Battjes (1995) cho các hướng phổ, tiêu tán năng lượng của các thành phần phổ trên một đơn vị thời gian được tính toán trong SWAN như sau:

$$S_{ds,br}(\sigma, \theta) = D_{tot} \frac{E(\sigma, \theta)}{E_{tot}} \quad (5.100)$$

Độ cao sóng cực đại được xác định trong SWAN là  $H_m = \gamma d$ . Chỉ số sóng vỡ thường bằng một hằng số hoặc một hàm của độ dốc đáy hoặc độ dốc sóng tới. Trong SWAN giá trị này được lấy mặc định  $\gamma=0.73$ .

- *Tương tác phi tuyến giữa các sóng ( $S_{nl}$ )- Tương tác sóng bậc bốn*

Tương tác sóng bậc bốn được tính với xấp xỉ bước lặp riêng rẽ (DIA) của Hasselmann (1985). Hàm nguồn của chúng được sử dụng trong SWAN. Trong xấp xỉ lặp riêng rẽ hai cung phần tư của số sóng được xem xét, mô hình thực hiện các bước lặp riêng rẽ trên hai cung phần tư đối với số sóng, cùng với các tần số.

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_2 = \sigma \\ \sigma_3 &= \sigma(1+\lambda) = \sigma^+ \\ \sigma_4 &= \sigma(1-\lambda) = \sigma^- \end{aligned} \quad (5.101)$$

Ở đây  $\lambda$  là hằng số = 0.25. Để thỏa mãn điều kiện cộng hưởng đối với cung thứ nhất, vectơ số sóng với tần số  $\sigma_3$  và  $\sigma_4$  nằm trong góc  $\theta_1 = -11.5^\circ$  và  $\theta_2 = 33.6^\circ$  để cho hai vectơ số sóng giống nhau với các tần số  $\sigma_1$  và  $\sigma_2$ . Với đoạn cung thứ hai đối xứng với đoạn cung thứ

nhất qua trục (vectơ số sóng với các tần số  $\sigma_3$ , và  $\sigma_4$  nằm trong góc đối xứng của  $\sigma_3 = 11.5^\circ$  và  $\sigma_4 = -33.6^\circ$ ).

Với xấp xỉ bước lặp riêng rẽ giá trị hàm nguồn  $S_{nl4}(\sigma, \theta)$  được đưa ra là:

$$S_{nl4}(\sigma, \theta) = S_{nl4}^*(\sigma, \theta) + S_{nl4}^{**}(\sigma, \theta) \quad (5.102)$$

Ở đây  $S_{nl4}^*$  cho cung thứ nhất,  $S_{nl4}^{**}$  cho cung thứ hai (biểu thức của  $S_{nl4}^{**}$  giống với  $S_{nl4}^*$  nhưng có hướng ngược lại) và ta có:

$$S_{nl4}^*(\sigma, \theta) = 2\delta S_{nl4}(\alpha_1\sigma, \theta) - \delta S_{nl4}(\alpha_2\sigma, \theta) - \delta S_{nl4}(\alpha_3\sigma, \theta) \quad (5.103)$$

Ở đây  $\alpha_1=1$ ,  $\alpha_2=(1+\lambda)$  và  $\alpha_3=(1-\lambda)$ . Mỗi một thành phần của ( $i=1,2,3$ ) là:

$$\delta S_{nl4}(\alpha_i\sigma, \theta) = C_{nl4}(2\pi)^2 g^{-4} \left(\frac{\sigma}{2\pi}\right)^{11} \left[ E^2(\alpha_i\sigma, \theta) \left( \frac{E(\alpha_i\sigma^+, \theta)}{(1+\lambda)^4} + \frac{E(\alpha_i\sigma^-, \theta)}{(1-\lambda)^4} \right) - 2 \frac{E(\alpha_i\sigma, \theta)E(\alpha_i\sigma^+, \theta)E(\alpha_i\sigma^-, \theta)}{(1-\lambda^2)^4} \right] \quad (5.104)$$

Hằng số  $C_{nl4}=3*10^7$ . Theo Hasselmann (1981), tương tác sóng bậc bốn trong vùng có độ sâu nước hữu hạn được đặt bằng với tương tác bậc bốn tại vùng nước sâu với nhân tố tỉ lệ R:

$$S_{nl4, \text{finitedepth}} = R(k_p d) S_{nl4, \text{infinitedepth}} \quad (5.105)$$

với R là:

$$R(k_p d) = 1 + \frac{C_{sh1}}{k_d d} (1 - C_{sh1} k_p d) \exp(C_{sh3} k_d d) \quad (5.106)$$

Ở đây  $k_d$  số sóng của đỉnh phổ JONSWAP. Giá trị của các hệ số là:  $C_{sh1}=5.5$ ,  $C_{sh2}=6/7$  và  $C_{sh3}=-1.25$ . Trong vùng nước giới hạn  $k_p d \rightarrow 0$  sự truyền đổi phi tuyến tới vô cùng. Do vậy giới hạn thấp nhất của  $k_p d = 0.5$  được sử dụng, giá trị lớn nhất của R với  $k_p d = 4.43$ .

- Tương tác phi tuyến giữa các sóng ( $S_{nl}$ )- Tương tác sóng bậc ba

Xấp xỉ tổng cộng bậc ba (LTA) của Eldeberky (1996) là phiên bản được hiệu chỉnh của xấp xỉ riêng rẽ bậc ba của Eldeberky và Battjes (1995) được sử dụng trong SWAN với từng hướng của phổ.

$$S_{nl3}(\sigma, \theta) = S_{nl3}^-(\sigma, \theta) + S_{nl3}^+(\sigma, \theta) \quad (5.107)$$

với:

$$S_{nl3}^+(\sigma, \theta) = \max\left\{0, \alpha_{EB} 2\pi c c_q J^2 \sin(\beta) \left[ E^2(\sigma/2, \theta) - 2E(\sigma/2, \theta)E(\sigma, \theta) \right] \right\} \quad (5.108)$$

và:

$$S_{nl3}^-(\sigma, \theta) = -2S_{nl3}^+(2\sigma, \theta) \quad (5.109)$$

Ở đây  $\alpha_{EB}$  là hệ số hiệu chỉnh.  $\beta$  được xấp xỉ bằng:

$$\beta = -\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \tanh\left(\frac{0.2}{U_r}\right) \quad (5.110)$$

với số Ursell  $U_r$ :



$$Ur = \frac{g H_s \bar{T}^2}{2\pi^2 d^2} \quad (5.111)$$

với  $\bar{T} = 2\pi / \bar{\sigma}$ . Tương tác sóng bậc ba chỉ được tính khi  $10 > U_r > 0.1$ . Hệ số tương tác J lấy từ biểu thức Madsen và Sorensen (1993).

$$J = \frac{k_{\sigma/2}^2 (gd) + 2c_{\sigma/2}^2}{k_{\sigma} d (gd + \frac{2}{15} gd^3 k_{\sigma}^2 - \frac{2}{5} \sigma^2 d^2)} \quad (5.113)$$

#### - Nước dâng do sóng

Trong mô hình một chiều (1D) nước dâng do sóng được tính dựa trên các phương trình cân bằng mô men thẳng đứng ở đó có sự cân bằng giữa lực sóng (gradient ứng suất bức xạ vuông góc với bờ) và gradient áp suất thủy tĩnh (thành phần song song với bờ gây ra dòng chảy sóng nhưng không gây nước dâng).

$$F_x + gd \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (5.114)$$

Ở đây d là độ sâu nước tổng cộng (bao gồm cả nước dâng do sóng) và  $\eta$  độ cao trung bình của mặt nước (gồm cả nước dâng do sóng).

Quan trắc và tính toán dựa trên phương trình cân bằng mô men thẳng đứng của Dingemans (1987) cho rằng dòng chảy sóng là do chuyển động phân kỳ một phần của lực sóng còn nước dâng là do phân quay của lực sóng. Để tính toán nước dâng, người ta xem xét sự phân kỳ của phương trình cân bằng mô men. Nếu sự phân kỳ được bỏ qua thì ta có:

$$\frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} (gd \frac{\partial \zeta}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (gd \frac{\partial \zeta}{\partial y}) = 0 \quad (5.115)$$

#### d. Mô hình số đầy đủ.

Việc giải phương trình cân bằng tác động được thực hiện trong SWAN bằng nhiều sơ đồ khác nhau trong cả 5 chiều (thời gian, không gian địa lý, không gian phổ). Những sơ đồ đầu mô tả sự truyền sóng không có các giá trị của hàm nguồn phát sinh, tiêu tán và tương tác giữa các sóng. Sau đó là dạng mô tả đầy đủ của các giá trị hàm này. Thời gian được mô tả với hằng số bước thời gian  $\Delta t$  cho đồng thời tích phân quá trình truyền sóng và các hàm nguồn. Không gian địa lý được mô tả bằng lưới chữ nhật với độ phân giải  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  theo hướng x và y. Phổ sóng được mô tả bằng độ phân giải hướng  $\Delta \theta$  và độ phân giải tần số tương đối  $\Delta \sigma / \sigma$  (phân bố tần số logarit).

Trong mô hình SWAN sử dụng sơ đồ ẩn theo hướng gió trong cả hai không gian địa lý và phổ, trong không gian phổ được bổ sung hàm xấp xỉ trung tâm. Thực tế trong không gian địa lý, trạng thái trong các điểm lưới được xác định bằng trạng thái trong các điểm lưới đầu sóng (xác định bằng hướng truyền), cho phép phân tích không gian phổ vào bốn cung phân tư. Trong mỗi cung phân tư việc tính toán có thể tiến hành độc lập với các

cung phần tư khác loại trừ với các tương tác giữa chúng do khúc xạ và tương tác phi tuyến giữa các sóng. SWAN chứa ba sơ đồ là:

1. Sơ đồ bước lùi không gian, bước lùi thời gian bậc một (BSBT). Trong thực tế đây là sơ đồ hướng gió điển hình. Có thể áp dụng được cho cả sóng ổn định và sóng không ổn định trong quy mô nhỏ.
2. Sơ đồ hướng gió bậc hai với hàm khuếch tán bậc hai. Sơ đồ này được gọi là sơ đồ SORDUP, áp dụng cho trường sóng ổn định trong quy mô lớn.
3. Sơ đồ hướng gió bậc hai với hàm khuếch tán bậc ba do Stelling và Leedertse đề xuất. Sơ đồ này còn được gọi là sơ đồ S&L, có thể áp dụng với sóng không ổn định trong quy mô lớn.

Sơ đồ BSBT được thực hiện trên bốn đoạn cong liên tiếp. Để tính toán năng lượng chuyển đổi giữa bốn cung phần tư, việc tính toán được tiến hành lặp trong mỗi bước thời gian.

#### ***e. Điều kiện biên***

Trong SWAN, điều kiện biên trong không gian địa lý và không gian phổ là biên hấp thụ đầy đủ với năng lượng sóng đi ra khỏi miền tính hoặc vào bờ. Trên các biên hở, năng lượng của sóng tới được cho bởi người sử dụng. Đối với vùng ven bờ điều kiện biên được cho dọc biên nước sâu và không cho dọc theo biên bên. Điều này có nghĩa là có những lỗi tại biên trong khi truyền vào vùng tính. Vùng ảnh hưởng là vùng tam giác với đỉnh tại góc giữa biên nước sâu và biên bên, phân tán tới bờ trong góc từ  $30^{\circ}$  tới  $45^{\circ}$  trên hướng truyền của sóng nước sâu. Để khắc phục vấn đề này thì biên bên lên lấy ở xa vùng cần tính để tránh những lỗi trong vùng tính.

#### ***f. Các tham số tính toán***

Trong mô hình SWAN các tham số tính toán liên quan tới sóng được sử dụng trong đầu vào và đầu ra của mô hình (sử dụng các ký hiệu trong chương trình tính) gồm có:

Hsign - độ cao sóng hữu hiệu, Hswell - độ cao hữu hiệu sóng lừng, TM01 - chu kỳ sóng trung bình tuyệt đối, TM02 - chu kỳ sóng trung bình, Dir - hướng sóng trung bình, Pdir - hướng đỉnh phổ, TDIR - hướng truyền năng lượng, RTM01 - chu kỳ sóng trung bình tương đối, RTP - chu kỳ sóng đỉnh phổ tương đối, PER - chu kỳ sóng trung bình tuyệt đối, RPER - chu kỳ sóng trung bình tương đối, FSPR - độ rộng tần số của phổ sóng, DSPR - độ rộng trong một hướng của phổ sóng, DISSIP - tiêu tán năng lượng trên một đơn vị thời gian. WLEN - bước sóng trung bình, STEEPNESS - độ dốc sóng, VEL - vận tốc dòng chảy với các thành phần theo hướng x và y của hệ tọa độ đang xét, WIND - vận tốc gió với các thành phần theo hướng x và y của hệ tọa độ đang xét, FORCE - lực sóng trên một đơn vị bề mặt (gradient của ứng suất bức xạ) với hai thành phần x và y trong hệ tọa độ đang xét, và một số các tham số khác.

#### ***g. Các điều kiện biên và điều kiện ban đầu:***

Trong mô hình SWAN các biên của lưới tính là biên cứng (đất) hoặc biên lỏng (nước). Trong trường hợp biên cứng được cho là: không tạo sóng và hấp thụ toàn bộ năng lượng của sóng truyền tới. Trong trường hợp biên lỏng các điều kiện sóng được cho trên biên. Trong trường hợp không có các số liệu trên biên lỏng có thể chọn giả thuyết không có sóng đi vào vùng tính qua biên đó và sóng có thể đi ra phía ngoài một cách tự do. Các điều kiện ban đầu được cho như sau:

- Tính toán với trạng thái ban đầu lặng sóng (trên toàn miền coi như không có sóng).
- Cho dạng mặc định (điều kiện sóng tại các vị trí được tính từ tốc độ gió địa phương).
- Có thể đưa ra một giá trị sóng ban đầu (giá trị này được lấy cho tất cả các điểm).
- Trường sóng ban đầu được lấy từ lần chạy SWAN trước đó (sử dụng HOTFILE).

Mô hình SWAN là một mô hình tính sóng ven bờ sử dụng được tất cả các thành tựu nghiên cứu sóng mới nhất trên thế giới về trường sóng tuyến tính vùng nước sâu và ven bờ. Các phiên bản mới nhất của mô hình cho phép tính toán với tất cả các vùng lan truyền sóng từ vùng nước sâu và vùng ven bờ. Khác với mô hình STWAVE trình bày ở phần trên, phổ sóng trong SWAN là phổ sóng cho tất cả các hướng và dạng phổ tự do (không phải dạng phổ tham số như phổ TMA). Hiện nay mô hình này đang được ứng dụng rộng rãi trong dự báo sóng tại các vùng biển ven bờ, tính toán trường sóng phục vụ xây dựng công trình biển và bảo vệ bờ biển.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đỗ Thiên  
Động lực học biển, phần 1: sóng biển  
Đại Học Quốc gia Hà Nội, trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Hà Nội 1998.
2. Nguyễn Thọ Sáo (người dịch)  
Tải trọng và tác động lên công trình thủy lợi (do sóng và tàu thuyền).  
SNIP 2.06.04 – 82  
Hà Nội, 1991
3. Paul D. Komar  
Beach Processes and Sedimentation  
Prentice Hall, Inc Englewood Cliff, New Tersey 1976
4. Coastal Engineering Manual  
Department Of the Army, U.S. Army Corps of Engineers  
Washington, DC 9/2001
5. Stanislaw R. Massel  
Hydrodynamics of Coastal Zones  
Elvester, Amsterdam- Oxford- New York- Tokyo, 1989
6. Edited by Kiyoshi Horikawa  
Near shore Dynamics and Coastal Processes  
Theory, Measurement and Predictive Models  
University of Tokyo Press, 1998
7. Leo C. Van Rijn  
Principles of Fluid Flow and Waves in Rivers, Estuaries, Seas and Ocean  
Aqua Publications, The Netherlands, 1989
8. Swan – User Manual  
Swan Cycle III version 40.31  
Delft University of Technology, 2004

# Năng lượng sóng biển Việt Nam

*Khoa Điện – Điện tử sơ tầm, Nguồn: <http://www.cpc.vn/cpc>*

Công nghệ khai thác năng lượng sóng biển, nhằm góp phần hạn chế tối đa sự phát thải khí CO<sub>2</sub> vào môi trường sống. Nhiều quốc gia đã có nhà máy điện dùng năng lượng sóng biển. Việc này có thể áp dụng tốt ở vùng biển nước ta, theo số liệu khảo sát của Viện Năng lượng, Viện Khoa học, công nghệ Việt Nam.

Sóng biển tạo ra nguồn năng lượng vô tận. Các kết quả tính toán cho thấy năng lượng sóng dọc dải ven bờ của nước ta rất phong phú. Dòng năng lượng trung bình yếu nhất đạt 15kW/m; mạnh nhất 30kW/m. Cụ thể vịnh Hạ Long, Quảng Ninh, vịnh Gành Rái, Bà Rịa - Vũng Tàu hội tụ đủ ba yếu tố: Mật độ năng lượng GWh/km<sup>2</sup>; tiềm năng GWh; hiệu suất GWh/km. Đủ điều kiện để xây dựng nhà máy thủy điện thủy triều.

Đã có nhiều nước trên thế giới đang khai thác nguồn năng lượng sạch này góp phần tích cực, mục đích giảm phát thải CO<sub>2</sub> bằng các công nghệ thiết bị dưới đây:



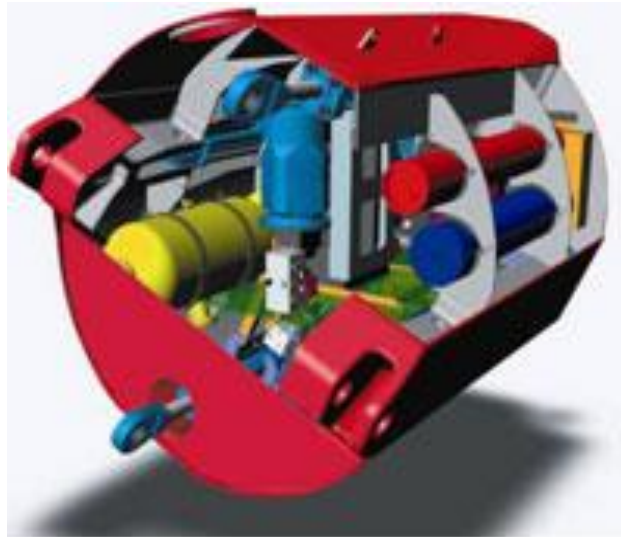
Mô hình khai thác năng lượng sóng biển

## 1. Thiết bị Pelamis

Hoạt động theo nguyên lý sau: Pelamis là một hệ thống phao, gồm một loạt các ống hình trụ nửa chìm, nửa nổi, nối với nhau bằng bản lề. Sóng biển làm chuyển động mạnh hệ thống phao, nó tác động mạnh vào hệ thống bơm thủy lực làm quay turbin phát điện. Hàng loạt thiết bị tương tự sẽ kết nối với nhau, làm cho turbin hoạt động liên tục. Dòng điện được truyền qua giầy cáp ngầm dưới đáy đại dương dẫn vào bờ, nối với lưới điện, cung cấp cho hộ sử dụng. Nếu xây dựng nhà máy điện có công suất 30 MW sẽ chiếm diện tích mặt biển là 1km<sup>2</sup>.

Pelamis neo ở độ sâu chừng 50–70m; cách bờ dưới 10km, là nơi có mức năng lượng cao trong các cơn sóng. Và Pelamis gồm ba modul biến đổi năng lượng, mỗi modul có hệ thống máy phát thủy lực - điện đồng bộ. Mỗi thiết bị pelamis có thể cho công suất 750kW, nó có chiều dài 140-150m, có đường kính ống 3-3,5m.

Tại Bồ Đào Nha, có hệ thống pelamis đầu tiên trên thế giới, gồm 3 pelamis có công suất 2,25MW. Năm 2007, Scotland đã đặt 4 thiết bị pelamis công suất tổng đạt 3MW, với giá thành 4 triệu bảng.



Cấu tạo của module biến đổi năng lượng

## 2. Hệ thống phao tiêu

AquaBuOY là một hệ thống phao nổi, có nguyên lý hoạt động nhằm biến đổi năng lượng động học của chuyển động thẳng đứng do các đợt sóng biển tạo ra năng lượng điện sạch. Nhờ việc trôi lên, ngập xuống của sóng biển làm hệ thống phao nổi đập dênh lên xuống mạnh làm hệ thống xilanh chuyển động, tạo ra dòng điện. Điện dẫn qua hệ thống cáp ngầm đưa lên bờ, hòa vào lưới điện.

Mỗi phao tiêu có thể đạt công suất tới 250kW, với đường kính phao 6m. Nếu trạm phát điện có công suất 10 MW chỉ chiếm 0,13 km<sup>2</sup> mặt biển.

Bơm ống là ống cao su cốt thép, nó hoạt động như cái bơm bình thường, khi sóng nén, nước biển phọt mạnh về phía sau, có chứa một bộ cao áp, làm quay turbin, điện thu được, dẫn qua cáp ngầm vào bờ để hòa chung vào lưới điện. Ngoài ra trên các Aqua BuOY, đặt các tấm pin mặt trời; turbin gió nhỏ nhằm tạo ra nguồn điện năng cho các thiết bị chuẩn đoán gắn trong Aqua BuOY. Tất cả dữ liệu về thiết bị đều được truyền bằng công nghệ không dây, vệ tinh về khu vực điều hành. Hệ thống Aqua BuOY thường lắp đặt cách bờ chừng 5km ở nơi biển có độ sâu 50m. Năm 2006, dự án 8 00kW, ở Makar Bay, Wahington, đã thực hiện với giá thành 3 triệu đô la, nó cung cấp điện cho 150 hộ gia đình.

Dự án 2MW tại Figuera da Foz, Bồ Đào Nha và dự án 2MW ở miền Nam California, Mỹ.



Hệ thống phao nổi AquaBuOY

### Hệ thống phao tiêu chìm AWS



Hệ thống phao chìm

Ở Công ty AWS Ocean Eneny, Scotland người ta phát minh ra hệ thống máy phát điện mới nhằm biến chuyển động sóng thành điện năng. Khác với những hệ thống đang tồn tại. Đó là hệ thống phao tiêu nằm chìm dưới mặt nước, nên không bị ảnh hưởng bởi điều kiện khí hậu trên mặt biển. Hệ thống phao tiêu ngầm giống như những quả ngư lôi dưới mặt nước biển chừng 50 mét mà vẫn tạo ra điện năng nhờ sóng biển. Họ đã thành công năm 2008.

Các hệ thống nổi trên mặt biển dễ bị các trận bão tàn phá, thì hệ thống chìm của AWS (Aschimedus Wave Swing) đã chế tạo bằng vật liệu sử dụng như dàn khai thác dầu mỏ ngoài khơi, được đặt ở độ sâu yên tĩnh. Hệ thống tạo ra năng lượng nhờ sóng biển từ xa, qua các biến thiên áp suất sinh ra do biến đổi của cột nước.

Hệ thống phao tiêu AWS là một xi lanh dài 35 mét, rộng 10 mét chứa khí nén bên trong khiến phao không chìm, nửa trên chỉ chuyển động theo chiều thẳng đứng. Khi sóng lướt qua, sự tăng khối lượng nước làm gia tăng áp suất cột nước và phần bên trên

hệ thống bị đẩy xuống dưới. Giữa hai đợt sóng, cột nước hạ xuống, áp suất hạ theo làm nổi lên phần trên của hệ thống. Chuyển động bơm biến thành điện năng. Điện được chuyển tải qua cáp ngầm, lên hòa vào lưới điện quốc gia.



Kiểu Anaconda (con rắn)

Mọi công nghệ phát điện, khi đưa ra đều bị chặn bởi giá thành, thì Anaconda là công nghệ có ưu thế về giá thành thấp, lại tạo ra nguồn năng lượng sạch, thân thiện với môi trường.

Công nghệ Anaconda được mô tả như sau: Một ống cao su dài khoảng 200 mét, hai đầu bịt kín, bên trong chứa đầy nước. Được neo ngay dưới bề mặt nước biển, một đầu hứng lấy các đợt sóng. Sóng đập vào một đầu của thiết bị tạo sức ép hình thành nên “sóng phình” (do áp lực chất lỏng do động lên xuống bởi sóng, trong mỗi ống) bên trong ống. Khi có sóng phình chạy qua ống, đợt sóng biển tạo ra nó chạy dọc phần ngoài của ống cùng một tốc độ, tạo thêm sức ép lên ống, khiến sóng phình ngày càng lớn hơn. Liên đó sóng phình làm quay turbin nằm ở đầu còn lại của ống cao su. Năng lượng (điện) được tạo ra thì chuyển lên bờ qua cáp ngầm.

Ống cao su, rất nhẹ, không cần khốp nổi, không, chi phí bảo trì, hỏng hóc gần bằng không. Và còn một số hệ thống thiết bị khai thác năng lượng sóng để chạy máy phát điện khác, sẽ giới thiệu sau. Số liệu đưa vào tính toán là các kết quả tính toán chế độ trường sóng ven bờ phục vụ xây dựng công trình biển của đề tài cấp Nhà nước KH-CN-06-10 “Cơ sở khoa học và đặc trưng kỹ thuật đới bờ phục vụ xây dựng công trình biển ven bờ” bao gồm phân bố độ cao và chu kỳ sóng.

Xây dựng những nhà máy thủy điện theo những mô hình trên đây là góp phần tích cực giảm phát thải khí gây hiệu ứng nhà kính, đồng thời tạo nên nguồn năng lượng mới khi mà than đá và dầu khí ngày một cạn kiệt, và nguồn năng lượng sinh học, làm ảnh hưởng đến vấn đề an ninh lương thực.

\* Nguyễn Dược (Bài viết trích dẫn từ “Tình hình điều tra, khảo sát một số công nghệ khai thác tiềm năng năng lượng sóng biển, thủy triều ở Việt Nam” .



# Một số kết quả trong nghiên cứu phát triển năng lượng mới (năng lượng biển)

Th.S Nguyễn Chí Cường- Giám đốc,  
K.S Nguyễn Hoàng Giang  
Trung tâm Nghiên cứu Thủy khí, Viện Nghiên cứu Cơ khí

## 1. Dẫn nhập

Trong những năm gần đây, do nhu cầu phát triển kinh tế và sự cải thiện trong mức sống, nhu cầu năng lượng tiêu thụ trong nước tăng cao, trong khi các nguồn năng lượng truyền thống như thủy điện, nhiệt điện... đã được khai thác hết tiềm năng. Trước bối cảnh trên, Nhà nước đã thực thi nhiều biện pháp để đảm bảo an ninh năng lượng trong nước, bên cạnh tiết kiệm và sử dụng điện năng hiệu quả, thì tìm kiếm nguồn năng lượng mới hiện là một trong những ưu tiên hàng đầu.

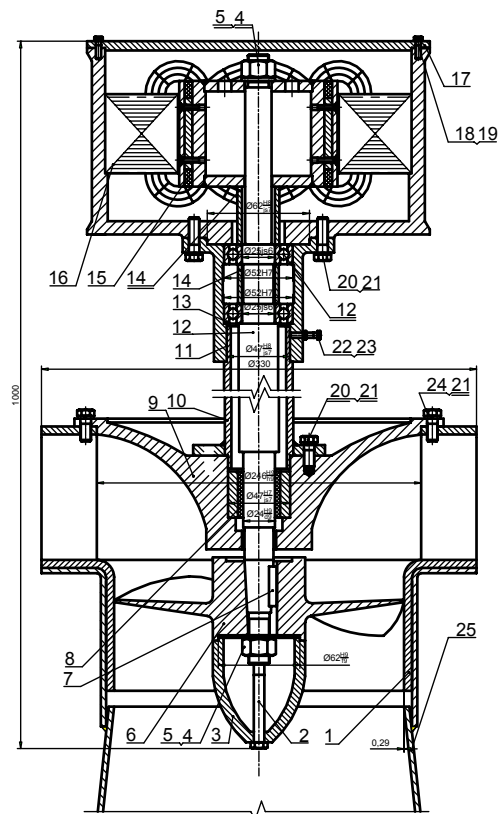
Chính phủ đã có nhiều chủ trương chính sách phát triển năng lượng mới, năng lượng tái tạo, thể hiện trong *Quy hoạch điện VII -2011* do Thủ tướng chính phủ phê duyệt đã xác định đến năm 2030, năng lượng mới, năng lượng tái tạo sẽ chiếm  $4,5 \div 6\%$  tổng điện năng cung cấp. Theo định hướng phát triển của Chính phủ, Viện đã có nhiều năm hoạt động trong nghiên cứu phát triển năng lượng mới. Trong nội dung dưới đây, chúng tôi sẽ giới thiệu một vài kết quả tiêu biểu mà Viện đã đạt được trong quá trình nghiên cứu, phát triển năng lượng biển trong những năm qua.

## 2. Năng lượng thủy triều

Năm 2008, Viện chủ trì thực hiện đề tài nghiên cứu cấp Bộ Công Nghiệp (cũ) “*Thiết kế, chế tạo tổ máy thủy điện cực nhỏ cột nước thấp, phù hợp với điều kiện làm việc ở môi trường nước biển để khai thác nguồn năng lượng thủy triều phát điện phục vụ dân sinh vùng hải đảo Quảng Ninh*”, mã số 102- 07 RD/HĐ - KHCN, thời gian thực hiện là 12 tháng.

Đề tài xuất phát từ nhu cầu thực tế, điện áp lưới quốc gia chưa thể vươn tới hải đảo, để phục vụ nhu cầu sử dụng điện năng trong công việc và sinh hoạt hàng ngày, nhân dân hải đảo này phải sử dụng máy phát điện diezen, giá thành cao, với thời gian hạn chế.

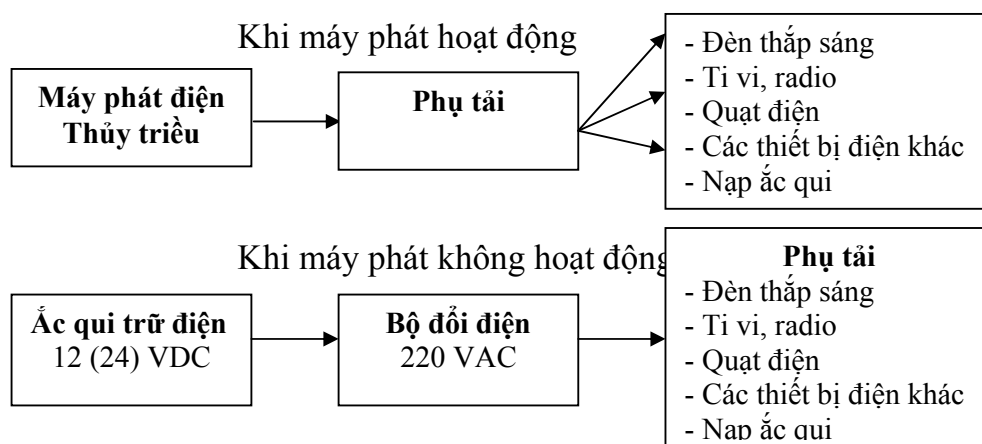
Đầm nuôi hải sản ở khu vực này hoạt động theo phương thức quảng canh, khi nước thủy triều lên, mở cửa phai để dẫn tôm, cá... vào trong đầm, khi nước thủy triều rút thì đóng



Hình 1. Kết cấu tổ máy phát điện bằng năng lượng thủy triều.

bớt dần nước ra, đầm không tháo cạn nước hoàn toàn. Nhóm thực hiện Đề tài đã đề xuất giải pháp tận dụng chênh lệch mực nước trong và ngoài khi nước bên rút đi do thủy triều để phát điện.

Sau khi khảo sát nhu cầu tiêu thụ năng lượng thực tế của các đầm cũng như các yếu tố khách quan, chủ quan khác, nhóm thực hiện Đề tài đã chọn cỡ công suất của trạm phát điện là 03x1 kW (Hình 1). Sau quá trình khảo sát, nhóm thực hiện Đề tài đã thống nhất được với chính quyền địa phương chọn đầm Ông Lão số 7, thuộc khu vực đầm Nhà Mạc, thuộc xã Phong Cốc, huyện Yên Hưng làm nơi lắp đặt, khảo nghiệm thiết bị.



Hình 2. Sơ đồ khối hoạt động của trạm phát điện bằng năng lượng thủy triều

Thiết bị phát điện bằng năng lượng thủy triều hoạt động tốt, được hộ dân sử dụng và chính quyền địa phương đánh giá cao mặc dù còn một vài hạn chế do không tính được hết các yếu tố khách quan và chủ quan tác động.

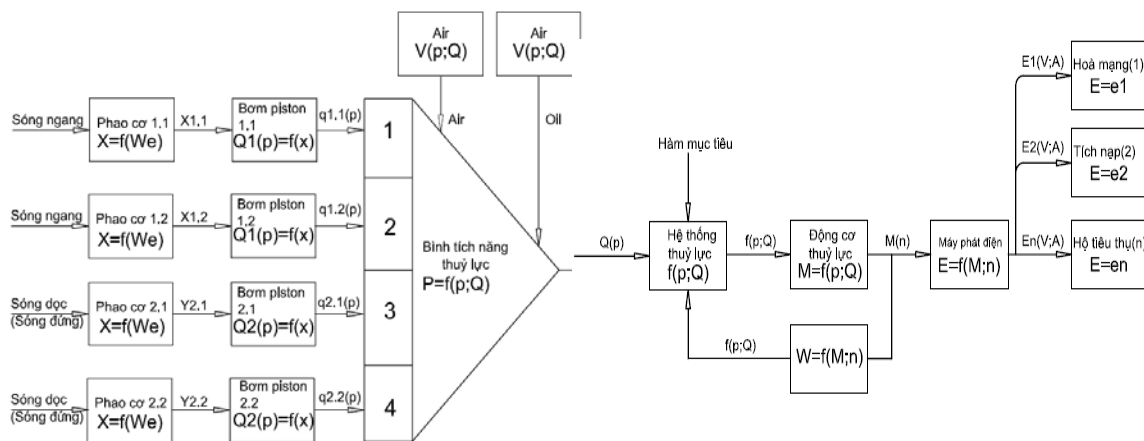
Hình 3. Trạm phát điện sử dụng năng lượng thủy triều (03 tổ máy x1 kW).



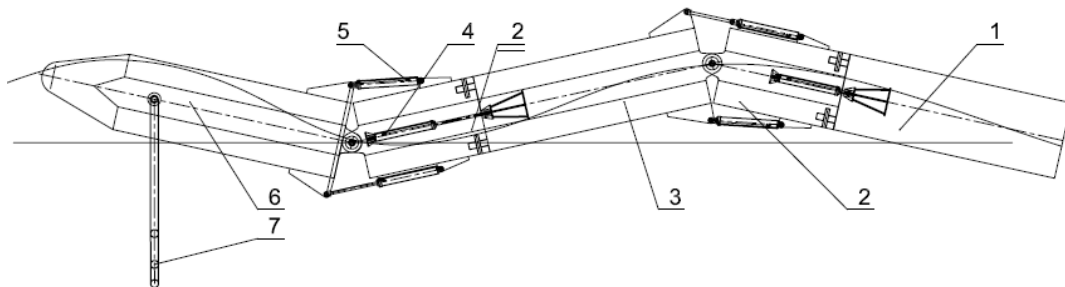
### 3. Năng lượng sóng biển

Trong thời gian vừa qua, Viện đã chủ trì thực hiện đề tài nghiên cứu KH&CN cấp Nhà nước “Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo hệ thống thiết bị phát điện sử dụng năng lượng sóng biển có công suất  $5 \div 10 \text{ kW}$ ” mã số KC.05-17/06-10 với thời hạn thực hiện là 24 tháng (01/2009 ÷ 12/2010), đây là lĩnh vực rất mới, lần đầu tiên được đề cập tại Việt Nam, trên thế giới nói chung hiện cũng mới chỉ trong giai đoạn nghiên cứu, phát triển.

Giải pháp khai thác năng lượng sóng biển thành năng lượng điện được phân định thành *nguyên lý khí động; nguyên lý thủy động; nguyên lý thủy tĩnh; nguyên lý máy phát điện tĩnh*. Qua phân tích, đánh giá ưu, nhược điểm của từng phương pháp, nhóm thực hiện Đề tài đã lựa chọn phương án nguyên lý thủy tĩnh, nhiều điểm thu nhận năng lượng (xem hình 4 dưới).



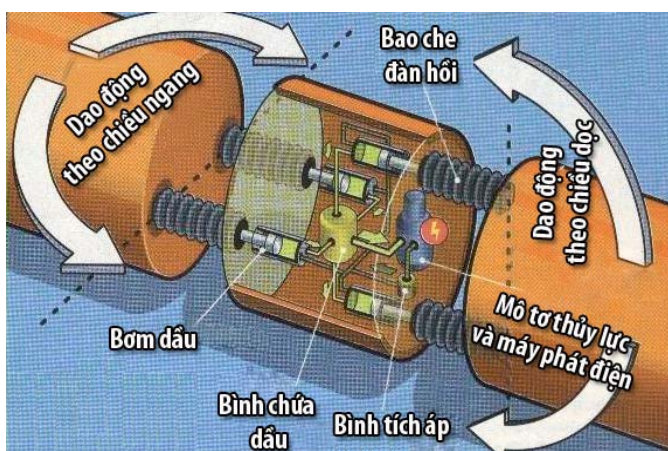
Hình 4. Sơ đồ khối của thiết bị phát điện bằng năng lượng sóng biển.



Hình 5. Thiết bị phát điện bằng năng lượng sóng biển.

Thiết bị (Hình 5) bao gồm bộ phận *thu nhận năng lượng cơ học* từ sóng biển, *module chuyển đổi năng lượng cơ học* của sóng thành năng lượng dầu ép, dầu ép được nạp vào bình tích áp, thông qua hệ thống thủy lực sẽ cung cấp năng lượng có áp suất và lưu lượng ổn định cho động cơ thủy lực lái máy phát điện. Bộ phận *thu nhận năng lượng sóng* gồm các pontoon (1,3,6) nối với potoon chứa *module chuyển đổi năng lượng* (2) bởi các khớp quay theo chiều ngang và đứng, các pontoon dao động theo sóng trên bề mặt sóng, giữa các pontoon được lắp đặt các xilanh (bơm thủy lực 5,6), chuyển đổi năng lượng chuyển động cơ học thành

năng lượng thủy tĩnh. Các chuyển động ở đây chủ yếu do lực Ac-si-mét (lực nổi của phao) và dao động của phao.



Hình 6. Nguyên lý hoạt động và kết cấu bên trong module chuyển đổi năng lượng

Thiết bị có các thông số chính như sau:

- Công suất phát tổng:  $P = 10 \text{ kW}$ ;
- Điện áp phát xoay chiều  $U = 220 \text{ V}$ ;
- Dao động điện áp  $\Delta U = 10\%$ ;
- Đường kính thân phao :  $D = 1,2 \text{ m}$ ;
- Chiều dài thân phao thu nhận:  $L_t = 3,5 \text{ m}$ ;
- Chiều dài thân module năng lượng  $L_m = 1,5 \text{ m}$ ;
- Chiều dài tổng:  $L = 14 \text{ m}$ ;

Thiết bị được khảo nghiệm, và vận hành ứng dụng tại biển gần đảo Hòn Dấu, cung cấp cho đồn bộ đội biên phòng đóng trên đảo. Thiết bị hoạt động tốt, được các đồng chí chiến sĩ trên đảo đánh giá cao (Hình 7).



Hình 7. Khảo nghiệm thiết bị trên biển

Thiết bị đã được Hội đồng KH-CN nghiệm thu cấp nhà nước Nhà nước đánh giá cao, có ý nghĩa thực tiễn về mặt khoa học, kinh tế xã hội.

Việc thiết kế, chế tạo, vận hành, thử nghiệm và ứng dụng thành công thiết bị đã khẳng định được tính khả thi và bước đầu các đơn vị trong nước đã làm chủ thiết kế, công nghệ chế tạo trong lĩnh vực năng lượng sóng biển, tạo tiền đề phát triển sâu rộng hơn, tiến đến thương mại hóa sản phẩm này.

Thiết bị có khả năng ứng dụng rộng rãi cho các hộ tiêu thụ dân sự cũng như các đơn vị bộ đội đồn chú trên biển, nơi chưa có lưới điện quốc gia.

#### **IV. Lời kết**

Qua một thời gian dài nghiên cứu, phát triển, nhận thấy Việt Nam rất có tiềm năng về năng lượng biển (năng lượng sóng biển, năng lượng thủy triều), đã được minh chứng. Tuy nhiên, do gặp nhiều khó khăn về thời gian, kinh phí ... và các yếu tố khách quan khác, nên kết quả đạt được còn có những hạn chế. Việc nghiên cứu, ứng dụng năng lượng mới, năng lượng tái tạo hiện nay ở Việt Nam (ngoại trừ năng lượng gió) mới chủ yếu ở các đề tài đơn lẻ, do các đơn vị nghiên cứu thực hiện độc lập, chưa phối hợp được với nhau, cũng như thiếu sự hợp tác quốc tế nên hiệu quả chưa cao, nên cần có thêm những định phướng, giải pháp vĩ mô... từ Nhà nước, cơ quan chức năng để đạt được các kết quả tốt hơn.

# NGHIÊN CỨU HỆ THỐNG CHUYỂN ĐỔI NĂNG LƯỢNG SÓNG BIỂN THÀNH NĂNG LƯỢNG ĐIỆN

## RESEARCH ENERGY CONVERSION SYSTEM FROM WAVE ENERGY TO ELICTRICAL ENERGY

Bùi Đăng Linh, Nguyễn Hoàng Quốc Việt, Huỳnh Châu Duy\*

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghệ TP. HCM

\*Trường ĐH Bách khoa TP. HCM

---

### TÓM TẮT

Bài báo này giới thiệu các nghiên cứu của các bộ biến đổi năng lượng sóng biển như bộ biến đổi năng lượng sóng biển chìm Aschimedes Wave Swing (AWS) và bộ biến đổi năng lượng sóng biển Wave Dragon (WD). Bên cạnh đó, các nghiên cứu, phân tích và mô phỏng kỹ thuật điều khiển công suất tác dụng và công suất phản kháng cho bộ biến đổi năng lượng sóng biển sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu cũng được giới thiệu trong bài báo. Các kết quả mô phỏng bằng phần mềm Simulink/Matlab cho thấy tính hiệu quả của các bộ điều khiển mà đã được áp dụng cho máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu của hệ thống biến đổi năng lượng sóng biển.

### ABSTRACT

This paper presents a study of wave energy converters such as Aschimedes Wave Swing (AWS) and Wave Dragon (WD). Additionally, the issue of active and reactive power control of wave energy converters using synchronous permanent magnet generator (PMSG) are also researched, analyzed and simulated in the paper. The simulation results by Simulink/Matlab show the effectiveness of the controllers that has been applied to wave energy conversion systems using PMSG.

**Từ khóa:** wave energy converters; Aschimedes Wave Swing; Wave Dragon; synchronous permanent magnet generator; active and reactive power control

### 1. GIỚI THIỆU

Với vị trí địa lý, khí hậu thuận lợi thì đất nước Việt Nam được xem là một trong những nước có nguồn tài nguyên năng lượng tái tạo khá dồi dào và đa dạng gồm: Năng lượng gió, năng lượng mặt trời, năng lượng sóng biển, nhiên liệu sinh học và địa nhiệt . . . Các nguồn năng lượng này được phân bố trải rộng trên nhiều vùng sinh thái. Trước nhu cầu sử dụng năng lượng đang gia tăng nhanh ở Việt Nam việc sớm khai thác các nguồn năng lượng đó là rất cần thiết không những góp phần giảm gánh nặng về cung cầu năng lượng khi các nguồn năng lượng truyền thống đang dần cạn kiệt mà còn có ý nghĩa to lớn trong việc bảo vệ môi

trường và phát triển bền vững. Trong khi đó, nước ta nguồn năng lượng từ biển rất dồi dào. Nước ta là nước có bờ biển rất dài, dài đến hơn 3200 km. Quanh năm sóng biển vỗ bờ. Khi có bão hoặc áp thấp nhiệt đới, sóng biển rất mạnh trong nhiều ngày liên tiếp. Trong những ngày có gió mùa đông bắc, sóng biển ở các tỉnh ven biển miền Trung cũng lớn. Trong những ngày có gió tây nam, sóng biển trên vịnh Thái Lan ở các tỉnh Kiên Giang, Cà Mau cũng lớn. Nước ta cũng có nhiều hải đảo. Quanh đảo là biển, vì vậy năng lượng của sóng biển ở ven bờ biển nước ta là rất lớn. Do đó việc chuyển hóa năng lượng của sóng thành năng lượng điện vừa khai thác được tiềm năng, vừa góp phần giải quyết được nhu cầu về năng lượng điện hiện nay và



tương lai. So với các nguồn năng lượng tái tạo khác, thì năng lượng sóng biển có mức đầu tư ít hơn, tính an toàn cao hơn, tạo được sự đồng tình trong xã hội lớn hơn, không cần một bộ máy điều hành lớn và phức tạp, mức độ ảnh hưởng đến cảnh quan môi trường không cao. Hoặc nói một cách đơn giản: trong số các nguồn năng lượng tái tạo, năng lượng sóng biển chưa được tận dụng nhiều, mặc dù người ta đều biết hiệu suất chuyên hóa thành điện của nguồn năng lượng này là cao nhất. Năng lượng điện từ sóng biển đã được thử nghiệm nhiều năm qua nhưng vẫn chưa đạt được thành công. Đến nay, khi khoa học công nghệ phát triển và thế giới đang phải đối mặt với những hậu quả nghiêm trọng do vấn đề biến đổi khí hậu gây ra thì các nhà khoa học tin tưởng rằng có thể chuyên hóa năng lượng của sóng thành năng lượng điện nhờ các bộ chuyển đổi năng lượng. Với các phân tích và đánh giá mà đã được trình bày, bài báo này trình bày các nghiên cứu bao gồm:

- Nghiên cứu và phân tích cho một vài bộ biến đổi năng lượng sóng biển như:

- + Bộ biến đổi năng lượng sóng biển chìm Aschimedea Wave Swing (AWS).
- + Bộ biến đổi năng lượng sóng biển Wave Dragon (WD).

- Nghiên cứu và phân tích kỹ thuật điều khiển công suất tác dụng và công suất phản kháng cho bộ biến đổi năng lượng sóng biển sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu.

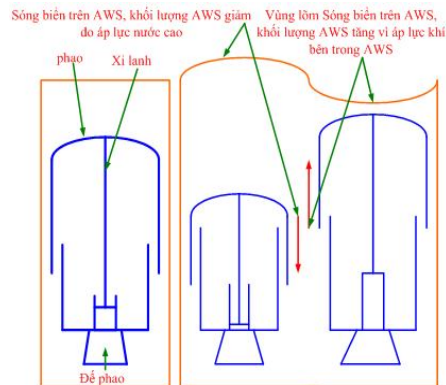
- Mô phỏng điều khiển công suất tác dụng và công suất phản kháng cho bộ biến đổi năng lượng sóng biển sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu bằng phần mềm Simulink/Matlab.

## 2. BỘ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG SÓNG BIỂN CHÌM ASCHIMEDES WAVE SWING

Sóng biển và độ dao động của từng cơn sóng biển là không ổn định. Sóng biển lúc cao, lúc thấp, lúc mạnh, lúc yếu. Chu kỳ và khoảng cách giữa 2 lần sóng biển cũng khó xác định. Mực nước biển lên cao, xuống thấp theo thủy triều. Khi có bão hoặc áp thấp nhiệt đới, sóng biển thường liên tục mạnh trong nhiều ngày. Nhưng việc tạo ra điện năng từ các bộ biến đổi năng lượng sóng biển là đòi hỏi phải ổn định, liên tục và lâu dài. Chính vì vậy, việc phân tích bộ biến đổi năng lượng sóng biển cần phải được thực hiện với các thông số kỹ thuật để từ

đó có thể lựa chọn các giải pháp phục vụ cho việc điều khiển các bộ biến đổi năng lượng sóng biển hoạt động tốt đáp ứng được các điều kiện sóng biển tạo ra. Chương này sẽ thực hiện phân tích một trong các bộ biến đổi năng lượng sóng biển. Đó là bộ biến đổi năng lượng sóng biển chìm Aschimedea Wave Swing (AWS).

Hệ thống biến đổi năng lượng sóng biển AWS là một hệ thống bao gồm: Một khối hình trụ rỗng được lấp đầy khí, gắn cố định dưới đáy biển và một phao di chuyển theo chiều dọc. Khi sóng ở trên AWS, khối lượng AWS giảm do áp lực nước cao và khi vùng lõm sóng ở trên AWS, khối lượng AWS gia tăng vì áp lực khí bên trong. AWS là hệ thống chuyển đổi năng lượng sóng duy nhất được nhấn chìm hoàn toàn. Đây là điểm quan trọng, vì điều này làm cho hệ thống ít bị tấn công trong những cơn bão. Hệ thống AWS sử dụng máy phát điện nam châm vĩnh cửu tuyến tính để biến đổi năng lượng sóng biển thành năng lượng điện.



Hình 1. Nguyên lý hoạt động của hệ thống AWS

\* **Mô hình toán học cho sự chuyển động của hệ thống AWS**

- Trong điều kiện sóng dao động bình thường

$$\frac{dx}{dt} = v \quad (1)$$

$$F_{s\text{ong}} = m_{\text{tot}} \frac{dv}{dt} + \beta_g v + \beta_w v + k_s x \quad (2)$$

Trong đó:

$x$ : là khoảng cách di chuyển của phao và bộ phận chuyển đổi

$v$ : là tốc độ di chuyển của phao và bộ phận chuyển đổi

$m_{tot}$ : là tổng khối lượng của phao  
 $\beta_g$ : là hệ số sụt giảm của AWS  
 $\beta_w$ : là hệ số thủy lực của AWS  
 $k_s$ : là hệ số đàn hồi của AWS  
 $F_{sóng}$ : là tổng lực tác động lên nắp có được từ sóng biển

**- Trong điều kiện sóng dao động bất thường**

$$F_{sóng} = F_1 \sin(\omega_1 t + \varphi) + F_2 \sin(\omega_2 t + \varphi) \quad (3)$$

Thế (3) và (2), khi ấy:

$$\begin{aligned}
 m_{tot} \frac{dv}{dt} + \beta_g v + \beta_w v + k_s x & \quad (4) \\
 = F_1 \sin(\omega_1 t + \varphi) + F_2 \sin(\omega_2 t + \varphi) &
 \end{aligned}$$

**\* Máy phát điện nam châm vĩnh cửu tuyến tính trong hệ thống AWS**

**- Cấu tạo**

Máy phát điện nam châm vĩnh cửu tuyến tính có cấu tạo bao gồm: phần chuyển đổi với các nam châm được lắp vào các cực chuyển đổi. Bộ phận chuyển đổi di chuyển tuyến tính.

Máy phát điện nam châm vĩnh cửu tuyến tính với stator là phần tĩnh chứa các cuộn dây dẫn, cuộn dây phản ứng. Giữa bộ phận chuyển đổi và stator là khoảng trống không khí. Điện thế được cảm ứng trong các cuộn dây vì từ trường thay đổi do bộ chuyển đổi chuyển động.

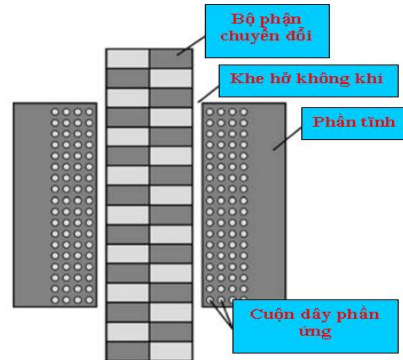
**- Nguyên lý hoạt động của máy phát nam châm vĩnh cửu tuyến tính**

Khi nam châm vĩnh cửu trên bộ chuyển đổi di chuyển tương đối với stator thì một lực điện động EMF được cảm ứng trong cuộn dây phản ứng. Lực điện động EMF sẽ được tạo ra, nếu cuộn dây phản ứng được nối với tải thì sẽ điều khiển dòng điện trong cuộn dây phản ứng. Dòng điện này lần lượt tạo ra từ thông tương tác với từ thông của nam châm vĩnh cửu và tạo ra một lực trong phần chuyển đổi. Cơ năng được điều chỉnh bởi bộ phận chuyển đổi, có thể được chuyển đổi thành điện năng.

Vì chuyển động của phao là tuyến tính, nên máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu tuyến tính được chọn lựa để chuyển đổi năng lượng sóng biển thành năng lượng điện.

Sự chọn lựa này là vì máy phát đồng bộ nam châm vĩnh cửu tuyến tính là máy phát có chi phí và tổn thất là thấp nhất. Bên cạnh đó, tỷ

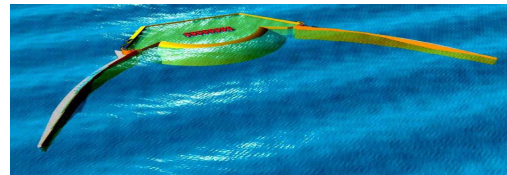
trọng và hiệu suất cao được xem là phù hợp với AWS.



Hình 2. Cấu tạo máy phát tuyến tính

**3. BỘ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG SÓNG BIỂN WAVE DRAGON**

Wave Dragon là một bộ chuyển đổi năng lượng sóng biển thành năng lượng điện nổi và được neo. Nó thuộc loại đập tràn mà có thể được sử dụng đơn lẻ hoặc được kết hợp để hình thành một nhà máy điện với công suất tương đương với các nhà máy điện truyền thống dựa trên các nguồn nhiên liệu hóa thạch. Hệ thống đầu tiên được kết nối với lưới điện hiện đang được triển khai ở Nissum Bredning, Đan Mạch. Một quá trình thử nghiệm dài đã được thực hiện để xác định hiệu suất của hệ thống dưới các điều kiện biển khác nhau. Khái niệm WD kết hợp các công nghệ của các thiết bị khai thác năng lượng sóng biển xa bờ hiện có, đang phát triển và công nghệ tuabin thủy điện theo một cách mới. WD là một công nghệ chuyển đổi năng lượng sóng biển duy nhất đang được phát triển theo quy mô tự do. Do kích thước tương đối lớn vì vậy việc bảo trì và ngay cả các công tác sửa chữa lớn cũng có thể được thực hiện trên biển dẫn đến chi phí vận hành và bảo trì thấp hơn so với các bộ biến đổi khác.



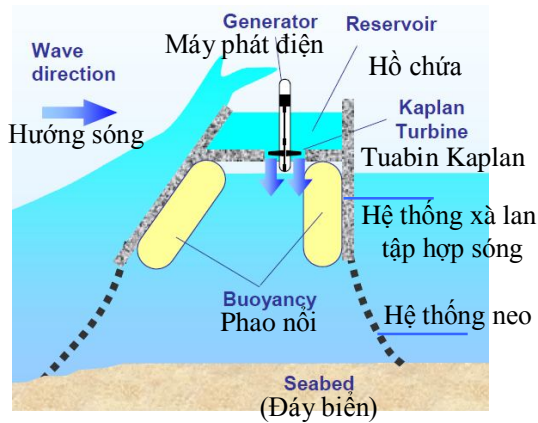
Hình 3. Hệ thống biến đổi năng lượng sóng biển WD



Về cơ bản, WD bao gồm hai bộ phận mà có thể được xem như là hai cánh tay được sử dụng để tập trung sóng biển hướng đến một đoạn đường. Sau đoạn đường là một hồ chứa lớn, nơi mà nước được tập hợp và lưu trữ tạm thời. Nước này sẽ rời khỏi hồ chứa thông qua các tuabin thủy điện.

Tóm lại, các thành phần chính của một hệ thống WD sẽ bao gồm:

- Đoạn đường với bê-tông cốt thép và/hoặc thép xây dựng;
- Hai cánh tay tập hợp sóng bằng thép và/hoặc bê-tông cốt thép;
- Hệ thống neo;
- Tuabin cánh quạt với máy phát điện nam châm vĩnh cửu.



Hình 4. Các bộ phận cơ bản của hệ thống biến đổi năng lượng sóng biển WD

Các kích thước vật lý của một WD sẽ được tối ưu hóa tương ứng với các dạng sóng tại vị trí khai thác khác nhau bao gồm chiều rộng của đoạn đường tập hợp sóng, chiều dài của các cánh tay, trọng lượng, số lượng và kích thước của các tuabin.

Về cơ bản, có thể nhận thấy rằng bộ phận chính của WD là một hồ chứa nổi lớn. Để giảm xoay, lắc và để đảm bảo sản xuất kinh tế của việc sản xuất điện từ sóng biển, WD cần phải lớn và nặng. Hệ thống WD được thử nghiệm tại Bredning Nissum là một tấm thép xây dựng truyền thống, giống như một xà lan với thép tấm dày khoảng 8 mm. Tổng trọng lượng thép của xà lan, cộng với đoạn đường nổi là 150 tấn. Để đạt được tổng trọng lượng mong muốn là 237 tấn, 87 tấn nước dẫn xà lan được thêm vào.

Trong điều kiện sóng biển 36 kW/m, hệ thống xà lan này sẽ có kích thước là 140 × 95 m mà được hình thành bởi thép và bê-tông cốt thép. Phần trên của WD là hồ chứa nước. Tại Bredning Nissum, thể tích hồ chứa thử nghiệm nguyên mẫu là 55 m<sup>3</sup>, trong khi đó, với điều kiện sóng 36 kW/m thể tích hồ chứa sẽ tương ứng vào khoảng 8000 m<sup>3</sup>.

Một trong những đặc điểm chính của WD là nó sẽ liên tục được điều chỉnh để thay đổi và thích nghi với chiều cao của sóng bằng cách thay đổi chiều cao phao nổi. Điều này đạt được bằng cách thay đổi áp suất không khí trong các buồng không khí. Một hệ thống phao nổi và xà lan được cố định để đảm bảo hệ thống WD ổn định và đặc biệt là để giảm các dao động lớn do sóng biển gây ra.

Để tối đa hóa hiệu quả nước tràn, một sự kết hợp giữa hai cánh tay và hệ thống đường dẫn được nghiên cứu và thiết kế. Trong đó, có thể nhận thấy rằng, hai cánh tay tập hợp sóng sẽ ảnh hưởng lớn đến các chi phí xây dựng của một bộ chuyển đổi năng lượng sóng biển thuộc dạng đập tràn. Mỗi cánh tay thử nghiệm của hệ thống WD tại Bredning Nissum có chiều dài 27 m, chiều cao 3,5 m và nặng 25 tấn. Trong trường hợp WD được xây dựng cho điều kiện sóng 36 kW/m thì mỗi cánh tay sẽ có chiều dài là 145 m và chiều cao là 19 m. Các cánh tay này sẽ được giữ cố bởi hệ thống neo và dây.

#### 4. ĐIỀU KHIỂN CÔNG SUẤT TÁC DỤNG VÀ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU TRONG HỆ THỐNG BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG SÓNG BIỂN WAVE DRAGON

Khi đưa hệ thống biến đổi năng lượng sóng biển Wave Dragon (WD) với máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu vào vận hành độc lập hoặc khi kết nối với hệ thống điện quốc gia thì những yêu cầu khắt khe đối với lưới điện là cần thiết, nó là một phần quy định của vận hành hệ thống điện. Những quy định này đưa ra những yêu cầu cho hệ thống biến đổi làm việc dưới điều kiện vận hành bình thường cũng như sự cố. Trong trường hợp này, việc điều chỉnh để phát công suất tác dụng và phản kháng theo yêu cầu là một trong những bài toán quan trọng mà sẽ được đề cập trong chương này.

##### - Điều khiển công suất tác dụng

Điều khiển công suất tác dụng liên quan đến tần số của hệ thống điện. Đối với hệ thống điện

Việt Nam tần số vận hành của hệ thống là  $(50 \pm 0,2)$ Hz. Khi hệ thống chuyển đổi năng lượng sóng biển vận hành độc lập, nhu cầu điều chỉnh công suất tác dụng cung cấp cho phụ tải là quan trọng. Trong một trường hợp khác, khi hệ thống được kết nối với hệ thống điện quốc gia thì yêu cầu điều chỉnh công suất tác dụng của hệ thống chuyển đổi năng lượng sóng biển để điều chỉnh được tần số cũng không kém phần quan trọng. Ngoài ra, tốc độ thay đổi của tần số cũng là một yêu cầu đối với các nhà máy điện nói chung khi kết nối đến hệ thống điện.

#### - Điều khiển công suất phản kháng

Điều khiển công suất phản kháng liên quan đến vấn đề điều khiển điện áp. Do đó, nó có vai trò quan trọng trong điều kiện vận hành bình thường cũng như sự cố.

#### - Các kỹ thuật điều khiển công suất tác dụng và công suất phản kháng

Thông thường, các bộ biến đổi điện tử công suất sử dụng các kỹ thuật điều khiển vector để điều khiển. Bằng việc sử dụng các kỹ thuật này, cho phép điều khiển công suất tác dụng và công suất phản kháng đi qua bộ biến đổi theo những chiều hướng khác nhau. Lý thuyết của kỹ thuật điều khiển này là chọn một hệ trục tọa độ tham chiếu và hệ trục này quay với một tốc độ góc xác định. Do đó, khi một đối tượng cần điều khiển trong hệ tọa độ tĩnh biến đổi theo thời gian (thành phần AC), khi chuyển sang hệ tọa độ tham chiếu mới, nó trở thành một đại lượng không phụ thuộc vào thời gian (thành phần DC). Điều này làm cho việc điều khiển các đối tượng mới này trở nên dễ dàng hơn. Thông thường, các hệ trục tọa độ tham chiếu dựa vào từ thông hoặc điện áp của lưới hoặc stator; hoặc từ trường của rotor máy phát. Việc lựa chọn các hệ trục tọa độ tham chiếu và góc quay hợp lý sẽ giúp chúng ta dễ dàng quan sát và điều khiển các đối tượng trong hệ trục tọa độ tham chiếu.

#### - Các phương pháp điều khiển bộ nghịch lưu phía lưới

Cấu trúc điều khiển nghịch lưu PWM về cơ bản có cùng chung một mục đích nhưng lại được dựa trên các nguyên tắc khác nhau. Chúng được phân loại dựa trên hai nguyên tắc:

- Điều khiển dựa trên điện áp,
- Điều khiển dựa trên từ thông ảo.

Trong đó, điều khiển nghịch lưu PWM theo định hướng vector điện áp lưới gồm hai phương pháp là:

- + Điều khiển định hướng vector điện áp (Voltage Oriented Control, VOC),
- + Điều khiển công suất trực tiếp (Direct Power Control, DPC).

Cả hai phương đều chọn hệ trục tọa độ tham chiếu là SVRF (Stator Voltage Oriented Reference Frame).

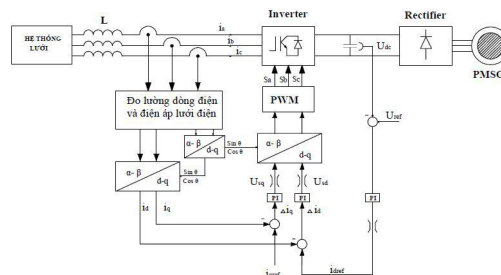
Trong khi đó, phương pháp điều khiển dựa trên từ thông ảo là phương pháp cần phải ước lượng từ thông ảo của lưới điện. Điều khiển theo vector từ thông ảo bao hai phương pháp là:

- + Điều khiển định hướng vector từ thông điện áp (Voltage Flux Oriented Control, VFOC),
- + Điều khiển công suất trực tiếp theo định hướng vector từ thông điện áp (Voltage Flux Direct Power Control, DPC).

Trong phạm vi của bài báo này, phương pháp VOC sẽ được lựa chọn cho việc điều khiển công suất tác dụng và công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu trong hệ thống biến đổi năng lượng sóng biển thành năng lượng điện WD.

#### - Điều khiển nghịch lưu theo định hướng vector điện áp.

Đặc điểm của phương pháp điều khiển này là dựa vào dòng điện để xử lý tín hiệu trên hai hệ trục tọa độ mà bao gồm hệ trục tọa độ cố định  $\alpha-\beta$  và hệ trục tọa độ quay  $d-q$ . Các giá trị dòng điện đo được trong hệ trục tọa độ tĩnh ba pha được biến đổi sang hệ trục tọa độ cố định  $\alpha-\beta$ , sau đó được biến đổi sang hệ trục tọa độ  $d-q$ . Cấu trúc điều khiển PWM theo VOC là như sau:

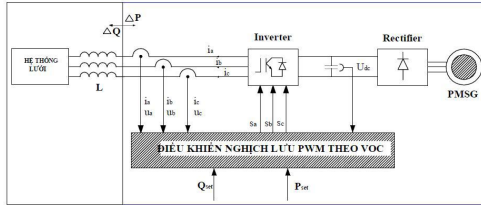


Hình 5. Sơ đồ điều khiển nghịch lưu PWM theo VOC

Khi chọn trục  $d$  trùng với trục điện áp của lưới và hệ trục  $d-q$  quay cùng với tần số của lưới là  $\omega$ . Do đó:  $U_d = U_L$  và  $U_q = 0$ , điều này cũng có nghĩa là trên sơ đồ điều khiển thành phần,  $U_q$  bị triệt tiêu.

- Mô phỏng điều khiển công suất tác dụng và công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu trong hệ thống biến đổi năng lượng sóng biển thành năng lượng điện WD

Bằng phương pháp điều khiển định hướng vector điện áp lưới, công suất tác dụng, P và công suất phản kháng, Q của hệ thống WD sẽ được thực hiện điều khiển thông qua sơ đồ sau:



Hình 6. Sơ đồ điều khiển P và Q của hệ thống biến đổi WD

Theo phương pháp điều khiển định hướng vector điện áp của lưới thì  $U_{Lq} = 0$ . Khi ấy, công suất tác dụng và công suất phản kháng của lưới tương ứng sẽ là:

$$P_{grid} = \frac{3}{2} U_d I_d \quad (5)$$

Suy ra:

$$I_d = \frac{2}{3} \frac{P_{grid}}{U_d} \quad (6)$$

và

$$Q_{grid} = -\frac{3}{2} U_d I_q \quad (7)$$

Suy ra:

$$I_q = -\frac{2}{3} \frac{Q_{grid}}{U_d} \quad (8)$$

Việc điều khiển công suất tác dụng và công suất phản kháng thông qua việc điều khiển hai thành phần của dòng điện  $I_d$  và  $I_q$  tương ứng.

## 5. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

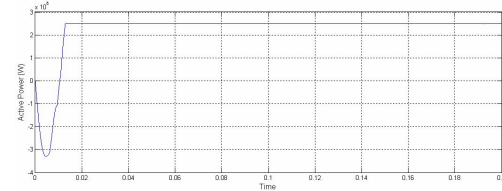
### 5.1. Trường hợp 1

\* **Thông số đặt:**

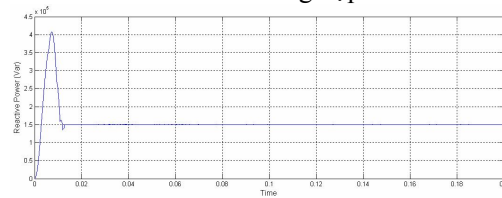
- Các giá trị đặt của công suất tác dụng và công suất phản kháng lần lượt là:  $P_{ref} = 250$  kW và  $Q_{ref} = 150$  kVAR.

- Tốc độ rotor,  $\omega_r = 3,2$  (rad/s).

\* **Kết quả mô phỏng:**



Hình 7. Công suất tác dụng của PMSG phát lên lưới của trường hợp 1



Hình 8. Công suất phản kháng của PMSG phát lên lưới của trường hợp 1

\* **Nhận xét:**

Công suất tác dụng, P và công suất phản kháng, Q của máy phát luôn bám theo được các giá trị yêu cầu,  $P_{ref} = 250$  kW và  $Q_{ref} = 150$  kVAR. Đáp ứng công suất tác dụng của máy phát ổn định nhanh sau khoảng thời gian quá độ,  $t_{qd} = 0.0165$ s và tương tự, đáp ứng công suất phản kháng của máy phát cũng ổn định nhanh sau khoảng thời gian quá độ,  $t_{qd} = 0.0172$ s. Ngoài ra, trong khoảng thời gian  $t = [0, 0.011$ s], công suất tác dụng,  $P < 0$ , máy phát làm việc ở chế độ động cơ.

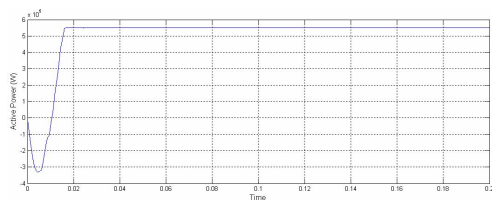
### 5.2. Trường hợp 2

\* **Thông số đặt:**

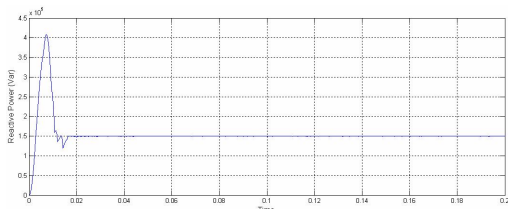
- Các giá trị đặt của công suất tác dụng và công suất phản kháng lần lượt là:  $P_{ref} = 550$  kW và  $Q_{ref} = 150$  kVAR.

- Tốc độ rotor,  $\omega_r = 3,2$  (rad/s).

\* **Kết quả mô phỏng:**



Hình 9. Công suất tác dụng của PMSG phát lên lưới của trường hợp 2



Hình 10. Công suất phản kháng của PMSG phát lên lưới của trường hợp 2

**\* Nhận xét:**

Công suất tác dụng,  $P$  và công suất phản kháng,  $Q$  của máy phát luôn bám theo được các giá trị yêu cầu,  $P_{ref} = 550$  kW và  $Q_{ref} = 150$  kVAR. Đáp ứng công suất tác dụng của máy phát ổn định nhanh sau khoảng thời gian quá độ,  $t_{qd} = 0.0173$ s và tương tự, đáp ứng công suất phản kháng của máy phát cũng ổn định nhanh sau khoảng thời gian quá độ,  $t_{qd} = 0.0186$ s. Ngoài ra, trong khoảng thời gian  $t = [0, 0.011$ s], công suất tác dụng,  $P < 0$ , máy phát làm việc ở chế độ động cơ.

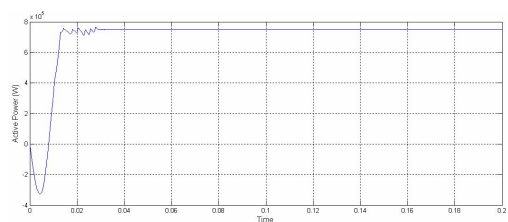
**5.3. Trường hợp 3**

**\* Thông số đặt:**

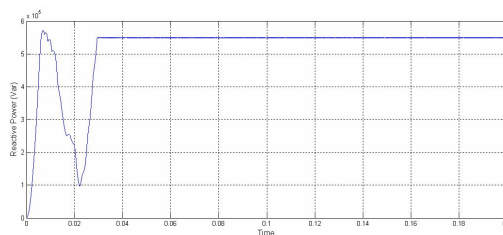
- Các giá trị đặt của công suất tác dụng và công suất phản kháng lần lượt là:  $P_{ref} = 750$  kW và  $Q_{ref} = 550$  kVAR.

- Tốc độ rotor,  $\omega_r = 3,2$  (rad/s).

**\* Kết quả mô phỏng:**



Hình 11. Công suất tác dụng của PMSG phát lên lưới của trường hợp 3



Hình 12. Công suất phản kháng của PMSG phát lên lưới của trường hợp 3

**\* Nhận xét:**

Công suất tác dụng,  $P$  và công suất phản kháng,  $Q$  của máy phát luôn bám theo được các giá trị yêu cầu,  $P_{ref} = 750$  kW và  $Q_{ref} = 550$  kVAR. Đáp ứng công suất tác dụng của máy phát ổn định nhanh sau khoảng thời gian quá độ,  $t_{qd} = 0.029$ s và tương tự, đáp ứng công suất phản kháng của máy phát cũng ổn định nhanh sau khoảng thời gian quá độ,  $t_{qd} = 0.031$ s. Ngoài ra, trong khoảng thời gian  $t = [0, 0.0085$ s], công suất tác dụng,  $P < 0$ , máy phát làm việc ở chế độ động cơ.

**5.4. Trường hợp 4**

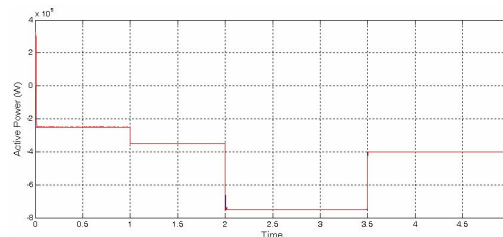
**\* Thông số đặt:**

- Giá trị đặt của công suất tác dụng,  $P$  được thay đổi theo thời gian với các giá trị lần lượt như sau:

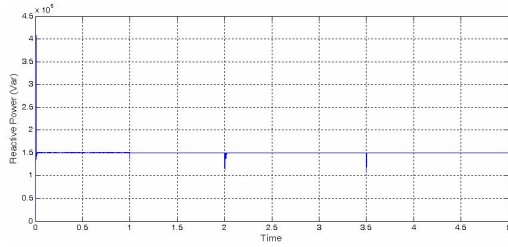
t(s)	0	0	1	1	2	2	3.5	3.5	5
P(kW)	0	-250	-250	-350	-350	-750	-750	-400	-400

- Tốc độ rotor,  $\omega_r = 3,2$  (rad/s)

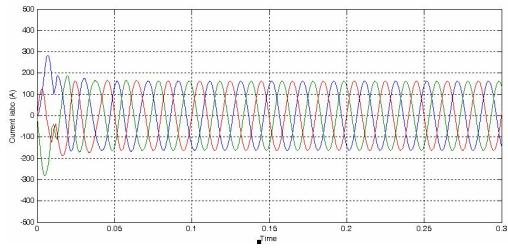
**\* Kết quả mô phỏng:**



Hình 13. Công suất tác dụng của PMSG phát lên lưới của trường hợp 4



Hình 14. Công suất phản kháng của PMSG phát lên lưới của trường hợp 4



Hình 15. Dòng điện của PMSG phát lên lưới của trường hợp 4

**\* Nhận xét:**

Công suất tác dụng,  $P$  luôn bám theo được các giá trị yêu cầu và công suất phản kháng,  $Q$  không thay đổi,  $Q = 150$  kVAR. Điều này cũng có nghĩa là việc điều khiển công suất  $P$  và  $Q$  độc lập với nhau.

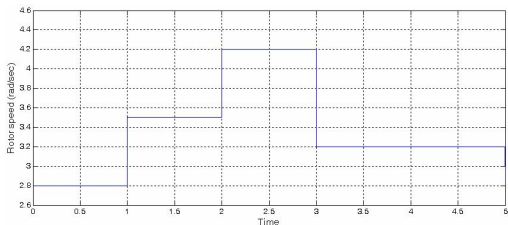
**5.5. Trường hợp 5**

**\* Thông số đặt:**

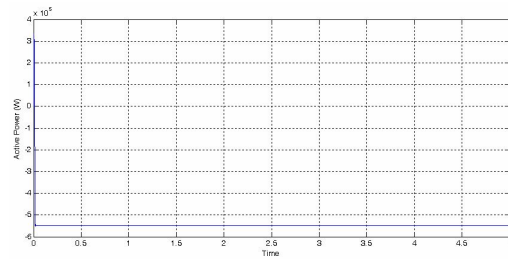
- Giá trị đặt của công suất tác dụng,  $P_{ref} = -550$  kW,  $Q_{ref} = 150$  kVAR.
- Tốc độ rotor,  $\omega_r$  thay đổi như sau:

$t(s)$	0	0	1	1	2	2	3,5	3,5	5
$\omega_r(\text{rad/s})$	0	2,8	2,8	3,5	3,5	4,2	4,2	3,2	3,2

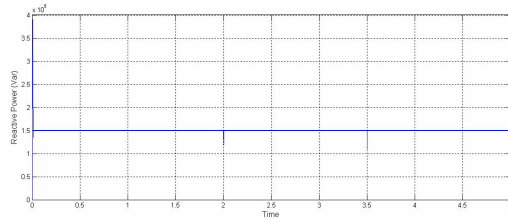
**\* Kết quả mô phỏng:**



Hình 16. Tốc độ rotor của PMSG trong trường hợp 5



Hình 17. Công suất tác dụng của PMSG phát lên lưới của trường hợp 5



Hình 18. Công suất phản kháng của PMSG phát lên lưới của trường hợp 5

**\* Nhận xét:**

Công suất tác dụng,  $P$  và công suất phản kháng,  $Q$  của máy phát luôn bám theo được các giá trị yêu cầu,  $P_{ref} = -550$  kW và  $Q_{ref} = 150$  kVAR bất chấp các thay đổi của tốc độ rotor,  $\omega_r$ . Đáp ứng công suất tác dụng và công suất phản kháng của máy phát ổn định nhanh sau khoảng thời gian quá độ.

**6. KẾT LUẬN**

Các kết quả đạt được trong bài báo bao gồm nghiên cứu và phân tích các bộ biến đổi năng lượng sóng biển chìm Archimedes Wave Swing (AWS) và bộ biến đổi năng lượng sóng biển Wave Dragon. Các kết quả mô phỏng điều khiển công suất tác dụng và công suất phản kháng cho bộ biến đổi năng lượng sóng biển sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu bằng phần mềm Simulink/Matlab luôn thỏa mãn được các yêu cầu về giá trị điều khiển cũng như tốc độ đáp ứng.

**TÀI LIỆU KHAM THẢO**

[1] <http://tietkiemnangluong.com.vn>.  
 [2] <http://www.evn.com.vn>.  
 [3] <http://moi.truong.xaydung.gov.vn>.  
 [4] <http://www.google.com.vn/bờ-biển-việt-nam>



- [5] H. Polinder and M. Scuotto “Wave energy converters and their impact on Power Systems”, IEEE Conference, 2004.
- [6] L.Rodrigues, “Wave power conversion systems for electrical energy production”, Department of Electrical Engineering Faculty of Science and Technology, Nova University of Lisbon, 2006.
- [7] J. P. Kofoed, P. Frigaad, E. Friis-Madsen and H.C.Sorensen “Prototype testing of the wave energy converter wave dragon”, IEEE Conference, 2003.
- [8] F.Wu, X. P. Zhang, P. Ju, and etc “Sterling modeling and control of AWS-based wave energy conversion system integrated into power grid”, IEEE Conference, 2009.
- [9] J.Cruz, Ocean wave energy, Springer Publisher, 2008.
- [10] Phạm Văn Bình, Máy điện tổng quát, Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, 2003.
- [11] J. Faiz and M. E. Salari, “Design and simulation of a 250 kW linear permanent magnet generator for wave energy to electric conversion in Caspian Sea”, IEEE Conference, 2007.
- [12] J. Tedd, J. P. Kofoed, W. Knapp, E. Friis-Madsen, H.C.Sorensen, “Wave Dragon, prototype wave power production”, 16th World Renewable Energy Congress, Florence, Italy, 2006.
- [13] Z. Zhou, W. Knapp, J. MacEnri, and etc, “Permanent magnet generator control and electrical system configuration for wave dragon MW wave energy take-off system”, IEEE Conference, 2008.
- [14] M.Jasinski, “Vector control of AC/DC/AC converter – generator subset in wave-to-wire power train for wave dragon MW”, IEEE Conference, 2007.
- [15] Introduction to Simulink/Matlab, 2011.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

KHOA VẬT LÝ

□□□□□

TIỂU LUẬN MÔN PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU KHOA HỌC

**ĐỀ TÀI**

# NĂNG LƯỢNG XANH



**GVHD:** Thầy Lê Văn Hoàng

**SVTH:** Lương Tuấn Anh

Trương Văn Hên

Phan Anh Huy

Nguyễn Cao Khả

Lớp Lý 3A

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 5/2009

## Mục lục

Lời nói đầu .....	3
A. Phần mở đầu .....	4
A.I. Định nghĩa .....	4
A.II. Lý do chọn đề tài:.....	4
A.II.1. Năng lượng hóa thạch không phải là vô hạn.....	4
A.II.2. Năng lượng hóa thạch gây ô nhiễm môi trường.....	6
A.II.3. Năng lượng hóa thạch là nguyên nhân dẫn đến các tranh chấp trên thế giới	8
B. Nội dung chính: các dạng năng lượng xanh .....	8
B.I. Năng lượng mặt trời .....	8
B.I.1. Năng lượng mặt trời – nguồn năng lượng của tương lai.....	8
B.I.2. Biến năng lượng mặt trời thành điện năng.....	10
B.I.3. Sử dụng nhiệt năng của ánh sáng mặt trời. ....	24
B.II. Năng lượng gió .....	25
B.II.1. Lịch sử hình thành .....	25
B.II.2. Nguyên lý làm việc của tuabin gió .....	26
B.III. Năng lượng Hydro .....	32
B.III.1. Đặc tính của Hydro .....	32
B.III.2. Sản xuất Hydro: .....	32
B.III.3. Cát trữ hydro:.....	36
B.III.4. Sản xuất điện năng từ hydro .....	39
B.IV. Năng lượng thủy triều.....	42
B.IV.1. Nguồn gốc của năng lượng thủy triều.....	42
B.IV.2. Các loại năng lượng thủy triều: .....	43
B.IV.3. Nguyên tắc hoạt động: .....	43
B.IV.4. Một số dự án khai thác năng lượng thủy triều.....	44
C. Phần kết : Năng lượng xanh tại Việt Nam – thực trạng và tiềm năng phát triển.	45



C.I.	Năng lượng mặt trời: .....	45
C.I.1.	Vấn đề sử dụng năng lượng mặt trời tại Việt Nam: .....	45
C.I.2.	Tiềm năng phát triển: .....	49
C.II.	Năng lượng gió: .....	53
C.II.1.	Tiềm năng điện gió của Việt Nam.....	53
C.II.2.	Các dự án phong điện ở Việt Nam.....	54
C.III.	Năng lượng Hydro.....	55
D.	Tài liệu tham khảo.....	59

### **Lời nói đầu**

Năng lượng xanh là khái niệm không còn xa lạ đối với chúng ta, đó là khái niệm để chỉ những nguồn năng lượng có trữ lượng gần như vô tận và thân thiện với môi trường. Trong hoàn cảnh năng lượng hóa thạch đang cạn kiệt dần, chất thải từ việc sử dụng năng lượng hóa thạch gây ô nhiễm môi trường, làm thay đổi khí hậu, đe dọa cuộc sống của chúng ta thì vấn đề thay thế dần năng lượng hóa thạch bằng năng lượng xanh là vấn đề rất cấp bách! Năng lượng xanh hiện như một viên ngọc thô đang trong tiến trình mài giũa, vấn đề là liệu chúng ta có còn đủ thời gian để đối mặt với bao thách thức mà năng lượng hóa thạch đặt ra để chờ cho viên ngọc kia sáng hay không mà thôi!

Việt Nam chúng ta đang trong tiến trình hội nhập, nền kinh tế còn non trẻ, khoa học kỹ thuật còn chậm phát triển, đời sống người dân còn nhiều khó khăn nhưng cũng đã và đang có những con người tham gia vào tiến trình mài giũa kia với chỉ một mong muốn rằng năng lượng xanh sẽ tỏa sáng! Đề tài nghiên cứu này ra đời cũng nhằm mục đích góp một phần nhỏ cho mong muốn kia dần trở thành hiện thực. Đề tài được tổng hợp từ nhiều nguồn tư liệu khác nhau và tính khái quát hóa, đề tài chỉ đề cập đến những gì cơ bản nhất về năng lượng xanh chứ không đi vào tìm hiểu một cách đầy đủ và chi tiết vì vấn đề mà đề tài nghiên cứu là rất rộng. Mong rằng sau khi đọc xong đề tài này, người đọc sẽ có những khái niệm cơ bản nhất về năng lượng xanh cùng chung tay thực hiện mong muốn khai sáng năng lượng xanh!!

Ngày 15 tháng 5 năm 2009

Nhóm nghiên cứu

## **A.Phần mở đầu**

### **A.I.Định nghĩa**

Năng lượng xanh là một thuật ngữ được sử dụng để mô tả các nguồn năng lượng được coi là thân thiện với môi trường và ít gây ô nhiễm.

Các dạng năng lượng xanh phổ biến

- Năng lượng mặt trời
- Năng lượng gió
- Năng lượng nước (thủy điện)
- Năng lượng địa nhiệt
- Năng lượng thủy triều và Nhiệt năng biển
- Năng lượng sinh học
- Năng lượng hydro

Dựa trên tiêu chí của nhóm là những nguồn năng lượng ít tác động nhất đến môi trường, có tính phổ biến, được nghiên cứu rộng rãi trên khắp thế giới và nhất là có khả năng áp dụng vào điều kiện của Việt Nam. Do đó nhóm chúng tôi sẽ tập trung vào các nguồn năng lượng xanh sau: Năng lượng mặt trời, năng lượng gió, năng lượng hydro

### **A.II.Lý do chọn đề tài:**

#### **A.II.1.Năng lượng hóa thạch không phải là vô hạn**

##### **Sơ lược về quá trình sử dụng năng lượng của con người**

Tổ tiên chúng ta đã biết sử dụng lửa từ hàng trăm nghìn năm trước. Khi con người còn sinh hoạt trong hang động, thì lửa được sử dụng để chiếu sáng, sưởi ấm và nấu nướng. Nguồn năng lượng động lực trong thời kỳ đó là sức người và gia súc.

Sau đó, nhờ sử dụng lửa, tổ tiên chúng ta đã làm ra được đồ gốm và các công cụ bằng kim loại. Với những công cụ đó, con người đã thực hiện được các hoạt động sản xuất như canh tác, trồng trọt và chăn nuôi, qua đó các cộng đồng xã hội được hình thành. Có thể nói rằng, lửa chính là xuất phát điểm của nền văn minh nhân loại.

Vào cuối thế kỷ 18, ở Anh đã phát minh ra máy hơi nước dùng nhiên liệu than đá. Từ đó, cuộc cách mạng về động lực bùng nổ và dẫn đến cuộc cách mạng công nghiệp.

Hơn nữa, với kỹ thuật của động cơ đốt trong và sử dụng điện ở thế kỷ 19, nhiều phát minh có tính bước ngoặt đã ra đời, đẩy mạnh sự phát triển của khoa học kỹ thuật, tạo ra một xã hội thịnh vượng và tiện nghi như ngày nay.

Hiện tại, ở các nước phát triển tiên tiến, tiêu thụ năng lượng bình quân trên đầu người cao hơn 50 lần so với xã hội cổ đại và cao hơn 10 lần so với thời điểm trước cuộc cách mạng công nghiệp.

Các nguồn mà con người có thể thu năng lượng:

- Gỗ
- Sức nước
- Sức gió
- Địa nhiệt
- Ánh sáng mặt trời
- Than đá, dầu, khí tự nhiên (nhiên liệu hóa thạch)
- Uranium (nhiên liệu hạt nhân).

Và trong số đó nhiên liệu hóa thạch được sử dụng phổ biến và nhiều nhất hiện nay. Tài nguyên thiên nhiên như than đá, dầu, khí có được do thực vật và vi sinh vật sinh trưởng từ xa xưa, trải qua những biến động của vỏ Trái Đất trong một thời gian dài, thì được gọi là nhiên liệu hóa thạch.

Nhiên liệu hóa thạch cung cấp năng lượng cho những phương tiện giao thông, các nhà máy công nghiệp, sưởi ấm các tòa nhà và sản sinh ra điện năng phục vụ đời sống con người. Cho đến nay, con người đã sử dụng một lượng rất lớn nhiên liệu hóa thạch như than đá và dầu để đẩy mạnh quá trình phát triển kinh tế và hiện đang phải phụ thuộc vào nguồn nhiên liệu hóa thạch, chiếm khoảng 80% nguồn cung cấp năng lượng sơ cấp.

**Tuy nhiên nhiên liệu hóa thạch không phải là vô hạn**

-Người ta cho rằng còn có thể khai thác dầu trong 40 năm nữa. Số năm có thể khai thác này được tính bằng cách chia trữ lượng đã biết cho sản lượng khai thác hàng năm hiện nay.

-Số năm có thể khai thác của khí tự nhiên dự đoán là khoảng 60 năm. Tài nguyên khí tự nhiên, so với tài nguyên dầu có ưu điểm là có thể đảm bảo được một lượng nhất định trong khu vực Đông Nam Á và thời gian khai thác cũng lâu hơn. Thực tế là gần 70% trữ lượng được đảm bảo phụ thuộc vào khu vực Trung Đông và Liên Xô cũ

- Số năm còn có thể khai thác than là khoảng 230 năm.

### **A.II.2.Năng lượng hóa thạch gây ô nhiễm môi trường**

Nhiên liệu hóa thạch như dầu, than, khí tự nhiên khi đốt cháy sẽ thải ra  $\text{CO}_2$ , ôxít sunphua ( $\text{SO}_x$ ), ôxít nitơ ( $\text{NO}_2$ ), Methane ( $\text{CH}_4$ ), nitơ oxit ( $\text{N}_2\text{O}$ ).... Những khí này là nguyên nhân dẫn đến một số hậu quả to lớn đối với môi trường sống và ảnh hưởng trực tiếp đến chính con người

#### **+Mưa axit**

$\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  trong khí thải từ các nhà máy và ô tô của lục địa đã tạo ra các phản ứng hóa học trong không khí, sau đó di chuyển, rồi tạo ra mưa axit làm tiêu diệt các cánh rừng, tiêu diệt các sinh vật trong ao hồ, gây tác hại to lớn cho sản xuất nông nghiệp. Hiện tượng này lúc đầu xuất hiện ở Bắc Âu, sau đó, liên tiếp xuất hiện ở khu vực Trung Âu cho đến tận khu vực Bắc Mỹ và gần đây đã xuất hiện ở cả những khu vực công nghiệp tập trung của Trung Quốc. Tác hại do ô nhiễm không khí đã vượt ra khỏi biên giới quốc gia và lan ra một khu vực rộng lớn. Đối sách phòng chống hiện tượng này là cần phải có sự hợp tác của cộng đồng quốc tế.

#### **+Sự nóng lên toàn cầu**

Những loại khí như  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  thải ra trong quá trình đốt nhiên liệu hóa thạch là nguyên nhân lớn nhất cho vấn đề ấm lên của Trái Đất.

Hậu quả do “sự nóng lên toàn cầu” gây ra.

- Thay đổi thời tiết có khả năng đưa tới bất ổn chính trị. Hạn hán và hồng thủy liên tục xảy ra khiến cho dân chúng tại nhiều địa phương phải bỏ nơi chôn rau cắt rốn di chuyển đi nơi khác.
- Băng đá tan, tăng mức độ nước biển, gây ra lụt lội, lở đất dọc theo đại dương và giảm nước ngọt cần thiết cho mọi sinh vật.
- Giông tố bão lụt tăng độ ẩm trên mặt đất.
- Hạn hán gây thiệt hại canh tác, chăn nuôi
- Nhiều sinh vật quý hiếm sẽ bị tiêu diệt dần dần vì chúng không tồn tại được trong thời tiết quá nóng cũng như tăng độ acid trong nước biển.
- Trong tương lai, sức nóng có thể tăng khí thải nhà kính bằng cách làm cho các khí này thoát ra khỏi nơi tích tụ dưới biển.
- Ảnh hưởng của hâm nóng toàn cầu đối với sức khỏe con người là điều rất rõ.
  - ✓ Theo WHO, các bệnh gây ra do thay đổi khí hậu sẽ tăng lên gấp đôi vào thập niên 2030. Các sinh vật mang mầm bệnh như sốt rét, viêm não, sốt vàng da sẽ gia tăng vì chúng hợp với khí hậu nóng
  - ✓ Khí hậu nóng lên tạo điều kiện tốt cho muỗi và vi khuẩn, những tác nhân gây bệnh sốt xuất huyết và viêm não ở người.
  - ✓ Thời gian lạnh sẽ thu ngắn nhưng thời gian nóng tăng, đưa tới nhiều tử vong vì say nóng (heat stroke). Mùa hè năm 2003 tại Pháp với 14,842 tử vong vì nóng tới 40°C là một thí dụ. Những người đang có bệnh tim mạch mà gặp thời tiết nóng bức thì bệnh tình gia tăng vì tim phải làm việc nhiều hơn để giữ cơ thể mát
  - ✓ Ung thư ngoài da tăng vì tiếp cận quá nhiều với tia nắng mặt trời.
  - ✓ Một số nhà khoa học cho rằng, thời tiết nóng giúp cho sự tăng sinh của các loại tảo ở dưới nước, đặc biệt là khi nước bị ô nhiễm. Từ đó một số bệnh truyền nhiễm như tiêu chảy sẽ xảy ra nhiều hơn.

#### **+Đối với con người**

Điôxít Sunfua (SO<sub>2</sub>): rất độc hại đối với sức khỏe của người và sinh vật, gây ra các bệnh về phổi khí phế quản. SO<sub>2</sub> trong không khí khi gặp oxy và nước tạo thành axit, tập trung trong nước mưa gây ra hiện tượng mưa axit.

Cacbon monoxít (CO): CO không độc với thực vật vì cây xanh có thể chuyển hoá CO => CO<sub>2</sub> và sử dụng nó trong quá trình quang hợp. Vì vậy, thảm thực vật được xem là tác nhân tự nhiên có tác dụng làm giảm ô nhiễm CO. Khi con người ở trong không khí có nồng độ CO khoảng 250 ppm sẽ bị tử vong.

### **A.II.3.Năng lượng hóa thạch là nguyên nhân dẫn đến các tranh chấp trên thế giới**

- Tranh chấp khí đốt - “tam quốc diễn nghĩa” giữa Nga – Ukraine – EU
- Tranh chấp những giếng dầu và khí đốt trên vùng Trung Á giữa Mỹ, Tây Âu và Nga
- Tranh chấp những giếng dầu ở Trung Đông
- Tranh chấp khí tự nhiên và dầu giữa các quốc gia Mỹ, Canada, các nước Bắc Âu và Nga ở Bắc Cực

Chính những tranh chấp này dẫn đến bất ổn trên toàn thế giới và ảnh hưởng lớn đến hòa bình thế giới

Do đó, chính những lý do trên dẫn đến cần phải tìm những nguồn năng lượng khác thay thế nguồn năng lượng hóa thạch này và các nguồn năng lượng xanh là một lựa chọn hợp lý nhất

## **B. Nội dung chính: các dạng năng lượng xanh**

### **B.I.Năng lượng mặt trời**

#### **B.I.1.Năng lượng mặt trời – nguồn năng lượng của tương lai.**

Năng lượng mặt trời là nguồn năng lượng phong phú nhất, dồi dào nhất trong tất cả các nguồn năng lượng có sẵn trong tự nhiên. Năng lượng mặt trời sẽ không bao giờ cạn kiệt vì theo những nghiên cứu của thiên văn học thì mặt trời của chúng ta chỉ mới sống được một nửa tuổi thọ của nó, tức là nó còn có thể sống thêm khoảng 7.8 tỷ năm nữa trước khi chuyển sang giai đoạn già và nuốt chửng tất cả các hành tinh

khác trong hệ mặt trời. Loài người có thể sẽ không tồn tại đến lúc ấy hoặc có lẽ đến lúc ấy con người đã tìm ra những giải pháp cho sự tồn vong của mình!

Cảm giác cháy da trong những ngày hè nóng bỏng hay cái ẩm áp của những ngày mùa đông nắng tốt như là một lời nhắc nhở đến sự hiện hữu của mặt trời mà lắm lúc ta xem như một tồn tại đương nhiên. Ánh sáng mặt trời là một nguồn năng lượng dồi dào, nhưng khi tính ra con số rất ít người biết đến là mặt trời truyền đến cho ta một năng lượng khổng lồ vượt ra ngoài sự tưởng tượng của mọi người. Trong 10 phút truyền xạ, quả đất nhận một năng lượng khoảng  $5 \times 10^{20}$  J (500 tỷ tỷ Joule), tương đương với lượng tiêu thụ của toàn thể nhân loại trong vòng một năm. Trong 36 giờ truyền xạ, mặt trời cho chúng ta một năng lượng bằng tất cả những giếng dầu của quả đất. Năng lượng mặt trời vì vậy gần như vô tận. Hơn nữa, nó không phát sinh các loại khí nhà kính (greenhouse gas) và khí gây ô nhiễm. Nếu con người biết cách thu hoạch nguồn năng lượng sạch và vô tận này thì có lẽ loài người sẽ mãi mãi sống hạnh phúc trong một thế giới hòa bình không còn chiến tranh vì những cuộc tranh giành quyền lợi trên các giếng dầu.

Mười vấn đề lớn của nhân loại trong vòng 50 năm tới đã được ghi nhận theo thứ tự nghiêm trọng là (1) năng lượng, (2) nước, (3) thực phẩm, (4) môi trường, (5) nghèo đói, (6) khủng bố và chiến tranh, (7) bệnh tật, (8) giáo dục, (9) thực hiện dân chủ và (10) bùng nổ dân số. Năng lượng quả thật là mối quan tâm hàng đầu của nhiều chính phủ trên thế giới. Nguồn năng lượng chính của nhân loại hiện nay là dầu hỏa. Nó quý đến nỗi được người ta cho một biệt hiệu là "vàng đen". Một vài giờ cúp điện hay không có khí đốt cũng đủ làm tê liệt và gây hỗn loạn cho một thành phố. Cuộc sống văn minh của nhân loại không thể tồn tại khi thiếu vắng năng lượng. Theo thống kê, hiện nay hơn 85 % năng lượng được cung cấp từ dầu hỏa và khí đốt.

Nhưng việc thu hoạch từ các giếng dầu sẽ đạt đến mức tối đa trong khoảng năm 2010 - 2015, sau đó sẽ đi xuống vì nguồn nhiên liệu sẽ cạn kiệt cùng năm tháng. Người ta cũng tiên đoán nếu dầu hỏa được tiếp tục khai thác với tốc độ hiện nay, kể từ năm 2050 lượng dầu được sản xuất sẽ vô cùng nhỏ và không đủ cung cấp cho nhu cầu toàn thế giới. Như vậy, nguồn năng lượng nào sẽ thay thế cho "vàng đen"?



Các nhà khoa học đã và đang tìm kiếm những nguồn năng lượng vô tận, sạch và tái sinh (renewable energy) như: năng lượng từ mặt trời, gió, thủy triều, nước (thủy điện), lòng đất (địa nhiệt) v.v...

Trong những nguồn năng lượng này có lẽ năng lượng mặt trời đang được lưu tâm nhiều nhất. Những bộ phim tài liệu gần đây cho thấy ở các vùng hẻo lánh, nghèo khổ tại Ấn Độ hay châu Phi, cư dân tràn ngập hạnh phúc khi có điện mặt trời thấp sáng màn đêm hay được sử dụng các loại nồi năng lượng mặt trời để nấu thức ăn. Dù vậy, cho đến nay con người vẫn chưa đạt được nhiều thành công trong việc chuyển hoá năng lượng mặt trời thành điện năng vì một phần mật độ năng lượng mặt trời quá loãng, một phần phí tổn cho việc tích tụ năng lượng mặt trời còn quá cao. Nếu tính theo mỗi kilowatt-giờ (năng lượng 1 kilowatt được tiêu thụ trong 1 giờ) thì phí tổn thu hoạch năng lượng mặt trời là \$0,30 USD. Trong khi đó năng lượng từ gió là \$0,05 và từ khí đốt thiên nhiên là \$0,03. Một hệ thống chuyển hoá năng lượng mặt trời cung cấp đủ điện năng cho một căn nhà ở bình thường tốn ít nhất \$18000 USD (giá 2005). Chỉ cần yếu tố tài chính không thôi cũng đủ để làm người tiêu thụ tránh xa việc sử dụng năng lượng mặt trời. Hệ quả là tại những nước tiên tiến như Mỹ điện lực được tạo từ năng lượng mặt trời từ các tế bào quang điện (photovoltaic cell; photo = quang, voltaic = điện) chỉ chiếm 0,02 % Tuy nhiên, điều đáng mừng là thị trường năng lượng mặt trời toàn cầu trị giá 10 tỷ USD/năm và tăng 30 % hằng năm nhờ vào các kết quả nghiên cứu làm giảm giá tế bào quang điện

### **B.I.2. Biến năng lượng mặt trời thành điện năng.**

#### **B.I.2.a. Silicon và các chất bán dẫn vô cơ.**

##### **✓ Silicon nguyên chất**

Vật liệu chính cho tế bào quang điện được dùng để chuyển hoá năng lượng mặt trời thành điện năng là silicon (Si). Silicon là một nguyên tố nhiều thứ hai sau oxygen trên quả địa cầu. Đây là cũng là một nguồn thiên nhiên phong phú gần như vô tận. Nó chiếm gần 30 % của vỏ quả đất dưới dạng silica ( $\text{SiO}_2$ ), và là một hợp chất chính trong cát. Nhìn xung quanh, ta thấy tính hữu dụng của silica hiện hữu từ

công nghệ "thấp" như bê tông, thủy tinh đến công nghệ cao như transistor, chip vi tính và các linh kiện điện tử khác. Có thể nói rằng silicon, hay đi từ nguyên thủy - cát, là xương sống của nền văn minh hiện đại. Nói khác hơn, ngoài đá cát của thiên nhiên ta thấy sự hiện diện của nguyên tố silicon hầu hết ở tất cả mọi nơi từ những tòa nhà chọc trời đến những linh kiện điện tử thu nhỏ cho máy vi tính ở thang nanomet (nhỏ hơn sợi tóc 100.000 lần).

Silicon có một số tính chất hóa học đặc biệt, trong đó đặc biệt nhất là có cấu trúc dạng tinh thể. Một nguyên tử silicon có 14 electron, sắp xếp trên 3 lớp khác nhau. Hai lớp nằm trong cùng (nằm gần hạt nhân) thì được lấp đầy hoàn toàn, tuy nhiên lớp ngoài cùng thì chỉ được lấp đầy một nửa và chỉ có 4 electron. Một nguyên tử silicon luôn có xu hướng lấp đầy hoàn toàn lớp ngoài cùng của nó (cần phải có 8 electron), để làm được việc đó nó phải chia sẻ các electron ở lớp ngoài cùng của mình với 4 nguyên tử silicon lân cận. Điều này cũng giống như mỗi nguyên tử silicon "bắt tay" với các "hàng xóm" của mình, trong trường hợp này thì mỗi nguyên tử silicon có 4 cánh tay bắt với 4 "hàng xóm". Đó chính là cấu trúc dạng tinh thể và cấu trúc này rất quan trọng đối với các tấm panel.

Năm mươi năm trước, cùng một lúc với sự phát minh của silicon transistor, pin mặt trời (hay là pin quang điện) silicon được chế tạo tại Bell Labs (Mỹ). Pin này có khả năng chuyển hoá năng lượng mặt trời sang điện năng với hiệu suất là 6 %. Một con số tương đối nhỏ so với hiệu suất lý thuyết tối đa cho silicon là 31 %, nhưng đây là một thành quả rất ấn tượng cho bước đầu nghiên cứu của pin mặt trời. Nhóm nghiên cứu của giáo sư Martin Green (University of New South Wales, Úc) hiện nay đã đạt kỷ lục 24,7 %.

Cho đến ngày hôm nay những đặc tính cơ bản của pin quang điện mặt trời này vẫn không có nhiều thay đổi; 95 % các hệ thống, dụng cụ dùng tế bào quang điện chế tạo từ silicon với hiệu suất trung bình 15 %. Có ba loại silicon được làm pin mặt trời: đơn tinh thể (monocrystalline), đa tinh thể (polycrystalline) và vô định hình (amorphous). Phần lớn các pin mặt trời hiện nay xuất hiện trên thương trường vẫn là pin của thế hệ thứ nhất (first-generation cell) dùng silicon đơn tinh thể

có hiệu suất chuyển hoá 18 %. Sản phẩm đòi hỏi silicon đơn tinh thể phải có độ nguyên chất đạt đến 99,9999 % (6 con số 9) thậm chí 99,99999999 % (11 con số 9), và quá trình chế tạo cần nhiệt độ cao để làm tan chảy silicon. Độ nguyên chất phải ở mức gần như tuyệt đối để bảo đảm sự di động dễ dàng của điện tử tạo ra dòng điện. Hai yêu cầu khó khăn này đẩy giá thành lên cao và vì vậy không được áp dụng rộng khắp.

Pin dùng silicon đa tinh thể và vô định hình thuộc thế hệ thứ hai. Silicon đa tinh thể được chế tạo ít tốn kém hơn vì không cần đạt đến độ nguyên chất như đơn tinh thể. Nhưng đa tinh thể có nhiều đường biên tinh thể (crystalline boundary) cản trở sự di động của điện tử làm giảm hiệu suất của pin (12 – 15 %). Ngoài ra, silicon vô định hình có thể được xem là vật liệu trong việc sản xuất pin mặt trời giá rẻ. Một trong những ưu điểm là khác với silicon tinh thể, silicon vô định hình có thể làm thành phim mỏng vừa ít tốn kém nguyên liệu vừa có khả năng hấp thụ năng lượng mặt trời cao hơn 40 lần silicon đơn tinh thể; phim silicon dày 1  $\mu\text{m}$  có thể hấp thụ gần 90 % bức xạ mặt trời. Tuy nhiên, vì bản chất vô định hình hiệu suất chuyển hoá thành điện chỉ bằng phân nửa hiệu suất của silicon đơn tinh thể. Điều này cũng dễ hiểu. Vô định hình như một nắm tóc rối nùi, trong khi tinh thể như một mái tóc được chải mượt mà. Hiệu suất tùy vào sự di động của điện tử và sự di động này tạo ra dòng điện. Đương nhiên độ di động của điện tử trong một môi trường có một trật tự cao hơn trong một không gian vô định hình ngoằn ngoèo như một mê cung. Dù vậy, silicon vô định hình vẫn là loại vật liệu được ưa chuộng nhờ vào giá rẻ để chế tạo mái ngói hoặc các panô (panel) quang điện cho nhà ở hoặc các cao ốc, công thự. Ngoài silicon vô định hình với lợi điểm tạo thành phim mỏng, pin mặt trời thuộc thế hệ thứ hai bao gồm các loại hợp chất bán dẫn như indium diselenide đồng và cadmium telluride được phủ lên thủy tinh. Các loại bán dẫn này có giá rẻ hơn rất nhiều so với silicon đơn phân tử nhưng có khuyết tật cấu trúc nên hiệu suất không cao.

Việc phát triển mọi ngành công nghệ đều tập trung vào việc giảm giá thành. Công nghệ pin mặt trời cũng không phải là ngoại lệ. Ngoài việc phổ cập hóa silicon vô

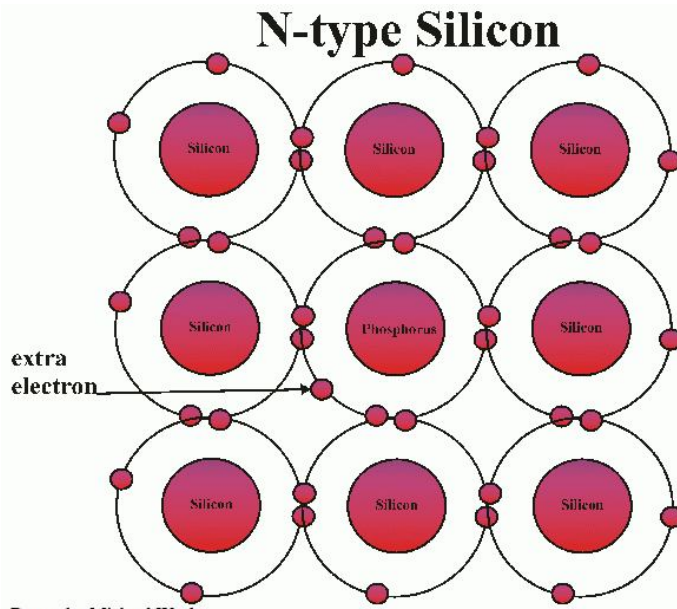
định hình, cải thiện quá trình sản xuất silicon đơn tinh thể đã làm giảm giá vật liệu này. Nhờ vậy, giá điện mặt trời đã giảm 20 lần trong 30 năm qua. Nếu chiều hướng này tiếp tục thì trong vòng 25 năm tới giá sẽ giảm đến 0,02 \$ /kWh. Với sự trợ giúp của công nghệ nano người ta dự đoán rằng đến năm 2050 thì năng lượng mặt trời sẽ cung ứng 25 % nhu cầu năng lượng của nhân loại.

#### ✓ Silicon có pha tạp chất

Silicon nguyên chất là một chất dẫn điện kém vì nó không có các electron chuyển động tự do giống như trong những chất dẫn điện tốt như đồng chẳng hạn. Thay vào đó, các electron của silicon nguyên chất bị giữ chặt bên trong các mạng tinh thể. Vì thế các tấm panel mặt trời không làm từ silicon nguyên chất mà làm từ silicon có pha thêm tạp chất, trong đó những nguyên tử khác sẽ trộn lẫn với các nguyên tử silicon và làm thay đổi tính chất của silicon. Chúng ta thường nghĩ rằng tạp chất là những chất gây ra những tác dụng không như mong muốn, thậm chí là những rắc rối, nhưng trong trường hợp này, các tấm panel của chúng ta không thể làm việc nếu không có chúng. Hàm lượng của tạp chất bên trong silicon là rất ít, ví dụ tạp chất là photpho thì tỉ lệ về số lượng nguyên tử photpho so với số lượng nguyên tử silicon có thể là một phần triệu. Nguyên tử photpho có 5 electron ở lớp ngoài cùng chứ không phải 4 electron như nguyên tử silicon. Các nguyên tử photpho vẫn liên kết với các nguyên tử silicon ở lân cận, nhưng trong trường hợp này, nguyên tử photpho vẫn còn thừa ra một electron chưa liên kết với nguyên tử khác. Electron này sẽ không hình thành liên kết nhưng vẫn có một hạt proton mang điện tích dương nằm ở bên trong hạt nhân nguyên tử photpho giữ nó lại mà không cho nó chuyển động tự do.

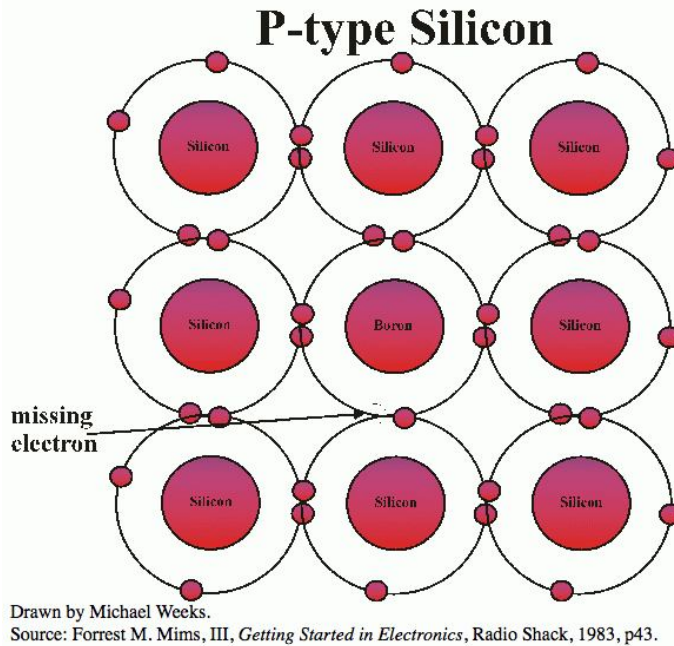
Khi ta cung cấp năng lượng cho silicon nguyên chất ví dụ như nhiệt lượng chẳng hạn, năng lượng này sẽ làm cho một số electron bẻ gãy liên kết với nguyên tử của chúng, rời khỏi nguyên tử và trở thành các electron chuyển động tự do. Khi mỗi electron bứt khỏi nguyên tử là một lỗ trống được hình thành. Các electron sau khi bứt khỏi nguyên tử sẽ chuyển động một cách hỗn loạn xung quanh các nút mạng tinh thể và tìm kiếm một lỗ trống khác để lấp vào. Những electron này được gọi là

các electron dẫn tự do và có thể mang dòng điện tích đi. Có rất ít những electron như thế bên trong silicon nguyên chất, tuy nhiên những electron này lại không thực sự hữu dụng. Đối với silicon có pha tạp chất với các nguyên tử photpho trộn lẫn bên trong thì câu chuyện lại khác. Nó tốn ít năng lượng hơn trường hợp trên rất nhiều để bức các electron “thừa” ra khỏi các nguyên tử photpho bởi vì những electron này không bị giữ chặt trong các liên kết (các nguyên tử lân cận không liên kết với nó). Kết quả là hầu hết các electron này sẽ được “giải phóng” ra khỏi nguyên tử, vì thế chúng ta sẽ có nhiều electron dẫn tự do hơn so với trường hợp silicon nguyên chất. Quá trình thêm tạp chất với mục đích như trên gọi là quá trình kích thích, và khi tạp chất mà chúng ta thêm vào là photpho thì silicon được gọi là loại N (N là viết tắt của negative) do trong silicon lúc này có nhiều electron tự do. Silicon loại N dẫn điện tốt hơn silicon nguyên chất rất nhiều.



Chỉ một phần của tấm panel làm bằng chất bán dẫn loại N, phần khác được làm bằng chất bán dẫn loại P, đó chính là silicon nguyên chất được pha thêm boron, trong đó boron là chất mà nguyên tử chỉ có 3 electron ở lớp ngoài cùng. Thay vì có những electron tự do như silicon

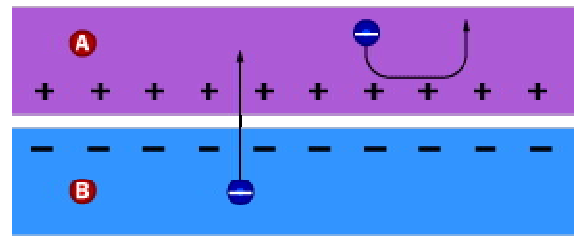
loại N, silicon loại P (P viết tắt cho chữ positive) có những lỗ trống tự do, những lỗ trống này thực chất ra chỉ là các nút mạng bị mất electron, vì thế các lỗ trống sẽ mang điện tích trái với điện tích của electron, tức là mang điện dương. Các lỗ trống này cũng di chuyển tự do như các electron tự do.



Điều kì thú sẽ xảy ra khi ta đặt silicon loại N và loại P tiếp xúc với nhau, một điện trường sẽ xuất hiện bên trong các tấm panel. Các electron tự do ở phía bên silicon loại N luôn có xu hướng tìm các lỗ trống mang điện dương để lấp vào, trong khi đó ở phía bên silicon loại P lại có rất nhiều lỗ trống, vì

thế các electron ở phía N sẽ tràn sang lấp đầy các lỗ trống ở phía bên loại P.

Liệu các điện tử tự do của bán dẫn N có bị chạy hết sang bán dẫn P hay không? Câu trả lời là không. Vì khi các điện tử di chuyển như vậy nó làm cho bán dẫn N mất điện tử và tích điện dương, ngược lại bán dẫn P tích điện âm. Ở bề mặt tiếp xúc của 2 chất bán dẫn bây giờ tích điện trái ngược và xuất hiện 1 điện trường hướng từ bán dẫn N sang P ngăn cản dòng điện tử chạy từ bán dẫn N sang P. Và trong khoảng tạo bởi điện trường này hầu như không có e hay lỗ trống tự do .



©2000 Hewlett-Packard

#### B.I.2.b. Nguyên lý làm việc của pin năng lượng mặt trời.

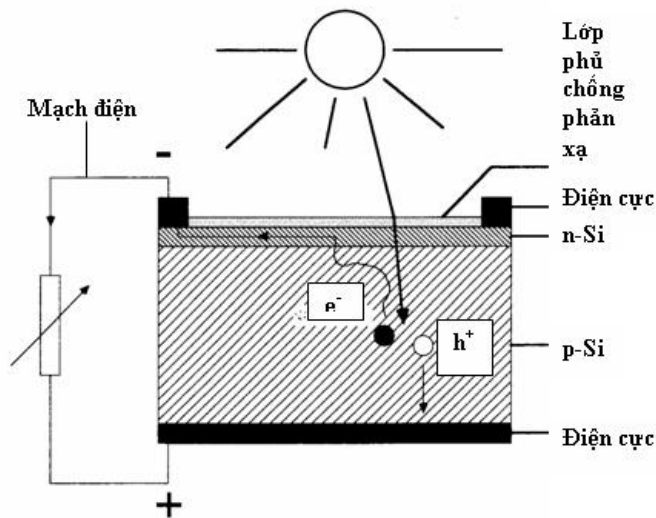
Nguyên lý của pin mặt trời là hiệu ứng quang điện (photoelectric effect). Hiệu ứng quang điện được xem là một trong những phát hiện to lớn của Einstein. Hiệu ứng này mô tả khả năng của ánh sáng (quang) khi được chiếu trên bề mặt vật liệu có thể

đánh bật điện tử (điện) ra khỏi bề mặt này. Để giải thích hiệu ứng quang điện Einstein đưa ra khái niệm quang tử (photon). Ánh sáng là những quang tử được bắn lên vật liệu để tổng điện tử của vật liệu thành điện tử tự do. Sự di động của các điện tử này sẽ cho ta dòng điện.

Vật liệu silicon nguyên chất là một mạng nối kết các nguyên tử silicon và mạng này trung tính về điện nên không hữu dụng. Khi silicon được kết hợp một lượng nhỏ (vài phần triệu) "chất tạp", mạng sinh ra điện tích. Silicon mang điện tích là vật liệu cho nhiều áp dụng cực kỳ quan trọng. Khi silicon kết hợp với chất tạp (dopant) có khả năng lấy điện tử (electron acceptor) từ mạng silicon, mạng silicon sẽ có những lỗ trống mang điện tích dương (+). Đây là p-silicon (p = positive, dương). Lỗ trống (+) vốn dĩ là "nhà" của điện tử, cho nên khi điều kiện cho phép điện tử sẽ chiếm đóng trở lại. Mặt khác, khi silicon được kết hợp với chất tạp có khả năng cho điện tử, mạng silicon sẽ dư điện tử. Đây là n-silicon (n = negative, âm). Silicon dùng trong mọi linh kiện điện tử (thí dụ: transistor, đèn diode) là một vật liệu hỗn hợp liên kết giữa p-silicon và n-silicon. Có thể nói rằng p- và n-silicon đã tạo ra một cuộc cách mạng khoa học ở thế kỷ 20 và đã cho nhân loại nền văn minh silicon. Như một quy luật thiên nhiên trong vạn vật, sự tiếp cận âm dương lúc nào cũng cho ta nhiều điều thú vị. Khi p-silicon tiếp cận với n-silicon, vùng chuyển tiếp (junction) giữa hai vật liệu này sẽ sinh ra một điện áp tự nhiên (0,7 V). Khi quang tử của ánh sáng mặt trời chạm vào mạng silicon, nó sẽ đánh bật điện tử ra khỏi mạng thành điện tử "vô gia cư" và để lại lỗ trống (+) trên mạng. Tuy nhiên, sau khi bị quang tử tấn công cặp điện tử và lỗ trống (+) vẫn còn quyến luyến vì lực hút Coulomb nên không chịu rời nhau! Cặp điện tử và lỗ trống (+) còn gọi là exciton. Chỉ có những cặp gần vùng chuyển tiếp mới bị điện áp vùng biên kéo cả hai ra xa để lỗ trống (+) đi về phía p-silicon và điện tử đi về phía n-silicon. Bây giờ, điện tử mới thật sự tự do di động để cho ra dòng điện. Hình 1 cho thấy cấu trúc của pin mặt trời silicon. Vùng chuyển tiếp hay là mặt tiếp xúc giữa p-silicon và n-silicon rất rộng để tạo ra nhiều khả năng để cặp điện tử và lỗ trống (+) có nhiều cơ hội chia ly. Điện trường xuất hiện giữa mặt tiếp giáp 2 chất bán dẫn loại P và loại N có tác dụng

giống như một điốt, điốt này cho phép (thậm chí là đẩy các electron) di chuyển từ phía P sang phía N. Nó giống như một quả đồi, các electron dễ dàng trượt xuống đồi (dịch chuyển về phía N) nhưng lại không thể leo lên đồi (đi về phía P). Vì thế chúng ta có một điện trường làm việc như một điốt, trong đó các electron chỉ có thể dịch chuyển theo một chiều.

Thật ra, đây chỉ là cuộc chia ly tạm thời vì điện tử đi đường vòng ra ngoài tạo nên dòng điện, "bọc hậu" trở lại p-silicon tìm lại bạn xưa! Cứ như thế, khi ánh sáng chiếu liên tục ta sẽ có dòng điện liên tục để sử dụng.



Hình 1: Cấu trúc của pin mặt trời silicon và cơ chế tạo ra dòng điện.

Chấm đen là điện tử  $e^-$ ; chấm trắng là lỗ trống  $h^+$ .

Thất thoát năng lượng trên pin năng lượng mặt trời và cách giải quyết.

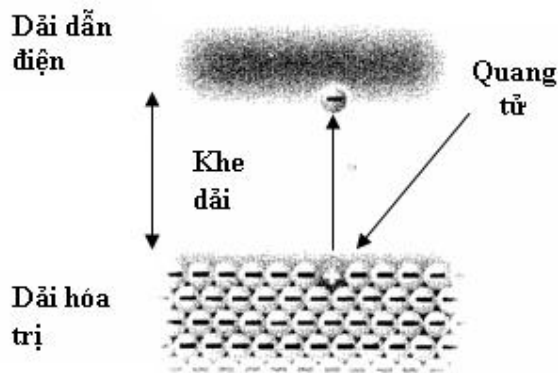
✓ **Thất thoát năng lượng:**

Ánh sáng mặt trời cung cấp cho chúng ta khoảng  $1 \text{ kilowatt/m}^2$  ( Chính xác là  $1,34 \text{ KW/m}^2$  :Đây chính là hằng số mặt trời) , tuy nhiên các hiệu suất chuyển thành điện năng của các pin mặt trời chỉ vào khoảng 8% đến 12%. Tại sao lại ít vậy. Câu trả lời là ánh sáng mặt trời có phổ tần số khá rộng. Không phải tần số nào cũng có đủ năng lượng để kích thích điện tử từ vùng hóa trị lên vùng dẫn. Chỉ có những photon năng lượng cao hơn khe vùng bán dẫn mới làm được điều này. Đối với bán dẫn Si khe vùng vào khoảng  $1.1\text{eV}$ . Các photon năng lượng thấp hơn sẽ không sử dụng được. Nếu photon có năng lượng cao hơn khe vùng thì phần năng lượng dư đó cũng không có đóng góp gì thêm. Vậy tại sao chúng ta không chọn các vật liệu có khe



vùng hẹp để tận dụng nguồn photon tần số thấp. Vấn đề là khe vùng cũng xác định hiệu điện thế (hay điện trường) ở bề mặt tiếp xúc. Khe vùng càng bé thì hiệu điện thế này càng bé. Nên nhớ công suất của dòng điện bằng hiệu điện thế nhân với dòng. Người ta đã tính toán được khe vùng tối ưu là vào khoảng 1.4eV, khi đó công suất dòng điện thu được tối đa.

Một nguyên nhân nữa cũng cản trở việc nâng cao hiệu suất của pin mặt trời, đó là cách chúng ta bố trí các tiếp xúc kim loại để lấy dòng điện. Ở mặt dưới của tấm pin



hiển nhiên ta có thể cho tiếp xúc với 1 tấm kim loại nhưng ở mặt trên nó cần trong suốt để ánh sáng có thể đi qua. Nếu chỉ bố trí các tiếp xúc ở mép tấm pin thì các điện tử phải di chuyển quá xa trong tinh thể Si mới vào được mạch điện (chú ý là bán

dẫn Si dẫn điện kém, tức điện trở của nó lớn). Vì vậy người ta thường dùng 1 lưới kim loại phủ lên bề mặt của pin mặt trời. Tuy nhiên kích thước lưới không thể giảm vô hạn nên cũng phần nào làm giảm hiệu suất chuyển năng lượng ánh sáng thành năng lượng điện.

#### ✓ Cách giải quyết:

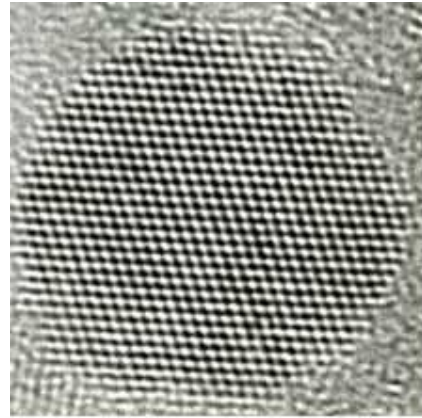
Nếu ta dùng những vật liệu bán dẫn với những khe dải khác nhau và liên kết những vật liệu này thành một cấu trúc chuyển tiếp đa tầng (multi-junction) để hấp thụ quang tử mặt trời ở các mức năng lượng khác nhau, hiệu suất chuyển hoá sẽ phải gia tăng.

Năm 2002, các nhà khoa học tại Viện Nghiên cứu Quốc gia, Lawrence Berkeley National Laboratory (Mỹ), thiết kế các hợp chất bán dẫn chứa indium (In), gallium (Ga) và nitrogen (N) cho đèn phát quang diode. Trong cơ chế phát quang của đèn

diode ta cho dòng điện tạo ra sự kết hợp giữa điện tử và lỗ trống (+) trong chất bán dẫn để tạo ra ánh sáng. Cơ chế của pin mặt trời có thể xem là một hiện tượng nghịch lại vì ánh sáng làm phân ly điện tử và lỗ trống (+) để cho ra dòng điện. Khi hợp chất bán dẫn InGaN được chế tạo, các nhà khoa học Mỹ khám phá ra là bằng sự điều chỉnh tỉ lệ của In và Ga, khe dải của hợp chất InGaN có thể biến thiên liên tục từ 0,2 đến 3,4 eV bao gồm toàn thể quang phổ mặt trời. Các nhà khoa học ở Lawrence Berkeley vừa làm vật liệu cho đèn diode vừa cho pin mặt trời. Một công hai việc. Trở ngại chính là sự tốn kém trong việc sản xuất, cấu trúc này vì vậy không thể trở thành một sản phẩm phổ cập. Nhưng nếu tiền bạc không phải là vấn đề quan trọng như trong một số áp dụng đặc biệt chẳng hạn như cho vệ tinh, các loại pin này là nguồn điện hữu hiệu để vận hành vệ tinh. Chỉ cần kết hợp hai tầng InGaN được thiết kế có khe dải 1,1 eV và 1,7 eV, hiệu suất dễ dàng đạt đến 50%. Mười hai tầng InGaN có khe dải bao gồm toàn thể quang phổ mặt trời sẽ cho hiệu suất 70%.

Gần đây (năm 2006), một số chất bán dẫn đã được thiết kế để tối ưu hóa trị số khe dải, gia tăng hiệu suất và đồng thời giảm giá thành sản xuất. Trong một cuộc triển lãm quốc tế về năng lượng mặt trời (2006), công ty Sharp Solar (Nhật Bản), một trong những công ty lớn và uy tín trên thế giới sản xuất pin mặt trời, đã ra mắt một panel pin mặt trời có hiệu suất đột phá 36% mà vật liệu là hợp chất bán dẫn của các nguyên tố ở cột III (aluminium, gallium, indium) và cột V (nitrogen, arsenic) trong bảng phân loại tuần hoàn. Không chịu thua, cũng vào năm 2006 công ty Boeing - Spectrolab (Mỹ) dùng chất bán dẫn với một công thức được giữ bí mật có thể chuyển hoá 41% năng lượng mặt trời. Mười tháng sau đó, viện nghiên cứu quốc gia Lawrence Berkeley National Laboratory (Mỹ) lại chế tạo một loại pin mặt trời dùng chất bán dẫn zinc-manganese-tellurium với hiệu suất 45%. Những con số này rất ấn tượng, nhưng phải nói rằng panel của Sharp Solar dù ở 36% nhưng đã đạt tới trình độ hữu dụng của một thương phẩm về giá trị thực tiễn cũng như giá cả. Hiện nay, việc nghiên cứu các chất bán dẫn vô cơ mà điển hình là silicon được phát triển mạnh trên mặt sản xuất làm giảm giá thành, tối ưu hóa những vật liệu hiện

có để nâng cao hiệu suất và tìm kiếm những hợp chất bán dẫn mới với các trị số khe dải thích hợp. Nền công nghệ nano đang là chủ lực để đạt những mục tiêu nhiều tham vọng này. Một trong những ý tưởng nano là chế tạo hằng tỷ tế bào pin mặt trời ở kích thước nanomet gọi là điểm lượng tử (quantum dot), thay vì dùng từng mảng vật liệu như hiện nay. Nhóm của giáo sư Martin Green (University of New South Wales, Úc) lần đầu tiên chế biến thành công trong phòng thí nghiệm pin mặt trời silicon mang cấu trúc điểm lượng tử với hiệu suất đạt đến gần con số lý thuyết 31%. Điểm lượng tử silicon thật ra là tinh thể nano silicon. Tiến sĩ Arthur Nozik thuộc Viện Nghiên cứu Năng lượng Tái sinh (Mỹ) (National Renewable Energy Laboratory) cũng đã chế tạo thành công tập hợp điểm lượng tử silicon (Hình 3). Mỗi điểm có bán kính khoảng 7 nm, chứa 50 - 70 nguyên tử silicon. Thông thường một quang tử đánh bật một điện tử, nhưng ở thứ nguyên nano cực nhỏ này một quang tử khi va chạm vào điểm lượng tử có thể sinh ra hai, ba điện tử tự do. Kết quả là ta sẽ có nhiều điện tử tạo ra dòng điện. Theo Nozik, nhờ vào hiệu ứng đa điện tử của điểm lượng tử silicon, hiệu suất chuyển hoá có thể đạt hơn 60%, gấp đôi con số lý thuyết 31% của trường hợp một quang tử cho một điện tử. Tuy nhiên, để trở thành một sản phẩm thông dụng, người ta dự đoán phải cần một thời gian từ 10 đến 15 năm. Chúng ta hãy kiên nhẫn chờ xem.



3: Tập hợp điểm lượng tử (tinh thể nano) silicon.  
Mỗi điểm có đường kính 7 nm và chứa 50 - 70 nguyên tử silicon  
(Nguồn: Tiến sĩ Arthur Nozik).

### **B.I.2.c.Một số phát minh.**

#### **❖ Tàu chạy bằng năng lượng mặt trời:**

Nó chạy chậm và chỉ đi được một đoạn ngắn, nhưng tàu Serpentine Solar Shuttle là tàu chở khách chạy bằng năng lượng mặt trời tiên tiến nhất hiện nay.

Chiếc tàu chạy bằng năng lượng mặt trời của Anh ra mắt ngày 18/7 tại Hyde Park, London. Các nhà phát triển con tàu hi vọng nó sẽ mở cửa tương lai cho việc vận chuyển bằng năng lượng mặt trời.

Tàu Serpentine Solar Shuttle - chạy hoàn toàn bằng năng lượng mặt trời - có tốc độ 8km/giờ, và chở được 42 hành khách.

“Đây là con tàu có công nghệ tiên tiến nhất trên thế giới vào thời điểm này” – nhà thiết kế Christoph Behling, người thiết kế con tàu chạy bằng năng lượng mặt trời lớn nhất thế giới tại Hamburg, Đức, nói.

“Được làm hoàn toàn từ thép không gỉ, điều này có nghĩa, con tàu sẽ không bao giờ bị cũ. Nó mở đường cho tàu thủy, tàu hỏa và các phương tiện giao thông khác trong tương lai” – ông Behling nói.

Con tàu dài 14,6m, có 27 tấm bảng thu nhiệt nằm ở phần mái. Hành trình dài nhất mà nó có thể đi là 131 km.

Con tàu hầu như không thải ra khí ô nhiễm nào trong suốt hành trình bởi nó có hai động cơ tĩnh - điều này có nghĩa nó không phát thải khí carbon.

Thậm chí trong đêm tối, những ngày mưa, vẫn đủ năng lượng mặt trời giúp tàu chạy.

Khi con tàu không hoạt động, điện năng thừa sinh ra bởi các tấm bảng hấp thu ánh nắng mặt trời sẽ được cung cấp trở lại mạng truyền dẫn quốc gia.

Chi phí xây dựng tàu Serpentine Solar Shuttle lên tới 421.000 USD – hơn 20% so với chi phí xây dựng một con tàu chạy bằng diesel cùng kích cỡ.

❖ **Máy bay chạy bằng năng lượng mặt trời**



Zephyr -chiếc máy bay nhẹ chạy bằng năng lượng mặt trời - đã phá kỷ lục thế giới về hành trình bay không người lái dài nhất khi vận hành 54 giờ không nghỉ, kéo dài qua hai đêm.

Công ty quốc phòng Anh Qinetiq, đơn vị sản xuất chiếc Zephyr, tin rằng đây là lần đầu tiên một chiếc máy bay chạy bằng năng lượng mặt trời có thể bay bằng năng lượng tự sinh lâu như vậy.

Kỷ lục không người lái trước kia được lập năm 2001, khi một chiếc phản lực của không quân Mỹ bay hơn 30 giờ.



Hành trình 54 giờ của Zephyr sẽ không được ghi vào sách kỷ lục Guinness vì đại diện của Hiệp hội thể thao hàng không thế giới - cơ quan chứng nhận trong những trường hợp như thế này - không được thông báo về cuộc thử nghiệm bí mật. Tuy nhiên, họ được biết về thử nghiệm thứ hai, kéo dài 33 giờ, và có thể vẫn là một kỷ lục chính thức.

Zephyr ban đầu được chế tạo với nhiệm vụ chụp ảnh một khinh khí cầu khổng lồ (có tên Qinetiq 1), được xây dựng để phá kỷ lục thế giới về độ cao của khinh khí cầu có người lái vào năm 2003. Nỗ lực trên bị hoãn lại sau khi chiếc khí cầu bị rò rỉ. Tuy nhiên, công ty quốc phòng trên vẫn tiếp tục chế tạo chiếc máy bay "chụp ảnh" này cho các mục đích quân sự, quan sát trái đất và thông tin.

Zephyr không phải là chiếc máy bay năng lượng mặt trời đầu tiên chạy xuyên đêm. Một chiếc khác, có tên là SoLong do công ty AC propulsion của Mỹ chế tạo đã bay 48 giờ liên năm 2005. Tuy nhiên khác với Zephyr, chiếc SoLong không bay liên tục, mà thường xuyên lượn hoặc chao.

Cơ quan vũ trụ Mỹ NASA cũng đã chế tạo chiếc Pathfinder và Helios với mục đích thay thế các vệ tinh hoặc các phương tiện không người lái khác để khám phá các vật thể ngoài trái đất. Helios (chiếc thành công hơn Pathfinder) đã vỡ tan trong một chuyến bay năm 2003

❖ **Ô tô năng lượng mặt trời đi vòng quanh thế giới**

Sau khi dừng ở 38 nước trên thế giới, chiếc xe ô tô chạy bằng năng lượng mặt trời của một giáo viên người Thụy Sĩ đã có mặt tại Hội nghị về biến đổi khí hậu của Liên hợp quốc tổ chức ở Poznan, Ba Lan.

Anh Louis Palmer đã vượt hành trình dài 52.086km, qua 38 nước, trước khi tới Ba Lan. Đây cũng là lần đầu tiên một chiếc ô tô chạy bằng năng lượng mặt trời thực hiện hành trình vòng quanh thế giới.

Ông Yvo de Boer, Tổng thư ký Ban công ước khung Liên hợp quốc về biến đổi khí hậu (UNFCCC), là hành khách đầu tiên của anh Palmer. Các vị khách danh dự khác gồm: Tổng thư ký LHQ Ban Ki-moon, Giám đốc sản xuất phim nổi tiếng thế giới James Cameron, Hoàng tử Albert của công quốc Monaco, Thủ tướng Thụy Điển Fredrik Reinfeldt, và Thị trưởng thành phố New York Michael Bloomberg.

Palmer tạo ra chiếc xe năng lượng mặt trời này nhằm chứng minh rằng hiện đã có những công nghệ tối tân phục vụ mục đích giảm khí thải nhà kính, bảo vệ môi trường. Ngoài ý nghĩa bảo vệ môi trường và đảm bảo sự phát triển bền vững, anh Palmer tin rằng nếu

được đầu tư đầy đủ, việc khai thác năng lượng không có nguồn gốc hóa thạch sẽ giúp tạo nhiều việc làm mới - điều có thể mang tầm quan trọng hơn trong bối cảnh kinh tế thế giới hiện nay.

Về cấu tạo, chiếc ô tô chạy bằng năng lượng mặt trời của anh kéo



Louis Palmer cùng chiếc xe chạy bằng năng lượng mặt trời của mình trên đường đua Taupo ở Niu Dilân



theo một xe moóc có nóc rộng 6 mét vuông, là các tấm hấp thụ năng lượng mặt trời ghép lại với nhau. Bản thân xe moóc đã chứa bộ pin cho ô tô, có khả năng cung cấp điện để xe chạy 15.000km/năm.

Chiếc xe có tốc độ tối đa 90 km/h và có thể chạy 400 km khi pin đầy. Anh Palmer cho biết ô tô của anh có mức tiêu thụ năng lượng tương đương chưa đến 1 lít xăng cho 100km. Tổng trọng lượng của cả ô tô và rơ-moóc là 750 kg.

Mặc dù chi phí phát triển chiếc xe này khá cao, nhưng anh Palmer khẳng định rằng nếu sản xuất với số lượng lớn, chi phí chỉ khoảng 10.000 euro, và thêm 4.000 USD cho các tấm hấp thụ năng lượng mặt trời. Palmer cũng cho biết chiếc xe hoạt động khá ổn định, chỉ trục trặc 2 lần trong suốt hành trình vòng quanh thế giới của anh.

### **B.I.3. Sử dụng nhiệt năng của ánh sáng mặt trời.**

Sử dụng nhiệt năng của mặt trời đã được con người biết đến từ rất lâu nhằm phục vụ cho nhu cầu sinh hoạt hằng ngày. Hiện nay có 2 cách cơ bản để thu và sử dụng nhiệt năng của mặt trời đó là sử dụng hệ thống các dụng cụ quang học để hội tụ ánh sáng và sử dụng các tấm panel mặt trời có hệ thống các ống nhỏ bên trong.

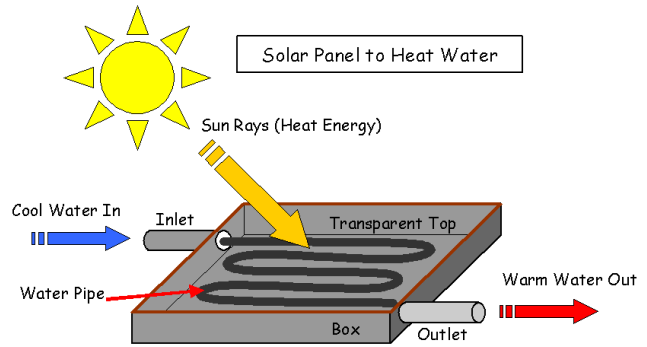
Sử dụng hệ thống các dụng cụ quang học:

Sử dụng các dụng cụ quang học như hệ thống các chảo parabol hội tụ ánh sáng, các thấu kính hội tụ, các tấm phản chiếu...

Nhiệt thu được từ các hệ thống quang học sẽ được truyền dẫn đến nơi sử dụng bằng một hệ thống các sợi cáp dẫn nhiệt và giữ nhiệt tốt, thông thường là các sợi cáp thủy tinh.



Khi ánh sáng mặt trời chiếu vào các tấm panel, nhiệt năng của mặt trời sẽ được truyền cho hệ thống các ống nhỏ nằm bên trong các tấm panel, nước sẽ được nung nóng khi chảy qua các ống nhỏ này. Nước được nung nóng bởi nhiệt mặt trời có thể dùng để tắm rửa, giặt giũ hay sưởi ấm



Sử dụng các tấm panel mặt trời có hệ thống ống nhỏ

trong nhà của chúng ta. Khi chúng ta không có nhu cầu sử dụng nhiệt năng thì phần nhiệt năng mặt trời thu được vẫn được trữ bên trong các tấm panel vì các tấm panel được thiết kế với mặt trên là chất liệu hấp thu ánh sáng mặt trời tốt, mặt dưới và xung quanh được làm từ các vật liệu cách nhiệt cực tốt nên nhiệt thu được vẫn được trữ bên trong.

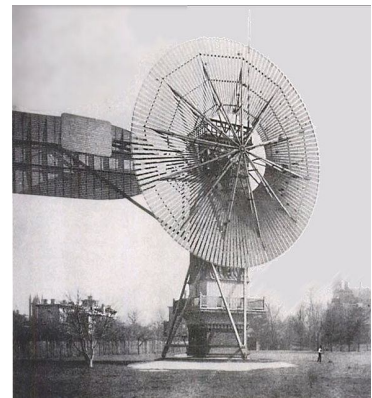
Chúng ta có thể sử dụng được nhiệt năng của mặt trời thông qua các thiết kế được giữ cố định. Cửa sổ ở các tầng trên trần nhà có thể tận dụng để thiết kế sao cho thường xuyên tiếp xúc với ánh sáng mặt trời để dẫn nhiệt vào nhà chúng ta, sưởi ấm vào mùa đông.

## **B.II.Năng lượng gió**

### **B.II.1.Lịch sử hình thành**

Sức gió đã được con người khai thác, sử dụng từ rất lâu. Tuy nhiên, tuabin gió đầu tiên được xây dựng ở Sistan, Iran, vào thế kỷ 7. Đó là những chiếc tuabin gió thẳng đứng với bộ cánh quạt dài hình chữ nhật (6 đến 12 cánh), được làm bằng vải phủ lên các bộ khung bằng sậy. Những chiếc tuabin gió này được dùng để xay ngô, bơm nước,....

Đến thế kỷ 14, những tuabin gió ở Hà Lan, được sử dụng để tháo nước trong khu vực đồng bằng sông Rhine. Ở Đan Mạch, đến năm 1900 đã có 2500 tuabin gió được



*Tuabin gió tự vận hành đầu tiên của thế giới được xây dựng ở Cleveland vào năm 1888, bởi [Charles F. Brush](#). Nó cao 60 feet, nặng 4 tấn và có công suất 12kW*



sử dụng với công suất cực đại 30 MW. Tuabin gió sản xuất ra điện đầu tiên được biết đến, là một máy sục pin, xây dựng vào năm 1887 bởi James Blyth ở Scotland, Anh. Tuabin gió đầu tiên sản xuất ra điện tại Mỹ được xây dựng tại Cleveland, Ohio bởi Charles F Brush vào năm 1888, và vào năm 1908 đã có 72 máy phát điện bằng sức gió từ 5kW đến 25kW. Đến năm 1930, tuabin gió sản xuất điện, được phổ biến đến các trang trại, chủ yếu là ở Mỹ.

Một tiền thân của mẫu tuabin gió trục ngang hiện đại ngày nay, được xây dựng tại Liên xô vào năm 1931. Đó là một máy phát điện 100kW, đặt trên tháp cao 30m. Nó được ghi nhận là có hiệu suất 32%, không khác nhiều so với các máy điện gió ngày nay.

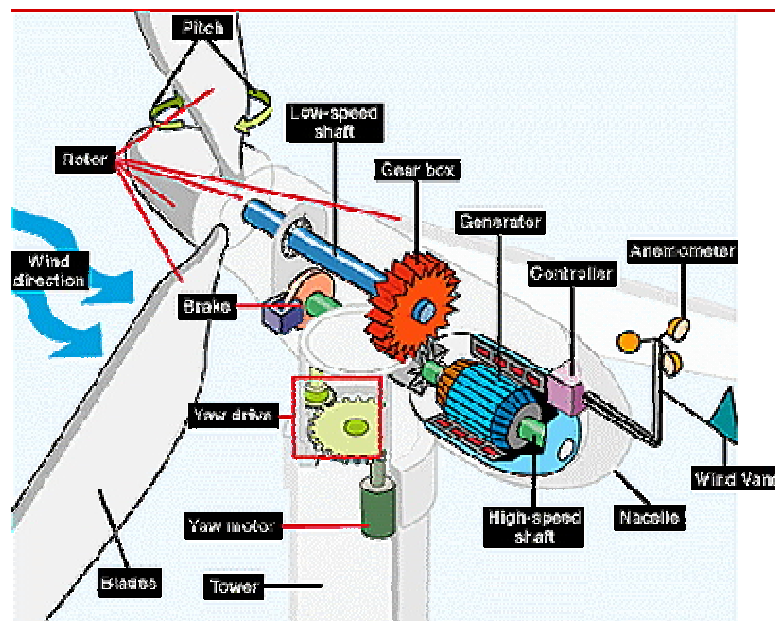
### B.II.2. Nguyên lý làm việc của tuabin gió

Các tuabin hoạt động theo một nguyên lý rất đơn giản. Năng lượng của gió làm cho 2 hoặc 3 cánh quạt quay quanh một roto. Roto được nối với trục chính và trục chính sẽ truyền động làm quay trục quay máy phát để tạo ra điện.

Các tuabin gió được đặt trên trụ cao để thu hầu hết năng lượng gió. Ở độ cao 30 mét trên mặt đất thì các tuabin gió thuận lợi: tốc độ nhanh hơn và ít bị các luồng gió bất thường.

#### B.II.2.a.Cấu tạo của tuabin gió

Bao gồm các phần chính sau đây:



➤ Anemometer: Bộ đo lường tốc độ gió và truyền dữ liệu tốc độ gió tới bộ điều khiển.

- Cảm biến của hệ thống đo tốc độ gió được phân loại theo nguyên tắc hoạt động của chúng

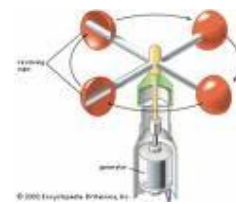
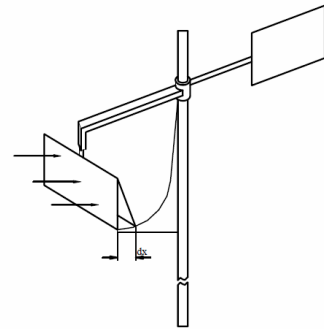
+ Anemometer xoay: dạng tách (cups), chân vịt

+ Anemometer áp suất: dạng ống, dạng tấm và dạng cầu

+ Anemometer nhiệt: dây nhiệt (hot wire) và tấm nhiệt (hot films)

+ Dùng sự thay đổi pha: anemometer siêu âm, laser doppler anemometer

Anemometer dạng tách (cups anemometer): sử dụng chuyển động quay, thay đổi tùy theo tốc độ gió, để biến thành tín hiệu.



Anemometer chân vịt (propeller anemometers): khi gió thổi vào chân vịt làm xoay trục của một mát phát điện (thường là một chiều), hoặc máy ngắt quãng ánh sáng (light chopper) để tạo ra một tín hiệu xung.



➤ Tấm áp lực: đây là kiểu anemometer đầu tiên. Áp lực của gió tác động lên tấm phẳng, làm tấm phẳng lệch vào trong. Khoảng cách lệch vào phụ thuộc vào vận tốc của gió, từ đó ta có thể xác định được vận tốc gió. Anemometer dạng này thường được dùng để đo gió bão.



➤ Anemometer âm thanh: anemometer âm thanh đo vận tốc gió thông qua sự thay đổi của vận tốc âm thanh. Bằng cách đo vận tốc âm thanh giữa các đầu cảm biến, ta có thể suy ra được vận tốc của gió

➤Blades (cánh quạt): Gió thổi qua các cánh quạt, làm cho các cánh quạt chuyển động và quay.

➤Brake (bộ hãm): dùng để dừng roto trong tình trạng khẩn cấp bằng điện, bằng sức nước hoặc bằng động cơ.

➤Controller (bộ điều khiển):

- Bộ điều khiển bao gồm một số lượng máy tính liên tục giám sát các điều kiện của các tuabin và thu thập số liệu thống kê về hoạt động của nó.

- Bộ điều khiển sẽ khởi động động cơ ở tốc độ gió khoảng 8÷16 dặm/1 giờ và tắt động cơ khoảng 65 dặm/1 giờ. Các tuabin gió không thể hoạt động ở tốc độ gió trên 65 dặm/1 giờ bởi vì các máy phát này có thể sẽ phát nóng.

Gear box (hộp bánh răng): Bánh răng được nối trực có tốc độ thấp với trục có tốc độ cao và tăng tốc độ quay từ 30÷60 vòng/phút tới 1200÷1500 vòng/phút, tốc độ quay là yêu cầu của hầu hết các máy phát để sản xuất ra điện. Các máy phát có tốc độ thấp hơn thì không cần bộ này.

➤Generator (máy phát điện): máy phát điện là một trong những thành phần quan trọng nhất của một hệ thống chuyển đổi năng lượng gió. Khác với những máy phát điện bình thường, máy phát điện của turbine gió phải làm việc với nguồn năng lượng thay đổi liên tục, ứng với sự thay đổi của tốc độ gió. Có nhiều loại máy phát điện đang được sử dụng trong tuabin gió. Turbines gió nhỏ sẽ được trang bị với máy phát điện một chiều với công suất từ vài Watts đến vài kilo Watts. Hệ thống lớn hơn thì sử dụng máy phát điện xoay chiều một hoặc ba pha.

➤High-speed shaft: trục truyền động của máy phát ở tốc độ cao.

➤Low-speed shaft: trục quay tốc độ thấp.

➤Nacelle (vỏ): Bao gồm roto và vỏ bọc ngoài, toàn bộ được đặt trên đỉnh trụ và bao gồm các phần: gear box, low- and high-speed shafts, generator, controller, and brake. Vỏ bọc ngoài dùng bảo vệ các thành phần bên trong vỏ. Một số vỏ phải đủ rộng để 1 kỹ thuật viên có thể đứng bên trong trong khi làm việc.

➤Pitch (bước răng): Cánh được tiện hoặc làm nghiêng một ít để giữ cho roto quay trong gió không quá cao hay quá thấp để tạo ra điện.

- Rotor: Bao gồm các cánh quạt và trục.
- Tower (trụ đỡ): được làm từ thép hình trụ hoặc lưới thép. Bởi vì tốc độ gió tăng lên nếu trụ càng cao, trụ đỡ cao hơn để thu được năng lượng nhiều hơn và phát ra điện nhiều hơn.
- Wind vane: xử lý hướng gió và liên lạc với 'yaw drive' để định hướng tuabin.
- Yaw drive: Dùng để giữ roto luôn luôn hướng về hướng gió khi có sự thay đổi hướng gió.
- Yaw motor: Động cơ cung cấp cho 'yaw drive' định được hướng gió.

### **B.II.2.b. Các loại tuabin gió:**

tuabin gió có thể chia làm hai loại dựa theo chiều của trục quay. Tuabin trục ngang được dùng phổ biến hơn tuabin trục đứng.

#### **❖ Tuabin trục ngang: (HAWT – Horizontal Axis Wind Turbines)**

HAWT có trục roto chính và máy phát điện nằm ở trên đỉnh tháp và phải hướng theo hướng gió.

Những tuabin nhỏ được định hướng nhờ chong chóng gió (wind vane) nhỏ, trong khi đó những tuabin lớn thường sử dụng cặp cảm biến với động cơ trợ lực. Hầu hết các tuabin đều có hộp bánh răng để chuyển chuyển động quay chậm của cánh quạt thành chuyển động quay nhanh hơn phù hợp để chạy máy phát điện.



#### *Tuabin trục đứng (VAWTs-Vertical Axis Wind Turbines)*

VAWTs có trục roto chính bố trí theo chiều dọc. Lợi thế của kiểu tuabin này là tuabin không cần phải hướng theo hướng gió. Điều này thuận lợi trong những vùng có hướng gió thay đổi nhiều. VAWTs có thể sử dụng gió từ nhiều hướng khác nhau. Với một trục thẳng đứng, máy phát điện và hộp bánh răng có thể được đặt gần mặt đất, do đó, không cần dùng trụ để đưa lên cao, và dễ tiếp cận hơn là để bảo trì. Khuyết điểm của một vài kiểu tuabin này là sinh ra moment lực xung động (pulsating torque). Lực cản này được sinh ra khi các cánh quạt xoay trong gió.

Rất khó để gắn VAWTs lên trụ đỡ, vì vậy người ta thường xây dựng chúng trên những giá đỡ thấp gần mặt đất. Càng gần mặt đất thì sức gió càng giảm, do đó ít năng lượng gió được cung cấp cho tuabin. Không khí chuyển động gần mặt đất hoặc gần các vật có thể tạo nên các dòng bất thường, gây nên sự rung động, tạo ra tiếng ồn và làm hư trục quay. Tuy nhiên, khi tuabin được lắp trên mái các tòa nhà, các công trình thường làm đổi hướng gió trên mái và có thể làm tăng gấp đôi tốc độ gió tới tuabin. Nếu chiều cao của mái nhà có gắn tuabin xấp xỉ bằng 50% chiều cao của các công trình thì đây gần như là điều kiện tốt nhất để đạt được năng lượng gió tối đa và sự nhiễu loạn của các luồng khí là nhỏ nhất.

#### ❖ Các loại tuabin trục đứng



Giromill



Darrieus wind turbine



Savonius wind turbine

#### B.II.2.c. Những tua bin gió kì lạ :

##### ❖ Tuabin gió dạng chuỗi

Một chuyên gia Mỹ đã nghĩ ra cách sử dụng một chuỗi các rotor nhỏ để thu gió thành điện năng, với số tiền đầu tư ít hơn nhiều cách truyền thống. Đó là hàng tá các rotor cỡ nhỏ hơn trên cùng một thanh



đỡ, gắn với một máy phát điện duy nhất.

Hệ thống Sky Serpant do Doug Selsam thiết kế làm việc như sau: Được sắp cho thẳng hàng ở một góc tối ưu, mỗi rotor sẽ nhận gió của mình, và làm tăng hiệu suất tổng cộng của tuabin. Tất nhiên, thêm nhiều rotor cũng có nghĩa là vật lý học của hệ thống sẽ phức tạp hơn. Chìa khóa để tăng hiệu suất là đảm bảo rằng mỗi rotor sẽ thu được dòng chảy gió mới của riêng nó, mà không phải là gió tạt từ cái phía trước, như nhiều turbine đa rotor trước đây. Điều đó yêu cầu phải tìm ra góc nghiêng tối ưu của thanh đỡ so với hướng gió và khoảng cách lý tưởng giữa các rotor.

Lợi ích của hệ thống này là sử dụng chỉ 1/10 vật liệu làm cánh quạt so với các cánh quạt gió khổng lồ hiện nay, nhưng lại tạo ra điện năng tương đương.

Một sinh viên tại Đại học bang Arizona, Mỹ, đã đề xuất chiếc tuabin băng ngang đường, lợi dụng tốc độ gió lên đến ít nhất 10 dặm mỗi giờ do những chiếc xe hơi chạy qua tạo ra. Điện năng của nó đủ để cung cấp cho một ngôi nhà nhỏ.



Chiếc siêu tuabin này có thể được thả neo ngoài biển xa hơn nhiều so với các tuabin truyền thống. Những rotor tốc độ cao làm tăng lượng điện sản ra, một khung bằng sợi carbon và cơ chế linh hoạt giúp nó chịu được các cơn bão.





Còn đây là kế hoạch của một kiến trúc sư ở London, muốn chằng một cánh buồm khổng lồ trên một chiếc hồ ở Nga. Chiếc "Đập gió" này sẽ được nối với một tuabin để phát điện. Nó có thể cấp điện cho 35 hộ mỗi năm.



### **B.III. Năng lượng Hydro**

#### **B.III.1. Đặc tính của Hydro**

Hydrô là nguyên tố hóa học nhẹ nhất với đồng vị phổ biến nhất chứa một prôton và một điện tử. Ở nhiệt độ và áp suất tiêu chuẩn nó là dạng khí không màu, không mùi, nhị nguyên tử (phân tử). Tỷ trọng hydro bằng 1/14 tỷ trọng của không khí  $H_2$  dễ bắt cháy, có hóa trị 1, có nhiệt độ sôi 20,27 K (-252,87°C) và nhiệt độ nóng chảy 14,02 K (-259,14°C).

Hydro thường tồn tại ở dạng liên kết với các nguyên tố khác như ôxy trong nước, cacbon trong khí methane và trong các hợp chất hữu cơ. Do hydro có hoạt tính cực mạnh nên hiếm thấy hydro tồn tại như một nguyên tố riêng rẽ.

Được làm mát tới trạng thái lỏng hydro chiếm 1/700 thể tích của trạng thái khí.

Hydro khi hoá hợp với ôxy có hàm lượng năng lượng cao nhất trên một đơn vị khối lượng là 120,7 GJ/T, và nhiệt phát ra của một gram dung dịch hydro cháy có giá trị 142.000 Jun, tương ứng với 24 lần giá trị phát nhiệt của xăng

Đó là một trong các nguyên nhân tại sao hydro lỏng được sử dụng làm nhiên liệu cho các tên lửa và năng lượng cho tàu vũ trụ, tại đây khối lượng phân tử nhỏ và suất hàm lượng năng lượng cao có ý nghĩa hàng đầu.

Hydro đốt trong oxy tinh khiết, các sản phẩm duy nhất sinh ra là nhiệt lượng với nhiệt độ cao và nước. Do đó khi sử dụng hydro sẽ không tạo ra khí nhà kính và không phá hoại vòng luân chuyển của nước trong thiên nhiên.

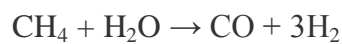
#### **B.III.2. Sản xuất Hydro:**

**Nguyên tắc chung:** Hydro gắn kết trong vật chất hữu cơ và trong nước, nên qua việc cắt rời các mối gắn kết đó cho phép ta sản xuất hydro và tiếp đó hydro được sử dụng làm nhiên liệu

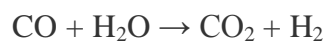
➤ **Phương pháp sản xuất khí hydro từ khí tự nhiên (chủ yếu là CH<sub>4</sub>): được sử dụng để sản xuất hydro ở quy mô công nghiệp**

Hydro được điều chế thông qua hai giai đoạn

Giai đoạn 1: Ở nhiệt độ cao (700-1100°C), hơi nước tác dụng với metan để sinh ra monôxít cacbon và hiđrô.



Giai đoạn 2: phản ứng chuyển dịch biến oxít cacbon và nước thành dioxit cacbon (CO<sub>2</sub>) và hydro. Phản ứng này xảy ra với nhiệt độ 200 - 250°C.



➤ **Phương pháp sản xuất hydro từ than**

Phương pháp này được áp dụng ở các nhà máy nhiệt điện dùng than và quy trình tổng hợp hóa khí trong than (IGCC). Đây là một phương pháp sạch biến than thành năng lượng đang ngày càng phát triển ở Hoa kỳ. Đây là một phương pháp biến than thành khí (gasification) dựa theo nguyên lý oxid hóa than đá với hơi nước ở nhiệt độ và áp suất cao. Trong điều kiện trên, năng lượng được thành hình để có thể biến thành điện năng và khí hydrogen theo như các chuỗi phản ứng

Với phương pháp trên, sản lượng hydrogen có được rất cao, có khả năng cung ứng nhiên liệu cho nhiều hệ thống phân phối trong một vùng rộng lớn. Tuy nhiên có một điểm bất lợi lớn cho phương pháp này là lượng khí CO<sub>2</sub> thải ra rất lớn, lớn hơn tất cả phương pháp hiện nay để sản xuất hydrogen. Do đó, cần phải có hệ thống thu hồi khí carbonic bằng cách áp dụng kỹ thuật chuyển hóa carbon (sequestration).

➤ **Phương pháp sản xuất hydro từ các nhà máy điện hạt nhân**

Sản xuất H<sub>2</sub> từ nguồn năng lượng này có hai điểm lợi:

Nguồn nguyên liệu chính là uranium có trữ lượng lớn ở HK, Canada, và Úc Châu.

Do đó đây là một nguồn nguyên liệu ổn định và an toàn;



Nguồn năng lượng hạch nhân không tạo ra khí carbonic vào bầu khí quyển cũng như các khí thải độc hại khác.

Quá trình sản xuất  $H_2$  trong các lò phản ứng hạch nhân theo nguyên tắc như sau: hơi nước được điện phân trong phản ứng nhiệt hóa (HTES) từ khoảng  $700^{\circ}C$  đến  $1.000^{\circ}C$  để cho ra  $H_2$ . Phản ứng này chiếm ưu thế hơn vì không cần sự hiện diện của các chất xúc tác và cho hiệu suất cao hơn phản ứng nhiệt hóa.

Tuy nhiên, vì cùng sản xuất đồng loạt điện năng và hydrogen, cho nên cần có sự hiện diện của hai lò phản ứng ở trong cùng một phạm vi sản xuất. Điều này đòi hỏi mức an toàn vận hành rất cao. Mọi sơ suất có thể biến thành một tai nạn thảm khốc

#### ➤ Phương pháp sản xuất hydro từ nguyên liệu thực vật

Từ glucoza: người ta nung nóng dung dịch glucoza chiết xuất từ mô thực vật đến khoảng  $200^{\circ}C$  ở điều kiện áp suất xác định. Sau đó, vật liệu được đưa qua chất xúc tác gồm có các thể hạt platin nhỏ phân tán trong matrix nhôm oxyt xốp. Quy trình này phân huỷ glucoza thành hydro, cacbon dioxyt và một lượng nhỏ metan.

Kỹ thuật này hiệu quả hơn nếu dùng metanol thay cho glucoza. Hiện nay, người ta đã sản xuất metanol và etanol từ những nguồn thực vật như ngô và lúa mì làm nhiên liệu sinh học. Tuy nhiên, hydro là nhiên liệu tốt hơn và sạch hơn.

Ngoài ra người ta còn sản xuất hydro từ tảo. Một loài tảo xanh đơn bào có tên khoa học là *Chlamydomonas reinhardtii* đang là niềm hy vọng cho các nhà khoa học trong việc chế tạo hydro. Loài tảo sống trong đất này có khả năng tạo ra một lượng nhỏ hydro khi chúng tập trung năng lượng từ sự lên men trong điều kiện kỵ khí. Khi đó, hydro được giải phóng qua hoạt động của một enzyme gọi là hydrogenase, được cung cấp năng lượng từ electron tạo ra từ sự phá vỡ các hợp chất, hoặc cơ, hoặc trong quá trình tách nước do quang hợp, trong đó một phần nhỏ electron được chuyển hóa thành hydro. Các nhà khoa học thuộc Khoa Sinh học thực vật Học viện Carnegie, Phòng thí nghiệm quốc gia về năng lượng tái sinh (NREL), và Trường mỏ Colorado (CSM) đang tập trung nghiên cứu nhằm tăng lượng electron, từ đó sinh ra lượng hydro cao hơn. Qua nghiên cứu, họ đã phát hiện rằng tảo *Chlamydomonas* lên men nhờ hoạt hóa đường lên men, từ đó làm xuất hiện

succinate (một loại hóa chất công nghiệp được sử dụng rộng rãi để tổng hợp xăng). Các nhà khoa học cho rằng họ có thể tăng sản lượng hydro bằng cách ngăn chặn hoặc biến đổi một số loại đường trao đổi chất nói trên.

➤ **Phương pháp điện phân nước:** Hydro được sinh ra từ điện phân nước là khá dễ dàng, nhưng giá thành đắt

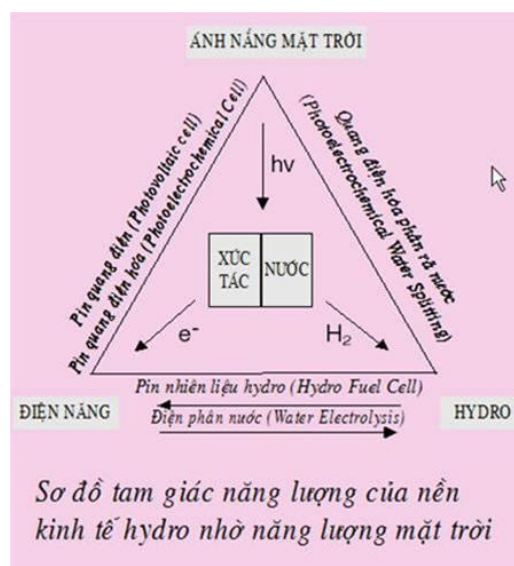
Trong các thiết bị điện phân nước công nghiệp và thử nghiệm công nghiệp đã đạt hiệu suất điện phân 70 - 80% với mật độ dòng điện dưới  $1\text{A}/\text{cm}^2$  kể cả điện phân dưới áp suất. Các nhà nghiên cứu Nhật Bản đã nghiên cứu triển khai những khối điện cực kiểu màng với chất điện phân bằng polime rắn đảm bảo điện phân nước với hiệu suất (về điện) trên 90% khi mật độ dòng điện  $3\text{A}/\text{cm}^2$ .

Trên thế giới thiết bị điện phân công nghiệp kiểu dung dịch kiềm tốt nhất do tập đoàn "Stuart Energie" (Canada) chế tạo. Các thiết bị này vận hành ổn định lâu dài, đảm bảo suất tiêu hao điện dưới  $5\text{ kWh}/\text{m}^3\text{ H}_2$  nên có thể cạnh tranh với phương pháp sản xuất hydro bằng biến hoá khí đốt thiên nhiên với việc áp dụng sự hấp thụ chu trình ngắn. Ngoài ra các thiết bị điện phân đó cho phép thay đổi phụ tải từ 3% tới 100%.

### Phương pháp quang điện hóa phân rã

nước (photoelectrochemical water splitting) nhờ năng lượng bức xạ của ánh nắng mặt trời với sự có mặt chất xúc tác quang. Phản ứng xảy ra như sau:  $\text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{H}_2 + 1/2\text{O}_2$

Và để đảm bảo cho việc sản xuất Hydro không gây ô nhiễm môi trường người ta sử dụng chính nguồn năng lượng mặt trời để sản xuất Hydro theo sơ đồ sau:



### B.III.3. Cát trữ hydro:

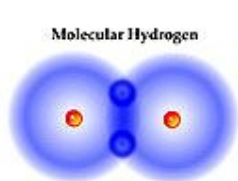
Vì khí hydro ở thể khí nên việc cất trữ đơn giản nhất là bơm hydro vào trong thùng chứa nhưng vấn đề đặt ra là về kích thước của thùng nhiên liệu hydro, các nhà khoa học đã tính kỹ rằng thông thường 1 gallon khí đốt chứa được gấp khoảng 2.600 lần 1 gallon chứa khí hydro, nên sẽ cần một thùng chứa rất lớn thì mới chứa đủ lượng hydro cần thiết .

Do đó phải tạo sức ép cực lớn trong thùng chứa nguyên liệu hydro, ví dụ để có đủ nguyên liệu để cho một xe chạy trên đoạn đường 300 dặm thì lực ép lên tới 10.000 poud trên một inch vuông

Một giải pháp khác đặt ra là có thể chuyển nó sang dạng lỏng, nhưng lúc đó cần có các bình chứa đặc biệt để giữ cho nhiệt độ bên trong luôn thấp hơn so với môi trường. Hoặc cũng có thể giữ nó trong một bình điều hoà áp suất. Nhưng có điều khi một bình điều hoà áp suất bị vỡ, hoặc việc đưa khí hydro vào các bình chứa có khuynh hướng tạo ra dòng tĩnh điện sẽ dễ gây nổ. Do đó cần cho những cách thức để có thể cất trữ hydro một cách an toàn và thuận tiện hơn

#### Một số cách thức giữ hydro an toàn và thuận tiện đang được nghiên cứu

##### ✓ Cát giữ hydro an toàn trong hợp chất của lithium



Hydro được xem là nguồn năng lượng tiềm năng. Nhưng đến nay, người ta vẫn chưa tìm ra cách cất trữ nó một cách an toàn - dù dưới dạng lỏng hay khí nén. Để khắc phục nhược điểm này, các nhà khoa học Singapore đã đưa ra giải pháp: Chứa hydro trong một hợp chất của lithium và nitơ.

Nhóm nghiên cứu của Ping Chen, Đại học Quốc gia Singapore, đã chế tạo ra một bình chứa hydro từ hợp chất của lithium và nitơ ( $\text{Li}_3\text{N}$ ). Nó hoạt động theo nguyên lý sau: Ở nhiệt độ 255 độ C, hợp chất của lithium phản ứng với hydro, tạo thành một hợp chất mới của lithium, nitơ và hydro. Khi cần sử dụng hydro, người ta phải đặt bình chứa vào một môi trường nhiệt độ và áp suất thích hợp để hợp chất lithium - nitơ - hydro bị phân hủy thành các nguyên tố đơn lẻ.

Theo tính toán, trung bình 1 phân tử  $\text{Li}_3\text{N}$  sẽ hấp thụ được 3 nguyên tử hydro. Có nghĩa là, một bình chứa nặng khoảng 100 kg sẽ chứa được khoảng 9 kg hydro. Đây là một tỷ lệ rất cao. (Đến nay, các bình chứa hydro làm bằng than chì, cùng khối lượng, hoạt động theo nguyên lý tương tự, chỉ chứa được nhiều nhất là 3-5 kg hydro).

Phương pháp giữ hydro trong hợp chất lithium có ưu điểm là rất an toàn, vì hydro ở trong hợp chất với kim loại không thể bị bắt cháy bất chợt. Tuy nhiên, phương pháp này còn có một nhược điểm, đó là hydro chỉ có thể kết hợp với lithium ở nhiệt độ khá cao (255 độ C). Trong thời gian tới, nhóm nghiên cứu hy vọng sẽ tìm ra chất xúc tác để khắc phục điểm yếu này.

✓ **Cất trữ hydro ở dạng ở thể rắn (gọi là “viên năng lượng hydro”)**

Các nhà khoa học tại Trường đại học kỹ thuật Đan Mạch (DTU) đã phát minh ra công nghệ tạo bước tiến quan trọng trong việc sử dụng khí hydro làm nhiên liệu. Viên năng lượng hydro cho phép lưu trữ hydro hiệu quả trong một chất liệu rẻ mà an toàn.

Viên năng lượng khí hydro an toàn và không tốn kém, người ta có thể bỏ trong túi mà không cần có biện pháp bảo vệ nào. Đây là điều khác biệt so với hầu hết các công nghệ lưu trữ khí hydro khác. Đó là nhờ viên năng lượng này chỉ chứa khí amoniac ngấm trong nước biển. Amoniac được tạo ra từ khí hydro với khí nitơ trong không khí, do vậy viên năng lượng của DTU chứa một khối lượng lớn khí hydro. Trong viên năng lượng, khí hydro có thể được lưu trữ trong thời gian mong muốn, và khi cần hydro, khí amoniac sẽ được giải phóng qua một chất xúc tác để phân rã lại thành dạng khí hydro tự do. Khi viên năng lượng trống rỗng, người sử dụng chỉ cần cho khí amoniac vào và được sử dụng trở lại.

Ưu thế của việc sử dụng khí hydro là chúng không có khí  $\text{CO}_2$  tự do, và có thể được chế tạo bằng nguồn năng lượng thay thế như sức gió.

### ✓ Sử dụng vật liệu “Borohydruce de lithium”

Các nhà khoa học Thụy Sĩ và Na Uy hiện đang nghiên cứu các hợp chất khác nhau có đặc tính là nhẹ, chứa hydro và các dạng khác có thể giải phóng hydro theo nhiệt độ và áp suất, borohydruce lithium,  $\text{LiBH}_4$ , là một trong những hợp chất được nghiên cứu bởi vì nó chứa đựng một tỷ lệ lớn hydro (18% khối lượng). Trạng thái mới của hợp chất này mà các nhà khoa học vừa phát hiện là đầy hứa hẹn bởi vì nó không ổn định. Cho tới nay, tất cả các dạng được biết của hợp chất này đều rất ổn định, điều đó có nghĩa là nó không để nhiều hydro thoát ra.

Để đạt được những dạng mới của borohydruce lithium, nhóm nghiên cứu đã cho mẫu ở áp suất từ 200.000 át-mốt-phe. Áp suất 200.000 át-mốt-phe áp dụng cho  $\text{LiBH}_4$  trong thí nghiệm mạnh hơn khoảng 80 lần áp suất trên đỉnh núi Everest. Nhược điểm chính của nó là nó chỉ giải phóng hydro ở nhiệt độ tương đối cao (trên  $300^\circ\text{C}$ ). Tuy nhiên nhóm nghiên cứu đã tìm ra một dạng mới của hợp chất này có thể giải phóng hydro ở nhiệt độ thấp hơn.

Giai đoạn tới, nhóm nghiên cứu sẽ tập trung vào áp dụng các kỹ thuật hoá học cho hợp chất để "làm đóng băng" cấu trúc mới ở những điều kiện xung quanh và kiểm chứng xem nó có những đặc tính cho lưu trữ hydro thuận lợi hơn borohydruce lithium tinh hay không.

### ✓ Bình chứa hydro làm bằng chất dẻo

Các nhà khoa học Hàn Quốc đã xử lý hai loại chất dẻo thông dụng để chế tạo ra một bình chứa hydro. Dung lượng (tức lượng hydro có thể chứa bên trong bình) bằng 8% khối lượng của bình. Với thành tựu này, người ta hy vọng tạo ra các bình chứa hydro cho xe hơi chạy đường dài, tương tự như xe chạy xăng.

Đến nay, các động cơ chạy bằng hydro lỏng thường phải trang bị một hệ thống làm lạnh công kênh và tốn kém, vì hydro hóa lỏng ở nhiệt độ  $-253^\circ\text{C}$ . Vì thế, việc ứng dụng động cơ hydro vẫn còn rất hạn chế trong đời sống thường nhật.

Nay, nhóm khoa học của Sung June Cho đã nghiên cứu khả năng chứa hydro của hai chất dẻo polyanilin và polypyrrol. Họ ngạc nhiên thấy rằng, ở nhiệt độ phòng, cả hai chất dẻo này đều giữ được một lượng hydro tương đương với 6% khối lượng của chúng. Khi qua xử lý bằng axit muối, dung lượng còn tăng lên tới 8%.

Bí mật nằm ở khả năng tích điện của hai chất dẻo này. Chính điện tích đã giữ các phân tử hydro tụ tập trên các lỗ nhỏ ở bề mặt chất dẻo. Qua việc xử lý bằng axit muối, các lỗ nhỏ trên bề mặt càng được thông thoáng, khiến khả năng chứa hydro càng tăng hơn.

#### **B.III.4.Sản xuất điện năng từ hydro**

##### **➤ Nguyên lý:**

Để có thể biến hydro thành điện năng sẽ phải thông qua một thiết bị gọi là pin nhiên liệu (Fuel Cell)

##### Pin nhiên liệu là gì?

Pin nhiên liệu là một thiết bị điện hoá mà trong đó biến đổi hoá năng thành điện năng nhờ quá trình oxy hoá nhiên liệu, mà nhiên liệu thường dùng ở đây là khí H<sub>2</sub> và khí O<sub>2</sub> hoặc không khí

Quá trình biến đổi năng lượng trong pin nhiên liệu là quá trình biến đổi trực tiếp từ hoá năng sang điện năng theo phản ứng  $H_2 + O_2 = H_2O + \text{dòng điện}$ , nhờ có tác dụng của chất xúc tác, thường là các màng platin nguyên chất hoặc hỗn hợp platin, hoặc các chất điện phân như kiềm, muối Cacbonat, Oxit rắn ... Không giống như pin hoặc ắc quy, pin nhiên liệu không bị mất điện và cũng không có khả năng tích điện. Pin nhiên liệu hoạt động liên tục khi nhiên liệu (hiđrô) và chất ôxi hóa (ôxy) được đưa từ ngoài vào.

##### **➤ Cấu tạo:**

Một tế bào nhiên liệu có cấu tạo đơn giản bao gồm ba lớp nằm trên nhau.

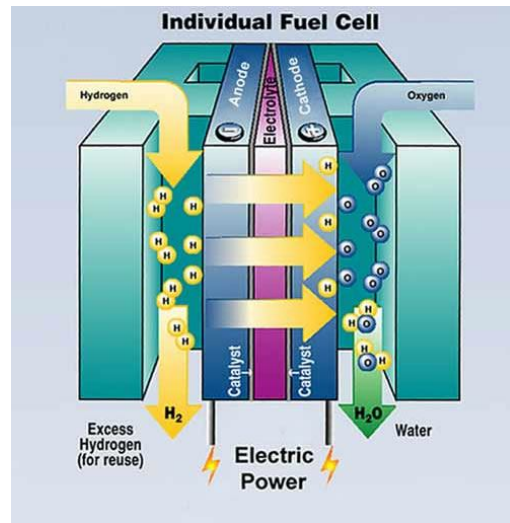
Lớp thứ nhất là điện cực nhiên liệu (cực dương),

Lớp thứ hai là chất điện phân dẫn ion

Lớp thứ ba là điện cực khí ôxy (cực âm).

Hai điện cực được làm bằng chất dẫn điện (kim loại, than chì, ...). Chất điện phân được dùng là nhiều chất khác nhau tùy thuộc vào loại của tế bào nhiên liệu, có loại ở thể rắn, có loại ở thể lỏng và có cấu trúc màng.

Vì một tế bào riêng lẻ chỉ tạo được một điện thế rất thấp cho nên tùy theo điện thế cần dùng nhiều tế bào riêng lẻ được nối kế tiếp vào nhau, tức là chồng lên nhau.



Người ta thường gọi một lớp chồng lên nhau như vậy là stack.

Ngoài ra, hệ thống đầy đủ cần có các thiết bị phụ trợ như máy nén, máy bơm, để cung cấp các khí đầu vào, máy trao đổi nhiệt, hệ thống kiểm tra các yêu cầu, sự chắc chắn của sự vận hành máy, hệ thống dự trữ và điều chế nhiên liệu.

#### ➤ Phân loại các loại pin nhiên liệu:

Các hệ thống tế bào nhiên liệu được phân loại theo nhiều cách khác nhau tùy theo cách nhìn:

Phân loại theo nhiệt độ hoạt động

Phân theo loại các chất tham gia phản ứng

Phân loại theo điện cực

Phân theo loại các chất điện phân là cách phân loại thông dụng ngày nay

Liệt kê dưới đây là 6 loại tế bào nhiên liệu khác nhau:

AFC (Alkaline fuel cell - tế bào nhiên liệu kiềm)

PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell - trao đổi hạt nhân qua màng lọc)

PAFC (Phosphoric acid fuel cell - tế bào nhiên liệu axit phosphoric)

MCFC (Molten carbonate fuel cell - tế bào nhiên liệu carbonat nóng chảy)

SOFC (Solid oxide fuel cell - tế bào nhiên liệu oxit rắn)

DMFC (Direct methanol fuel cell - tế bào nhiên liệu methanol trực tiếp)

#### ➤ Nguyên lý hoạt động cơ bản của pin nhiên liệu:

Khí hydro được nén và thổi vào pin nhiên liệu ở phía cực âm. Tại đây, phân tử hydro tiếp xúc với platin và phân hủy thành hai ion  $H^+$ , giải phóng hai điện tử và hai điện tử này dịch chuyển. Dòng điện tử chạy trong dây dẫn ra mạch ngoài, tạo thành dòng điện, các ion  $H^+$  di chuyển trong chất điện phân xuyên qua màng lọc có khả năng chỉ cho proton đi qua về cực âm kết hợp với khí oxy và các điện tử tạo thành nước và tỏa nhiệt

### ➤ Ưu điểm và những tồn tại của pin nhiên liệu

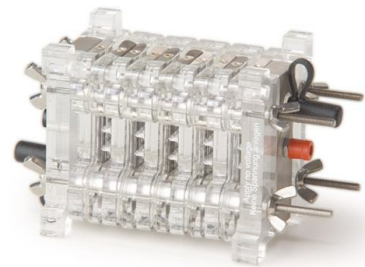
#### Ưu điểm:

- Hiệu suất cao: nếu chỉ sản xuất điện thì đạt 40% (bằng nhiệt điện), nếu là cụm nhiệt điện thì có thể đạt tới 90%
- Hiệu suất này ít thay đổi theo công suất phát
- Công suất của pin nhiên liệu có thể từ vài kW tới hàng MW mà không làm thay đổi hiệu suất
- Ít gây ồn ( ngoại trừ máy nén khí và bơm)
- Ít phải bảo quản và giá thành bảo dưỡng rẻ.
- Gần như không gây ô nhiễm môi trường : không cháy, không thải khí độc  $SO_x$ , còn  $CO_x$  thì thấp hơn 2 lần và  $NO_x$  thì thấp hơn 50 lần so với máy phát nhiệt điện.

#### Những tồn tại:

Dù có rất nhiều điểm mạnh song để có thể cạnh tranh thương mại thì pin nhiên liệu cần đạt được các yêu cầu sau:

- Độ tin cậy của hệ thống: cần đạt được 40 nghìn giờ vận hành với các ứng dụng tĩnh (phát điện lên lưới điện).
- Giá thành sản xuất giảm: phải đạt cỡ 5000F/kW công suất đặt. Riêng với ô tô thì giá này cần giảm 10 lần (tức là một pin 50kW giá cỡ 25 nghìn F)
- Giảm lượng platine (bạch kim) cần dùng.





-Hơn thế nữa là phải đảm bảo ổn định được nguồn nhiên liệu và hoà được vào lưới điện.

➤ **Ứng dụng của năng lượng hydro:**

Năng lượng hydro được ứng dụng chủ yếu trong lĩnh vực giao thông vận tải, trong các thiết bị điện tử ( như là điện thoại di động, máy tính xách tay....)

#### **B.IV. Năng lượng thủy triều.**

##### **B.IV.1. Nguồn gốc của năng lượng thủy triều**

Chuyển năng lượng của thủy triều thành điện hoặc dạng năng lượng hữu ích khác. Dù còn chưa được sử dụng rộng rãi, nhưng năng lượng thủy triều là nguồn năng lượng đầy tiềm năng trong tương lai. Thủy triều dễ dự đoán hơn năng lượng gió hay năng lượng mặt trời. Trong quá khứ, các trạm triều điện đã được sử dụng, cả ở cả châu Âu và bờ biển Đại Tây Dương của Mỹ. Xuất hiện lần đầu tiên vào thời Trung Cổ, hoặc thậm chí là thời La Mã.

Năng lượng thủy triều có nguồn gốc trực tiếp từ sự tương tác giữa mặt trăng và trái đất, và một phần nhỏ từ sự tương tác giữa mặt trời và trái đất, thông qua lực hấp dẫn. Sự thay đổi tuần hoàn của mực nước và dòng thủy triều đều là do lực hấp dẫn của mặt trời và mặt trăng và sự tự quay của trái đất. Bởi vì thủy triều ở trái đất phụ thuộc vào tương tác hấp dẫn của mặt trăng và mặt trời, vào sự tự quay của trái đất, nên năng lượng thủy triều là vô tận và được phân loại là nguồn năng lượng tái tạo. Thủy triều càng mạnh (mực nước cao hoặc vận tốc dòng thủy triều), thì có tiềm năng tạo ra năng lượng càng lớn.

Chuyển động của thủy triều gây nên sự mất dần năng lượng trong hệ mặt trăng – trái đất do nước chảy qua những chỗ hẹp tự nhiên của các đường bờ biển, và do ma sát nhớt ở đáy biển. Sự mất dần năng lượng này làm trái đất quay chậm lại trong 4,5 tỷ năm qua kể từ khi hình thành. Trong suốt 620 triệu năm qua, một chu kỳ quay của trái đất tăng từ 21,9 giờ lên 24. Hiện nay, trái đất đã mất đi 17% năng lượng (xoay). Trong khi năng lượng thủy triều có thể lấy thêm năng lượng, tăng tỉ lệ thất thoát

năng lượng, hiện tượng này chỉ đáng chú ý trong khoảng thời gian hàng triệu năm, còn trong thời đại chúng ta thì không đáng kể.

### **B.IV.2. Các loại năng lượng thủy triều:**

Năng lượng thủy triều có thể chia thành hai dạng chính

- Dòng thủy triều: dùng động năng chuyển động của nước làm quay tuabin, tương tự như các tuabin gió sử dụng chuyển động của không khí. Phương pháp này phổ biến hơn vì chi phí thấp và ít tác động đến hệ sinh thái hơn so với các đập nước.

- Đập chắn nước sử dụng thế năng của sự chênh lệch độ cao khi thủy triều lên - xuống. Đập chắn nước cơ bản chỉ là một cái đập chắn ngang qua cửa sông. Khuyết điểm là chi phí cơ sở hạ tầng rất cao, thiếu diện tích để xây dựng và vấn đề môi trường.

Phá thủy triều, có cấu trúc tương tự như đập chắn nước, nhưng không chắn hoàn toàn cửa sông, cần chi phí thấp.

### **B.IV.3. Nguyên tắc hoạt động:**

Máy phát điện dùng dòng thủy triều (Tidal stream generators)

Máy phát điện này lấy năng lượng từ dòng thủy triều tương tự như những tuabin gió. Dòng nước làm quay cánh quạt, chạy máy phát điện đặt bên trong.

Tỷ trọng của nước gấp 832 lần so với tỷ trọng của gió, có nghĩa là một máy phát điện có thể tạo ra một năng lượng đáng kể với tốc độ chảy chậm (so với tốc độ gió). Với năng lượng tỉ lệ với tỷ trọng của môi trường, và lũy thừa ba vận tốc, ta dễ dàng thấy

rằng khi tốc độ nước chỉ bằng một phần mười tốc độ gió tạo ra lượng năng lượng

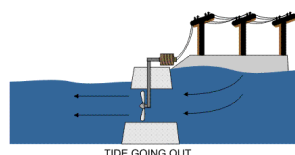
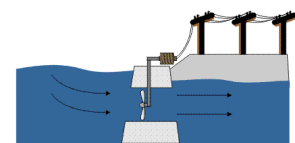
tương đương nhau, với cùng kích cỡ tuabin. Tuy

nhiên giới hạn các áp dụng trong thực tế đối với

những nơi có tốc độ nước nhỏ hơn 1m/s.

Đập chắn nước

Một con đập lớn được xây chắn ngang cửa sông. Khi thủy triều lên và rút đi, nước chảy qua những đường



thông bên trong đập.

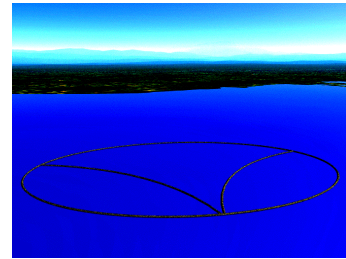
Khi thủy triều xuống, dòng thủy triều được dùng để là quay tuabin hoặc dùng để đẩy không khí qua một cái ống để quay tuabin. Đập có một cái cổng lớn, giống như ở những con kênh, cho tàu thuyền đi qua.

Tuy nhiên việc tác động mạnh mẽ đến những dòng chảy ở cửa sông có thể gây ảnh hưởng lớn đến môi trường. Một lượng lớn loài chim kiếm ăn ở vùng đầm lầy khi thủy triều rút thì sẽ không còn nơi để tìm thức ăn nữa.

Phá thủy triều

Một cách mới để tiếp cận năng lượng thủy triều, và giải quyết được vấn đề kinh tế cũng như là môi trường của đập chắn nước.

Phá thủy triều được xây dựng cách bờ khoảng một dặm hoặc hơn ở vùng có thủy triều cao. Phá thủy triều hoạt động tương tự như đập chắn nước



#### **B.IV.4.Một số dự án khai thác năng lượng thủy triều**

Tuabin trục ngang: Hầu hết những mẫu thử nghiệm hiện nay đang hoạt động, gồm:

- Kvalsund, Nam Hammerfest, Na Uy. Dù chỉ là mẫu thử nghiệm, nhưng tuabin này được báo cáo có công suất 300kW được kết nối với lưới điện ngày 13 tháng 11 năm 2003

- Một tuabin dạng chân vịt 300kW -Seaflow- được xây dựng bởi Marine Current Turbines (một công ty ở Anh) ở bờ biển của Lynmouth, Devon, Anh, trong năm 2003.



- Từ tháng 4 năm 2007, Verdant Power chạy một mẫu thử nghiệm ở East River giữa Queens và đảo Roosevelt, thành phố New York. Đây là một dự án lớn về năng lượng thủy triều ở Mỹ.



- Tiếp theo bằng thử nghiệm Seaflow, một bản thử nghiệm đầy đủ, gọi là Seagen được xây dựng bởi Marine Current Turbines tại Strangford Lough ở Bắc Ireland vào tháng 4 năm 2008. Tuabin tạo ra một năng lượng lớn, hơn 12MW vào năm 2008 và được báo cáo lần đầu tiên thêm 150kW vào mạng lưới điện ngày 17 tháng 7 năm 2008.

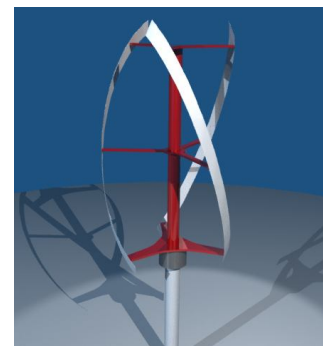


- OpenHydro, một công ty Ai-len, có một mẫu đang được thử nghiệm tại Trung tâm Năng lượng biển châu Âu (EMEC), ở Orkney, Scotland.



Tuabin trục đứng

Tuabin Gorlov là một phiên bản của kiểu Darrieus, là một tuabin trục đứng cánh quạt hình xoắn ốc, được thí điểm ở Hàn Quốc.



## **C. Phần kết : Năng lượng xanh tại Việt Nam – thực trạng và tiềm năng phát triển.**

### **C.I. Năng lượng mặt trời:**

#### **C.I.1. Vấn đề sử dụng năng lượng mặt trời tại Việt Nam:**

Trong thời đại khoa học kỹ thuật phát triển, nhu cầu về năng lượng ngày càng tăng. Trong khi đó các nguồn nhiên liệu dự trữ như than đá, dầu mỏ, khí thiên nhiên và ngay cả thủy điện thì có hạn khiến cho nhân loại đứng trước nguy cơ thiếu hụt năng lượng. Việc tìm kiếm và khai thác các nguồn năng lượng mới như năng lượng hạt nhân, năng lượng địa nhiệt, năng lượng gió và năng lượng mặt trời là một trong những hướng quan trọng trong kế hoạch phát triển năng lượng, không những đối với những nước phát triển mà ngay cả với những nước đang phát triển.

Năng lượng mặt trời (NLMT)- nguồn năng lượng sạch và tiềm tàng nhất - đang được loài người thực sự đặc biệt quan tâm. Do đó việc nghiên cứu nâng cao hiệu quả các thiết bị sử dụng năng lượng mặt trời và triển khai ứng dụng chúng vào thực tế là vấn đề có tính thời sự.

Việt Nam là nước có tiềm năng về NLMT, trải dài từ vĩ độ 8° Bắc đến 23° Bắc, nằm trong khu vực có cường độ bức xạ mặt trời tương đối cao, với trị số tổng xạ khá lớn từ 100-175 kcal/cm<sup>2</sup>.năm (4,2 -7,3GJ/m<sup>2</sup>.năm) do đó việc sử dụng NLMT ở nước ta sẽ đem lại hiệu quả kinh tế lớn. Thiết bị sử dụng năng lượng mặt trời ở Việt Nam hiện nay chủ yếu là hệ thống cung cấp điện dùng pin mặt trời, hệ thống nấu cơm có gương phản xạ và đặc biệt là hệ thống cung cấp nước nóng kiểu tấm phẳng hay kiểu ống có cánh nhận nhiệt. Nhưng nhìn chung các thiết bị này giá thành còn cao, hiệu suất còn thấp nên chưa được người dân sử dụng rộng rãi. Hơn nữa, do đặc điểm phân tán và sự phụ thuộc vào các mùa trong năm của NLMT, ví dụ: mùa đông thì cần nước nóng nhưng NLMT ít, còn mùa hè không cần nước nóng thì nhiều NLMT do đó các thiết bị sử dụng NLMT chưa có tính thuyết phục. Sự mâu thuẫn đó đòi hỏi chúng ta cần chuyển hướng nghiên cứu dùng NLMT vào các mục đích khác thiết thực hơn như: chưng cất nước dùng NLMT, dùng NLMT chạy các động cơ nhiệt (động cơ Stirling), nghiên cứu hệ thống điều hòa không khí dùng NLMT... Hệ thống lạnh hấp thụ sử dụng NLMT là một đề tài hấp dẫn có tính thời sự đã và đang được nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước nghiên cứu, nhưng vấn đề sử dụng bộ thu NLMT nào cho hiệu quả và thực tế nhất thì vẫn còn là một đề tài cần phải nghiên cứu, vì với các bộ thu kiểu tấm phẳng hiện nay thì hiệu suất rất thấp, do

đó cần có một mặt bằng rất lớn để lắp đặt bộ thu cho một hệ thống điều hòa không khí bình thường.

Vấn đề sử dụng NLMT đã được các nhà khoa học trên thế giới và trong nước quan tâm. Mặc dù tiềm năng của NLMT rất lớn, nhưng tỷ trọng năng lượng được sản xuất từ NLMT trong tổng năng lượng tiêu thụ của thế giới vẫn còn khiêm tốn.

Nguyên nhân chính chưa thể thương mại hóa các thiết bị và công nghệ sử dụng NLMT là do còn tồn tại một số hạn chế lớn chưa được giải quyết :

- Giá thành thiết bị còn cao: vì hầu hết các nước đang phát triển và kém phát triển là những nước có tiềm năng rất lớn về NLMT nhưng để nghiên cứu và ứng dụng NLMT lại đòi hỏi vốn đầu tư rất lớn, nhất là để nghiên cứu các thiết bị làm lạnh và điều hòa không khí bằng NLMT cần chi phí quá cao so với thu nhập của người dân ở các nước nghèo.

- Hiệu suất thiết bị còn thấp: nhất là các bộ thu năng lượng mặt trời dùng để cấp nhiệt cho máy lạnh hấp thụ cần nhiệt độ cao trên  $850^{\circ}\text{C}$  thì các bộ thu phẳng đặt cố định bình thường có hiệu suất rất thấp, do đó thiết bị lắp đặt còn cồng kềnh chưa phù hợp với nhu cầu lắp đặt và về mặt thẩm mỹ. Các bộ thu có gương parabolic hay máng parabolic trụ phản xạ bình thường thì thu được nhiệt độ cao nhưng vấn đề định vị hướng hứng nắng theo phương mặt trời rất phức tạp nên không thuận lợi cho việc vận hành.

- Việc triển khai ứng dụng thực tế còn hạn chế: về mặt lý thuyết, NLMT là một nguồn năng lượng sạch, rẻ tiền và tiềm tàng, nếu sử dụng nó hợp lý sẽ mang lại lợi ích kinh tế và môi trường rất lớn. Việc nghiên cứu về lý thuyết đã tương đối hoàn chỉnh. Song trong điều kiện thực tiễn, các thiết bị sử dụng NLMT lại có quá trình làm việc không ổn định và không liên tục, hoàn toàn biến động theo thời tiết, vì vậy rất khó ứng dụng ở quy mô công nghiệp. Đặc biệt là trong kỹ thuật lạnh và điều tiết không khí, vấn đề nghiên cứu đưa ra bộ thu năng lượng mặt trời để cấp nhiệt cho chu trình máy lạnh hấp thụ đã và đang được nhiều nhà khoa học quan tâm nhằm đưa ra bộ thu hoàn thiện và phù hợp nhất để có thể triển khai ứng dụng rộng rãi vào thực tế.

Nhiều hội thảo quốc tế về vấn đề này mở ra, đại biểu quen mặt nhau nhưng kinh nghiệm từ các nước thì vẫn không áp dụng được, tiết kiệm năng lượng vẫn là bài toán tìm đáp số hiệu quả...

Đó là bức xúc của nhiều đại biểu tham gia Hội thảo "Các chính sách hiệu quả năng lượng ở VN" tổ chức tại TP.HCM vào ngày 9-10/4.

Theo kinh nghiệm từ Pháp, ông Philippe Masset (Trưởng ban chương trình và dự án quốc tế Cơ quan môi trường và tiết kiệm năng lượng) cho biết, rất nhiều công cụ đa dạng trong cơ chế thực hiện chính sách tiết kiệm năng lượng, bao gồm: hỗ trợ nghiên cứu và phát triển; giáo dục, thông tin tuyên truyền cho các địa phương, doanh nghiệp, cộng đồng; cần có luật và quy định, chế tài và khuyến khích tài chính; các công cụ đổi mới kết hợp giữa quy định ràng buộc và thị trường...

Ông Brahmanand Mohanty (cố vấn khu vực Châu Á, cơ quan Môi trường và kiểm soát Năng lượng (ADEME) cũng đưa ra ví dụ từ kinh nghiệm của Thái Lan. Các yếu tố cho phép tiết kiệm năng lượng bao gồm hỗ trợ kỹ thuật, khuyến khích và trợ cấp, hỗ trợ các thị trường, pháp luật và tuyên truyền thông tin hữu ích.

Tuy vậy, những kinh nghiệm này khó áp dụng với Việt Nam, bởi theo ông Nguyễn Thường (Trung tâm Phát triển năng lượng bền vững) chỉ một phòng tiết kiệm năng lượng của Bộ Công thương, ngoài ra không có quỹ hay trung tâm nào đủ mạnh, đủ nhân lực chuyên môn phối hợp cùng thì hoàn toàn không đủ khả năng, không đủ sức triển khai những vấn đề mang tính tổng hợp đa ngành như trên để có thể tiết kiệm năng lượng hiệu quả.

Ông Nguyễn Đình Hiệp, Chánh văn phòng Tiết kiệm năng lượng, Bộ Công thương cho biết, mục tiêu của VN là tiết kiệm từ 3-5% trong giai đoạn 2006-2010 và 5-8% trong giai đoạn 2011-2015. Hoạt động chính của chương trình gồm tăng cường nhận thức cộng đồng và thực hiện các biện pháp tiết kiệm điện trong phát điện, truyền tải, phân phối và sử dụng điện.

Tuy nhiên, ở VN còn nhiều rào cản: thiếu năng lực thực hiện chính sách, cơ chế hỗ trợ, kiểm soát và thực thi các hoạt động tiết kiệm năng lượng, nhận thức cộng đồng còn hạn chế, chế tài chưa đầy đủ và đủ mạnh cũng như chưa có sự khuyến khích các

hoạt động tiết kiệm năng lượng. Bên cạnh đó, các cấp quản lý thiếu sự cam kết, hỗ trợ và hạn chế về dịch vụ thúc đẩy hoạt động tiết kiệm năng lượng.

### **C.I.2. Tiềm năng phát triển:**

Việt Nam với lợi thế về vị trí địa lý nằm trong khu vực nhiệt đới nên rất thuận lợi cho việc phát triển khai thác năng lượng mặt trời. Vấn đề còn lại chỉ là mặt công nghệ và kinh phí đầu tư, triển khai các dự án còn nằm trong giấy vờ. Tuy còn gặp nhiều khó khăn nhưng việc khai thác và sử dụng năng lượng mặt trời không còn xa lạ với người dân Việt Nam, thậm chí có nhiều nơi nó còn là nguồn năng lượng sinh hoạt chính trong gia đình. Bên cạnh đó nhiều người dân đã tự tìm tòi và sáng chế ra những thiết bị, hệ thống khai thác năng lượng mặt trời rất hiệu quả, góp phần nâng cao tiềm năng phát triển ngành công nghiệp khai thác năng lượng mặt trời trong phạm vi cả nước, tiết kiệm nhiều chi phí sử dụng và thúc đẩy quá trình nghiên cứu để làm sao khai thác hiệu quả nhất nguồn năng lượng vô tận này.

Sau đây xin giới thiệu một số sáng chế tiêu biểu về việc khai thác có hiệu quả năng lượng mặt trời phục vụ cho sinh hoạt hằng ngày của người dân Việt Nam:

Bếp năng lượng mặt trời:

Mặc dù kiếm sống bằng một nghề không hề liên quan lĩnh vực nghiên cứu khoa học là trang trí nội thất, nhưng ông Trán vẫn sáng chế thành công bếp sử dụng năng lượng mặt trời.

"Từ nhỏ tôi đã thích khám phá các loại máy móc, cơ khí. Năm 1994 vô tình tôi mua được một cuốn sách về năng lượng mặt trời phục vụ nông thôn. Đọc xong cuốn sách, ngay lập tức tôi mong muốn tự mình làm được một cái bếp mặt trời như tôi đang có. Thế nhưng, 10 năm sau tôi mới bắt tay thực hiện được ước mơ" - ông Trán tâm sự.





Ông Đỗ Văn Trán đang đun nước bằng bếp mặt trời do ông sáng chế. (Ảnh: M.L)

Vật liệu cấu tạo nên chiếc bếp mặt trời của ông Trán chủ yếu là nhôm, sắt và inox. Tổng chi phí cho chiếc bếp nói trên ước tính khoảng 4,5 triệu đồng.

Bếp gồm các bộ phận như: mặt phản xạ thu ánh sáng hình parabol, thùng bếp, bộ phận truyền dẫn có tác dụng truyền dẫn nhiệt tới thùng bếp. Mặt bên trong của thùng bếp có gắn một số loại mút, xốp có tác dụng giữ nhiệt. Bộ dẫn nhiệt gồm 2 ống thủy tinh giúp giữ thoát nhiệt, bộ phận truyền nhiệt được cấu tạo bởi một ống đồng nhỏ có độ dài khoảng 2,2 m để truyền nhiệt vào thùng bếp.

Bếp mặt trời của ông Trán được vận hành bởi bộ điều khiển tự động và điều khiển bằng tay, chảo Parapol sẽ tự động quay sau khi vận hành; nắng ở chỗ nào, chảo sẽ tự động quay theo hướng đó. Khoảng 5h chiều chảo parabol sẽ tự động dừng ở hướng Tây. 6h sáng hôm sau, chảo sẽ tự động quay về hướng Đông để đón ánh sáng mặt trời.

Ông Trán cho biết, loại bếp mà ông sáng chế có ưu điểm "vượt trội" hơn so với các loại chảo parabol khác ở chỗ người sử dụng không phải đứng ngoài nắng để nấu

nướng trong lòng chảo. Nhờ vậy, trong khi sử dụng, không phải tiếp xúc trực tiếp với lượng ánh sáng mặt trời (gần 200 độ C).

Hơn nữa, trong khi các chảo parabol khác chỉ có thể sử dụng khi trời có nắng và bị mất nhiệt khi có gió lớn, thì bếp mặt trời của ông Trán vẫn có thể dùng được khi trời râm mát. Thậm chí khi trời mưa, vẫn nấu nướng được do có hệ thống lưu nhiệt trong 3 - 4 giờ.

Bếp mặt trời của ông Trán có tuổi thọ từ 7 - 10 năm.

Được biết, bếp mặt trời do ông Trán sáng chế đã đạt giải khuyến khích tại cuộc thi "Sáng tạo kỹ thuật TP.HCM lần thứ 18" do Sở KH-CN TP.HCM phát động.

Ngôi nhà với tổ hợp điện mặt trời thông minh

Chủ nhân ngôi nhà là kỹ sư Trịnh Quang Dũng. Sau khi tốt nghiệp ngành vật lý ở Hungary trở về nước, nhận thấy TP.HCM là khu vực có tiềm năng điện mặt trời lớn do nắng chiếu quanh năm, ông nảy ra ý tưởng xây dựng ngôi nhà sử dụng điện hoàn toàn bằng năng lượng mặt trời.

Trên thực tế, ngôi nhà này đã tiết kiệm cho gia đình ông Dũng mỗi tháng hơn 733.000 đồng tiền điện.

Ý tưởng độc đáo cộng với một chút may mắn đã tạo điều kiện cho ông Dũng thực hiện ước mơ của mình. Năm 1997, ông Dũng được chọn giữ trọng trách Chủ nhiệm chương trình "Công nghệ năng lượng mới châu Á" do tổ chức SIDA Thụy Điển tài trợ cho 6 nước châu Á, trong đó có Việt Nam.

Ngay lập tức, ông Dũng lên kế hoạch một chương trình nghiên cứu các công nghệ tiết kiệm năng lượng, thiết kế mạng điện mặt trời cục bộ (Madicub).

Ngôi nhà đầu tiên ứng dụng công nghệ này chính là ngôi nhà mà gia đình ông đang ở.

Ông Dũng vừa vẽ thiết kế, vừa tạo cảnh quan thoáng mát, có khung cảnh tự nhiên hài hòa. Nét đặc sắc nhất của ngôi nhà là các bức tường tòa nhà được thiết kế sao cho thu được nhiều ánh sáng và tận thu được nguồn gió một cách triệt để nhất.

Trên mái ngói của căn nhà, 40 tấm pin mặt trời được lắp đặt bao phủ toàn bộ bề mặt khoảng 20m<sup>2</sup>. Ông Dũng cho biết, dàn pin mặt trời có công suất 2,2kWp cung cấp khoảng 200 kWp/tháng, đáp ứng nhu cầu sử dụng điện cho toàn bộ nhu cầu ánh sáng và mọi sinh hoạt khác của gia đình.

Bộ biến áp kỹ thuật số smart inverter P2000 chuyển hóa điện từ ắc quy thành dòng điện 220 volt để hòa vào mạng lưới điện gia đình với công suất là 2KW. Nguồn điện mặt trời này cũng được thiết kế như một mạng điện cục bộ sử dụng nguồn điện lưới làm nguồn dự phòng trong trường hợp thời tiết xấu.

Mặt khác, nguồn điện mặt trời là nguồn hỗ trợ phụ tải điện lưới quốc gia khi nó tách độc lập khỏi nguồn điện lưới trong giờ trung và cao điểm (từ 4 giờ đến 22 giờ đêm). Ở giờ thấp điểm, mạng điện cục bộ tự nhập vào mạng điện quốc gia và dự trữ đầy vào hệ thống tồn trữ năng lượng của căn nhà. Khả năng này tạo ra cơ hội mua giá điện giá rẻ vào giờ thấp điểm (từ 22 giờ đến 4 giờ) với giá 400 đồng/kwh.

Ông Dũng đặt tên cho toàn bộ hệ thống vận hành trên là “Tổ hợp điện mặt trời thông minh” vì toàn bộ hệ thống vận hành trên gần như tự động hóa hoàn toàn. Đặc biệt là tính năng tự động dò tải. Khi nhận tín hiệu có nhu cầu sử dụng, điện mặt trời tự động bật lên trong 15 giây, ngược lại nó ở chế độ ngắt để tiết kiệm điện.

Hệ thống đèn công, vườn và hệ thống tưới cây tự động theo chương trình cài đặt sẵn. Đây là kỹ thuật định giờ theo mặt trời, lấy thời điểm mặt trời lặn để kích hoạt mạch điện tử, điều khiển chức năng như mong muốn.

Chính vì thế mà khi hoàng hôn vừa buông xuống cũng là lúc dàn đèn sân tự động bật lên. Hệ thống cửa lưới tự cuốn lên và đèn, quạt trong phòng khách tự hoạt động... đủ để tạo một cảm giác thật sự thoải mái.

Để đạt được kết quả như ngày nay, kỹ sư Trịnh Quang Dũng phải mất sáu năm trời mày mò nghiên cứu. Khó khăn nhất là công nghệ Việt Nam không đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của việc biến năng lượng mặt trời thành điện năng.

Đến cuối năm 2002, ông Dũng phối hợp Công ty AST chế tạo thành công bộ biến đổi có sóng sin thật thì tổ hợp điện mặt trời thông minh sử dụng hoàn toàn công nghệ trong nước mới có thể đi vào vận hành. Và tháng 4-2005 vừa rồi, ông mới gắn

đồng hồ đo điện vào hệ thống điện mặt trời để biết điện năng tiêu thụ. “Kết quả cho thấy đồng hồ chỉ số điện tiêu thụ là 733 KWh. Nếu tính bình quân 1.000 đồng/KWh điện thì gia đình tôi đã tiết kiệm được 733.000 đồng” - ông Dũng phấn khởi giới thiệu.

Có thể nói thành công của ông Dũng đã mở ra một hướng đi mới trong việc sử dụng nguồn năng lượng vô tận, an toàn và không ô nhiễm môi trường.

## **C.II.Năng lượng gió:**

### **C.II.1.Tiềm năng điện gió của Việt Nam**

Sau khi gia nhập WTO, nền kinh tế VN đứng trước những thử thách lớn. Để vượt qua được những thử thách đó cần có một nền công nghiệp điện năng phát triển. Xây dựng điện bằng sức gió là một giải pháp hiện thực, có hiệu quả cao, có thể nhanh chóng đáp ứng nhu cầu điện năng của cả nước. Điện bằng sức gió thật sự là một kho báu vô tận đang chờ người mở.

Nằm trong khu vực cận nhiệt đới gió mùa với bờ biển dài, Việt Nam có một thuận lợi cơ bản để phát triển năng lượng gió. So sánh tốc độ gió trung bình trong vùng Biển Đông Việt Nam và các vùng biển lân cận cho thấy gió tại Biển Đông khá mạnh và thay đổi nhiều theo mùa .

Trong chương trình đánh giá về năng lượng cho Châu Á, Ngân Hàng Thế Giới đã có một khảo sát chi tiết về năng lượng gió khu vực Đông Nam Á, trong đó có Việt Nam. Như vậy Ngân Hàng Thế Giới đã làm hộ Việt Nam một việc quan trọng, trong khi Việt Nam còn chưa có nghiên cứu nào đáng kể. Theo tính toán của nghiên cứu này, trong bốn nước được khảo sát thì Việt Nam có tiềm năng gió lớn nhất và hơn hẳn các quốc gia lân cận là Thái Lan, Lào và Campuchia. Trong khi Việt Nam có tới 8,6% diện tích lãnh thổ được đánh giá có tiềm năng từ “tốt“ đến “rất tốt“ để xây dựng các trạm điện gió cỡ lớn thì diện tích này ở Campuchia là 0,2%, ở Lào là 2,9%, và ở Thái-lan cũng chỉ là 0,2%. Tổng tiềm năng điện gió của Việt Nam ước đạt 513.360 MW tức là bằng hơn 200 lần công suất của thủy điện Sơn La, và hơn 10 lần tổng công suất dự báo của ngành điện vào năm 2020.

Nếu xét tiêu chuẩn để xây dựng các trạm điện gió cỡ nhỏ phục vụ cho phát triển kinh tế ở những khu vực khó khăn thì Việt Nam có đến 41% diện tích nông thôn có thể phát triển điện gió loại nhỏ. Nếu so sánh con số này với các nước láng giềng thì Campuchia có 6%, Lào có 13% và Thái Lan là 9% diện tích nông thôn có thể phát triển năng lượng gió. Đây quả thật là một ưu đãi dành cho Việt Nam mà chúng ta còn thờ ơ chưa nghĩ đến cách tận dụng.

Một số khu vực có thể xây dựng điện gió cho Việt Nam

Ở Việt Nam, các khu vực có thể phát triển năng lượng gió không trải đều trên toàn bộ lãnh thổ. Với ảnh hưởng của gió mùa thì chế độ gió cũng khác nhau. Nếu ở phía bắc đèo Hải Vân thì mùa gió mạnh chủ yếu trùng với mùa gió đông bắc, trong đó các khu vực giàu tiềm năng nhất là Quảng Ninh, Quảng Bình, và Quảng Trị. Ở phần phía nam đèo Hải Vân, mùa gió mạnh trùng với mùa gió tây nam, và các vùng tiềm năng nhất thuộc cao nguyên Tây Nguyên, các tỉnh ven biển đồng bằng sông Cửu Long, và đặc biệt là khu vực ven biển của hai tỉnh Bình Thuận, Ninh Thuận.

Theo nghiên cứu của Ngân Hàng Thế Giới, trên lãnh thổ Việt Nam, hai vùng giàu tiềm năng nhất để phát triển năng lượng gió là Sơn Hải (Ninh Thuận) và vùng đồi cát ở độ cao 60-100m phía tây Hàm Tiến đến Mũi Né (Bình Thuận). Gió vùng này không những có vận tốc trung bình lớn, còn có một thuận lợi là số lượng các cơn bão khu vực ít và gió có xu thế ổn định là những điều kiện rất thuận lợi để phát triển năng lượng gió. Trong những tháng có gió mùa, tỷ lệ gió nam và đông nam lên đến 98% với vận tốc trung bình 6-7 m/s tức là vận tốc có thể xây dựng các trạm điện gió công suất 3 - 3,5 MW. Thực tế là người dân khu vực Ninh Thuận cũng đã tự chế tạo một số máy phát điện gió cỡ nhỏ nhằm mục đích thắp sáng. Ở cả hai khu vực này dân cư thưa thớt, thời tiết khô nóng, khắc nghiệt, và là những vùng dân tộc đặc biệt khó khăn của Việt Nam.

### **C.II.2. Các dự án phong điện ở Việt Nam**

Ngày 12/9/2007, nhà máy phong điện Phương Mai 3 - nhà máy phong điện đầu tiên của Việt Nam chính thức khởi công xây dựng tại khu kinh tế Nhơn Hội, tỉnh Bình Định. Nhà máy được xây dựng trên mặt bằng rộng 140ha, với tổng số vốn đầu tư

hơn 35,7 triệu USD do Công ty cổ phần Phong điện miền Trung làm chủ đầu tư. Nhà máy gồm 14 tuabin, 14 máy biến áp, có khả năng cung cấp trên 55 triệu kWh điện mỗi năm. Theo khảo sát của các nhà chuyên môn về địa hình, chế độ gió và tốc độ gió quanh năm cho thấy địa bàn xã Cát Chánh, Phù Cát có tiềm năng gió lớn. Xây dựng nhà máy ở đây sẽ hứng được cả hai hướng gió chính là đông bắc (mùa đông) và tây bắc (mùa hạ).

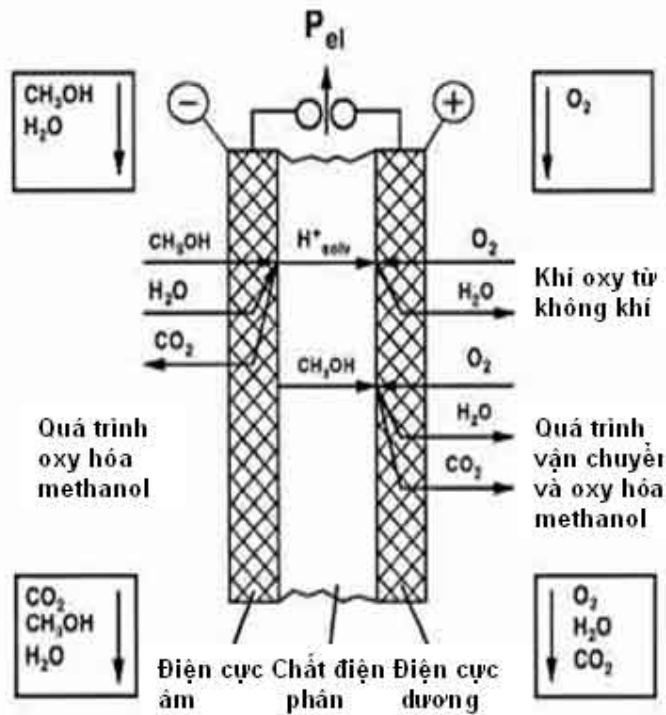
Ngày 9/12/2008, Công ty TNHH Năng lượng tái tạo Aerogie Plus (Thụy Sĩ) cho biết sẽ xây dựng nhà máy phong điện - diesel tại huyện Côn Đảo, Bà Rịa - Vũng Tàu với tổng chi phí đầu tư lên tới 20 triệu EUR. Chủ đầu tư đã tiến hành ký hợp đồng nguyên tắc mua bán điện với UBND huyện Côn Đảo.

Theo thiết kế, nhà máy phong điện này hoạt động đồng thời bằng hai hệ thống gồm các tổ hợp tuabin gió với công suất 7,5MW và nhiệt diesel khoảng 3MW. Hiện chủ đầu tư đã tiến hành đo gió, thiết kế kỹ thuật và các phương án vận chuyển thiết bị siêu trường, siêu trọng từ đất liền ra Côn Đảo. Dự kiến nhà máy sẽ được khởi công đầu năm 2009 và đi vào hoạt động chỉ một năm sau đó.

### **C.III.Năng lượng Hydro**

Những thành công bước đầu của Việt Nam trong việc nghiên cứu pin nhiên liệu Vào cuối năm 2004, Tiến sỹ Nguyễn Mạnh Tuấn, Phân viện Vật lý tại TP.HCM đã công bố những kết quả nghiên cứu đầu tiên của mình về pin nhiên liệu.

Loại pin nhiên liệu mà Tiến sỹ Nguyễn Mạnh Tuấn nghiên cứu là pin sử dụng cồn methanol. Theo Tiến sỹ Nguyễn Mạnh Tuấn, có cả chục loại pin nhiên liệu khác nhau. Có loại dùng để cấp điện cho các thiết bị lớn như trạm không gian, xe ô tô. Có loại dùng cấp điện cho các thiết bị cầm tay như máy tính xách tay, điện thoại di động... Đặc điểm chung của pin nhiên liệu là thường sử dụng nhiên liệu như hydro, cồn... hoặc một số chất liệu khác. Đối với pin nhiên liệu dùng cấp điện cho các thiết bị lớn, người ta phải duy trì nhiệt độ từ hàng trăm đến hàng ngàn độ C thì pin mới hoạt động tối ưu. Thế nhưng, vấn đề đặt ra là, đối với các thiết bị cầm tay, cần phải làm thế nào để pin nhiên liệu có thể hoạt động tối ưu ở nhiệt độ phòng (20-40 độ C).



### Sơ đồ cấu tạo và hoạt động của pin nhiên liệu cồn

Tiến sỹ Nguyễn Mạnh Tuấn cho biết, trong điều kiện VN, nếu nghiên cứu, chế tạo pin nhiên liệu sử dụng nhiên liệu hydro sẽ có nhiều khó khăn trong việc bảo hành, tồn trữ (hydro dễ rò rỉ, nếu gặp tia lửa điện trong không khí sẽ phát nổ). Trường hợp sử dụng cồn làm nhiên liệu sẽ có những ưu điểm, như nhiệt độ làm việc thấp, an toàn trong tồn trữ và vận chuyển, thời gian pin hoạt động bền lâu. Do đó, Tiến sỹ Nguyễn Mạnh Tuấn đã hướng đến nhiều hơn việc nghiên cứu pin nhiên liệu sử dụng cồn Methanol làm nhiên liệu.

Trong quá trình nghiên cứu, các nhà khoa học ở Phân

Viện Vật lý tại TP.HCM đã nghiên cứu, chế tạo các điện cực dùng màng thấm thấu carbon cho phép có



Pin nhiên liệu do Phân viện Vật lý tại TP.HCM chế tạo

độ dẫn điện cao và cho chất khí đi ngang qua. Đồng thời, các nhà khoa học cũng chế tạo chất điện phân dùng giấy màng lọc thủy tinh có lỗ thấm siêu nhỏ thay cho chất polymer Nafion (PEM) của hãng DuPont. Quá trình nghiên cứu đã cho ra loại pin nhiên liệu có hiệu suất chuyển hóa điện năng 50%, với 250 ml cồn có thể cấp 600W/ giờ điện.

Tiến sỹ Nguyễn Mạnh Tuấn tiết lộ, hiện đã có một số doanh nghiệp liên hệ để hợp tác sản xuất pin nhiên liệu. Tuy nhiên, vẫn còn những vướng mắc về mặt kỹ thuật trước khi đưa vào sản xuất pin nhiên liệu và vẫn còn phải tiếp tục nghiên cứu thêm. Khu công nghệ cao TP.HCM sẽ sản xuất pin nhiên liệu?

Trong khi đó, vào đầu tháng 6/2005, Tiến sỹ Nguyễn Chánh Khê tại Trung tâm Nghiên cứu và Phát triển (TT R&D) - Khu công nghệ cao TP.HCM (Tên giao dịch: SHTP) cũng đã công bố nghiên cứu thành công pin nhiên liệu. Loại pin nhiên liệu mà SHTP nghiên cứu cũng sử dụng cồn làm nhiên liệu hoạt động cho pin. Tuy nhiên, Tiến sỹ Nguyễn Chánh Khê cho biết, thành quả quan trọng trong nghiên cứu của mình là chế tạo được màng chuyển hoá proton (Proton Exchange Membrane), vốn là cái lõi chính của công nghệ đã và đang được nghiên cứu từ vật liệu nano trong nước. Màng chuyển hóa proton ( $H^+$ ) hay còn gọi là màng điện hóa, sử dụng chất dẫn dụ của Teflon vốn là chất chống bám dính, có mang một số gốc dẫn proton. Dung dịch nước với rượu methanol khi đi qua màng sẽ tách thành proton  $H^+$  và cung cấp điện tử cho mạch ngoài tạo thành năng lượng.

Hiện nay, pin nhiên liệu do Khu công nghệ cao TP.HCM chế tạo hoạt động trong một tuần lễ. Sau đó chỉ cần nhỏ thêm một vài giọt dung dịch gồm nước và cồn, một cục pin nhiên liệu có thể sử dụng cho đến khi màng



Pin nhiên liệu bằng công nghệ nano Việt Nam do SHTP chế tạo



chuyển hóa bị hư. Tuy nhiên đây là dạng màng có thể tái sử dụng và TT R&D của SHTP sẽ sản xuất đại trà trong tương lai. Không dừng lại ở hiệu suất chuyển hóa điện năng của loại pin này gần 80%, Trung tâm R&D đang tiến hành một nghiên cứu mới để tận dụng hết mọi khả năng chuyển hóa điện năng của pin nhiên liệu.

"Chúng tôi đang nghiên cứu một chất xúc tác mới, có khả năng dẫn đến hiệu suất chuyển hóa điện năng 100% dựa vào phản ứng liên hoàn " TS. Nguyễn Chánh Khê tiết lộ.

Tùy theo vật liệu bên trong, ứng dụng của loại pin này vô cùng rộng rãi. Ở quy mô nhỏ, pin nhiên liệu được dùng cho các loại máy tính xách tay, điện thoại di động hay máy chụp hình kỹ thuật số. Ở qui mô lớn, pin nhiên liệu sẽ thay thế xăng dầu để chạy xe gắn máy. Trong tương lai, chúng ta có thể sử dụng các nguyên tắc pin nhiên liệu khác nhau cung cấp điện năng cho xe hơi hay trong các nhà máy phát điện. Nhưng khi đến lúc đó, dung dịch không còn là nước pha với rượu, mà là một loại oxyt rắn.

Tiến sỹ Nguyễn Chánh Khê cho biết, trong năm 2005, nhóm nghiên cứu của ông nhất định lấy cho được bản quyền phát minh tại Hiệp hội phát minh Hoa Kỳ, để tiến hành sản xuất. Nhà máy sản xuất của SHTP đang được xây dựng tại quận 9 với tổng số tiền đầu tư cho trang thiết bị là trên 11 triệu USD. Vì vậy việc sản xuất pin nhiên liệu cũng trở nên dễ dàng hơn. Tuy rằng chưa thể ước tính được giá thành, nhưng ông chắc chắn rằng nó sẽ rẻ hơn rất nhiều so với các loại pin thương mại hiện đang có trên thị trường và rẻ hơn sử dụng xăng.

Tuy nhiên những nghiên cứu và ứng dụng trên của Việt Nam chỉ là những thành công bước đầu, còn nhiều vấn đề kỹ thuật cần phải giải quyết, nhưng cũng là tín hiệu đáng mừng cho việc giải quyết vấn đề về năng lượng cũng như ô nhiễm môi trường ở Việt Nam

#### **D. Tài liệu tham khảo**

##### **Tiếng Việt:**

1. T. An(2009), "Turbine gió dạng chuỗi", [Internet] [trích dẫn ngày 10/5/2009] Lấy từ: URL: <http://vnexpress.net/GL/Khoa-hoc/2008/05/3BA02566/?q=1>
2. Trần Công Bá, "Fuel Cell", [Internet] [trích dẫn ngày 6/5/2009] Lấy từ: URL: <http://thatsonchaudoc.com/banviet2/TranCongBa/GopNhat/Fuelcell2.htm>
3. Song Ca(2005), "Năng lượng của tương lai", *Sài gòn tiếp thị*, (33/2005), [Internet] [trích dẫn ngày 6/5/2009] Lấy từ: URL: <http://www.sgtt.com.vn/oldweb/cacsobaotruoc/index.htm>
4. Hương Cát(13/6/2005), "Pin nhiên liệu: Những nghiên cứu đầu tiên ở VN", [Internet] [trích dẫn ngày 3/5/2009] Lấy từ: URL: <http://vietbao.vn/Khoa-hoc/Pin-nhien-lieu-Nhung-nghien-cuu-dau-tien-o-VN/20452101/189/>
5. Minh Hy(28/8/2002), "Bình chứa hydro làm bằng chất dẻo", [Internet] [trích dẫn ngày 6/5/2009] Lấy từ: URL: <http://xemtintuc.info/news/17/2342/33B9BFA69/52002-08/>
6. Minh Hy(22/11/2002), "Cất giữ hydro an toàn trong hợp chất của lithium", [Internet] [trích dẫn ngày 5/5/2009] Lấy từ: URL: <http://www.vnexpress.net/GL/Khoa-hoc/2002/11/3B9C2A7F/>
7. Kim Phúc(22/05/2007), "Gian nan con đường chinh phục năng lượng hydro", [Internet] [trích dẫn ngày 5/5/2009] Lấy từ: URL: <http://www.qdnd.vn/qdnd/sukiennhanchung.phantich.16941.qdnd>
8. Nacesti(08/04/2008), "Các fulleren, giải pháp cho tích trữ hydro?", [Internet] [trích dẫn ngày 30/4/2009] Lấy từ: URL: [http://www.vista.gov.vn/portal/page?\\_pageid=33,374021&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL&pers\\_id=279910&item\\_id=459455&p\\_details=1](http://www.vista.gov.vn/portal/page?_pageid=33,374021&_dad=portal&_schema=PORTAL&pers_id=279910&item_id=459455&p_details=1)
9. Minh Sơn(11/1/2005), "Trở ngại nào cho ô-tô chạy bằng hydro?", [Internet] [trích dẫn ngày 1/5/2009] Lấy từ: URL: <http://nl-hydrogen.blogspot.com/2005/02/tr-ngi-no-cho-t-chy-bng-hydro.html>

10. Trương Văn Tân(05/10/2007), “mặt trời của chúng ta” [Internet] [trích dẫn ngày 30/4/2009] Lấy từ: URL:  
[http://vietsciences.free.fr/thuclap\\_khoahoc/thanhtuukhoahoc/mattroicuachungta.htm](http://vietsciences.free.fr/thuclap_khoahoc/thanhtuukhoahoc/mattroicuachungta.htm)  
<http://vietbao.vn/The-gioi-giai-tri/Ngoi-nha-dung-dien-mat-troi/50729041/407/>  
<http://ecc-hcm.gov.vn/?menu=89&submenu=89&detail=553&language>
11. Đỗ Xuân Thiêm(09/10/2008), “Sử dụng năng lượng gió trong phát triển bền vững”, [Internet] [trích dẫn ngày 10/5/2009] Lấy từ: URL:  
[http://tnmthanam.gov.vn/index.php?nrehanam=News&nth\\_in=viewst&sid=281](http://tnmthanam.gov.vn/index.php?nrehanam=News&nth_in=viewst&sid=281)
12. Trần Mạnh Trung(20/9/2007), “Hydro: nguồn năng lượng mới thay thế dầu - khí trong tương lai”, [Internet] [trích dẫn ngày 30/4/2009] Lấy từ: URL:  
<http://www.tuoiitre.com.vn/Tianyong/Index.aspx?ArticleID=220499&ChannelID=17>
13. Vũ Trung(1999), “Pin nhiên liệu”, *Công nghiệp hóa chất*, (3/1999), [Internet] [trích dẫn ngày 6/5/2009] Lấy từ: URL:  
<http://www.vinachem.com.vn/XBPViewContent.asp?DetailXBPID=1212&CateXBPDetailID=94&CateXBPID=1&Year=1999>
14. Mai Thanh Truyết(08/03/2007), “Năng Lượng Hydrogen”, [Internet] [trích dẫn ngày 6/5/2009] Lấy từ: URL:  
<http://www.khoahoc.net/baivo/maithanhtruyet/080307-nangluonghydrogen.htm>
15. Nguyễn Thế Việt(18/10/2006), ”Điện bằng sức gió - kho báu đang chờ”, [Internet] [trích dẫn ngày 10/5/2009] Lấy từ: URL:  
<http://nangluonggio.blogspot.com>
16. <http://vietsciences.free.fr/giaokhoa/chemistry/truongvantan/dientuvapolymerdandien.htm>
17. <http://vietsciences.free.fr/inventions/denphatquang.htm>
18. [http://vietsciences.free.fr/thuclap\\_khoahoc/thanhtuukhoahoc/chromisme.htm](http://vietsciences.free.fr/thuclap_khoahoc/thanhtuukhoahoc/chromisme.htm)
19. <http://vietsciences.free.fr/lichsu/nanocarbon-c60.htm>

20.[http://vi.wikipedia.org/wiki/Té\\_bào\\_nhiên\\_liệu](http://vi.wikipedia.org/wiki/Té_bào_nhiên_liệu)

**Tiếng Anh:**

1. Cartlige, "Bright outlook for solar cells", *Physics World*, 20 (7) (2007) 20.

2. J. Mozer and N. S. Sariciftci, Chapter 10 "Conjugated Polymer-Based Photovoltaic Devices", in "Handbook of Conducting Polymers ed. 3 (edited by T. A. Skotheim and J. Reynolds), December 2006, CRC Press, Merceel Dekker.

3. Mukund R. Patel (1999), *Wind and Solar Power Systems*, U.S. Merchant Marine Academy, Kings Point, New York

4. N. S. Lewis, *Science*, 315 (2007) 98.

5. Sathyajith Mathew (2006), *Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics*

6. X. Yang and J. Loos, *Macromolecules*, 40 (2007) 1353.

7. <http://www.ncst.ac.vn/index.asp?fcid=2&progid=21002&newsid=467>

8. <http://sunenergyfacts.com/2008/02/solar-energy-fact-7/>

9. <http://www.burbankwaterandpower.com/incentives-for-all-customers/solar-photovoltaic-power/overview-of-solar-power>

10. <http://www.makeitsolar.com/solar-energy-information/02-solar-energy.htm>

11. [http://en.wikipedia.org/wiki/Wind\\_turbine](http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine)

12. <http://home.clara.net/darvill/altenerg/tidal.htm>

13. [http://en.wikipedia.org/wiki/Tidal\\_power](http://en.wikipedia.org/wiki/Tidal_power)

14. <http://www.fueleconomy.gov/feg/animation/swfs/fuelcellframe.html>

15. <http://www.digitalsplashstudios.com/fuel-cell.html>

**NĂNG LƯỢNG SÓNG BIỂN**

- **1.KHÁI QUÁT CHUNG**

- -*Sóng biển*:gió thổi trên bề mặt đại dương truyền một phần năng lượng cho đại dương tạo ra sóng biển
- -*Phân loại*:
- Tùy theo nguyên lý hoạt động ,các thiết bị khai thác sóng biển được phân loại theo:
- Mái dốc
- Cánh nổi
- Bơm sóng
- Một cách phân loại khác chia các loại thiết bị thành :
- Các bộ một chiều
- Bộ dao động điện
- Bộ dao động không điện
- MỤC ĐÍCH:giảm phát thải CO<sub>2</sub>

- 2.MỘT SỐ THIẾT BỊ
- 2.1.Thiết bị Pelamis





Hệ thống Pelamis thu năng lượng từ sóng biển - Ảnh: Cyberpresse

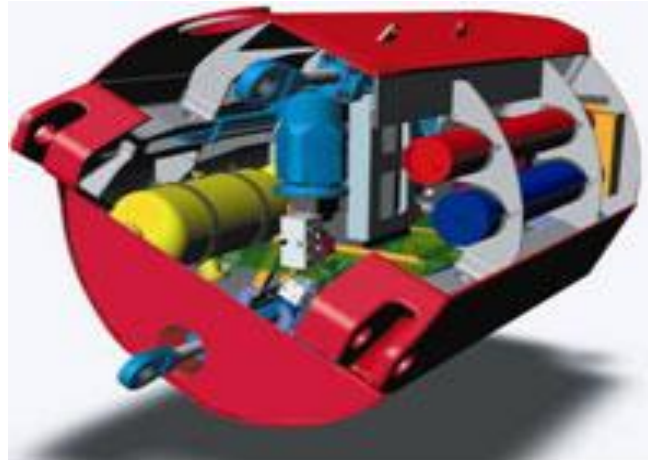


- Hoạt động theo nguyên lý sau:

Pelamis là một hệ thống phao, gồm một loạt các ống hình trụ nửa chìm, nửa nổi, nối với nhau bằng bản lề. Sóng biển làm chuyển động mạnh hệ thống phao, nó tác động mạnh vào hệ thống bơm thủy lực làm quay turbin phát điện. Hàng loạt thiết bị tương tự sẽ kết nối với nhau, làm cho turbin hoạt động liên tục. Dòng điện được truyền qua giầy cáp ngầm dưới đáy đại dương dẫn vào bờ, nối với lưới điện, cung cấp cho hộ sử dụng. Nếu xây dựng nhà máy điện có công suất 30 MW sẽ chiếm diện tích mặt biển là 1km<sup>2</sup>.

- Pelamis neo ở độ sâu chừng 50–70m; cách bờ dưới 10km, là nơi có mức năng lượng cao trong các cơn sóng. Và Pelamis gồm ba modul biến đổi năng lượng, mỗi modul có hệ thống máy phát thủy lực - điện đồng bộ. Mỗi thiết bị pelamis có thể cho công suất 750kW, nó có chiều dài 140-150m, có đường kính ống 3-3,5m.

Cấu tạo của modul biến đổi năng lượng



- Tại Bồ Đào Nha, có hệ thống pelamis đầu tiên trên thế giới, gồm 3 pelamis có công suất 2,25MW. Năm 2007, Scotland đã đặt 4 thiết bị pelamis công suất tổng đạt 3MW, với giá thành 4 triệu bảng.
- 2.2.HỆ THỐNG PHAO TIÊU



Hệ thống phao tiêu nổi AquaBuOY.

- AquaBuOY là một hệ thống phao nổi, có nguyên lý hoạt động nhằm biến đổi năng lượng động học của chuyển động thẳng đứng do các đợt sóng biển tạo ra năng lượng điện sạch. Nhờ việc trôi lên, ngập xuống của sóng biển làm hệ thống phao nổi dập dềnh lên xuống mạnh làm hệ thống xilanh chuyển động, tạo ra dòng điện. Điện dẫn qua hệ thống cáp ngầm đưa lên bờ, hòa vào lưới điện.

Mỗi phao tiêu có thể đạt công suất tới 250kW, với đường kính phao 6m. Nếu trạm phát điện có công suất 10 MW chỉ chiếm 0,13 km<sup>2</sup> mặt biển.

Bơm ống là ống cao su cốt thép, nó hoạt động như cái bơm bình thường, khi sóng nén, nước biển phọt mạnh về phía sau, có chứa một bộ cạo áp, làm quay turbin, điện thu được, dẫn qua cáp ngầm vào bờ để hòa chung vào lưới điện.

- Ngoài ra trên các Aqua BuOY, đặt các tấm pin mặt trời; turbin gió nhỏ nhằm tạo ra nguồn điện năng cho các thiết bị chuẩn đoán gắn trong Aqua BuOY. Tất cả dữ liệu về thiết bị đều được truyền bằng công nghệ không dây, vệ tinh về khu vực điều hành. Hệ thống Aqua BuOY thường lắp đặt cách bờ chừng 5km ở nơi biển có độ sâu 50m.

Năm 2006, dự án 8 00kW, ở Makar Bay, Wahington, đã thực hiện với giá thành 3 triệu đô la, nó cung cấp điện cho 150 hộ gia đình.

Dự án 2MW tại Figuera da Foz, Bồ Đào Nha và dự án 2MW ở miền Nam California, Mỹ

# Hệ thống phao tiêu chìm AWS



- Ở Công ty AWS Ocean Energy, Scotland người ta phát minh ra hệ thống **máy phát điện** mới nhằm biến chuyển động sóng thành điện năng. Khác với những hệ thống đang tồn tại. Đó là hệ thống phao tiêu nằm chìm dưới mặt nước, nên không bị ảnh hưởng bởi điều kiện khí hậu trên mặt biển. Hệ thống phao tiêu ngàm giống như những quả ngư lôi dưới mặt nước biển chừng 50 mét mà vẫn tạo ra điện năng nhờ sóng biển. Họ đã thành công năm 2008.

Các hệ thống nổi trên mặt biển dễ bị các trận bão tàn phá, thì hệ thống chìm của AWS (Aschimedes Wave Swing) đã chế tạo bằng vật liệu sử dụng như dàn khai thác dầu mỏ ngoài khơi, được đặt ở độ sâu yên tĩnh. Hệ thống tạo ra năng lượng nhờ sóng biển từ xa, qua các biến thiên áp suất sinh ra do biến đổi của cột nước.

- Hệ thống phao tiêu AWS là một xi lanh dài 35 mét, rộng 10 mét chứa khí nén bên trong khiến phao không chìm, nửa trên chỉ chuyển động theo chiều thẳng đứng. Khi sóng lướt qua, sự tăng khối lượng nước làm gia tăng áp suất cột nước và phần bên trên hệ thống bị đẩy xuống dưới. Giữa hai đợt sóng, cột nước hạ xuống, áp suất hạ theo làm nổi lên phần trên của hệ thống. Chuyển động bơm biến thành điện năng. Điện được chuyển tải qua cáp ngầm, lên hòa vào lưới điện quốc gia

Kiểu Anaconda (con rắn).





- Công nghệ Anaconda được mô tả như sau: Một ống cao su dài khoảng 200 mét, hai đầu bịt kín, bên trong chứa đầy nước. Được neo ngay dưới bề mặt nước biển, một đầu hứng lấy các đợt sóng. Sóng đập vào một đầu của thiết bị tạo sức ép hình thành nên “sóng phình” (do áp lực chất lỏng do động lên xuống bởi sóng, trong mỗi ống) bên trong ống. Khi có sóng phình chạy qua ống, đợt sóng biển tạo ra nó chạy dọc phần ngoài của ống cùng một tốc độ, tạo thêm sức ép lên ống, khiến sóng phình ngày càng lớn hơn. Liên đó sóng phình làm quay turbin nằm ở đầu còn lại của ống cao su. Năng lượng (điện) được tạo ra thì chuyển lên bờ qua cáp ngầm.

Ống cao su, rất nhẹ, không cần khớp nối, không, chi phí bảo trì, hỏng hóc gần bằng không.

# Máy phát điện từ... sóng biển



Anh Tống Văn Dũng giới thiệu mô hình máy phát điện kết hợp năng lượng sóng – gió tại Chợ Công nghệ và thiết bị Hà Nội 2008

- Nguyên lý hoạt động của thiết bị lấy điện từ sóng biển bao gồm một chiếc phao nổi trên mặt nước, khi sóng biển tác động vào phao, phao sẽ di chuyển lên xuống theo phương thẳng đứng. Chiếc phao này sẽ nối với một tua-bin, phao chuyển động sẽ kéo tua-bin chuyển động theo và phát điện. Nếu muốn kéo máy phát điện có công suất lớn hơn, thì cần một hệ thống phao, việc kết hợp chuyển động của những chiếc phao này, sẽ tạo ra lực để kéo những tua-bin lớn hơn.
- -Việc sử dụng năng lượng sóng biển ở đây là do:

- Việt Nam có bờ biển dài , mặt khác so với năng lượng gió và năng lượng Mặt trời ,năng lượng sóng biển ưu việt hơn.Năng lượng gió và năng lượng Mặt trời đều bị hạn chế ,vì lúc có lúc không.Còn năng lượng sóng biển ,thì luôn luôn tồn tại bất kể mưa nắng ,ngày đêm

THE END



# Sóng biển

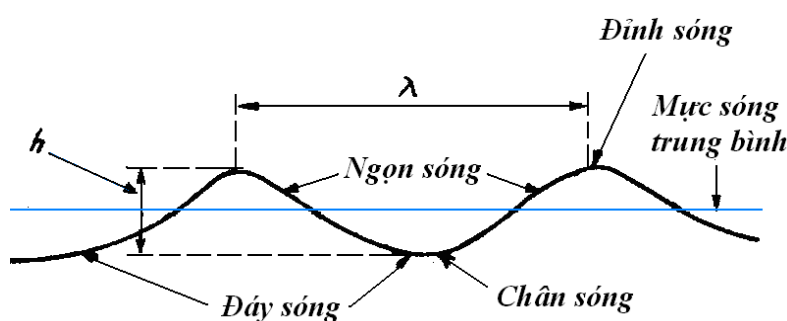
Bởi:

PGS. TS. NGUYỄN Phạm Văn Huân

## 5.1. Những khái niệm chung về sóng biển

### 5.1.1. Những yếu tố sóng

Dưới tác dụng của những lực khác nhau, trên mặt phân cách nước – không khí ở biển luôn luôn tồn tại các sóng. Nếu cắt mặt biển nổi sóng bằng một mặt phẳng thẳng đứng theo một hướng nào đó (thường theo hướng truyền sóng chính), thì giao tuyến của mặt biển với mặt phẳng đó có dạng đường cong phức tạp gồm nhiều sóng gọi là profin sóng (hình 18). Nếu quan trắc dao động của mặt biển tại một điểm cố định nào đó (ghi bằng máy ghi sóng), thì biến đổi của vị trí mặt nước theo thời gian cũng có hình dạng phức tạp. Trên profin sóng, mỗi một sóng bao gồm phần cao hơn mực sóng trung bình gọi là ngọn sóng và phần thấp hơn mực sóng trung bình gọi là đáy sóng. Điểm cao nhất của ngọn sóng là đỉnh sóng. Điểm thấp nhất của đáy sóng là chân sóng.



Profin sóng và các yếu tố

sóng

Mực sóng trung bình là đường thẳng cắt profin sóng sao cho diện tích tổng cộng phần trên và phần dưới của profin sóng bằng nhau.

Độ cao sóng  $h$  là khoảng cách giữa đỉnh sóng và chân sóng xác định trên profin sóng dọc hướng truyền của sóng.

Bước sóng  $\lambda$  là khoảng cách ngang giữa các đỉnh của hai ngọn sóng kế cận nhau trên profin sóng dọc theo hướng truyền của sóng.

Chu kỳ sóng  $\tau$  là khoảng thời gian mà hai đỉnh sóng kế cận nhau đi qua một đường thẳng đứng cố định.

Vận tốc truyền sóng hay vận tốc pha là vận tốc di chuyển ngọn sóng theo hướng truyền. Khái niệm về vận tốc truyền sóng chỉ áp dụng với sóng tiến. Ta có công thức:

$$c = \lambda \tau \quad (35)$$

Tỷ số độ cao sóng và bước sóng  $h/\lambda$  gọi là độ dốc của sóng.

Phần sóng từ chân sóng đến đỉnh sóng hướng về phía gió thổi tới tạo thành sườn đón gió của sóng, phần ngược lại từ đỉnh đến chân sóng khuất gió gọi là sườn khuất gió của sóng.

Hướng truyền sóng trong biển được tính từ hướng bắc đến hướng chuyển động của sóng.

Prôn sóng là đường nối các đỉnh sóng xác định trên nhiều profin sóng hướng theo hướng truyền chính của sóng. Tia sóng – đường thẳng vuông góc với frôn sóng tại điểm đang xét.

### 5.1.2. Phân loại sóng

Chế độ sóng, đặc trưng các yếu tố sóng, sự tác động của sóng lên bờ và những đối tượng khác phụ thuộc rất nhiều vào loại sóng. Theo lực gây nên sóng, người ta phân biệt:

*Sóng gió* được gây nên bởi gió và chịu tác động của gió; những sóng do gió gây nên nhưng còn duy trì được sau khi gió ngừng tác động hoặc đổi hướng được gọi là *sóng lừng*. Cũng gọi là sóng lừng khi mà sóng đi từ nơi chúng được gió gây nên tới vùng đang xét đang hoàn toàn lặng gió.

*Sóng áp* xuất hiện do tác động của áp suất khí quyển hoặc gió làm mặt nước lệch khỏi vị trí cân bằng.

*Sóng tsunami* xuất hiện do các hiện tượng động đất, núi lửa dưới nước hoặc ven bờ.

*Sóng tàu* gây bởi chuyển động của tàu.

*Sóng thủy triều* biểu hiện ở sự dao động tuần hoàn của mực nước biển, gây bởi tác động của các lực tạo triều của Mặt Trăng và Mặt Trời.

Theo đặc điểm tác động của lực sau khi xuất hiện sóng, người ta chia các sóng thành *sóng cưỡng bức*, nếu lực vẫn tiếp tục tác động lên sóng và *sóng tự do*, nếu lực ngừng tác dụng sau khi tạo sóng.

Theo các lực kéo hạt nước trong sóng trở về vị trí cân bằng, người ta còn chia thành *sóng mao dẫn* và *sóng trọng lực*. Trong trường hợp sóng mao dẫn, lực phục hồi là sức căng mặt ngoài, trong trường hợp thứ hai là trọng lực.

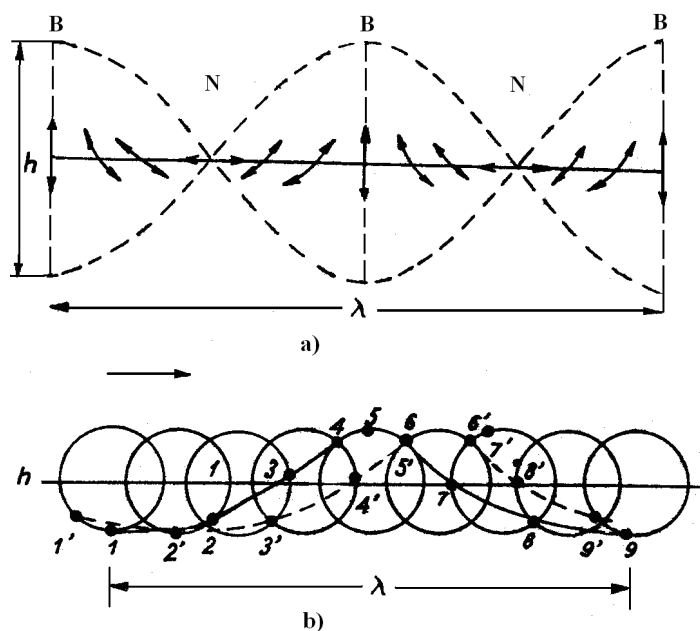
Theo biên độ của các yếu tố sóng với thời gian, người ta chia ra thành *sóng ổn định* với các yếu tố sóng không biến đổi theo thời gian, *sóng không ổn định* là sóng đang phát triển, hoặc bắt đầu tắt dần, với các yếu tố biến đổi theo thời gian.

Theo sự dịch chuyển của dạng sóng, người ta chia ra *sóng tiến* có dạng dịch chuyển nhìn thấy được trong không gian và *sóng đứng* có dạng nhìn thấy không dịch chuyển trong



không gian. Sóng đứng thể hiện dưới dạng dao động mực cực đại ở các *điểm bụng* và cực tiểu ở các *điểm nút*. Các hạt nước trong sóng dịch chuyển theo đường thẳng đứng ở các điểm bụng và theo đường nằm ngang ở các điểm nút. Ở khoảng cách giữa hai điểm đó các hạt nước dao động trên những mặt phẳng làm thành những góc khác nhau với mặt nằm ngang (hình 19a).

Trong sóng tiến, các hạt nước chuyển động theo những quỹ đạo gần giống đường tròn hoặc ellip kín. Dọc theo hướng truyền sóng, các hạt nước nằm trên cùng một mặt phẳng tham gia vào chuyển động không đồng thời. Trên hình 19b thấy rằng nếu xung lực bắt đầu tác động từ phía trái, thì đầu tiên đi vào chuyển động là hạt nước 1, sau đó các hạt nước 2, 3, ..., mỗi hạt sau chậm so với hạt trước một pha (một góc quay). Vị trí các hạt vào thời điểm đầu được biểu diễn bằng đường cong liền. Vào thời điểm tiếp sau, mỗi phần tử chuyển động quay thêm một góc nữa trên quỹ đạo của mình đến những vị trí 1', 2', 3'... size 12{ { {1}} sup {''}, `` { {2}} sup {''}, `` { {3}} sup {''} `` ". "" . "" . "" } {} tạo nên sự chuyển dịch về phía trước của profin sóng (đường gạch nối).



Sơ đồ chuyển động của các hạt nước trong sóng đứng (a) và sóng tiến (b) và biến đổi của hình dạng sóng với thời gian

Khi nghiên cứu sóng biển người ta còn phân biệt sóng hai chiều (sóng phẳng) và sóng ba chiều. Trong sóng hai chiều, trên tuyến frôn sóng không có sự chênh lệch độ cao của mực, các ngọn sóng kéo dài mãi như những luống nước và truyền đi theo hướng truyền sóng. Trong sóng ba chiều, người ta quan trắc thấy có sự chênh lệch độ cao mực dọc theo frôn sóng. Đối với loại sóng này, người ta đưa thêm khái niệm chiều dài ngọn sóng – độ kéo dài của ngọn sóng theo hướng frôn của nó – và độ cao sóng ba chiều là hiệu giữa mực cao nhất của đỉnh và mực thấp nhất của chân sóng.

## 5.2. Cơ sở lý thuyết cổ điển về sóng biển

### 5.2.1. Lý thuyết sóng biển sâu

Lý thuyết sóng biển sâu cổ điển dựa trên những giả thiết: biển sâu vô hạn, chất lỏng lý tưởng bao gồm nhiều hạt riêng biệt không có ma sát trong, mật độ nước không đổi, sóng phẳng, tác dụng của lực tạo sóng sẽ ngừng sau khi sóng đã phát triển. Trong trường

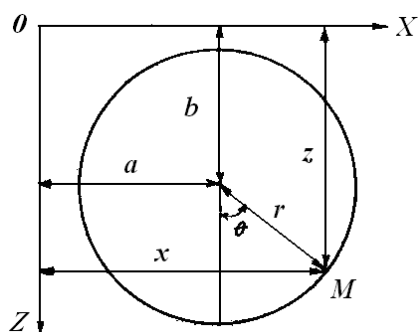
hợp đó, các hạt chất lỏng dao động dưới tác dụng của hai lực là trọng lực và lực gradien áp suất thủy tĩnh. Phương trình chuyển động trong trường hợp này sẽ là:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} \frac{\partial x}{\partial a} + \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} - g \frac{\partial z}{\partial a} + \rho \frac{\partial P}{\partial a} = 0, \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} \frac{\partial x}{\partial b} + \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} - g \frac{\partial z}{\partial b} + \rho \frac{\partial P}{\partial b} = 0. \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} \left\{ \frac{\partial x}{\partial a} \right\} + \left( \left\{ \frac{\partial z}{\partial a} \right\} - g \right) \left\{ \frac{\partial P}{\partial a} \right\} = 0, \\ \left\{ \frac{\partial x}{\partial b} \right\} + \left( \left\{ \frac{\partial z}{\partial b} \right\} - g \right) \left\{ \frac{\partial P}{\partial b} \right\} = 0. \end{array} \right. \quad (36)$$

Phương trình liên tục đặc trưng cho sự bảo toàn khối lượng chất lỏng trong chuyển động được viết như sau:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial x}{\partial a} \frac{\partial z}{\partial b} - \frac{\partial x}{\partial b} \frac{\partial z}{\partial a} \right) = 0, \quad (37)$$

trong đó  $x, z$  tọa độ biến thiên của hạt theo các trục  $X$  và  $Z$ ;  $a$  và  $b$  tọa độ ban đầu của hạt cũng theo các trục  $X$  và  $Z$ ;  $g$  gia tốc trọng trường;  $t$  thời gian;  $\rho$  mật độ nước;  $P$  áp suất trong chất lỏng.



Quỹ đạo của hạt nước trong sóng

Hướng trục  $X$  dọc theo mặt biên trùng với phương truyền sóng, trục  $Z$  thẳng đứng xuống dưới. Giả sử hạt nước chuyển động theo quỹ đạo tròn kín với tâm trùng với vị trí của nó trong trạng thái đứng yên, bán kính  $r$ , góc pha  $\theta$  tính từ trục thẳng đứng (hình 20). Theo hình vẽ ta có:

$$\begin{cases} x - a = r \sin \theta, \\ z - b = r \cos \theta. \end{cases} \quad (38)$$

Trong chất lỏng lý tưởng, tất cả các hạt trong trạng thái đứng yên đều ở trên một đường thẳng đứng, khi bắt đầu chuyển động thì chúng chuyển động cùng pha. Giả sử trên đường thẳng đứng  $X=0$  tất cả các hạt có pha bằng không tại thời điểm  $t=0$ , khi đó hạt ở  $X=a$ , tại thời điểm  $t$  sẽ có pha (hình 21):

$$\theta = 2\pi\lambda a - 2\pi\tau t \quad \left\{ \theta = \left\{ \frac{2\pi}{\lambda} \right\} a - \left\{ \frac{2\pi}{\tau} \right\} t \right\}, \quad (39)$$

(ở đây lấy dấu trừ vì xem hướng quay của hạt theo chiều kim đồng hồ là hướng dương).

Ký hiệu

$$2\pi\lambda = k \quad \left\{ \left\{ \frac{2\pi}{\lambda} \right\} = k \right\}; \quad 2\pi\tau = n \quad \left\{ \left\{ \frac{2\pi}{\tau} \right\} = n \right\},$$

ta có

$$\theta = ka - nt \quad \left\{ \theta = \text{ital "ka"} - \text{ital "nt"} \right\}. \quad (40)$$

Bán kính quỹ đạo, do những giả thiết trên, chỉ phụ thuộc vào độ sâu của hạt, tức phụ thuộc vào  $b$   $\left\{ \left\{ b \right\} \right\}$ , mà không phụ thuộc  $a$   $\left\{ \left\{ a \right\} \right\}$  và  $t$   $\left\{ \left\{ t \right\} \right\}$ .

Từ các hệ thức (38), ta nhận được:

$$\frac{\partial x}{\partial a} = 1 + kr \cos \theta \quad \left\{ \left\{ \frac{\partial x}{\partial a} \right\} = 1 + \text{ital "kr"} \cos \theta \right\};$$

$$\frac{\partial z}{\partial a} = -kr \sin \theta \quad \left\{ \left\{ \frac{\partial z}{\partial a} \right\} = - \text{ital "kr"} \sin \theta \right\};$$

$$\frac{\partial x}{\partial b} = \frac{\partial r}{\partial b} \sin \theta \quad \left\{ \left\{ \frac{\partial x}{\partial b} \right\} = \left\{ \frac{\partial r}{\partial b} \right\} \sin \theta \right\}; \quad \frac{\partial z}{\partial b} = 1 - \frac{\partial r}{\partial b} \cos \theta \quad \left\{ \left\{ \frac{\partial z}{\partial b} \right\} = 1 - \left\{ \frac{\partial r}{\partial b} \right\} \cos \theta \right\}.$$

Do đó, biểu thức trong dấu ngoặc của phương trình liên tục (37) sẽ có dạng:

$$\frac{\partial x}{\partial a} \frac{\partial z}{\partial b} - \frac{\partial x}{\partial b} \frac{\partial z}{\partial a} = (1 + kr \cos \theta) \left( 1 + \frac{\partial r}{\partial b} \cos \theta \right) + kr \frac{\partial r}{\partial b} \sin 2\theta - \left( 1 + \frac{\partial r}{\partial b} \cos \theta \right) \left( \frac{\partial r}{\partial b} \sin \theta \right) - \left( \frac{\partial r}{\partial b} \sin \theta \right) \left( 1 - \frac{\partial r}{\partial b} \cos \theta \right) = \left( 1 + \text{ital "kr"} \cos \theta \right) \left( 1 + \left\{ \frac{\partial r}{\partial b} \right\} \cos \theta \right) + \left\{ \text{ital "kr"} \left\{ \frac{\partial r}{\partial b} \right\} \sin^2 \theta \right) - \left( \text{ital "kr"} + \left\{ \frac{\partial r}{\partial b} \right\} \right) \left( \text{ital "kr"} + \left\{ \frac{\partial r}{\partial b} \right\} \right) \cos \theta \sin \theta.$$

Theo điều kiện liên tục (37), đạo hàm theo thời gian của biểu thức này phải bằng không, nghĩa là phương trình phải không có các thành phần chứa  $t$   $\left\{ \left\{ t \right\} \right\}$ . Như vậy hệ số của số hạng cuối cùng phải bằng không, tức là:

$$\text{ital "kr"} + \frac{\partial r}{\partial b} = 0 \quad \left\{ \text{ital "kr"} + \left\{ \frac{\partial r}{\partial b} \right\} = 0 \right\}.$$

Vì  $r$   $\left\{ \left\{ r \right\} \right\}$  chỉ phụ thuộc vào  $b$   $\left\{ \left\{ b \right\} \right\}$ , nên có thể viết:

$$\frac{dr}{r} = -k db \quad \left\{ \left\{ \frac{dr}{r} \right\} = - \text{ital "kdb"} \right\}.$$

Sau khi tích phân, ta được:

$$\ln r = -kb + \text{const} \quad \left\{ \ln r = - \text{ital "kb"} + \text{ital "const"} \right\}.$$

Tìm hằng số tích phân từ điều kiện: khi  $b=0$   $\left\{ \left\{ b=0 \right\} \right\}$ , tức trên mặt biển,  $r=r_0$   $\left\{ \left\{ r=r_0 \right\} \right\}$  và do đó  $\text{const} = \ln r_0$   $\left\{ \text{const} = \ln r_0 \right\}$ .

$r_0$ . Từ đó:

$$r = r_0 e^{-kb} = r_0 e^{-2\pi\lambda b} \quad r = r_0 e^{-2\pi \frac{b}{\lambda}} \quad (41)$$

Như vậy bán kính quỹ đạo của các hạt giảm phụ thuộc vào khoảng cách từ mặt biển theo quy luật hàm mũ, trong đó giảm càng nhanh khi sóng càng ngắn.

Chúng ta đã biết độ cao sóng thì bằng đường kính quỹ đạo, nên

$$h = h_0 e^{-2\pi\lambda b} \quad (42)$$

trong đó  $h_0$  độ cao sóng trên mặt biển. Từ công thức này suy ra rằng ở độ sâu bằng nửa bước sóng ( $b = \lambda/2$ ), độ cao sóng chỉ còn bằng 0,04 giá trị của nó ở trên mặt. Trong thực tế, người ta coi độ sâu xâm nhập của sóng là  $0,5\lambda$ .

Để nhận được quy luật biến đổi áp suất trong sóng chúng ta sử dụng các phương trình chuyển động (36). Đặt các đạo hàm riêng của  $x$  và  $z$  theo  $a, b$  và  $t$  vào các phương trình đó, có tính đến các hệ thức (40) và (41). Sau khi biến đổi và lấy tích phân, ta nhận được:

$$P_\rho = gb + \frac{1}{2} n^2 r_0^2 e^{-2kb} - r_0 k e^{-kb} (n^2 - kg) \cos\theta + \text{const} \quad (43)$$

Biểu thức này cho phép xác định áp suất sóng tại độ sâu  $b$  bất kỳ. Đặc biệt với mặt biển ( $b=0$ ):

$$P_0 = \frac{1}{2} n^2 r_0^2 - r_0 k (n^2 - kg) \cos\theta + \text{const} \quad (44)$$

Vì trong lý thuyết sóng tự do, trên mọi điểm của mặt nổi sóng áp suất  $P_0$  phải không đổi và không phụ thuộc vào góc pha  $\theta$ . Ta có đẳng thức

$$n^2 - kg = 0$$

hay

$$n^2 = kg \quad (44)$$

Chia hai vế của đẳng thức này cho  $k$ , ta được công thức vận tốc truyền sóng

$$C^2 = g\lambda \quad \text{hay } C = \sqrt{g\lambda}$$

$$C = \sqrt{g\lambda} \quad (45)$$

Ta thấy vận tốc truyền sóng  $C$  trong biển sâu vô hạn chỉ phụ thuộc vào bước sóng.

Theo các ký hiệu đã quy ước thì  $C = \omega/k$ , vậy biểu thức (40) có thể viết lại dưới dạng:

$$\theta = k(a - Ct)$$

Khi đó phương trình biểu diễn biến đổi tọa độ của các hạt trong sóng (phương trình (38)) có tính đến (41) có thể viết thành:

$$\begin{aligned} x - a &= r_0 e^{-kb} \sin k(a - Ct), \\ z - b &= r_0 e^{-kb} \cos k(a - Ct). \end{aligned} \quad (46)$$

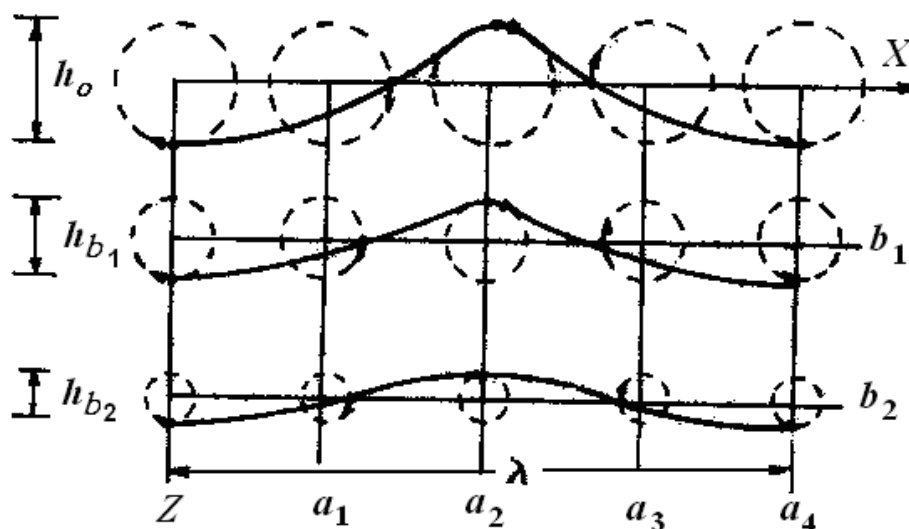
Khi cho những đại lượng  $b$  và  $t$  trong các phương trình này những giá trị cố định, chúng ta sẽ tính được các tọa độ của các hạt dọc theo hướng truyền sóng, tức tính được profin sóng ứng với độ sâu  $b$  đã cho. Chẳng hạn, tại  $b=0$ , tức mặt biển, (46) trở thành

$$\begin{aligned} x - a &= r_0 \sin \theta, \\ z &= r_0 \cos \theta. \end{aligned} \quad (47)$$

trong đó  $\theta = 2\pi\lambda(a - Ct)$ . Hay:

$$\begin{aligned} x &= \lambda \left( 2\pi\theta + r_0 \sin \theta + Ct \right), \\ z &= r_0 \cos \theta. \end{aligned} \quad (48)$$

Ta thấy rằng các phương trình này mô tả profin sóng trên mặt biển là đường trocoid (khi  $t=0$ ). Khi cho  $t$  những giá trị khác không và tăng dần, ta thấy profin sóng (tức đường trocoid) dịch chuyển về phía chiều dương của  $X$  với tốc độ  $C$ . Các profin sóng trocoid ở các độ sâu khác nhau (46), tức ứng với các giá trị  $b$  khác không được phân biệt với nhau bởi độ cao sóng  $2r_0 e^{-kb}$  giảm theo quy luật hàm mũ đối với  $b$ . Bước sóng, chu kỳ và vận tốc sóng không biến đổi theo độ sâu (hình 21).



Quỹ đạo của hạt

nước trong sóng

Theo (43) và (44) ta thấy áp suất sóng ở độ sâu bất kỳ gồm áp suất thủy tĩnh  $\rho g b$  và áp suất  $\frac{1}{2} \rho g \frac{1}{k} \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2}$ . Vậy giới hạn biến đổi của áp suất ở độ sâu bất kỳ tương ứng với độ cao sóng ở độ sâu đó và giảm theo độ sâu. Và như ta thấy, ở độ sâu lớn hơn bước sóng, áp suất sóng chỉ còn biến đổi rất ít. Do đó, các cảm biến ghi độ biến đổi áp suất để xác định sóng mặt phải được đặt ở những độ sâu không lớn, còn muốn chuyển từ độ cao sóng đo được ở độ sâu  $b$  sang độ cao sóng mặt biển thì phải tính đến quy luật biến đổi độ cao sóng theo độ sâu.

Tóm lại, lý thuyết sóng trocoid trong biển sâu vô hạn cho những kết luận sau:

- 1) Các hạt nước trong sóng chuyển động theo những quỹ đạo tròn với bán kính quỹ đạo giảm theo độ sâu bằng định luật hàm mũ (các công thức (41) và (42)).
- 2) Vận tốc truyền sóng chỉ phụ thuộc vào bước sóng và không đổi theo độ sâu. Chu kỳ sóng và bước sóng cũng không đổi theo độ sâu.
- 3) Profin sóng là đường trocoid.
- 4) Giới hạn biến đổi áp suất sóng giảm theo độ sâu, tỷ lệ thuận với độ giảm độ cao sóng. Ở độ sâu bằng bước sóng, độ biến đổi áp suất rất nhỏ (vì độ cao sóng chỉ còn bằng  $1/35$  độ cao sóng trên mặt).

Các kết luận của lý thuyết sóng trocoid được áp dụng để nghiên cứu sóng lừng đại dương, vì sóng này gần giống như sóng tự do phẳng hay sóng hai chiều.

### 5.2.2. Các kết luận của lý thuyết sóng biển nông

Trong biển nông, hiện tượng ma sát đáy làm thay đổi các đặc trưng hình học và động học của sóng. Lý thuyết sóng biển nông nghiên cứu sóng ổn định hai chiều dưới sự ảnh hưởng của độ sâu nhận được những kết luận sau đây:

1) Quỹ đạo các hạt nước trong sóng là những ellip với trục lớn kéo dài theo phương truyền sóng. Kích thước các trục ellip quỹ đạo phụ thuộc vào tỷ số giữa bước sóng và độ sâu của biển và càng gần đến đáy càng giảm.

Trục ngang của ellip  $A$  biến đổi theo quy luật cosin hyperbolic, còn trục thẳng đứng  $B$  - theo quy luật sin hyperbolic :

$$A = h_0 \operatorname{ch} k(H-b) \operatorname{sh} kH, B = h_0 \operatorname{sh} k(H-b) \operatorname{sh} kH, \quad (49)$$

trong đó  $h_0$  - độ cao sóng trên mặt biển, bằng trục đứng của ellip quỹ đạo ở mặt biển;  $H$  - độ sâu biển;  $b$  - độ sâu của vị trí tâm quỹ đạo các hạt tính từ mặt sóng trung bình.

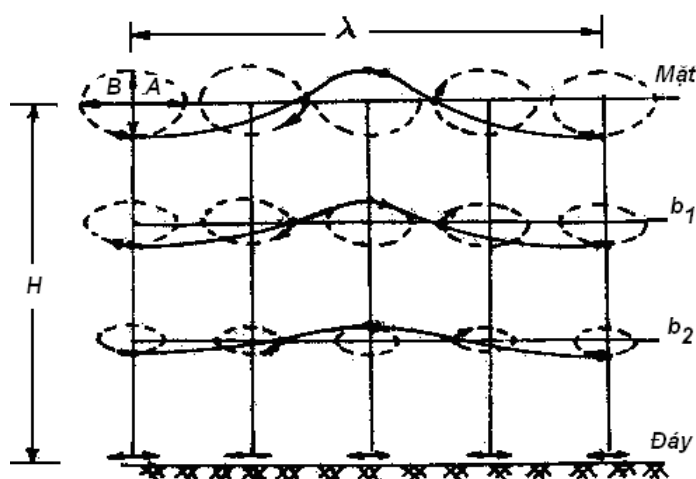
Từ (49) suy ra ở đáy,  $b=H$ , trục đứng  $b=0$ , còn trên mặt biển,  $b=0$ , trục đứng  $B=h_0$ .

Nếu tỷ số  $\lambda/H < 1$ , trục ngang và trục đứng trong lớp gần mặt hầu như bằng nhau, sự biến đổi của chúng xác định theo biểu thức

$$A=B=h_0 e^{-kb},$$

tức ellip biến thành vòng tròn và độ cao sóng bằng trục  $B$  giảm theo độ sâu  $b$  như trong trường hợp biển sâu vô hạn (như công thức (42)).

Nếu  $\lambda/H > 10$ , thì  $B$  biến đổi tuyến tính với độ sâu, còn  $A$  gần như giữ nguyên không đổi với độ sâu. Quy luật biến đổi tương tự như vậy đặc trưng cho sự truyền sóng thủy triều có bước sóng khoảng hàng trăm kilômét.



Quỹ đạo của hạt nước trong sóng

Profil sóng là đường trocoid ellip (hình 22). Khi  $\lambda/H < 1$  quỹ đạo các hạt, như đã nói, sẽ biến thành đường tròn và profil sóng sẽ có dạng trocoid thông thường như trên hình 21. Khi  $\lambda/H > 10$ , quỹ đạo biến thành các ellip kéo dài theo trục  $B$ , dạng profil sóng gần như hình sin (sóng

thủy triều).

Vận tốc truyền sóng phụ thuộc không chỉ vào bước sóng, mà còn vào độ sâu của biển:

$$C = \sqrt{g\lambda} \sqrt{\frac{2\pi}{\lambda} H} \quad (50)$$

Từ (50) thấy rằng khi  $H/\lambda$  khá lớn thì công thức (50) sẽ giống công thức (45), khi  $H/\lambda$  khá nhỏ, ta có công thức truyền sóng dài thủy triều:

$$C = \sqrt{gH} \quad (51)$$

Thực tế, nếu  $H/\lambda > 1/2$ , có thể thay công thức chính xác (50) bằng công thức (45), còn khi  $H/\lambda < 1/10$  - bằng công thức (51).

Do đó, đối với các sóng có bước sóng nhỏ hơn hai lần độ sâu biển, thì các công thức sóng trocoid sẽ đúng với các yếu tố sóng trên mặt biển, những sóng như vậy gọi là *sóng ngắn*, đó là sóng gió ngoài khơi. Còn các sóng với  $H/\lambda < 1/10$ , thì gọi là sóng dài, như sóng thủy triều. Các sóng với  $1/10 < H/\lambda < 1/2$ , gọi là sóng dài chu kỳ ngắn, được xác định theo các công thức đầy đủ của lý thuyết sóng dài (49), (50). Sóng gió ở ven bờ nước nông và tsunami thuộc loại này.

Tính chất biến đổi áp suất ở các độ sâu phụ thuộc vào tỷ số  $H/\lambda$ . Với sóng ngắn ( $H/\lambda > 1/2$ ), biến đổi áp suất ở các độ sâu tỷ lệ thuận với độ cao sóng ở các độ sâu đó. Với sóng dài ( $H/\lambda < 1/10$ ) áp suất ở mọi độ sâu biến đổi như nhau và tỷ lệ thuận với độ cao sóng trên mặt (vì trong sóng dài, lực ly tâm nhỏ, không ảnh hưởng tới trọng lực của các hạt chuyển động).

Căn cứ vào tính chất này, người ta đề ra nguyên tắc đo sóng bằng các cảm biến áp suất: nếu đặt cảm biến ở độ sâu lớn hơn nửa bước sóng ngắn (sóng gió), nó sẽ ghi nhận áp suất thủy tĩnh do sóng thủy triều gây nên. Nếu đặt cảm biến ở độ sâu nhỏ hơn, nó sẽ ghi nhận cả áp suất của sóng ngắn và sóng dài. Phải tách riêng lấy áp suất sóng ngắn để xác định độ cao sóng ngắn tại tầng sâu đặt máy và nhờ thực nghiệm hoặc công thức gần đúng (42) mà chuyển thành độ cao sóng trên mặt biển.

Các kết luận của lý thuyết sóng biển nông có thể áp dụng để nghiên cứu sóng thủy triều và phần nào để nghiên cứu sóng gió và sóng lừng truyền từ ngoài khơi vào vùng bờ độ sâu giảm dần.

### 5.2.3. Vận tốc nhóm sóng

Những nhận xét và các công thức đã nêu trong mục này tương ứng với hệ sóng đơn có độ cao, chu kỳ và bước sóng như nhau trên mặt phẳng biển. Một trường hợp phức tạp hơn đó là hệ sóng giao thoa của hai sóng đơn với các chu kỳ và độ cao gần bằng nhau cùng truyền theo một hướng. Kết quả cộng hai sóng đó được thể hiện trên hình 23. Ở đây các đường gạch nối biểu diễn hai sóng giao thoa, đường liền đậm nét – sóng tổng cộng, đường liền nét mảnh là hình bao của nó. Thấy rằng hình bao sóng tổng cộng với độ



cao biến đổi từ không đến giá trị lớn nhất trong tập hợp sóng được gọi là nhóm sóng. Hình bao này cũng dịch chuyển cùng với sóng tổng cộng với vận tốc gọi là vận tốc nhóm sóng. Đối với biển sâu, vận tốc nhóm sóng xấp xỉ bằng nửa vận tốc pha trung bình của các sóng giao thoa:

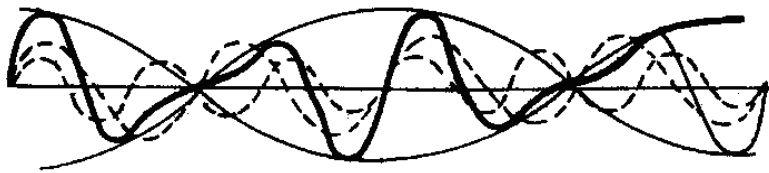
$$C_n = \frac{1}{2} C_p \quad (52)$$

Đối với biển nông, công thức vận tốc nhóm sóng có dạng:

$$C_n = \frac{1}{2} C_p \left( 1 + \frac{2\alpha}{\sinh 2\alpha} \right) \quad (53)$$

trong đó  $\alpha = 2\pi H/\lambda$ .

Khi  $H/\lambda$  bé, vận tốc nhóm sóng tiến đến gần bằng vận tốc pha, điều này ứng với sóng thủy triều.



Quỹ đạo của hạt nước trong sóng

#### 5.2.4. Năng lượng sóng

Các hạt nước chuyển động trong sóng có năng lượng gồm động năng do chúng chuyển động theo quỹ đạo và thế năng do chúng có độ cao biến đổi so với mực biển yên tĩnh.

Động năng của hạt nước khối lượng đơn vị bằng:

$$\Delta E_d = \frac{1}{2} v^2 \quad (35)$$

trong đó  $v$  vận tốc của hạt, bằng  $\omega r$ , với  $\omega$  là vận tốc góc quay theo quỹ đạo ( $\omega = 2\pi/\tau$ ). Nếu xét các công thức (35) và (45), ta có

$$\tau = 2\pi \lambda g \quad (45)$$

Do đó, động năng của hạt khối lượng đơn vị sẽ bằng

$$\Delta E_d = \frac{g\pi r^2 \lambda}{2} \quad (46)$$

Trong sóng trocoid, mực sóng trung bình tại mỗi độ sâu dằng cao hơn mực của hạt nước yên lặng một ít. Thành thử trong một chu kỳ sóng, thế năng của mỗi hạt không bằng không. Nếu tính hiệu của các diện tích phần đáy sóng và phần ngọn sóng trên profin sóng của một sóng và chia hiệu đó cho bước sóng, người ta sẽ tìm được độ dằng của mực sóng trên mực yên tĩnh trung bình trong một chu kỳ sóng. Độ dằng trung bình bằng

$$\eta = \pi r^2 \lambda \int_0^\infty \eta^2 \, d\lambda.$$

Khi đó thế năng của hạt khối lượng đơn vị bằng

$$\Delta E_t = g \pi r^2 \lambda \int_0^\infty \Delta E_t \, d\lambda = g \int_0^\infty \pi r^2 \eta^2 \, d\lambda.$$

Năng lượng toàn phần của hạt khối lượng đơn vị sẽ bằng tổng của động năng và thế năng:

$$\Delta E = 2 \pi g r^2 \lambda \int_0^\infty \Delta E \, d\lambda.$$

Năng lượng của cột nước với độ dày  $db$ , đáy đơn vị và mật độ  $\rho$  không đổi sẽ là

$$dE = \Delta E \rho db = 2 g \pi r^2 \lambda db \int_0^\infty \Delta E \, d\lambda.$$

Thay  $r$  bằng biểu thức (41) và tích phân biểu thức trên theo toàn bộ chiều dày từ 0 đến  $\infty$ , người ta nhận được năng lượng của cột nước đáy đơn vị, tức năng lượng của một đơn vị diện tích mặt sóng:

$$E = 12 \rho g r_0^2 \int_0^\infty \rho \eta^2 \, d\lambda,$$

hay

$$E = 18 \rho g h_0^2 \int_0^\infty \rho \eta^2 \, d\lambda. \quad (54)$$

Biểu thức này đúng với sóng hai chiều. Đối với sóng gió thực trong biển, sóng ba chiều, nếu độ cao sóng dọc theo chiều dài ngọn sóng biến đổi theo quy luật hình sin thì năng lượng sóng ba chiều sẽ liên hệ với độ cao cực đại  $h_0$  dọc theo ngọn sóng như sau:

$$E_3 = 116 \rho g h_0^2 \int_0^\infty \rho \eta^2 \, d\lambda. \quad (55)$$

### 5.3. Sự phát triển của sóng gió

Nhược điểm của lý thuyết sóng cổ điển vừa xét là không giải thích được quá trình phát triển của sóng, sự truyền năng lượng gió cho sóng, do đó, không cho những mối liên hệ giữa các yếu tố sóng với nguyên nhân sinh ra sóng.

Một cách định tính, có thể giải thích sự phát sinh sóng gió như sau. Khi gió bắt đầu thổi trên mặt nước yên tĩnh, những cuộn xoáy có mặt trong dòng gió sẽ tác động lên mặt nước dưới dạng các xung áp suất, làm xuất hiện các sóng lăn tăn (sóng mao dẫn) có thể nhìn thấy bằng mắt (gió khoảng 0,7 m/s có thể làm xuất hiện các sóng cao 3-4 mm, bước sóng 40-50 mm). Nếu gió tiếp tục tác động thì sẽ làm tăng biên độ sóng và sóng mao dẫn biến thành sóng trọng lực.

Về cơ chế truyền năng lượng từ gió cho sóng, một số nhà nghiên cứu cho rằng ứng suất tiếp tuyến của gió đóng vai trò chủ yếu. Thí dụ, Makaveev đã xác định năng lượng mà sóng nhận từ gió bằng tích của ứng suất tiếp tuyến và vận tốc quỹ đạo của các hạt trong sóng dưới dạng biểu thức sau:

$$M_{\tau} = A \rho' w^2 \delta C \quad (56)$$

trong đó  $A$  – hệ số xác định từ thực nghiệm;  $\rho'$  – mật độ không khí;  $w$  – vận tốc gió;  $\delta = h/\lambda$  – độ dốc sóng;  $C$  – vận tốc pha của sóng.

Những nhà nghiên cứu khác cho rằng có sự truyền năng lượng từ gió cho sóng là do có sự chênh lệch áp suất giữa sườn đón gió và sườn khuất gió của sóng. Thí dụ, Suleikin giải thích rằng các hạt nước trên sườn đón gió, khi chuyển động theo quỹ đạo, được tác động bằng một áp suất trùng với hướng chuyển động nên cường độ chuyển động được gia tăng, còn các hạt trên sườn khuất gió chuyển động trên đoạn đi lên của quỹ đạo, bị áp suất hãm lại. Nhờ tính chất bất đối xứng của áp suất trên profin sóng, nên sau một vòng quay theo quỹ đạo, hiệu số áp suất có giá trị dương, hạt nước nhận thêm năng lượng. Kết quả thí nghiệm trên mô hình sóng và quan trắc trong bể sóng cho công thức công suất trung bình  $M_P$  mà gió truyền cho sóng tính trên một đơn vị diện tích mặt nước như sau:

$$M_P = A h (w - C)^2 \quad (57)$$

trong đó  $A$  – hệ số thực nghiệm.

Về tổng quát, có thể cho rằng công suất mà gió truyền cho sóng gồm cả hai phần:  $M_{\tau}$  – năng lượng do ứng suất tiếp tuyến của gió và  $M_P$  – năng lượng do áp suất pháp tuyến của gió trên một đơn vị diện tích mặt nổi sóng xác định bằng các công thức (56) và (57).

Được tiếp sức bởi những dòng năng lượng này, sóng xuất hiện trong gió sẽ phát triển, tăng cả độ cao và bước sóng của nó. Tuy nhiên, năng lượng mà sóng nhận được từ gió không phải hoàn toàn được dùng vào sự tăng của các yếu tố sóng, mà một phần năng lượng đó bị tản mát do rối xuất hiện trong sóng.

Suleikin đã đánh giá sự mất mát năng lượng do ma sát rối dưới dạng

$$E_{\mu} = 0,07 \rho g r_{\infty}^2 \tau_{\infty} R_{\infty}^2 \quad (58)$$

trong đó  $r_{\infty}$  – bán kính quỹ đạo của hạt trong sóng ổn định;  $\tau_{\infty}$  – chu kỳ sóng ổn định;  $R_{\infty} = \lambda_{\infty} / 2\pi$ ,  $\lambda_{\infty} = \lambda r_{\infty} / 2\pi$  – bước sóng ổn định;  $\rho$  –

mật độ nước.

Theo Crulov thì phần năng lượng mất mát trong rối bằng

$$M_{\mu} = b\pi^2 \rho \delta^3 C^2 \left( 1 + \frac{w}{20} \right)^2, \quad (59)$$

trong đó  $b$  – hệ số thực nghiệm không thứ nguyên;  $\rho$  – mật độ nước;  $\delta$  – độ dốc sóng;  $C$  – vận tốc truyền sóng;  $w$  – vận tốc gió.

Như vậy, tổng cộng các dòng năng lượng vừa xét trên trừ đi dòng năng lượng mà sóng mang đi theo hướng truyền sóng sẽ tạo nên sự biến đổi năng lượng sóng của một cột nước diện tích đáy đơn vị cao từ đáy đến mặt biển. Chúng ta viết

$$\frac{\partial E}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(EvC) + MP + M\tau - E\mu, \quad (60)$$

trong đó  $E$  – năng lượng của sóng tính cho cả cột nước được xác định bởi công thức (54);  $vC$  – vận tốc mang năng lượng, đối với sóng ngắn bằng nửa vận tốc pha (xem công thức (52)). Thành phần  $-\frac{\partial}{\partial x}(EvC)$  đặc trưng cho dòng năng lượng mà cột nước bị mất đi do sóng mang đi theo hướng dương của trục  $x$ . Phương trình (60), lần đầu tiên do Makaveev nhận được, gọi là phương trình cân bằng năng lượng của sóng gió. Ta thấy phương trình cân bằng năng lượng sóng gió liên hệ những yếu tố sóng ( $h$  và  $\lambda$ ) tại thời điểm bất kỳ với các yếu tố tạo sóng – những đặc trưng của dòng gió gây nên sóng. Khác với lý thuyết sóng cổ điển, việc giải phương trình này sẽ cho phép người ta tính được các yếu tố sóng qua các yếu tố tạo sóng, đã là một bước khắc phục được nhược điểm của lý thuyết sóng cổ điển.

Khi giải phương trình cân bằng năng lượng sóng, một vấn đề quan trọng là tìm mối liên hệ giữa bước sóng và độ cao sóng – hai ẩn trong phương trình đó, tức tìm phương trình thứ hai để khép kín hệ.

Để giải quyết vấn đề này, nhiều nhà nghiên cứu có xu hướng tìm đến những quan hệ thực nghiệm thông qua chỉnh lý các quan trắc sóng.

Suleikin đã giải bài toán này bằng con đường lý thuyết, nhờ sử dụng định lý về mô men động lượng của các hạt nước chuyển động trong sóng theo quỹ đạo tròn và đã nhận được quy luật tăng bước sóng dưới tác dụng của gió. Điều đó cho phép ông tìm được phương trình thứ hai dưới dạng:

$$h^3 = 0,278 \lambda^3 + 0,722 \lambda^3, \quad (61)$$

trong đó  $h_0, \lambda$  – độ cao và bước sóng khi bắt đầu tạo sóng.

#### 5.4. Sự đa dạng của sóng gió. Các hàm phân bố các yếu tố sóng gió

Trên thực tế người ta thấy sóng gió thực rất đa dạng. Trên băng ghi sóng biển, các yếu tố sóng diễn biến như là những đại lượng ngẫu nhiên. Vì vậy phương pháp hiệu quả nhất để nghiên cứu sự đa dạng của sóng biển là áp dụng lý thuyết về quá trình ngẫu nhiên. Trong hải dương học, nhiệm vụ chính theo hướng này là xác định các đặc trưng cơ bản của các yếu tố sóng với tư cách là những quá trình ngẫu nhiên, trước hết là mật độ phân bố (độ lặp lại) và hàm phân bố (độ đảm bảo).

Hiện nay trong hải dương học người ta khảo sát hai loại hàm phân bố các yếu tố sóng: loại thứ nhất mô tả tính đa dạng của các yếu tố sóng với cường độ xác định gọi tắt là hàm phân bố hay hàm độ đảm bảo; loại thứ hai mô tả tính đa dạng của các yếu tố sóng của vùng biển nào đó trong chế độ nhiều năm gọi là hàm phân bố chế độ hay hàm đảm bảo chế độ.

*Hàm phân bố độ cao sóng tại một điểm.* Chúng ta đã biết sóng gió thực trong biển có tính chất ba chiều nên độ cao của nó dọc theo ngọn sóng thường biến đổi. Người ta gọi độ cao sóng lớn nhất dọc theo ngọn sóng là độ cao sóng ba chiều. Độ cao sóng ghi được bằng dụng cụ đo tại một điểm xác định trên biển, gọi là độ cao sóng tại một điểm, sẽ khác độ cao sóng ba chiều.

Việc quan trắc và nghiên cứu lý thuyết độ cao sóng tại một điểm đã chứng minh rằng với sóng ổn định phân bố độ cao gần với quy luật phân bố chuẩn và không phụ thuộc vào cường độ (cấp sóng).

Hàm độ lặp lại của độ cao sóng tại một điểm biểu diễn qua độ cao sóng trung bình có dạng:

$$f(h) = \frac{\pi}{2} \frac{h}{\bar{h}} \exp\left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{h}{\bar{h}}\right)^2\right] \quad (62)$$

Hàm độ đảm bảo của độ cao sóng tại một điểm bằng:

$$F(h) = \int_0^h f(h) dh = \exp\left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{h}{\bar{h}}\right)^2\right] \quad (63)$$

Từ (63) có thể dễ dàng biểu diễn độ cao tương đối qua độ đảm bảo của nó:

$$\frac{h}{\bar{h}} = \sqrt{-\frac{4}{\pi} \ln F(h)} = 1,712 \sqrt{-\ln F(h)} \quad (64)$$

Để xác định độ cao sóng tuyệt đối từ tập hợp sóng cụ thể, trước hết phải tính độ cao trung bình của tập hợp đó, sau đó xác định độ cao tương đối ứng với độ đảm bảo cho trước theo công thức (64) rồi nhân nó với độ cao trung bình của tập hợp sóng, ta nhận

được độ cao tuyệt đối cần tìm.

Hệ số chuyển tiếp từ độ cao sóng tại một điểm sang độ cao sóng ba chiều cùng độ đảm bảo được cho trong bảng 8.

*Bảng 8.* Hệ số chuyển tiếp từ độ cao sóng tại một điểm và độ cao sóng ba chiều

$F$	0,1	1	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
$h_3/h$	1,07	1,10	1,14	1,18	1,20	1,23	1,27	1,30	1,34	1,42	1,51	1,73	1,98

Hàm phân bố không thứ nguyên của độ đảm bảo của bước sóng và độ dài ngọn sóng hoàn toàn trùng với hàm không thứ nguyên độ đảm bảo độ cao sóng tại một điểm. Vì vậy, trong các biểu thức (63) hoặc (64) nếu thay  $h/h^-$  bằng  $\lambda/\lambda^-$  hoặc  $L/L^-$  chúng ta sẽ được những hàm phân bố cần tìm:

$$F(\lambda) = \exp\left[-\pi 4 \lambda \lambda^{-2}\right] \text{ hoặc } \lambda \lambda^{-1} = 1,712 - \lg F(\lambda) \quad (65)$$

$$F(L) = \exp\left[-\pi 4 L L^{-2}\right] \text{ hoặc } L L^{-1} = 1,712 - \lg F(L) \quad (66)$$

Trong sóng ba chiều, mối liên hệ giữa bước sóng trung bình và độ dài ngọn sóng trung bình được biểu diễn như sau:

$$L^- = 2\lambda^-$$

Hàm phân bố của chu kỳ và vận tốc sóng. Hàm phân bố của chu kỳ sóng xác định theo hàm phân bố bước sóng dựa theo mối liên hệ giữa chu kỳ và bước sóng

$$\tau = 2\pi \lambda g$$

sẽ có dạng

$$F(\tau) = \exp\left[-0,9064 \tau \tau^{-4}\right]$$

hoặc

$$\tau \tau^{-1} = 1,36 - \lg F(\tau) \quad (67)$$

Vì vận tốc truyền sóng  $C$  tỷ lệ với chu kỳ sóng ( $C = g\tau/2\pi$ )

$12 \{ C = g\tau / 2\pi \} \}$ ), nên đối với  $C$  size  $12 \{ C \} \}$  có biểu thức tương tự

$$C C^{-1} = 1,36 - \lg F(C) \quad 12 \{ \{ C \} \over \{ \{ \bar{C} \} \} \} = 1,36 \sqrt[8]{\{ \{ \{ C \} \} - \lg F(C) \} \}$$

hoặc

$$F(C) = \exp[-0,9064 C C^{-1}] \quad 12 \{ F(C) = \exp \left[ -0,9064 \left( \{ \{ C \} \over \{ \{ \bar{C} \} \} \right) \right] \}$$
 (68)

*Hàm phân bố các yếu tố sóng biển nông.* Hàm phân bố độ cao sóng tại một điểm đối với trường hợp nước nông phụ thuộc vào tỷ số  $h = h^- / H$  size  $12 \{ h \text{ rSup } \{ size 8 \{ * \} \} \} = \{ \bar{h} \} / H \}$  có dạng

$$F(h) = \exp \left[ -\pi \left( 1 + h \frac{2\pi h^-}{2} \right) \frac{1-h}{\sqrt{2\pi}} \right] \left( \frac{h}{\bar{h}} \right) \text{ rSup } \left\{ \frac{2}{1-h \text{ rSup } \{ size 6 \{ * \} \}} \right\}$$

hoặc

$$h h^- = -2,923(1 + 0,4h) \lg F(h) \quad 12 \{ \{ h \} \over \{ \{ \bar{h} \} \} \} = \left[ -2,923 \sqrt[8]{(1 + 0,4h \text{ rSup } \{ size 8 \{ * \} \}) \lg F(h)} \right] \text{ rSup } \{ size 8 \{ \{ 1 - h \text{ rSup } \{ size 6 \{ * \} \} \} \over \{ 2 \} \} \} \}. \quad (69)$$

Các hàm phân bố của chu kỳ tương tự như trong trường hợp biển sâu. Hàm phân bố bước sóng biển nông xác định theo hàm phân bố chu kỳ, căn cứ vào biểu thức liên hệ giữa chu kỳ và bước sóng nước nông:

$$\tau = 2\pi \lg \left( \frac{2\pi H}{\lambda} \right) \quad 12 \{ \tau = \sqrt[8]{\frac{2 \text{ ital } \pi \lambda}{g}} \text{ cth } \left\{ \frac{2\pi H}{\lambda} \right\} \}$$

## 5.5. Sóng ven bờ

Khi sóng biển truyền vào vùng ven bờ, nó bị biến dạng và khúc xạ do giảm độ sâu và tăng ma sát. Các yếu tố của sóng biển đổi. Diễn biến của sóng ở ven bờ phụ thuộc vào đường bờ và tính chất biến đổi của địa hình đáy.

Nếu sóng đi vào vùng bờ dốc đứng và sâu, thì sóng không biến đổi các yếu tố của nó cho đến tận sát bờ. Khi đạt tới thành bờ nó bị phản xạ trở lại. Kết hợp sóng tới và sóng phản xạ sẽ tạo thành sóng đứng với bụng sóng ở thành bờ, biên độ dao động nâng lên và hạ xuống của mặt sóng bằng khoảng hai lần độ cao sóng tới.

Suleikin đã đánh giá áp lực của sóng lên bờ qua chu kỳ sóng như sau:

$$P = 0,09 \tau^2 \quad 12 \{ P = 0,09 \tau \text{ rSup } \{ size 8 \{ 2 \} \} \}, \text{ tấn/m}^2$$

trong đó chu kỳ  $\tau$  size  $12 \{ \tau \} \}$  tính bằng giây.

Ở những vùng bờ sâu nhưng bị chia cắt mạnh hoặc những mỏm đá nhô ra biển sóng không phản xạ mà đổ nhào, tự phá hủy. Trong trường hợp đó áp lực lớn đến mức có thể phá hủy bờ và các công trình ven bờ.

Bờ thoải bị tác động yếu hơn vì sóng thường bị phá hủy trước khi đạt tới bờ. Nhưng trên đường đi vào vùng ven bờ thoải các đặc trưng sóng bị biến đổi nhiều nhất.

Khi đi vào vùng ven bờ thoải mặt sóng trở nên trật tự hơn do sự tắt dần nhanh của các sóng bé, mặt sóng có xu hướng trở thành giống như những luống sóng song khá đều đặn.

Vì truyền trong vùng ven bờ nước nông, nên sóng có tính chất như những sóng dài, vận tốc truyền phụ thuộc độ sâu của biển (xem công thức (51)). Các đoạn frôn gần bờ chuyển động chậm hơn so với các đoạn còn ở xa. Do đó frôn sóng có xu hướng quay dần dần tiến tới song song với đường bờ.

Theo Suleikin góc  $\alpha$  giữa frôn sóng và đường song song bờ tại điểm có độ sâu  $H$  phụ thuộc vào góc  $\alpha_0$  tương ứng ở độ sâu  $H_0$  ngoài khơi và vào chu kỳ  $\tau$  (hình 24) theo hệ thức

$$\sin \alpha = \frac{1 + 0,05 \tau^2 H_0 + 0,05 \tau^2 H \sin \alpha_0}{1 + 0,05 \tau^2 H} \sin \alpha_0 \quad (70)$$

Ngoài hiện tượng đổi hướng truyền sóng (khúc xạ sóng) như trên, các tham số sóng cũng biến đổi. Nếu chú ý rằng chu kỳ sóng khi vào nước nông gần như không biến đổi, trong khi đó vận tốc truyền phụ thuộc độ sâu dưới dạng (51), thì bước sóng phải giảm so với ngoài khơi theo quy luật

$$\lambda_0 = H \sqrt{\frac{\lambda}{H}} = \sqrt{H \lambda} \quad (71)$$

Một cách gần đúng, nếu giả thiết rằng năng lượng của một con sóng không đổi khi truyền từ ngoài khơi vào bờ nước nông, thì độ cao sóng do biến đổi bước sóng sẽ biến đổi theo quy luật

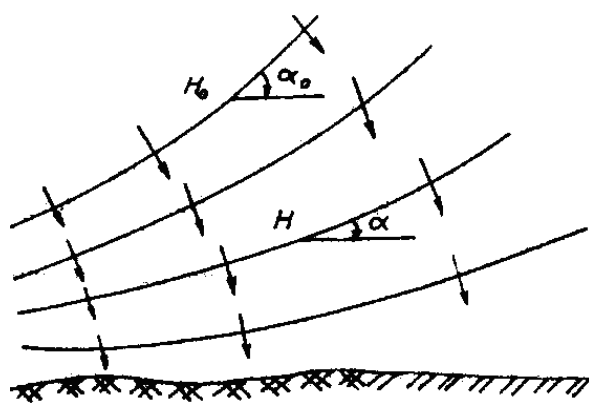
$$h^2 = \lambda_0 \lambda \quad (72)$$

và nếu chú ý tới (71) thì quy luật biến đổi độ cao sóng khi độ sâu biến đổi sẽ là:

$$h^2 = H \sqrt{\frac{h}{H}} \quad (72)$$

Sự giảm bước sóng và đồng thời tăng độ cao sóng sẽ làm tăng độ dốc sóng. Nếu độ dốc sóng đạt tới giá trị tới hạn thì ngọn sóng sẽ bị phá hủy, tạo thành sóng đổ nhào hay sóng vỗ bờ. Hiện tượng sóng đổ nhào có thể xảy ra ở ngay mép nước hoặc ở ngoài xa tùy thuộc cả vào những điều kiện như độ dốc sườn đáy biển, hướng gió đối với bờ, dòng chảy v.v...





Sự khúc xạ sóng trong nước nông

Các câu hỏi để tự kiểm tra

- 1) Thế nào là những yếu tố sóng, những yếu tố tạo sóng?
- 2) Sóng đứng và sóng tiến khác nhau như thế nào?
- 3) Nêu những kết luận của các lý thuyết sóng biển sâu và biển nông.
- 4) Thế nào là sóng ngắn, sóng dài, sóng dài chu kỳ ngắn?
- 5) Biểu thức của năng lượng sóng.
- 6) Gió truyền năng lượng cho sóng như thế nào?
- 7) Phương trình cân bằng năng lượng sóng gió gồm những số hạng gì, liên hệ những đại lượng gì với nhau?
- 8) Độ đảm bảo của sóng là gì?
- 9) Những gì sẽ xảy ra với sóng khi nó truyền từ khơi vào bờ?

Trường Đại học Thủy lợi Hà nội

# **SÓNG GIÓ**

Vũ Thanh Ca

Tháng 4 năm 2005

# Lời giới thiệu

Giáo trình này được viết chung cho sinh viên năm thứ ba của khoa kỹ thuật bờ biển Trường đại học Thủy lợi. Giáo trình này cũng có thể được dùng để giảng dạy cho các chương trình sau đại học của các ngành liên quan. Ngoài ra, nó còn có thể được dùng làm sách tham khảo trong việc nghiên cứu sóng gió phục vụ cho việc khai thác và bảo vệ nguồn lợi biển. Giáo trình này được viết với tài trợ của Chính phủ Hà lan trong khuôn khổ dự án HWRU/CE. Tác giả xin chân thành cảm ơn GS J. A. Battjes về những ý kiến đề xuất cải tiến nội dung cho giáo trình. Lời cảm ơn cũng xin được gửi đến nhiều người khác như GS-TS Lê Minh Truyền, Hiệu trưởng Trường Đại học Thủy lợi, PGS-TS Vũ Minh Cát, GS K. d'Angremond, TS Van de Graaf, Ông C. Pilarczyc, TS J. Van Dijk, cô Van der Vast và nhiều đồng nghiệp khác tại Trường Đại học Thủy lợi Hà nội về sự giúp đỡ nhiệt tình của họ trong thời gian tác giả viết và chỉnh lý giáo trình.

# MỤC LỤC

	Trang
1 LỜI GIỚI THIỆU	1
1.1 Mục đích và nội dung của bài giảng	1
1.2 Sóng đại dương	1
1.3 Các định nghĩa cơ bản	3
1.4 Sóng ngắn và sóng dài	5
2 CÁC PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN CỦA CƠ HỌC CHẤT LỎNG	7
2.1 Các phương pháp mô tả dòng chảy của chất lỏng	7
2.2 Đạo hàm thời gian	7
2.3 Phương trình thể tích kiểm tra	7
2.4 Định luật bảo toàn vật chất và phương trình liên tục	10
2.5 Định luật bảo toàn động lượng và phương trình chuyển động	10
2.5.1 Phương trình chuyển động của Cauchy	11
2.5.2 Chuyển dịch, quay và vận tốc biến dạng	13
2.5.3 Mối liên hệ giữa vận tốc biến dạng và ứng suất – Phương trình Navier-Stokes	17
2.5.4 Chất lỏng lý tưởng	18
3 LÝ THUYẾT TUYẾN TÍNH VỀ SÓNG BỀ MẶT TRONG VÙNG NƯỚC CÓ ĐỘ SÂU KHÔNG ĐỔI	21
3.1 Các phương trình cơ bản và điều kiện biên	21
3.1.1 Các giả thiết trong lý thuyết sóng tuyến tính	21
3.1.2 Điều kiện không nén được – Phương trình liên tục	22
3.1.3 Các phương trình động lượng	22
3.2 Lời giải giải tích của bài toán sóng trọng lực bề mặt	24
3.3 Mối liên hệ phân tán của chuyển động sóng	29
3.4 Chuyển động của hạt nước và áp suất	30
3.5 Vận tốc nhóm và năng lượng sóng	34
3.6 Năng lượng của sóng phức hợp	38
4 NHỮNG LÝ THUYẾT SÓNG PHI TUYẾN CHO VÙNG NƯỚC CÓ ĐỘ SÂU KHÔNG ĐỔI	41
4.1 Giới thiệu chung	41
4.2 Lý thuyết Stokes	41
4.2.1 Mặt cắt bề mặt nước	42
4.2.2 Vận tốc và quỹ đạo hạt nước	45
4.2.3 Mối liên hệ phân tán và vận tốc pha	46
4.2.4 Hàm lượng năng lượng và sự vận chuyển năng lượng	46
4.3 Lý thuyết Cnoidal	46
4.3.1 Mặt cắt bề mặt nước	48
4.3.2 Vận tốc và quỹ đạo hạt nước	48
4.3.3 Vận tốc pha	49
4.3.4 Hàm lượng năng lượng và sự vận chuyển năng lượng	49
4.4 Các lý thuyết số trị	49
4.5 Giới hạn áp dụng của các lý thuyết khác nhau	50

5	CÁC ĐẶC TRƯNG DO SÓNG GIÓ TẠO RA	52
5.1	Cơ chế tạo sóng do gió	52
5.1.1	Profile vận tốc gió và ứng suất gió trên mặt biển khơi	52
5.1.2	Các lý thuyết và cơ chế tạo sóng gió	53
5.1.3	Sóng gió và sóng lừng	57
5.2	Mô tả sóng gió	61
6	CÁC ĐẶC TRƯNG THỐNG KÊ CỦA SÓNG GIÓ	66
6.1	Các phương pháp thống kê dùng mô tả sóng ngẫu nhiên	66
6.1.1	Sóng mặt đại dương như là một hàm thông kê	66
6.1.2	Các định nghĩa và khái niệm cơ bản của phân tích chuỗi thời gian	69
6.1.3	Các cơ sở của việc mô tả phổ sóng đại dương	75
6.2	Mô tả sóng gió bằng phổ	76
6.2.1	Phổ năng lượng của sóng gió	76
6.2.2	Chiều rộng của phổ và dạng phổ	81
6.2.3	Các phổ tần số điển hình	86
6.2.4	Các hàm phổ hướng	93
6.3	Mô hình pha ngẫu nhiên	98
6.4	Xác định các đặc trưng phổ của sóng đại dương từ các ghi chép sóng ngoài hiện trường	110
7	CÁC QUÁ TRÌNH SÓNG VEN BỜ	110
7.1	Suy giảm sóng do ma sát đáy	110
7.2	Hiệu ứng nước nông	111
7.3	Khúc xạ sóng	117
7.3.1	Sự khúc xạ của sóng thường có đỉnh dài	117
7.3.2	Sự khúc xạ của sóng ngẫu nhiên	120
7.3.3	Tính sự khúc xạ của sóng ngẫu nhiên bằng phương trình thông lượng năng lượng	122
7.3.4	Sự khúc xạ của sóng ngẫu nhiên tại vùng biển có các đường đẳng sâu thẳng song song	124
7.4	Sự phản xạ sóng	126
7.4.1	Phân tích lý thuyết sự phản xạ sóng điều hoà	126
7.4.2	Sự phản xạ sóng ngẫu nhiên từ các công trình ven bờ	128
7.5	Sự nhiễu xạ sóng	132
7.5.1	Quá trình nhiễu xạ của sóng điều hoà	132
7.5.2	Nguyên lý Huygen	136
7.5.3	Đường xoắn ốc Cornu	136
7.5.4	Sự nhiễu xạ của sóng ngẫu nhiên	146
7.5.5	ứng dụng của giản đồ nhiễu xạ sóng điều hoà	153
7.6	Sóng có độ cao lớn nhất	153
7.7	Sóng vỡ	155
7.7.1	Sự vỡ của sóng điều hoà	155
7.7.2	Sự vỡ của sóng ngẫu nhiên	162
8	NƯỚC DÂNG VÀ DÒNG VEN DO SÓNG TẠO RA	173
8.1	Giới thiệu	173
8.2	Ứng suất bức xạ: trường hợp 1 chiều	173
8.3	Nước dâng do sóng: trường hợp 1 chiều	175
8.4	Ứng suất bức xạ: trường hợp hai chiều	180

8.5 Dòng ven do sóng tạo ra	182
8.6 Nước dâng sóng gây ra do sóng vỡ	186
8.7 Dòng ven do sóng ngẫu nhiên gây ra trên một bãi phẳng	188
<b>9 LỰC SÓNG LÊN CÁC CÔNG TRÌNH</b>	<b>191</b>
9.1 Giới thiệu chung	191
9.2 Các thông số và chế độ dòng chảy	192
9.3 Lực sóng lên một bức tường	196
9.4 Lực sóng lên một công trình có thể tích lớn	199
9.5 Lực sóng lên một công trình nhỏ gọn	199
9.5.1 Giới thiệu chung	202
9.5.2 Lực của chất lỏng tác dụng lên các vật thể trong một dòng chảy đều và ổn định	202
9.5.3 Lực của chất lỏng tác dụng lên các vật thể trong một dòng chảy đều và không ổn định	205
9.5.4 Lực của chất lỏng tác dụng lên các vật thể nhỏ gọn khi có sóng	210
9.6 Tổng kết về các chế độ dòng chảy	212
9.7 Thí dụ	214
<b>10 ĐO ĐẠC VÀ DỰ BÁO SÓNG ĐẠI DƯƠNG</b>	<b>217</b>
10.1 Các kỹ thuật đo đạc sóng đại dương	217
10.1.1 Các kỹ thuật đo đạc tại chỗ	218
10.1.2 Các kỹ thuật viễn thám	221
10. Các phương pháp dự báo sóng cho FAS	224
10.2.1 Các đặc trưng thống kê của sóng ngoài hiện trường	225
10.2.2 Dự báo sóng cho FAS	228
10.3 Các phổ trung bình của sóng gió	235
10.4 Các phương pháp đơn giản để dự báo cho một vùng có độ sâu giới hạn	237
10.5 Sóng trong khu vực dự báo	242
10.6 Sóng trong khu vực phân tán	245
10.7 Các mô hình số trị để dự báo sóng	249
10.7.1 Các mô hình phân giải pha	250
10.7.2 Các mô hình tính pha trung bình cho vùng nước sâu	254
10.7.3 Các mô hình tính pha trung bình cho vùng nước nông	261
<b>11 CÁC ĐẶC TRƯNG SÓNG GIÓ TRONG VÙNG BIỂN VIỆT NAM</b>	<b>265</b>
11.1 Chế độ gió vùng biển nước ta	265
11.1.1 Những nhận xét chung	265
11.1.2 Vùng khí hậu biển miền Bắc và Bắc Trung bộ	266
11.1.3 Vùng khí hậu biển miền Trung và Nam Trung bộ	269
11.1.4 Vùng khí hậu biển miền đồng bằng miền Nam	270
11.1 Chế độ sóng vùng biển nước ta	272
11.2.1 Sóng tại Miền Bắc và Bắc Trung bộ	272
11.2.2 Các đặc trưng sóng gió ngoài khơi và duyên hải miền Trung	273
11.2.3 Các đặc trưng sóng gió ngoài khơi và duyên hải miền Nam	274
<b>Tài liệu tham khảo</b>	<b>275</b>

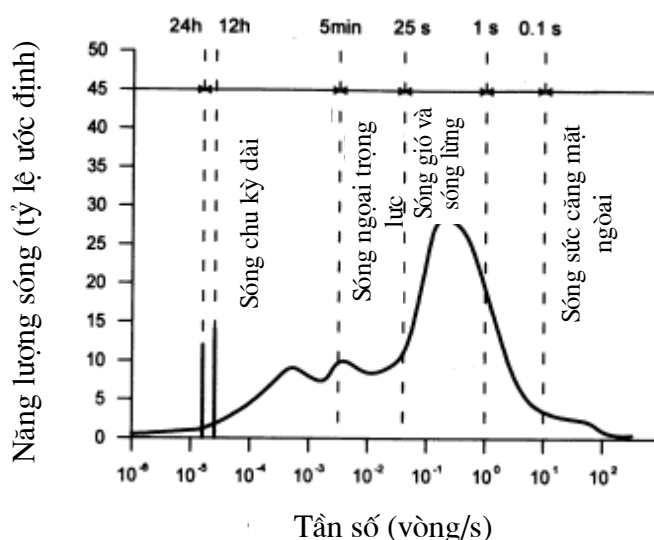
# Chương 1 LỜI GIỚI THIỆU

## 1.1 Mục đích và nội dung của giáo trình

Giáo trình này trình bày những vấn đề liên quan tới việc tạo ra, lan truyền, biến dạng và tiêu tán của sóng gió. Nội dung của giáo trình này nằm trung gian giữa một giáo trình lý thuyết cơ sở và một giáo trình thực hành dành cho kỹ sư. Lý thuyết toán học về sóng tiến hình sin và phương pháp thống kê mô tả sóng gió được trình bày chi tiết bởi vì chúng là cơ sở để hiểu về các quá trình sóng. Các trường hợp phức tạp hơn được trình bày sơ lược hơn vì chúng quá phức tạp (như mô hình số trị về sự lan truyền và biến dạng của sóng trong vùng ven bờ), hoặc là vì những lý thuyết toán học về chúng không tồn tại (thí dụ hiện tượng sóng vỡ). Sinh viên đăng ký học giáo trình này cần có những kiến thức cơ bản về giải tích và cơ học chất lỏng. Tuy nhiên, để giúp đỡ sinh viên có thể hiểu được những phương trình cơ bản của động lực học sóng, trong chương 2 những phương trình cơ bản và cần thiết của cơ học chất lỏng sẽ được rút ra và phân tích.

## 1.2 Sóng đại dương

Rất khó tìm thấy một mặt nước thoáng trong tự nhiên mà không có sóng. Các sóng này là sự thể hiện của các lực tác động lên mặt nước, chống lại những lực có xu hướng giữ cho mặt nước nằm ngang là trọng lực và sức căng mặt ngoài. Các lực này có thể là những lực gây nên bởi một cơn gió giật, hay lực gây nên bởi một hòn đá rơi xuống mặt nước. Các lực này sẽ tạo ra sóng, và trọng lực và sức căng mặt ngoài sẽ làm cho sóng lan truyền.



Hình 1. 1: Sơ đồ phân bố năng lượng sóng theo tần số (Massel, 1996)

Nói chung, các sóng trong đại dương có thể được phân chia thành 5 loại: sóng âm,

sóng sức căng mặt ngoài, sóng trọng lực, sóng nội và sóng có quy mô hành tinh. Sóng âm gây ra do tính nén được của nước biển. Sóng trọng lực là do lực trọng trường tác động lên các hạt nước đã bị dịch chuyển khỏi vị trí cân bằng trên bề mặt biển hay là trên một bề mặt đẳng địa thế bên trong một chất lỏng phân tầng (sóng mặt hay sóng nội). Tại bề mặt tiếp xúc giữa khí và nước, sự kết hợp của rối do gió và lực căng mặt ngoài tạo ra sóng sức căng mặt ngoài với tần số lớn. Mặt khác, sóng có quy mô hành tinh hay sóng Rossby được tạo ra bởi những biến đổi của độ xoáy thế trong tình trạng cân bằng, gây ra bởi những thay đổi của độ sâu hoặc vĩ độ. Tất cả những dạng sóng trên có thể xảy ra đồng thời, tạo ra những dạng dao động phức tạp.

Bảng 1.1: Chu kỳ và cơ chế thành tạo của các loại sóng khác nhau

Dạng sóng	Cơ chế vật lý thành tạo	Chu kỳ
Sóng sức căng mặt ngoài	Sức căng mặt ngoài	$< 10^{-1}$ s
Sóng gió	Ứng suất cắt của gió, trọng lực	$< 15$ s
Sóng lừng	Sóng gió	$< 30$ s
Sóng đập	Nhóm sóng	1 - 5 min
Seiche	Thay đổi về trường gió	2 - 40 min
Cộng hưởng cảng	Sóng đập, seich	2 - 40 min
Tsunami	Động đất, đất đá lở	10 min - 2 h
Nước dâng bão	Ứng suất gió và biến đổi của áp suất không khí	1 - 3 days
Sóng triều	Trọng lực gây ra do tác động của mặt trăng, mặt trời và lực ly tâm do trái đất quay	12 - 24 h

Dải tần số liên quan đến ngoại lực rất rộng và những phản ứng của bề mặt đại dương có một dải bước sóng và chu kỳ đặc biệt rộng, từ các sóng sức căng mặt ngoài có chu kỳ nhỏ hơn 1s, sóng gió và sóng lừng có chu kỳ tới chừng 15s, tới những sóng triều và sóng nước dâng do gió có chu kỳ vài giờ tới vài ngày. Hình 1.1 và Bảng 1.1 trình bày sơ đồ phân bố năng lượng sóng bề mặt theo tần số cũng như cơ chế hình thành các sóng này. Hình vẽ này cho ta khái niệm về tầm quan trọng tương đối của các dạng dao động khác nhau của bề mặt biển, nhưng không nhất thiết phản ánh năng lượng thực sự của mỗi sóng ở một vùng nào đó.

Sóng trọng lực có tầm quan trọng lớn nhất đối với những hoạt động kỹ thuật trên biển, vì ảnh hưởng của sóng do gió gây ra đối với các công trình biển là nguy hiểm nhất. Các

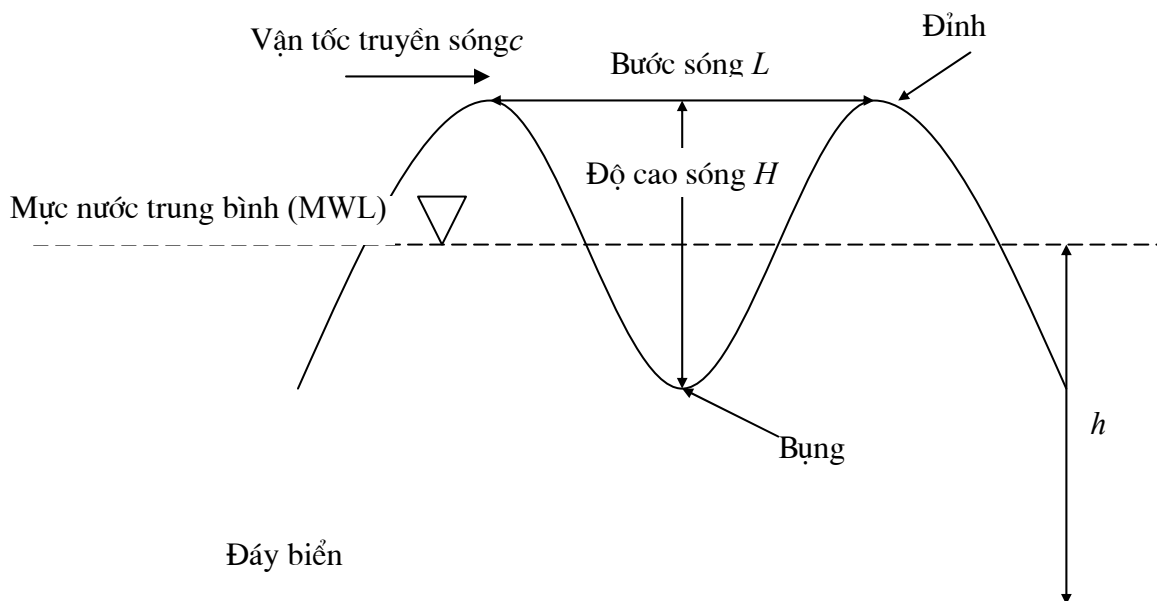


công trình biển cần được thiết kế sao cho chúng có khả năng chịu đựng tất cả các lực và vận tốc dòng nước do các sóng đó gây ra. Một hiểu biết đầy đủ về tương tác của sóng với các công trình ngoài khơi hiện nay đã trở thành một yếu tố quyết định cho việc tính toán thiết kế các công trình biển bền vững với chi phí tiết kiệm nhất. Thủ tục tính toán áp lực sóng nói chung bao gồm những bước sau đây: a) thiết lập chế độ sóng gần công trình b) đánh giá những điều kiện sóng thiết kế cho công trình và c) lựa chọn và áp dụng một mô hình tính sóng để xác định tải trọng của lực tác động lên công trình. Để thực hiện các việc trên, cần biết kiến thức về sóng bề mặt.

Vai trò của sóng đối với môi trường vùng ven biển cần được đánh giá đúng. Sóng tiến tới bờ, vỡ và tiêu tán năng lượng trên bãi cát. Sóng gió và sóng bão tác động những lực rất lớn lên các công trình tự nhiên và nhân tạo ven bờ. Dòng ven do sóng tạo ra kết hợp với các dòng chảy có nguyên nhân khác vận chuyển trầm tích và tạo ra những miền bồi và xói. Kiến thức về chuyển động sóng và cân cân bùn cát cho ta chìa khóa để lựa chọn đúng đắn phương pháp và loại công trình cần thiết cho bảo vệ bờ.

Những dạng khác của sóng đại dương, như sóng với quy mô hành tinh, sóng triều và nước dâng do gió, bão, sóng nội và sóng bị chặn tại vùng bờ, có vai trò nhỏ hơn đối với ngành kỹ thuật bờ biển và đại dương hoặc là đã được trình bày trong các sách chuyên khảo khác, sẽ không được trình bày ở trong giáo trình này.

### 1.3 Các định nghĩa cơ bản

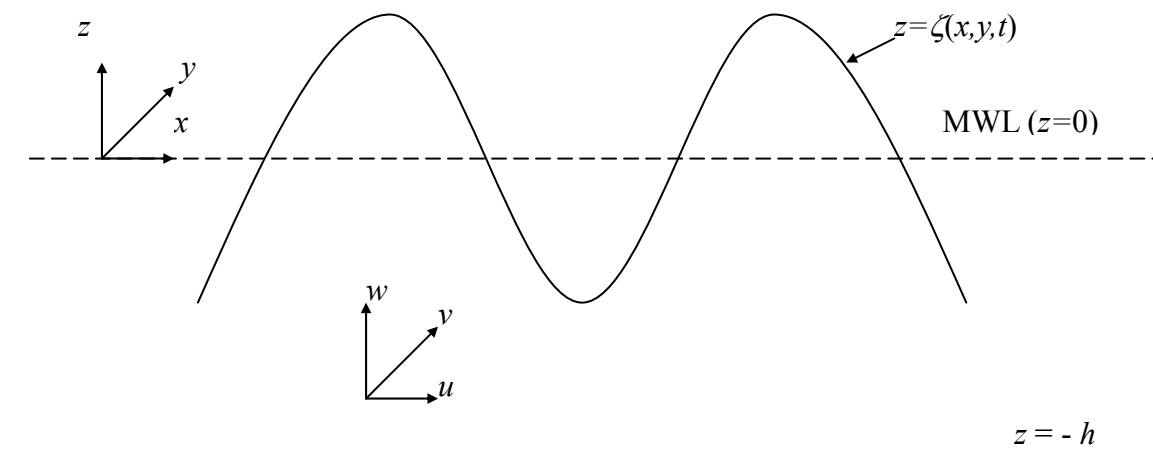


Hình 1.2 Các thông số để định nghĩa một sóng

Các thông số cần thiết để định nghĩa một sóng bề mặt được trình bày trên hình 1.2. Như đã chỉ ra trên hình, mực nước cao nhất trong một sóng được gọi là đỉnh sóng, mực nước thấp nhất được gọi là bụng sóng. Khoảng cách giữa một bụng sóng và một đỉnh sóng liên tiếp được gọi là độ cao sóng ( $H$ ). Một nửa của độ cao sóng là biên độ sóng  $a$ . Khoảng cách nằm ngang giữa hai đỉnh sóng liên tiếp được gọi là bước sóng  $L$ . Đối với một sóng tiến, thời gian để hai đỉnh sóng liên tiếp tới một điểm cố định trong không gian được gọi là chu kỳ sóng  $T$ . Tốc độ di chuyển của đỉnh một sóng tiến được gọi là vận tốc pha hay vận tốc truyền sóng. Các sóng có chu kỳ và độ cao tại một vị trí không thay đổi theo thời gian được gọi là sóng điều hòa. Sóng trong tự nhiên rất hiếm khi là sóng điều hòa và truyền theo một hướng cố định. Nếu một sóng ký được đặt đầu đó tại một điểm ở giữa đại dương để đo mực nước  $\zeta$  như là hàm của thời gian thì kết quả đo sẽ giống như trong Hình 1.3. Các sóng biểu diễn trên hình này được gọi là sóng ngẫu nhiên. Sóng do gió tạo thành độ ngẫu nhiên rất cao, nhưng sau khi lan truyền một quãng đường dài, chúng trở thành các sóng lừng có tính chất gần sóng điều hòa hơn.



Hình 1.3 Thí dụ về một giản đồ sóng ký



Hình 1.4 Hệ tọa độ

Để có thể mô tả chuyển động sóng, ta nhất thiết phải xác định một hệ tọa độ. Một hệ tọa độ Cartesian thông thường được dùng để mô tả chuyển động sóng được vẽ trên Hình 1.4.

Như đã chỉ ra trên hình, hệ tọa độ có gốc đặt tại mực nước trung bình ( $z=0$ ), và có trục  $x$  nằm ngang hướng theo phương truyền sóng và trục  $z$  hướng lên trên. Mực nước tự do trên MWL được ký hiệu là  $\zeta$ , và phương trình mô tả bề mặt thoáng trở thành  $z = \zeta(x, y, t)$ , với  $t$  là thời gian.

#### 1.4 Sóng ngắn và sóng dài

Theo quan điểm thủy lực, có thể phân chia dòng chảy thành những dạng khác nhau dựa trên tầm quan trọng tương đối của các thành phần khác nhau trong cân cân động lượng.

Nếu như ta xét đến động lượng theo phương thẳng đứng, có thể phân biệt dòng chảy mà trong đó không có hay có thể bỏ qua gia tốc theo phương thẳng đứng, và dòng chảy có giá trị đáng kể của gia tốc theo phương thẳng đứng. Trong thủy lực của dòng chảy dừng trong kênh hở, các dòng chảy nêu trên tương ứng là dòng chảy đều hay dòng chảy biến đổi chậm (đường cong nước vật) hoặc là dòng chảy dừng biến đổi nhanh (dòng chảy qua miệng cống, dòng chảy qua đập v.v.).

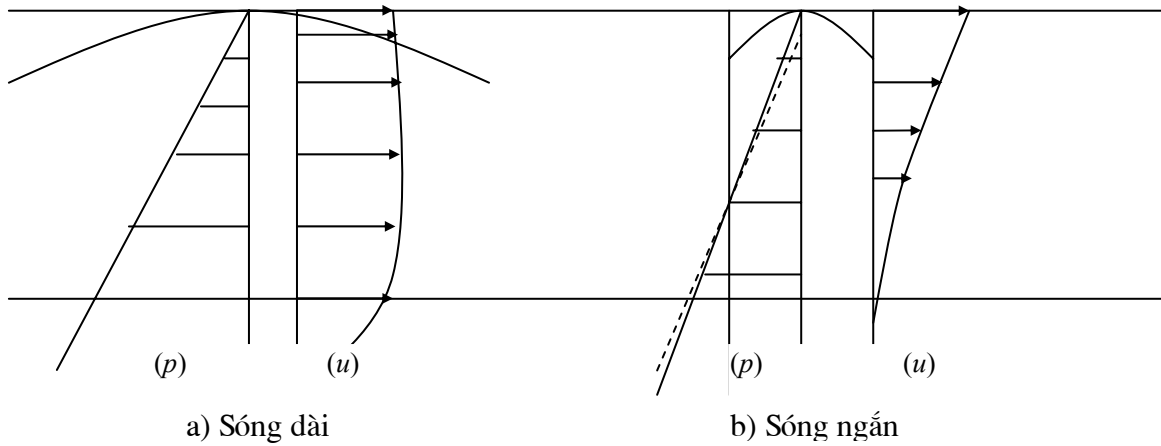
Trong dòng chảy biến đổi chậm, tốc độ biến đổi của vận tốc theo không gian là nhỏ. Nói một cách khác, bán kính cong của các đường dòng trong mặt phẳng thẳng đứng lớn hơn độ sâu nước rất nhiều. Điều này có nghĩa là gia tốc theo phương thẳng đứng là không đáng kể, và như vậy phân bố áp suất theo phương thẳng đứng rất gần với áp suất tĩnh. Khi đó, áp suất do sóng gây ra có thể coi là đồng nhất theo phương thẳng đứng. Gradient áp suất sẽ có xu hướng duy trì một dòng chảy đồng nhất theo phương thẳng đứng. Tuy rằng điều này có nghĩa là trong trường hợp này, ảnh hưởng của lực cản đáy trở nên đáng kể và như vậy lớp biên sát đáy sẽ tạo ra một dòng chảy không đồng nhất theo phương thẳng đứng, việc lấy trung bình dòng chảy theo phương thẳng đứng là hoàn toàn chấp nhận được. Kết quả là tọa độ thẳng đứng như một biến độc lập bị loại khỏi bài toán.

Sự khác biệt giữa dòng chảy biến đổi chậm và dòng chảy biến đổi nhanh cũng giống như sự khác biệt giữa sóng ngắn và sóng dài (thực ra thì sóng dài có thể coi là dòng chảy biến đổi chậm không dừng). Các khác biệt này được tập hợp trong Bảng 1.2 và được giải thích trên hình 1.5.

Bảng 1.2 Sự khác biệt giữa dòng chảy dừng biến đổi chậm (sóng dài) và dòng chảy dừng biến đổi nhanh (sóng ngắn)

Tính chất dòng chảy	Dòng chảy dừng biến đổi chậm và sóng dài	Dòng chảy dừng biến đổi nhanh và sóng ngắn
---------------------	--	--

Độ cong theo phương thẳng đứng của các đường dòng	Yếu	Mạnh
Gia tốc thẳng đứng	Không đáng kể	Đáng kể
Phân bố áp suất	Xấp xỉ thủy tĩnh	Tính phi thủy tĩnh rất đáng kể
Profile vận tốc	Gần như đồng nhất (ngoại trừ lớp biên đáy)	Rất không đồng nhất
Lực cản đáy	Đáng kể	Không đáng kể



Hình 1.4 Profile áp suất ( $p$ ) và vận tốc ( $u$ ) bên dưới sóng dài và sóng ngắn

## Chương 2 CÁC PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN CỦA CƠ HỌC CHẤT LỎNG

### 2.1 Các phương pháp mô tả dòng chảy của chất lỏng

Có hai phương pháp mô tả dòng chảy của chất lỏng. Phương pháp thứ nhất là phương pháp Lagrange. Phương pháp này khảo sát chuyển động của từng hạt lỏng trong không gian và theo thời gian. Phương pháp thứ hai là phương pháp Euler, khảo sát biến trình thời gian của các tính chất vật lý của chất lỏng tại những điểm cố định trong không gian. Trong bài giảng này, chỉ trừ khi nói rõ ràng, ta mặc nhiên thừa nhận là phương pháp Euler sẽ được dùng để mô tả chuyển động của chất lỏng do tính thuận tiện của nó. Trong phương pháp này, một hệ tọa độ cần được thiết lập và chuyển động của chất lỏng đối với hệ tọa độ đó sẽ được xem xét. Hệ tọa độ này có thể là hệ tọa độ được vẽ trên hình 1.4 hoặc trên hình 2.1.

### 2.2 Đạo hàm thời gian

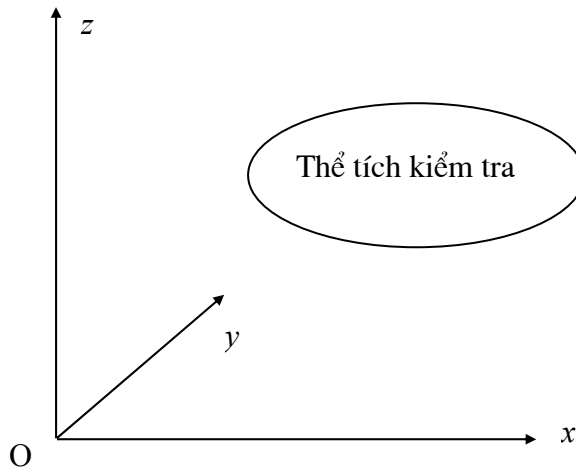
Giả thiết rằng ta dùng phương pháp Lagrange để mô tả chuyển động của chất lỏng và khảo sát sự thay đổi của một tính chất vật lý  $s$  của một hạt lỏng chuyển động cùng với chất lỏng. Tốc độ thay đổi toàn bộ của tính chất vật lý này có thể được chia thành hai phần: một phần biểu thị thay đổi theo thời gian của tính chất vật lý tại vị trí cho trước và một phần biểu thị sự thay đổi của tính chất vật lý gây ra do sự thay đổi vị trí của hạt lỏng. Như vậy, có thể viết phương trình sau:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{\partial s}{\partial t} + u_i \frac{\partial s}{\partial x_i} \quad (2.1)$$

Ở đây, quy định Einstein về việc tổng được lấy theo chỉ số lặp lại trong một số hạng đơn đã được áp dụng. Trong phương trình (2.1), ký hiệu  $d/dt$  biểu thị tốc độ thay đổi toàn phần của tính chất vật lý  $s$  của hạt lỏng và được coi là đạo hàm toàn phần hoặc là đạo hàm Lagrange. Ký hiệu  $\partial/\partial t$  biểu thị tốc độ thay đổi theo thời gian của tính chất vật lý tại một điểm cố định và được gọi là tốc độ thay đổi địa phương theo thời gian của tính chất vật lý đó.

### 2.3 Phương trình thể tích kiểm tra

Hình 2.1 chỉ ra một thể tích kiểm tra cố định trong không gian trong một hệ tọa độ cho trước. Tại một thời gian cho trước  $t$  nào đó, một khối chất lỏng lấp đầy thể tích kiểm tra này. Một lát sau, tại thời điểm  $t + \Delta t$ , một phần của khối chất lỏng này đã chảy ra khỏi thể tích kiểm tra và chất lỏng từ ngoài thể tích kiểm tra sẽ chảy vào trong để thay thế.



Hình 2.1 Thể tích kiểm tra và khối chất lỏng tại các thời điểm  $t$  và  $t + \Delta t$ .

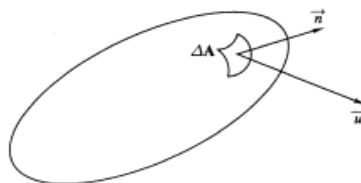
Giả thiết là  $B$  biểu thị tổng lượng của một tính chất nào đó của chất lỏng (như khối lượng, động lượng hay nhiệt lượng v.v.) chứa trong thể tích kiểm tra  $V$ . Ký hiệu  $b$  là lượng của  $B$  trên một đơn vị khối lượng (mật độ của  $B$ ) sao cho

$$B = \int_V \rho b dV \quad (2.2)$$

Định luật bảo toàn của tính chất vật lý yêu cầu rằng tốc độ thay đổi tổng cộng của tính chất vật lý bên trong thể tích kiểm tra bằng tốc độ thay đổi địa phương của tính chất vật lý cộng với tốc độ của tính chất vật lý ra khỏi thể tích kiểm tra trừ đi tốc độ của tính chất vật lý đi vào trong thể tích kiểm tra. Điều này khi thể hiện bằng phương trình thì có thể được viết như sau:

$$\frac{dB}{dt} = \int_{CV} \frac{\partial}{\partial t} \rho b dV + \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{B_{out} - B_{in}}{\Delta t} \quad (2.3)$$

Ở đây  $B_{out}$  và  $B_{in}$  lần lượt là lượng của tính chất vật lý ra khỏi và đi vào thể tích kiểm tra trong khoảng thời gian  $\Delta t$ .



Hình 2.2 Một diện tích vô cùng bé trên bề mặt của thể tích kiểm tra

Bởi vì tính chất  $B$  chuyển động cùng với chất lỏng, tốc độ chảy ra của  $B$  từ thể tích

kiểm tra chỉ có thể là hàm số của vận tốc dòng chảy trên bề mặt thể tích kiểm tra. Như chỉ ra trên hình 2.2, khối lượng chất lỏng chảy ra khỏi thể tích kiểm tra trong khoảng thời gian  $\Delta t$  qua một diện tích rất nhỏ trên bề mặt thể tích kiểm tra là  $\rho(\vec{u} \cdot \vec{n})\Delta A\Delta t$  với  $\vec{n}$  là vector đơn vị vuông góc với phần tử bề mặt  $\Delta A$  và hướng ra ngoài.  $(\vec{u} \cdot \vec{n})$  ký hiệu tích vô hướng của hai vector. Đại lượng  $B$  chảy ra khỏi phần tử bề mặt trong khoảng thời gian vô cùng bé này sẽ là  $\rho b(\vec{u} \cdot \vec{n})\Delta A\Delta t$ . Tích phân trên toàn bộ bề mặt cho ta:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{B_{out} - B_{in}}{\Delta t} = \int_S \rho b(\vec{u} \cdot \vec{n}) dA \quad (2.4)$$

Như vậy, phương trình (2.3) có thể được viết là:

$$\frac{dB}{dt} = \int_{CV} \frac{\partial}{\partial t} \rho b dV + \int_S \rho b(\vec{u} \cdot \vec{n}) dA \quad (2.5)$$

với  $S$  là diện tích của bề mặt thể tích kiểm tra.

Nếu như không có điểm nguồn hoặc điểm hút của tính chất vật lý ở bên trong thể tích kiểm tra thì ta sẽ có phương trình sau:

$$\frac{dB}{dt} = \int_{CV} \frac{\partial}{\partial t} \rho b dV + \int_S \rho b(\vec{u} \cdot \vec{n}) dA = 0 \quad (2.6)$$

Tại điểm này, ta có được phương trình bảo toàn cho thể tích kiểm tra. Tuy nhiên, rất khó đánh giá từng số hạng trong phương trình (2.6). Để có thể làm được điều này, như đã chỉ ra trên hình 2.3, thể tích kiểm tra được chia nhỏ thành một số vô hạn các thể tích kiểm tra vô cùng bé. Sau đó, thay vì khảo sát tốc độ chảy của tính chất vật lý ra khỏi thể tích kiểm tra, ta khảo sát tốc độ chảy của tính chất vật lý ra khỏi mỗi thể tích kiểm tra vô cùng bé. Tốc độ chảy ra khỏi một thể tích như thế này trừ đi tốc độ chảy vào thể tích này là

$$\begin{aligned} & \left( u_x + \frac{\partial u_x}{\partial x} \Delta x \right) \Delta y \Delta z + \left( u_y + \frac{\partial u_y}{\partial y} \Delta y \right) \Delta x \Delta z + \left( u_z + \frac{\partial u_z}{\partial z} \Delta z \right) \Delta y \Delta x \\ & - (u_x \Delta y \Delta z + u_y \Delta x \Delta z + u_z \Delta x \Delta y) = \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \Delta x \Delta y \Delta z = (\vec{\nabla} \cdot \vec{u}) \Delta V \end{aligned} \quad (2.7)$$

Ở đây  $\vec{\nabla} = \vec{i} \partial / \partial x + \vec{j} \partial / \partial y + \vec{k} \partial / \partial z$  với  $\vec{i}$ ,  $\vec{j}$  và  $\vec{k}$  lần lượt là các vector đơn vị theo các hướng  $x$ ,  $y$  và  $z$ .

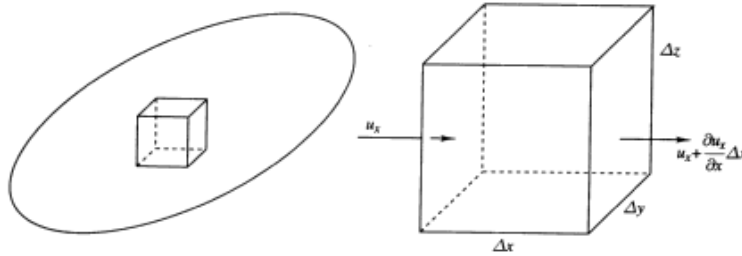
Lấy tổng của tất cả tốc độ chảy ra từ mỗi thể tích kiểm tra với giới hạn là thể tích của

mỗi phần tử tiến tới zero sẽ cho ta tốc độ chảy ra từ thể tích kiểm tra. Sau đó, dùng định lý phân kỳ để liên hệ giữa các tích phân thể tích và bề mặt, ta có:

$$\int_S \rho b (\vec{u} \cdot \vec{n}) dA = \int_{CV} \vec{\nabla} \cdot (\rho b \vec{u}) dV \quad (2.8)$$

Như vậy, từ các phương trình (2.5), (2.6) và (2.8), ta có thể rút ra phương trình sau:

$$\int_{CV} \left[ \frac{\partial}{\partial t} (\rho b) + \vec{\nabla} \cdot (\rho b \vec{u}) \right] dV = 0 \quad (2.9)$$



Hình 2.3 Các thể tích vô cùng bé bên trong thể tích kiểm tra

Bởi vì thể tích kiểm tra  $CV$  là tùy ý chọn, rõ ràng là nếu có một điểm trong không gian mà tại đó đại lượng trong ngoặc vuông bên vế trái của phương trình (2.9) khác zero, ta có thể điều chỉnh thể tích kiểm tra sao cho nó chỉ chứa điểm này. Điều này có nghĩa là tích phân bên vế trái của phương trình (2.9) khác zero và phương trình này không được thỏa mãn đối với thể tích kiểm tra này. Như vậy, để đảm bảo là phương trình (2.9) được thỏa mãn cho toàn bộ miền tính, đại lượng trong ngoặc vuông ở vế trái của phương trình (2.9) phải là zero tại tất cả mọi điểm trong miền nghiên cứu. Hay nói cách khác

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho b) + \vec{\nabla} \cdot (\rho b \vec{u}) = 0 \quad (2.10)$$

## 2.4 Định luật bảo toàn vật chất và phương trình liên tục

Nếu như đại lượng vật lý nói ở trên được lấy là khối lượng chất lỏng thì  $b$  trong phương trình (2.10) bằng 1, và phương trình bảo toàn vật chất trở thành

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{u}) = 0 \quad \text{or} \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (2.11)$$

Phương trình (2.11) thường được gọi là phương trình liên tục của dòng chảy lỏng.



## 2.5 Định luật bảo toàn động lượng và phương trình chuyển động

### 2.5.1 Phương trình chuyển động của Cauchy

Phương trình chuyển động được rút ra bằng cách liên hệ  $B$  với động lượng của toàn hệ thống. Động lượng là một đại lượng vector, là tích của khối lượng và vận tốc. Như vậy,  $b$  là vector vận tốc  $\vec{u}$ . Từ định luật chuyển động của Newton, tốc độ thay đổi của động lượng trong một hệ với khối lượng bất biến bằng lực tác dụng:

$$\frac{d\vec{B}}{dt} = \vec{F} \quad (2.12)$$

Ở đây  $\vec{F}$  là lực tác dụng lên hệ. Như vậy bằng cách sử dụng phương trình (2.12), phương trình (2.5) trở thành:

$$\vec{F} = \int_{CV} \frac{\partial}{\partial t}(\rho\vec{u})dV + \int_S \rho\vec{u}(\vec{u} \cdot \vec{n})dA \quad (2.13)$$

Trong đó  $\vec{F}$  là tổng của tất cả các lực tác dụng lên chất lỏng trong thể tích kiểm tra. Ký hiệu lực tác động lên một đơn vị khối lượng lỏng (mật độ lực) là  $\vec{f}$ , ta có:

$$\vec{F} = \int_{CV} \vec{f}dV \quad (2.14)$$

Dùng định lý phân kỳ và phương trình (2.14), có thể viết phương trình (2.13) cho mỗi thành phần trên mỗi hướng như sau:

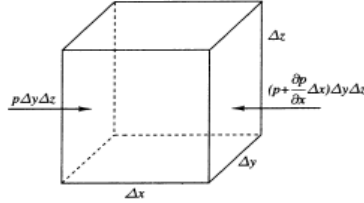
$$\int_{CV} \left[ f_i - \frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) - \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) \right] dV = 0 \quad (2.15)$$

Bởi vì thể tích kiểm tra là tùy ý, từ phương trình (2.15) ta có thể rút ra phương trình sau:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = f_i \quad (2.16)$$

Dùng phương trình liên tục (Eq. 2.11), ta có thể viết lại phương trình (2.16) như sau:

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = f_i \quad (2.17)$$



Hình 2.4 Lực áp suất theo hướng  $x$

Phương trình (2.17) là phương trình Cauchy của chuyển động của chất lỏng. Số hạng đầu tiên trong vế trái của phương trình biểu thị tốc độ thay đổi địa phương của động lượng tại một điểm trong khi số hạng thứ hai biểu thị tốc độ thay đổi của động lượng tại điểm đó gây ra do dòng chảy (ảnh hưởng của hiện tượng bình lưu).

Đối với bài toán sóng trọng lực bề mặt, chỉ có áp suất, ứng suất cắt và trọng lực là cần được xem xét. Áp suất dư tác động lên một đơn vị thể tích của chất lỏng có thể tìm được dễ dàng bằng cách xem xét hình lập phương vô cùng bé như chỉ ra trên hình 2.4. Trong hình, chỉ có lực áp suất tác động lên các bề mặt vuông góc với trục  $x$  là được vẽ. Lực áp suất dư tác động theo hướng  $x$  lên một đơn vị thể tích là:

$$\frac{1}{\Delta V} \left[ p\Delta y\Delta z - \left( p + \frac{\partial p}{\partial x} \Delta x \right) \Delta y\Delta z \right] = -\frac{\partial p}{\partial x} \quad (2.18)$$

Ứng suất cắt tác động theo hướng  $x$  lên một thể tích vô cùng bé được chỉ ra trên hình 2.5. Trong hình, chỉ số thứ nhất của  $\tau$  chỉ trục tọa độ vuông góc với bề mặt của hình lập phương và chỉ số thứ hai chỉ ra hướng của thành phần của ứng suất. Thành phần của ứng suất tác động theo hướng vuông góc với bề mặt được bao hàm trong áp suất và như vậy không được tính đến. Như đã chỉ ra trong hình, lực dư trên một đơn vị thể tích do ứng suất nhớt gây ra theo hướng  $i$  là:

$$(f_i)_\tau = -\left( \frac{\partial \tau_{xi}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yi}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zi}}{\partial z} \right) = -\frac{\partial \tau_{ji}}{\partial x_j} \quad (2.19)$$

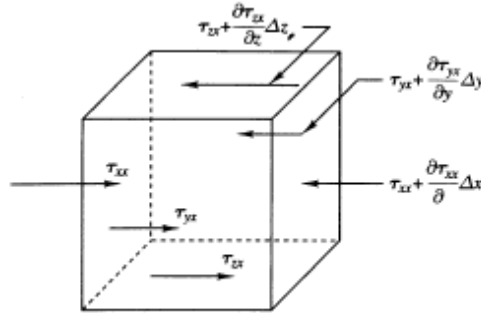
Trọng lực theo hướng  $i$  là tích của trọng lượng của phần tử được xem xét nhân với cosine của góc giữa phương thẳng đứng và hướng  $i$ .

$$(f_i)_g = -\rho g \frac{\partial h}{\partial x_i} \quad (2.20)$$

Ở đây, chiều dương của  $h$  hướng lên phía trên.

Tiếp theo, dùng các phương trình từ (2.18) tới (2.20), phương trình (2.17) trở thành

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} - \rho g \frac{\partial h}{\partial x_i} - \frac{\partial \tau_{ji}}{\partial x_j} \quad (2.21)$$



Hình 2.5 Ứng suất cắt theo hướng  $x$  trên thể tích vô cùng bé

Phương trình (2.21) chứa tensor ứng suất cắt  $\tau$ . Để có thể viết được phương trình này dưới dạng áp dụng được, tensor này nhất định phải được biểu thị dưới dạng những đại lượng cơ bản như vận tốc và những đạo hàm của nó. Để có thể làm được việc này, ta phải khảo sát kỹ các đặc tính của chất lỏng chuyển động.

### 2.5.2 Chuyển dịch, quay và vận tốc biến dạng

Hãy xem xét một điểm  $x_i^0$  trong một chất lỏng mà tại đó vận tốc là  $\vec{u}^0$  (xem hình 2.6). Tại một điểm lân cận với tọa độ là  $x_i^0 + \Delta x$ , vận tốc là  $\vec{u}^0 + \Delta \vec{u}$ . Giả thiết rằng  $\vec{u}$  là một hàm liên tục của các biến không gian thì ta có thể khai triển Taylor hàm này tại lân cận điểm  $x_i^0$  như sau:

$$\vec{u}^0 + \Delta \vec{u} = \vec{u}^0 + \frac{\partial \vec{u}}{\partial x_i} \Delta x_i + \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial x_i^2} \frac{(\Delta x_i)^2}{2!} + \dots \quad (2.22)$$

Bỏ qua các số hạng bậc hai và nhỏ hơn, từ phương trình (2.22) ta có thể rút ra phương trình sau:

$$\Delta u_i = \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \Delta x_j \quad (2.23)$$

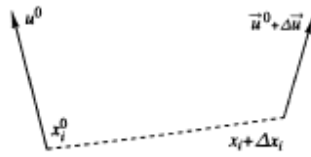
Hay, bằng cách cộng vào và trừ đi những số hạng giống nhau vào vế phải của phương trình (2.23), ta có:

$$\Delta u_i = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \Delta x_j + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \Delta x_j \quad (2.24)$$

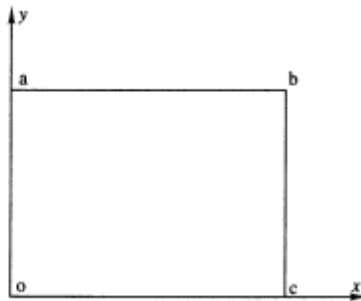
Như vậy tensor  $\partial u_i / \partial x_j$  đã được chia thành một tensor bất đối xứng  $\omega_{ij}$  và một tensor đối xứng  $d_{ij}$  lần lượt được định nghĩa như sau:

$$\omega_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (2.25)$$

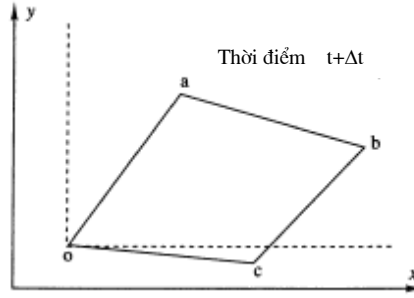
$$d_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (2.26)$$



Hình 2.6 Chuyển động của những điểm lân cận



Hình 2.7 Một phần tử lỏng ở vị trí ban đầu



Hình 2.8 Chuyển động của phần tử lỏng

Hãy xem xét một phần tử lỏng hình chữ nhật với một góc nằm tại gốc tọa độ, như trên hình 2.7. Chất lỏng chuyển động với vận tốc biến đổi trong không gian và vận tốc chuyển động của chất lỏng tại gốc tọa độ là  $\vec{u}^0$ , vận tốc tại điểm  $a$  là  $\vec{u}^a = \vec{u}^0 + (\partial\vec{u} / \partial y)\Delta y$ , và vận tốc tại điểm  $c$  là  $\vec{u}^c = \vec{u}^0 + (\partial\vec{u} / \partial x)\Delta x$ . Hãy xem xét hạt lỏng này sau một khoảng thời gian  $\Delta t$ , như thấy trên hình 2.8. Điểm  $o$  chuyển động được một quãng đường  $\vec{u}^0 \Delta t$ , điểm  $a$  chuyển động được một quãng đường  $\vec{u}^a \Delta t$ , v.v. Bởi vì vận tốc chuyển động tại các điểm khác nhau nói chung là khác nhau một chút, phần tử lỏng đã bị biến dạng và không còn là hình chữ nhật nữa. Để có thể thấy rõ tính chất của sự biến dạng này, trước hết ta hãy xem xét trường hợp

$$\frac{\partial u_x}{\partial y} = -\frac{\partial u_y}{\partial x} \quad \text{và} \quad \frac{\partial u_x}{\partial x} = \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0 \quad (2.27)$$

Bởi vì không có sự biến đổi vận tốc chuyển động theo hướng  $x$  dọc theo trục  $x$ , các cạnh  $a-b$  và  $o-c$  không dài ra và cũng không ngắn đi; tương tự, các cạnh  $o-a$  và  $b-c$  cũng giữ nguyên chiều dài. Sau một khoảng thời gian  $\Delta t$ , hạt lỏng trở thành hình dạng như trên hình 2.9. Điểm  $a$  đã chuyển động được một quãng đường dài hơn một khoảng là  $\partial u_x / \partial y \Delta y \Delta t$  theo hướng  $x$  so với điểm  $o$ , và điểm  $c$  đã chuyển động được một quãng đường dài hơn một khoảng là  $\partial u_y / \partial x \Delta x \Delta t$  theo hướng  $y$  so với điểm  $o$ . Góc giữa cạnh  $o-a$  và phương thẳng đứng là  $\partial u_x / \partial y \Delta t$ ; góc giữa cạnh  $o-c$  và phương nằm ngang là  $\partial u_y / \partial x \Delta t$ .

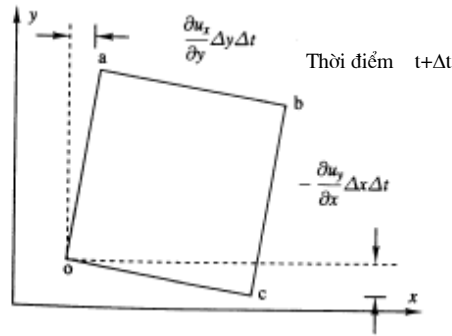
Như vậy, với những giả thiết như trên, phần tử lỏng đã trải qua một quá trình dịch chuyển vị trí và quay. Mở rộng lý luận cho ba chiều, ta thấy rằng điều kiện cho chuyển động như thế này là  $\omega_{ij} \neq 0$  và  $d_{ij} = 0$ . Xem xét tiếp tensor  $\omega_{ij}$  ta thấy rằng nó mô tả chuyển động quay của phần tử lỏng.

Để định lượng sự biến dạng của phần tử lỏng, một vector xoáy được định nghĩa như

sau:

$$\vec{\omega} = \frac{1}{2} \vec{\nabla} \times \vec{u} \quad (2.28)$$

Với ký hiệu  $\times$  biểu thị tích vector của hai vector.

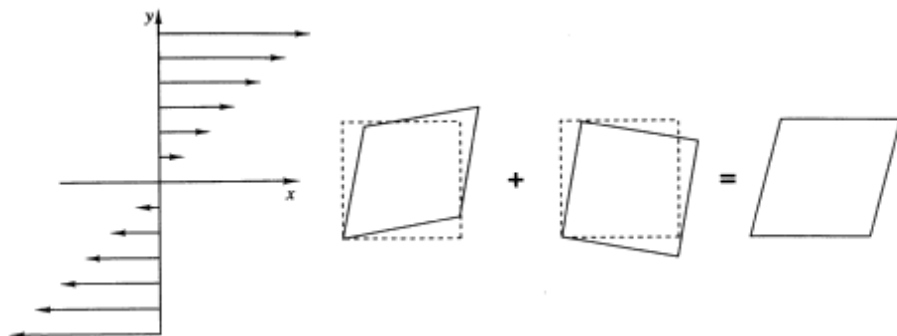


Hình 2.9 Sự quay của phần tử lỏng

Bởi vì  $\omega_{ij}$  đã được xác định là vận tốc quay của phần tử lỏng,  $d_{ij}$  có thể được xem là vận tốc biến dạng của phần tử lỏng. Có nghĩa là  $\omega_{ij}$  biểu thị sự quay của phần tử lỏng như là một vật rắn trong khi đó  $d_{ij}$  biểu thị sự chuyển động tương đối của các điểm khác nhau trên phần tử lỏng. Như vậy, chuyển động của một chất lỏng bao gồm:

1. một sự di chuyển của chất lỏng như với vật rắn cộng với
2. một sự quay của chất lỏng như với vật rắn (tensor bất đối xứng) cộng với
3. một sự biến dạng (tensor đối xứng).

Các hiệu ứng trên được diễn tả bằng một chuyển động đơn giản với vận tốc biến đổi như thấy trên hình 2.10. Một phần tử lỏng gần gốc tọa độ bị biến dạng và quay như trên hình vẽ để tạo ra một dòng chảy như thế này.



Hình 2.10 Dòng chảy với vận tốc biến đổi tạo ra chuyển động quay và

## chuyển động biến dạng thuần túy

### 2.5.3 Mối liên hệ giữa vận tốc biến dạng và ứng suất – Phương trình Navier-Stokes

Trong phương trình chuyển động của chất lỏng, tensor ứng suất cắt nhất định phải được liên hệ với những tính chất vật lý của dòng chảy. Cơ sở cho mối liên hệ này là định luật Newton về tính nhớt. Nếu như có một chất lỏng với vận tốc chảy theo hướng trục  $x$  chỉ biến đổi theo hướng trục  $y$  thì ứng suất cắt tác động lên một đơn vị diện tích bề mặt vuông góc với trục  $y$  chỉ có một thành phần theo hướng  $x$  và được biểu thị như sau:

$$\tau_{yx} = -\mu \frac{du_x}{dy} \quad (2.29)$$

Trong đó  $\mu$  là hệ số tỷ lệ giữa ứng suất nhớt và gradient vận tốc và được gọi là độ nhớt (hay độ nhớt động lực) của chất lỏng.

Độ nhớt là một tính chất của chất lỏng và là một hằng số cơ bản theo quan điểm cơ học chất lỏng. Một chất lỏng tuân theo định luật Newton được gọi là *chất lỏng Newton*. Các chất lỏng không tuân theo định luật này được gọi là các chất lỏng *phi Newton*. May mắn là nước và không khí trong những điều kiện thông thường nhất là các chất lỏng Newton.

Dấu âm trong phương trình (2.29) có nghĩa là động lượng được vận chuyển từ nơi cao (với vận tốc lớn) tới nơi thấp (với vận tốc nhỏ).

Dùng định luật Newton về tính nhớt, ta có thể rút ra phương trình chuyển động cơ bản của chất lỏng, phương trình Navier-Stokes như sau

$$\rho \frac{du_i}{dt} = \rho \left( \frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_i^2} + \rho g_i \quad (2.30)$$

với  $g_i$  là thành phần gia tốc trọng trường theo phương  $i$ .

Phương trình Navier-Stokes có thể viết dưới dạng vector như sau:

$$\rho \left( \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} \right) = -\nabla p + \mu \Delta \vec{u} + \rho \mathbf{g} \quad (2.31)$$

Ở đây  $\Delta = \partial^2 / \partial x^2 + \partial^2 / \partial y^2 + \partial^2 / \partial z^2$  là ký hiệu của toán tử Laplace, và  $\mathbf{g}$  vector gia tốc trọng trường.

Phương trình Navier-Stokes (2.31) biểu thị sự bảo toàn động lượng của chất lỏng. Số hạng đầu tiên trong ngoặc đơn ở vế trái của phương trình này biểu thị tốc độ biến đổi địa phương của động lượng, số hạng thứ hai biểu thị tốc độ biến đổi của động lượng gây ra do

bình lưu (hay đối lưu); số hạng thứ nhất ở vế phải biểu thị sự biến đổi của động lượng gây ra bởi áp suất, số hạng thứ hai biểu thị sự khuếch tán động lượng gây ra bởi độ nhớt, và số hạng cuối cùng biểu thị sự thay đổi của động lượng gây ra bởi trọng lực.

Các phương trình Navier-Stokes cho các thành phần vận tốc dòng chảy theo các hướng (2.30) cùng với phương trình liên tục (2.11) tạo nên một hệ bốn phương trình cho bốn ẩn dùng để mô tả dòng chảy: ba thành phần vận tốc dòng chảy theo ba hướng và áp suất. Đối với các bài toán cơ học chất lỏng nói chung, mật độ của chất lỏng cũng là những đại lượng chưa biết và cần phải được xác định dựa trên phương trình trạng thái. Tuy nhiên, trong các bài toán về sóng gió, mật độ nước có thể xem là không đổi.

#### 2.5.4 Chất lỏng lý tưởng

Một chất lỏng có độ nhớt bằng không được gọi là chất lỏng lý tưởng. Đối với loại chất lỏng này, phương trình liên tục và phương trình động lượng có thể được viết như sau:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (2.32)$$

$$\rho \left( \frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho g_i \quad (2.33)$$

Phương trình (2.33) được gọi là phương trình Euler của dòng chảy. Trong các bài toán về sóng, loại trừ sóng vỡ gần bờ, sóng gần công trình và sóng trong nước rất nông, ảnh hưởng của độ nhớt là có thể bỏ qua và nước được coi là chất lỏng lý tưởng.

Đối với những vấn đề thuộc động lực sóng, nước có thể được coi là không nén được và như vậy các phương trình (2.32) và (2.33) trở thành:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2.34)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + g_i \quad (2.35)$$

Chuyển động của chất lỏng lý tưởng có thể coi là không xoáy mặc dù trong thực tế nó có thể quay với một tốc độ quay không đổi. Trong trường hợp này, nếu ta xem xét một hạt lỏng hình cầu, ta thấy rằng tất cả các lực là gây ra bởi áp suất và trọng lực mà không có lực gây ra do biến dạng cắt. Như vậy, tất cả các lực phải tác dụng theo hướng vào tâm của hạt lỏng và không có lực nào gây ra (hay buộc dừng lại) chuyển động quay. Điều kiện không có chuyển động quay được biểu thị như sau:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} = 0 \quad (2.36)$$



Khi một chuyển động là không xoáy, có thể biểu thị dòng chảy bằng *thế vận tốc*  $\Phi$ , được định nghĩa như sau:

$$u_i = \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \quad (2.37)$$

Thay thế phương trình (2.37) vào (2.36) cho thấy rằng điều kiện không xoáy được tự động thỏa mãn. Ngược lại, thế vận tốc tồn tại chỉ khi nào dòng chảy là không xoáy.

Tiếp tục, ta giả thiết rằng ngoài tính không nhớt, chất lỏng là không nén được. Khi đó phương trình liên tục biểu thị phân kỳ bằng không:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2.38)$$

Thế (2.37) vào (2.38) cho ta:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x_i^2} = \Delta \Phi = 0 \quad (2.39)$$

Phương trình này được gọi là phương trình *Laplace's*. Bài toán dòng chảy không nhớt đã trở thành bài toán với một phương trình cho một ẩn là thế vận tốc  $\Phi$ . Hơn nữa, phương trình này là tuyến tính trong khi hệ phương trình ban đầu là phi tuyến. Như vậy, các giả thiết (hay phép xấp xỉ) về tính không xoáy và tính không nén được đã cho ta những đơn giản hóa vô cùng lớn.

Một khi đã biết thế vận tốc bằng cách giải phương trình (2.39), phương trình chuyển động cho phép ta tính được áp suất. Thế định nghĩa của thế vận tốc, phương trình (2.37) vào phương trình (2.35) cho ta:

$$\frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x_i \partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + g_i \quad (2.40)$$

Số hạng thứ hai của phương trình (2.40) có thể được biểu thị là:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x_i \partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{1}{2} \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \right) = \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{u_j u_j}{2} \quad (2.41)$$

Chú ý rằng  $u_j u_j = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 = u^2$  và gia tốc trọng trường chỉ có một thành phần theo phương thẳng đứng, sau khi đã thay đổi thứ tự đạo hàm, phương trình (2.40) có thể được viết lại dưới dạng:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{1}{2} u^2 + \frac{p}{\rho} + gz \right) = 0 \quad (2.42)$$

Phương trình (2.42) chỉ ra rằng đại lượng trong ngoặc đơn là không thay đổi theo các

tọa độ không gian. Như vậy, nếu như có biến đổi, nó chỉ có thể là hàm của thời gian

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{1}{2}u^2 + \frac{p}{\rho} + gz = f(t) \quad (2.43)$$

Nếu chuyển động là dừng, vế phải của phương trình này trở thành hằng số. Ta có thể lấy hằng số đó bằng không và rút ra được phương trình sau:

$$\frac{1}{2}u^2 + \frac{p}{\rho} + gz = 0 \quad (2.44)$$

Phương trình này được gọi là phương trình *Bernoulli*, được rút ra với các giả thiết (1) chất lỏng không nén được, (2) dòng chảy không xoáy, và (3) dòng chảy dừng. Với hầu hết các dòng chảy, điều kiện không xoáy có nghĩa là không có ứng suất cắt và như vậy không cần điều kiện là dòng chảy không có ma sát. Với những giới hạn này, phương trình (2.44) là một phương trình cho một điểm (ngược với phương trình dạng tích phân áp dụng cho một thể tích), bởi vì nó được rút ra từ một phương trình vi phân và được áp dụng cho tất cả các điểm trong trường dòng chảy.

# Chương 3 LÝ THUYẾT TUYẾN TÍNH VỀ SÓNG BỀ MẶT TRONG VÙNG NƯỚC CÓ ĐỘ SÂU KHÔNG ĐỔI

## 3.1 Các phương trình cơ bản và điều kiện biên

### 3.1.1 Các giả thiết trong lý thuyết sóng tuyến tính

Trong chương này và chương 4, chỉ có những lý thuyết cơ bản nhất về sóng đại dương được trình bày. Nói một cách khác, tất cả những hiệu ứng không quan trọng đối với hiện tượng sóng trọng lực bề mặt sẽ bị bỏ qua. Hơn nữa, để đơn giản hóa, các giả thiết sau đây được sử dụng trong lý thuyết sóng tuyến tính:

- chất lỏng không nhớt có mật độ không đổi (không nén được và đồng nhất) dưới ảnh hưởng của trọng lực;
- không có lực tác động lên bề mặt tự do phía trên của chất lỏng;
- có thể bỏ qua sức căng mặt ngoài;
- đáy của chất lỏng là đáy rắn, không thấm nước và nằm ngang;
- sóng tuần hoàn, đỉnh dài và lan truyền mà không thay đổi hình dạng.

Các thông số độc lập đủ để mô tả chuyển động sóng tương ứng với những giả thiết trên là:

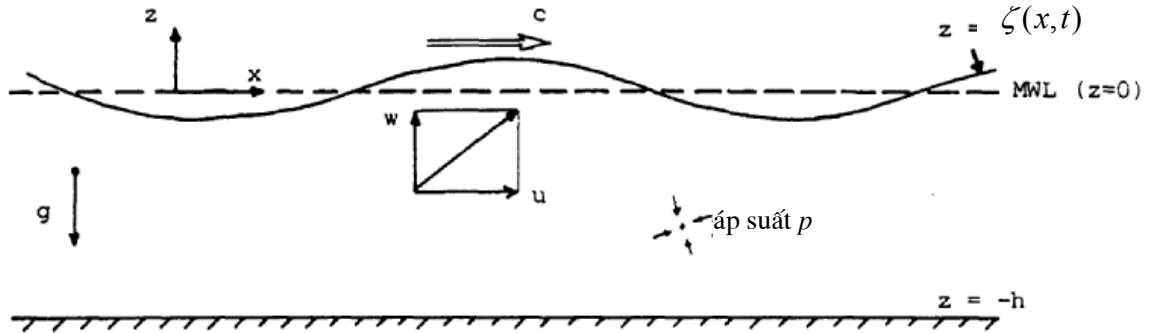
- khối lượng riêng ( $\rho$ )
- gia tốc trọng trường ( $g$ )
- độ sâu trung bình ( $h$ )
- độ cao sóng ( $H$ )
- bước sóng ( $L$ )

Độ sâu tương đối  $h/L$  là một biến quan trọng để đánh giá ảnh hưởng của đáy lên chuyển động sóng, như đã trình bày trong chương 1. Tỷ số  $H/L$ , được gọi là độ dốc sóng, là thước đo cường độ chuyển động sóng. Tỷ số này không thể vượt quá một giá trị cho trước có bậc  $10^{-1}$ , bởi vì hiện tượng sóng vỡ.

Trong chương này, các phương trình cơ bản mô tả chuyển động sóng với những giả thiết trên sẽ được rút ra.

Bởi vì sóng được nghiên cứu là sóng tuần hoàn, có đỉnh dài (sóng hai chiều hay sóng đơn) lan truyền mà không thay đổi hình dạng, nếu hướng trục  $x$  theo hướng lan truyền của

sóng, bài toán biến thành bài toán hai chiều. Như vậy, hệ tọa độ mà chúng ta chọn sẽ giống như trên hình 3.1.



Hình 3.1 Hệ tọa độ và các thông số cần thiết

Để dàng tìm ra rằng với hệ tọa độ này, phương trình mô tả bề mặt tự do khi có một sóng truyền theo hướng trục  $x$  với tốc độ truyền sóng  $c$  có thể được viết như sau:

$$z = \zeta(x - ct) \quad (3.1)$$

Mối liên hệ giữa bước sóng, vận tốc truyền sóng và chu kỳ có thể được viết như sau:

$$L = cT \quad (3.2)$$

Các biến phụ thuộc mô tả trường dòng chảy khi có sóng là các thành phần vận tốc dòng chảy theo các trục  $x$  và  $z$  và áp suất. Các biến này lần lượt được ký hiệu lần lượt là  $u$ ,  $w$  và  $p$ .

### 3.1.2 Điều kiện không nén được – Phương trình liên tục

Như đã chỉ ra, bài toán được xem xét có thể coi là bài toán hai chiều. Trong trường hợp này, như đã chỉ ra trong chương 2 (phương trình 2.34), điều kiện không nén được của chất lỏng dẫn đến phương trình liên tục có dạng sau:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (3.3)$$

### 3.1.3 Các phương trình động lượng

Với các giả thiết trong phần (3.1.1), phương trình động lượng cho chuyển động hai chiều của chất lỏng (các phương trình 2.35) khi có sóng có thể được viết như sau:

$$\frac{du}{dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (3.4)$$

$$\frac{dw}{dt} = \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad (3.5)$$

Các phương trình (3.4) và (3.5) không đối xứng vì có sự xuất hiện của  $g$  trong (3.5).

Hai phương trình này có thể viết dưới dạng tương tự bằng cách thế  $g = (\partial/\partial z)(gz)$  vào (3.5) và cộng thêm một đại lượng bằng không  $(\partial/\partial x)(gz)$  vào (3.4). Việc này cho ta một phương trình đối xứng:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p}{\rho} + gz \right) = 0 \quad (3.6)$$

và:

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{p}{\rho} + gz \right) = 0 \quad (3.7)$$

Vì sóng là sóng hai chiều, chúng ta chỉ đưa ra các điều kiện biên tại mặt thoáng và tại đáy. Điều kiện động học cho chất lỏng không nhớt chỉ ra rằng không có hạt lỏng nào xuyên qua bề mặt bao bọc chất lỏng. Điều này dẫn tới các phương trình sau:

$$w = 0 \quad \text{tại } z = -h \quad (3.8)$$

và:

$$w = \frac{d\zeta}{dt} \quad \text{tại } z = \zeta(x, t) \quad (3.9)$$

Phương trình (3.9) có thể khai triển thành:

$$w = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial \zeta}{\partial x} \quad \text{tại } z = \zeta(x, t) \quad (3.10)$$

Điều kiện biên động lực liên quan tới ứng suất. Bởi vì đáy là cứng nên không một điều kiện biên nào cần thiết tại đáy. Điều kiện không có ứng suất tại mặt thoáng cho ta:

$$p = 0 \quad \text{tại } z = \zeta(x, t) \quad (3.11)$$

Điều kiện là ứng suất cắt bằng không tại mặt thoáng không cần đưa ra ở đây vì chất lỏng được giả thiết là không nhớt, và như vậy ứng suất cắt bằng không tại tất cả mọi nơi.

Như đã chỉ ra trong chương 2, cường độ xoáy của một chất lỏng lý tưởng bằng hằng số. Như vậy, chuyển động bất đầu không có xoáy sẽ mãi mãi không xoáy.

Đối với một chất lỏng thực khi có sóng, các xoáy có thể được tạo thành trong lớp biên do sóng. Tuy nhiên, ngoại trừ đối sóng vỡ, độ dày của lớp biên khi có sóng là rất nhỏ. Bên ngoài lớp biên mỏng này, dòng chảy do sóng tạo nên có thể coi là không xoáy.

Như đã chỉ ra trong chương 2, điều kiện không xoáy đảm bảo sự tồn tại của một thế vận tốc  $\Phi$  thỏa mãn phương trình Laplace:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0 \quad (3.12)$$

Trong trường hợp này, ta có thể đưa hàm  $f(t)$  trong vế phải của phương trình Bernoulli (2.43) vào trong thế vận tốc mà không đánh mất tính tổng quát của bài toán. Như vậy, phương trình Bernoulli (2.43) trở thành:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{1}{2}u^2 + \frac{p}{\rho} + gz = 0 \quad (3.13)$$

Với thế vận tốc, các phương trình điều kiện biên cho dòng chảy khi có sóng ((3.8), (3.10) và (3.13)) trở thành:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \quad \text{tại } z = -h \quad (3.14)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial \Phi}{\partial x} \frac{\partial \zeta}{\partial x} \quad \text{tại } z = \zeta(x, t) \quad (3.15)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{p}{\rho} + gz = 0 \quad \text{tại } z = \zeta(x, t) \quad (3.16)$$

Đồng thời, ta tuyến tính hóa các phương trình (3.15) và (3.16) bằng cách bỏ qua các số hạng bậc hai, tức là  $u^2$  và  $v^2$ , và các điều kiện biên động lực trên bề mặt (3.15) và (3.16) cho ta các điều kiện biên sau đây:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \left( \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right)_{z=\zeta} \quad (3.17)$$

$$\zeta = -\frac{1}{g} \left( \frac{\partial \Phi}{\partial t} \right)_{z=\zeta} \quad (3.18)$$

Để có thể sử dụng các điều kiện biên này, cần phải giả thiết thêm là biên độ của các sóng là đủ nhỏ để các phương trình (3.17) và (3.18) có thể được đơn giản hóa thành các điều kiện biên:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \left( \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right)_{z=0} \quad (3.19)$$

$$\zeta = -\frac{1}{g} \left( \frac{\partial \Phi}{\partial t} \right)_{z=0} \quad (3.20)$$

Cùng với các điều kiện biên (3.14), (3.19) và (3.20), cần phải chú ý rằng nghiệm vật lý của bài toán truyền sóng phải là điều hòa cả theo biến không gian  $x$  và thời gian  $t$ .

### 3.2 Lời giải giải tích của bài toán sóng trọng lực bề mặt

Bài toán biên hoàn chỉnh cho sóng trọng lực bề mặt có thể được phát biểu lại như sau. Phương trình vi phân:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0 \quad (3.21)$$

với các điều kiện biên:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \quad \text{tại } z = -h \quad (3.22)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \left( \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) \text{ tại } z = 0 \quad (3.23)$$

$$\zeta = -\frac{1}{g} \left( \frac{\partial \Phi}{\partial t} \right) \text{ tại } z = 0 \quad (3.24)$$

Để giải bài toán này với các điều kiện biên, ta giả thiết rằng thế vận tốc có thể được biểu thị như sau:

$$\Phi(x, z, t) = X(x)Z(z)T(t) \quad (3.25)$$

Với  $X, Z$  và  $T$  lần lượt là các hàm chỉ của các biến số  $x, z$  và  $t$ .

Thế (3.25) vào (3.21), chúng ta có:

$$\frac{X''}{X} = -\frac{Z''}{Z} = -k^2 \quad (3.26)$$

với dấu phẩy kép biểu thị đạo hàm bậc hai và  $k^2$  là một hằng số. Kết quả là ta có hai phương trình vi phân thường:

$$X'' + k^2 X = 0 \quad (3.27)$$

$$Z'' - k^2 Z = 0 \quad (3.28)$$

Nghiệm của (3.27) và (3.28) là  $X = B \cos kx + D \sin kx$  và  $Z = Ee^{kz} + Ge^{-kz}$  với  $B, D, E$  và  $G$  là các hằng số tích phân. Như vậy, nghiệm có thể viết dưới dạng:

$$\Phi(x, z, t) = (B \cos kx + D \sin kx)(Ee^{kz} + Ge^{-kz})T(t) \quad (3.29)$$

Từ quan điểm vật lý, ta có thể thấy rằng đối với sóng đơn, nghiệm nhất thiết phải là hàm tuần hoàn đơn giản của biến thời gian. Như vậy, có thể biểu thị  $T(t)$  bằng các hàm  $\cos \omega t$  hay  $\sin \omega t$ .

Có bốn tổ hợp độc lập của các số hạng thỏa mãn điều kiện tuần hoàn cả với  $x$  và  $t$  và là nghiệm của phương trình Laplace là:

$$\Phi_1 = A_1 Z(z) \cos kx \cos \omega t \quad (3.30)$$

$$\Phi_2 = A_2 Z(z) \sin kx \sin \omega t \quad (3.31)$$

$$\Phi_3 = A_3 Z(z) \sin kx \cos \omega t \quad (3.32)$$

$$\Phi_4 = A_4 Z(z) \cos kx \sin \omega t \quad (3.33)$$

Triển khai nghiệm dưới dạng này cho phép ta tìm giá trị của các hằng số tích phân. Bởi vì phương trình Laplace là tuyến tính, một tổ hợp thích hợp của các nghiệm này sẽ thỏa mãn cả phương trình Laplace và các điều kiện biên.

Các điều kiện biên (3.22) và (3.24) bây giờ sẽ được áp dụng cho nghiệm (3.30). Từ (3.30),  $\partial \Phi_1 / \partial z = kA_1 (Ee^{kz} - Ge^{-kz}) \cos kx \cos \omega t$ .

Áp dụng điều kiện  $\partial \Phi_1 / \partial z = 0$  tại  $z = -h$  cho ta  $Ee^{-kh} = Ge^{kh}$ . Vì vậy:

$$E = Ge^{2kh} \quad (3.34)$$

Từ đó ta có:

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= 2A_1Ge^{kh} \frac{e^{k(z+h)} + e^{-k(z+h)}}{2} \cos kx \cos \omega t \\ &= 2A_1Ge^{kh} \cosh k(z+h) \cos kx \cos \omega t \end{aligned} \quad (3.35)$$

Áp dụng điều kiện biên tại mặt thoáng  $\zeta_1 = -1/g(\partial\Phi_1/\partial t)_{z=0}$  cho ta  $\zeta_1 = (2\omega A_1Ge^{kh}/g) \cosh k(z+h) \cos kx \sin \omega t$ . Giá trị cực đại của  $\zeta$  là biên độ  $a$  xảy ra khi  $\cos kx \sin \omega t = 1$ . Như vậy:

$$A_1Ge^{kh} = \frac{ag}{2\omega \cosh kh} \quad (3.36)$$

Và điều này dẫn tới:

$$\zeta_1 = a \cos kx \sin \omega t \quad (3.37)$$

Phương trình này diễn tả một hệ “sóng đứng” với bước sóng là  $L = 2\pi/k$  và biên độ  $a$ . Thế vận tốc  $\Phi_1$  giờ trở thành:

$$\Phi_1 = \frac{aG \cosh k(z+h)}{\omega \cosh kh} \cos kx \cos \omega t \quad (3.38)$$

Điều kiện cần để cho  $\Phi_1$  là hàm tuần hoàn của  $x$  với bước sóng  $L$  là  $k$  được định nghĩa là  $k = 2\pi/L$ . Đại lượng này được gọi là số sóng.

Có thể tìm các hằng số khác trong các nghiệm cơ bản của  $\Phi$  bằng phương pháp trên. Kết quả là ta có:

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= \frac{aG \cosh k(z+h)}{\omega \cosh kh} \cos kx \cos \omega t \\ \Phi_2 &= \frac{aG \cosh k(z+h)}{\omega \cosh kh} \sin kx \sin \omega t \\ \Phi_3 &= \frac{aG \cosh k(z+h)}{\omega \cosh kh} \sin kx \cos \omega t \\ \Phi_4 &= \frac{aG \cosh k(z+h)}{\omega \cosh kh} \cos kx \sin \omega t \end{aligned}$$

Vì tính chất tuyến tính của phương trình Laplace, một tổ hợp tuyến tính của các nghiệm trên cũng là nghiệm. Như vậy:

$$\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = \frac{aG \cosh k(z+h)}{\omega \cosh kh} \cos(\omega t - kx) \quad (3.39)$$

Như ta sẽ chỉ ra dưới đây, phương trình (3.39) là thế vận tốc của một sóng tiến theo hướng trục  $x$ . Từ (3.24) và (3.39), ta có phương trình mô tả mặt nước:

$$\zeta = -\frac{1}{g} \left( \frac{\partial\Phi}{\partial t} \right)_{z=0} = a \sin(\omega t - kx) \quad (3.40)$$

Phương trình này tuần hoàn cả theo  $x$  và  $t$ . Nghiệm này thường được coi là nghiệm



sóng tiến. Đại lượng:

$$\psi(x, t) = \omega t - kx \quad (3.41)$$

được gọi là pha sóng.

Nếu ta chuyển động cùng với sóng sao cho tại tất cả các thời điểm  $t$  vị trí tương đối của chúng ta đối với mặt sóng là cố định. Khi đó pha  $\psi(x, t) = (\omega t - kx)$  sẽ là hằng số. Tốc độ di chuyển của ta phải thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\omega}{k} = \frac{L}{T} = c \quad (3.42)$$

$c$  được gọi là vận tốc pha của sóng, hay là vận tốc truyền sóng. Như vậy, phương trình (3.39) là thế vận tốc của một sóng tiến theo hướng trục  $x$ .

Ta có thể thấy rằng với phương trình (3.39) ta có thể mô tả hoàn chỉnh trường vận tốc bên dưới một sóng. Đồng thời, từ phương trình Bernoulli ta có thể xác định trường áp suất.

Bằng cách tương tự, ta có thể tìm được thế vận tốc cho một sóng tiến theo hướng âm của trục  $x$  bằng tổ hợp  $(\Phi_1 + \Phi_2)$  như sau:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = \frac{aG \cosh k(z+h)}{\omega \cosh kh} \cos(kx + \omega t) \quad (3.43)$$

Dao động mực nước trong trường hợp này là:

$$\zeta = a \sin(kx + \omega t) \quad (3.44)$$

Tương tự ta có:

$$\Phi = -(\Phi_3 + \Phi_4) = \frac{aG \cosh k(z+h)}{\omega \cosh kh} \cos(kx - \omega t) \quad (3.45)$$

$$\zeta = a \sin(kx - \omega t) \quad (3.46)$$

và:

$$\Phi = -(\Phi_4 - \Phi_3) = -\frac{aG \cosh k(z+h)}{\omega \cosh kh} \cos(kx + \omega t) \quad (3.47)$$

$$\zeta = a \sin(kx + \omega t) \quad (3.48)$$

Các thế vận tốc (3.45) và (3.47) lần lượt trùng với (3.39) và (3.43), chỉ có điều là chúng bị lệch pha đối với gốc của hệ tọa độ.

Từ biểu thức của thế vận tốc, chúng ta có thể tìm ra một loạt các tính chất của sóng. Tính chất quan trọng nhất là sự phân tán sóng. Trước khi rút ra mối liên hệ phân tán, chúng ta hãy xem xét kỹ thế vận tốc và một số đặc tính vật lý của nó.

Chúng ta hãy xem xét một phương pháp đơn giản để tìm hàm thế vận tốc. Giả thiết rằng ta xem xét một sóng tiến. Như vậy, thế vận tốc có dạng  $\Phi \sim e^{i(kx - \omega t)}$  và có thể được viết như sau

$$\Phi = Z(z) \operatorname{Re}\{e^{i(kx - \omega t)}\} \quad (3.49)$$

Ở đây  $\operatorname{Re}$  biểu thị phần thực của lời giải phức.

Như vậy, lời giải thực tế của bài toán có dạng:

$$\Phi = Z(z) \cos(kx - \omega t) \quad (3.50)$$

Dùng lời giải này thế vào phương trình Laplace, ta có

$$Z'' - k^2 Z = 0 \quad (3.51)$$

Lời giải của phương trình này là:

$$Z = B \cosh kz + D \sinh kz \quad (3.52)$$

Với  $B$  và  $D$  là các hằng số.

Như vậy:

$$\Phi = (B \cosh kz + D \sinh kz) \cos(kx - \omega t) \quad (3.53)$$

Điều kiện biên được thỏa mãn bởi (3.53) là:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \quad \text{tại } z = -h \quad (3.54)$$

$$\zeta = -\frac{1}{g} \left( \frac{\partial \Phi}{\partial t} \right) \quad \text{tại } z = 0 \quad (3.55)$$

Dùng (3.54), ta có  $B \cosh kh - D \sinh kh = 0$ . Như vậy:

$$D = B \tanh kh \quad (3.56)$$

Dùng (3.55), ta có:

$$\zeta = -\frac{B\omega}{g} \sin(kx - \omega t) \quad (3.57)$$

Định nghĩa:

$$a = -\frac{B\omega}{g} \quad (3.58)$$

với  $a$  là biên độ sóng. Như vậy:

$$\zeta = a \sin(kx - \omega t) \quad (3.59)$$

Kết quả là:

$$\Phi = \frac{ag}{\omega} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \cos(kx - \omega t) \quad (3.60)$$

Áp suất dưới sóng được xác định như sau:

$$p = -\rho \frac{\partial \Phi}{\partial t} - \rho g z = -\rho a g \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \sin(kx - \omega t) - \rho g z \quad (3.61)$$

Bằng cách tương tự, ta có thể có được ba dạng lời giải của  $p$  bằng cách dùng tích các nghiệm thích hợp.

Nếu như sóng tiến lan truyền từ  $-\infty$  tới  $\infty$  theo một góc  $\theta$  với trục  $x$  thì dạng

của  $\Phi$  và  $\zeta$  nhất định phải được biến đổi để có:

$$\Phi = \frac{ag}{\omega} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \cos(kx \cos \theta + ky \sin \theta - \omega t) \quad (3.62)$$

$$\zeta = a \sin(kx \cos \theta + ky \sin \theta - \omega t) \quad (3.63)$$

### 3.3 Mối liên hệ phân tán của chuyển động sóng

Bằng cách phối hợp điều kiện biên động học (phương trình 3.23) và điều kiện biên động lực (phương trình 3.24), điều kiện sau có thể được rút ra:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} - g \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \quad \text{tại} \quad z = 0 \quad (3.64)$$

Hãy xem xét một sóng tiến theo hướng  $x$  với thế vận tốc được cho bởi:

$$\Phi = \frac{ag}{\omega} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \cos(kx - \omega t) \quad (3.65)$$

ta có:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} &= -ag\omega \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \cos(kx - \omega t) \\ g \frac{\partial \Phi}{\partial z} &= -\frac{ag^2 k}{\omega} \frac{\sinh k(z+h)}{\cosh kh} \cos(kx - \omega t) \end{aligned}$$

Thế các giá trị này vào (3.64) tại  $z = 0$  cho ta:

$$\omega^2 = gk \tanh kh \quad (3.66)$$

Mối liên hệ này được gọi là mối liên hệ phân tán tuyến tính, bởi vì nó được rút ra dựa trên sự tuyến tính hóa các điều kiện biên bề mặt. Thông thường, để thuận tiện nó được gọi một cách đơn giản là mối liên hệ phân tán. Một công thức giống hệt như (3.66) cũng có thể tìm được đối với một sóng lan truyền theo hướng ngược với hướng của trục  $x$ .

Bởi vì  $\omega = kc$ , phương trình (3.66) có thể được viết thành:

$$c^2 = \frac{g}{k} \tanh kh \quad (3.67)$$

Phương trình (3.67) biểu thị tốc độ lan truyền của sóng bề mặt như là hàm của độ sâu  $h$  và bước sóng  $L$ . Để tìm được bước sóng, mối liên hệ phân tán (3.66) có thể được viết lại như sau:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \quad (3.68)$$

Với một độ sâu  $h$  và chu kỳ sóng  $T$  cho trước, bước sóng  $L$  có thể được xác định từ (3.68) bằng thuật toán thử và hiệu chỉnh. Phương trình (3.66), (3.67) và (3.68) được gọi là mối liên hệ phân tán của sóng nước.

Bây giờ, chúng ta hãy xem xét chi tiết hơn về việc phân loại sóng nước. Sóng nước

được phân thành ba loại chính căn cứ vào độ sâu tương đối của biển, được định nghĩa là tỷ số  $h/L$ , trong đó  $h$  là độ sâu của biển còn  $L$  là bước sóng. Nếu độ sâu tương đối là nhỏ hơn  $1/20$  (hay  $kh \leq 1/3$ ) thì độ sâu được xem là nhỏ so với bước sóng và sóng được gọi là sóng nước nông (hay sóng dài). Nếu tỷ số lớn hơn  $1/2$  (hay  $kh \geq 3$ ), sóng được gọi là sóng nước sâu (hay sóng ngắn). Khi mà  $1/20 < h/L < 1/2$  (hay  $1/3 < kh < 3$ ), sóng được gọi là sóng tại độ sâu trung gian và nói chung là trong điều kiện này các phương trình truyền sóng là không đơn giản. Tuy nhiên, trong đa số trường hợp, sóng có thể xem hoặc là sóng nước nông hoặc là sóng nước sâu.

Đối với trường hợp sóng nước sâu hoặc là sóng nước nông, ta có thể đơn giản hóa mối liên hệ phân tán (3.66), (3.67) và (3.68).

Với sóng nước nông, ta có thể xấp xỉ  $\tanh kh = kh$  và như vậy mối liên hệ phân tán (3.67) trở nên đơn giản hơn:

$$c^2 = gh \quad (3.69)$$

Phương trình này chính là phương trình truyền sóng triều hay sóng nước dâng. Trong trường hợp này, vận tốc pha của sóng trở nên không phụ thuộc vào bước sóng (hay nói cách khác là số sóng hay chu kỳ sóng).

Đối với sóng nước sâu, ta có thể xấp xỉ  $\tanh kh = 1$ , và như vậy mối liên hệ phân tán (3.67) và (3.68) có thể biểu thị như sau:

$$c^2 = \frac{gL}{2\pi} \quad \text{or} \quad L = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (3.70)$$

Như vậy, vận tốc pha và bước sóng không phụ thuộc vào độ sâu. Khi  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ , thì:

$$L = 1.56T^2 \quad (3.71)$$

Ở đây đơn vị của  $L$  là m.

### 3.4 Chuyển động của hạt nước và áp suất

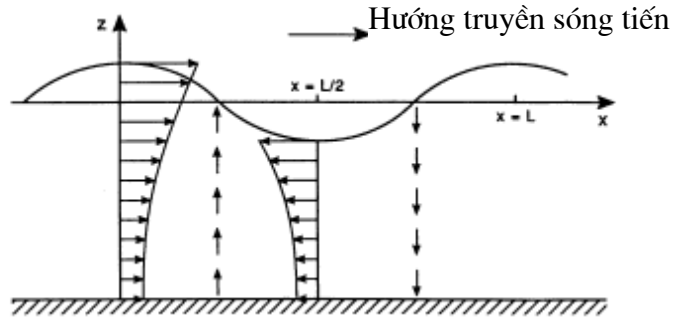
Như đã thấy, thế vận tốc của sóng có biên độ nhỏ truyền theo hướng trục  $x$  là:

$$\Phi = \frac{ag}{\omega} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \cos(kx - \omega t)$$

Dùng định nghĩa của các thành phần vận tốc của hạt lỏng chúng ta có thể tìm ra biểu thức của các thành phần vận tốc theo phương nằm ngang và thẳng đứng như sau:

$$\frac{dx}{dt} = u = \frac{\partial \Phi}{\partial x} = -\frac{agk}{\omega} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \sin(kx - \omega t) \quad (3.72)$$

$$\frac{dz}{dt} = w = \frac{\partial \Phi}{\partial z} = -\frac{agk}{\omega} \frac{\sinh k(z+h)}{\cosh kh} \cos(kx - \omega t) \quad (3.73)$$



Hình 3.2. Biến thiên của vận tốc hạt lỏng theo độ sâu.

Các phương trình này biểu thị các thành phần vận tốc do sóng gây ra tại một độ sâu  $z$  bất kỳ. Tại một độ sâu cho trước vận tốc dòng chảy là tuần hoàn cả theo  $x$  và  $t$ . Với một góc pha cho trước,  $\alpha = kx - \omega t$ , hàm hyperbolic của  $z$  tạo nên sự suy giảm vận tốc theo quy luật mũ từ mặt tới đáy.

Các số liệu thực nghiệm cho thấy tại  $z = -L/2$  vận tốc trở nên bé tới mức có thể bỏ qua, và bên dưới độ sâu này trên thực tế là không có chuyển động (hình 3.2).

Gia tốc địa phương dễ dàng tìm được từ (3.72) và (3.73) và có thể biểu thị như sau

$$\frac{\partial u}{\partial t} = agk \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \cos(kx - \omega t) \quad (3.74)$$

và

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -agk \frac{\sinh k(z+h)}{\cosh kh} \sin(kx - \omega t) \quad (3.75)$$

Dịch chuyển theo phương thẳng đứng của hạt lỏng không thể lớn hơn biên độ sóng  $a$ . Vì vậy, ta giả thiết rằng dịch chuyển thẳng đứng của mỗi hạt lỏng từ vị trí trung bình của nó là nhỏ. Ta có thể tính dịch chuyển thẳng đứng và nằm ngang của hạt lỏng này từ vị trí trung bình của nó bằng cách dùng mối liên hệ:

$$x = \xi = \text{dịch chuyển nằm ngang của hạt lỏng từ vị trí trung bình.}$$

$$\begin{aligned} &= \int u dt = -\frac{agk}{\omega} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \int \sin(kx - \omega t) dt \\ &= -\frac{agk}{\omega^2} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \cos(kx - \omega t) \end{aligned} \quad (3.76)$$

và:

$$z = \eta = \text{dịch chuyển thẳng đứng của hạt lỏng từ vị trí trung bình.}$$

$$\begin{aligned}
&= \int w dt = -\frac{agk \sinh k(z+h)}{\omega \cosh kh} \int \cos(kx - \omega t) dt \\
&= \frac{agk \sinh k(z+h)}{\omega^2 \cosh kh} \sin(kx - \omega t)
\end{aligned} \tag{3.77}$$

Bằng cách dùng mối liên hệ phân tán,  $\omega^2 = gk \tanh kh$ , (3.76) và (3.77) có thể tiếp tục được đơn giản hóa để có được biểu thức sau:

$$\xi = -a \frac{\cosh k(z+h)}{\sinh kh} \cos(kx - \omega t) \tag{3.78}$$

$$\eta = a \frac{\sinh k(z+h)}{\sinh kh} \sin(kx - \omega t) \tag{3.79}$$

Cả hai phương trình này có thể được kết hợp để có:

$$\frac{\xi^2}{\alpha^2} + \frac{\eta^2}{\beta^2} = 1 \tag{3.80}$$

Ở đây:

$$\alpha = a \frac{\cosh k(z+h)}{\sinh kh} \tag{3.81}$$

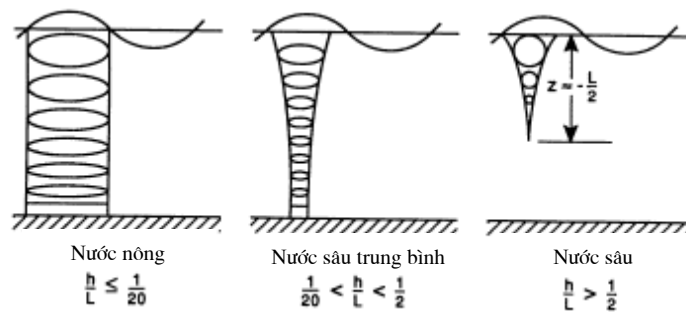
$$\beta = a \frac{\sinh k(z+h)}{\sinh kh} \tag{3.82}$$

Phương trình (3.80) diễn tả một ellipse với một nửa trục chính (nằm ngang) là  $\alpha$  và một nửa trục phụ (thẳng đứng) là  $\beta$ . Quỹ đạo của hạt lỏng nói chung là có dạng hình ellipse. Dạng đặc biệt của quỹ đạo hạt lỏng tại nước sâu và nước nông có thể dễ dàng biết được bằng cách xem xét các giá trị của  $\alpha$  và  $\beta$ .

Đối với sóng nước nông, có thể dễ dàng thấy:

$$\alpha = \frac{a}{kh} \quad \text{và} \quad \beta = \frac{ak(z+h)}{kh} \tag{3.83}$$

Khoảng cách dịch chuyển nằm ngang cực đại là không đổi từ mặt tới đáy đại dương. Khoảng cách dịch chuyển cực đại theo phương thẳng đứng biến đổi từ giá trị không tại đáy tới biên độ sóng  $a$  tại mặt nước.



Hình 3.3. Sơ đồ quỹ đạo của hạt nước

Đối với sóng nước sâu, các giá trị  $\alpha$  và  $\beta$  được cho bởi

$$\alpha = a \frac{e^{kz} e^{kh} + e^{-kz} e^{-kh}}{e^{kh} - e^{-kh}} \quad (3.84)$$

$$\beta = a \frac{e^{kz} e^{kh} - e^{-kz} e^{-kh}}{e^{kh} - e^{-kh}} \quad (3.85)$$

Vậy, khi  $h \rightarrow \infty$  ta có:

$$\alpha = ae^{kz} \quad \text{và} \quad \beta = ae^{kz} \quad (3.86)$$

Các trục chính và trục phụ có giá trị bằng nhau và như vậy quỹ đạo của hạt nước đã biến thành hình tròn. Bán kính của các hình tròn này được cho bởi công thức  $ae^{kz}$ , và như vậy suy giảm rất nhanh theo độ sâu. Trong trường hợp này khoảng cách dịch chuyển cực đại theo phương thẳng đứng tại bề mặt cũng bằng biên độ sóng  $a$ . Hình 3.3 diễn tả phác thảo về quỹ đạo chuyển động của các hạt lỏng khi có sóng.

Trường áp suất khi có một sóng tiến có thể được xác định từ phương trình Bernoulli được tuyến tính hóa như sau:

$$\frac{p}{\rho} = -\frac{\partial\Phi}{\partial t} - gz \quad (3.87)$$

Dùng thế vận tốc  $\Phi$  cho một sóng tiến theo hướng trục  $x$ , phương trình (3.87) trở thành:

$$\frac{p}{\rho} = ag \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \sin(kx - \omega t) - gz$$

Hay:

$$p = a\rho g \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \sin(kx - \omega t) - \rho gz \quad (3.88)$$

Từ biểu thức của áp suất (3.87), có thể tìm được một loạt các đại lượng vật lý quan trọng như lực tác động của sóng và mô men.

Ký hiệu áp suất do sóng gây ra là  $p_+$ , ta có:

$$p_+ = a\rho g \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \sin(kx - \omega t) \quad (3.89)$$

Tại nước sâu, phương trình (3.88) trở thành:

$$p_+ = a\rho g e^{kz} \sin(kx - \omega t) \quad (kh \gg 1) \quad (3.90)$$

Tại nước nông, phương trình này trở thành:

$$p_+ = a\rho g \sin(kx - \omega t) = \rho g \zeta \quad (kh \ll 1) \quad (3.91)$$

Đây chỉ là biểu thức đối với áp suất tĩnh, một điều kiện đã được giả thiết trước đối với sóng dài.

### 3.5 Vận tốc nhóm và năng lượng sóng

Chúng ta hãy xem xét trường hợp một nhóm sóng được biểu thị bằng một chuỗi vô hạn các dao động thành phần. Để đơn giản hóa, ta hãy xem hai sóng chuyển động theo hướng trục  $x$ , có cùng biên độ và pha biểu thị bằng  $(kx - \omega t)$ . Như vậy dao động mực nước có thể được biểu thị bằng:

$$\zeta_T = a \sin(k_1 x - \omega_1 t) + a \sin(k_2 x - \omega_2 t) \quad (3.92)$$

Phương trình này có thể được viết lại như sau:

$$\zeta_T = 2a \cos\left[\frac{1}{2}(k_1 - k_2)x - \frac{1}{2}(\omega_1 - \omega_2)t\right] + a \sin\left[\frac{1}{2}(k_1 + k_2)x - \frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2)t\right] \quad (3.93)$$

Như vậy, điểm có biên độ bằng không sẽ là điểm phân chia các nhóm sóng đơn. Có thể tìm các điểm nút này bằng cách tìm giá trị không của thành phần cosine trong (3.93).

Bây giờ, điều kiện  $\zeta_{T \max} = 0$  cho ta:

$$\frac{1}{2}(k_1 - k_2)x - \frac{1}{2}(\omega_1 - \omega_2)t = (2n + 1)\frac{\pi}{2} \quad (3.94)$$

Hay:

$$x_{node} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{k_1 - k_2} t + \frac{(2n + 1)\pi}{k_1 - k_2} \quad (3.95)$$

Bởi vì vị trí của tất cả các điểm nút là hàm của thời gian, chúng không dừng. Tại  $t = 0$  ta sẽ có các điểm nút tại  $x = [(2n + 1)\pi]/(k_1 - k_2)$ ,  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$  v.v. Như vậy, khoảng cách giữa hai điểm nút liên tiếp là:

$$(x_2 - x_1) = \Delta x = \frac{2\pi}{k_1 - k_2} = \frac{L_1 L_2}{L_2 - L_1} \quad (3.96)$$

Tốc độ lan truyền của các điểm nút này (và như vậy là tốc độ lan truyền của nhóm sóng) được gọi là vận tốc nhóm và được biểu thị bằng:

$$\frac{dx_{node}}{dt} = c_g = \frac{\omega_1 - \omega_2}{k_1 - k_2} \quad (3.97)$$

Ở đây  $c_g$  được xác định tại giới hạn khi mà  $\omega_1$  tiến tới  $\omega_2$ , tức là  $c_g = d\omega / dk$ .

Ta biết rằng  $\omega = ck$  và như vậy với bước sóng  $L$  và vận tốc pha  $c$ , phương trình (3.97) có thể được viết như sau:

$$c_g = \frac{d(ck)}{dk} = c + k \frac{dc}{dk} = c + k \frac{dc}{dL} \frac{dL}{dk} = c - L \frac{dc}{dL} \quad (3.98)$$

Tuy nhiên, bằng cách dùng mối liên hệ  $c^2 = (g/k) \tanh kh$ , vận tốc nhóm được biểu thị bằng:

$$c_g = \frac{d(ck)}{dk} = \frac{c}{2} \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) = cn \quad (3.99)$$

Trong đó:



$$n = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right), \quad \frac{1}{2} \leq n \leq 1 \quad (3.100)$$

Đối với nước sâu  $n \approx 1/2$ , và đối với nước nông  $n \approx 1$ . Từ đó ta có thể thấy rằng bởi vì các sóng đơn luôn lan truyền nhanh hơn nhóm sóng, chúng xuất hiện ở điểm nút cuối của nhóm và chuyển động lên đầu của nhóm. Tại đây, áp suất tại điểm nút buộc chúng biến mất và sau đó lại tiếp tục xuất hiện tại điểm đầu của nhóm sóng sau.

### Thí dụ 3.1

Hãy rút ra phương trình(3.99) và tìm điều kiện giới hạn cho sóng nước sâu và sóng nước nông.

*Lời giải*

Chúng ta biết rằng vận tốc nhóm được cho bởi:

$$c_g = \frac{d(ck)}{dk} = c + k \frac{dc}{dk}$$

trong đó  $c = \sqrt{g/k} (\tanh kh)^{1/2}$ . Như vậy:

$$\frac{dc}{dk} = \sqrt{g} \left( -\frac{1}{2} \right) k^{-3/2} (\tanh kh)^{1/2} + \sqrt{\frac{g}{k}} \frac{1}{2} (\tanh kh)^{-1/2} \sec^2 kh (h).$$

Như vậy:

$$\begin{aligned} k \frac{dc}{dk} &= -\frac{1}{2} \sqrt{\frac{g}{k}} (\tanh kh)^{1/2} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{g}{k}} (\tanh kh)^{1/2} \frac{\sec^2 kh}{\tanh kh} (kh) \\ &= -\frac{1}{2} c + \frac{1}{2} ckh \frac{1}{\sinh kh \cosh kh} = -\frac{1}{2} c + \frac{c}{2} \frac{2kh}{\sinh 2kh}. \end{aligned}$$

Vì thế:

$$c_g = c + k \frac{dc}{dk} = \frac{c}{2} \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) = cn,$$

Trong đó  $c_g$  là vận tốc nhóm,  $c$  là vận tốc pha và:

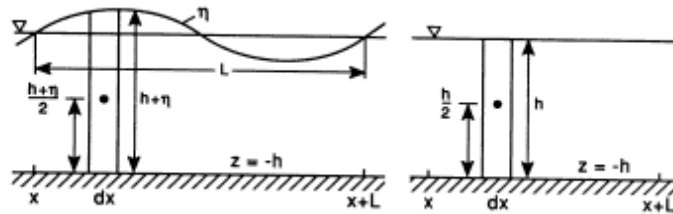
$$\frac{c_g}{c} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) = n,$$

đối với độ sâu trung gian. Với nước nông  $kh \rightarrow 0$ ,  $n = 1$ , và với nước sâu,  $kh \rightarrow \infty$ ,  $n = 1/2$ .

Một tính chất rất quan trọng của sóng là khả năng vận chuyển năng lượng của chúng từ vùng này tới vùng khác. Như vậy, kiến thức về mật độ năng lượng và vận chuyển năng lượng là rất quan trọng để hiểu sự lan truyền của sóng.

Trong những phần trước, chúng ta đã xem xét những thay đổi của các tính chất của chuyển động sóng theo tọa độ thẳng đứng và pha. Khi xem xét năng lượng, tốt hơn là xem xét trường sóng một cách tổng quát hơn bằng cách đưa ra các định nghĩa về trung bình pha hay các đại lượng được tích phân theo phương thẳng đứng. Điều này được thực hiện với mật độ năng lượng ( $E$ ) cũng như tốc độ vận chuyển năng lượng ( $E_f$ ).

Chúng ta hãy tính thế năng khi mà có một sóng tiến trên bề mặt tự do. Để xác định đại lượng này, trước hết ta hãy tìm thế năng của sóng ở trên  $z = -h$  tại những vị trí có sóng. Sau đó ta sẽ lấy đại lượng này trừ đi thế năng của nước yên tĩnh.



Hình 3.4 Phác thảo định nghĩa của thế năng

Thế năng (đối với  $z = -h$ ) của một cột nước với độ cao  $h + \zeta$ , chiều dài  $dx$  và 1 đơn vị chiều rộng (xem hình 3.4) là:

$$\Delta(PE_1) = (\text{độ cao đối với trọng tâm}) \times g \Delta M$$

$$\Delta(PE_1) = \left( \frac{h + \zeta}{2} \right) (h + \zeta) \rho d \Delta x = \frac{(h + \zeta)^2}{2} \rho g \Delta x$$

Như vậy, thế năng trung bình trên một đơn vị diện tích bề mặt là:

$$PE_1 = \frac{\rho g}{2LT} \int_t^{t+T} \int_x^{x+L} (h + \zeta)^2 dx dt \quad (3.101)$$

Dùng  $\zeta = a \sin(kx - \omega t)$ , ta có:

$$PE_1 = \frac{\rho g h^2}{2} + \frac{\rho g a^2}{4} \quad (3.102)$$

Thế năng trong trường hợp lặng sóng sẽ là:

$$PE_2 = \frac{\rho g}{2LT} \int_t^{t+T} \int_x^{x+L} h^2 dx dt = \frac{\rho g h^2}{2} \quad (3.103)$$

Như vậy, thế năng trung bình do một sóng tiến trên mặt tự do gây ra sẽ là:

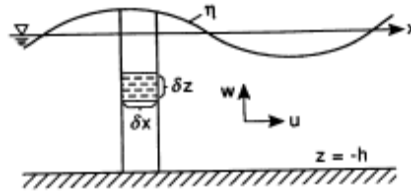
$$PE = PE_1 - PE_2 = \frac{\rho g a^2}{4} \quad (3.104)$$

Động năng của một phần tử nhỏ với chiều dài  $\delta x$  và chiều cao  $\delta z$ , chiều rộng một đơn vị chuyển động với các thành phần vận tốc  $u$  và  $w$  (như trên hình 3.5) được cho bởi công thức:

$$\delta(KE) = \frac{1}{2}(u^2 + w^2)\delta M = \frac{1}{2}(u^2 + w^2)\rho\delta x\delta z \quad (3.105)$$

Như vậy, động năng trung bình trên một đơn vị diện tích bề mặt là:

$$KE = \frac{\rho}{2LT} \int_t^{t+T} \int_x^{x+L} \int_{-h}^{\zeta=0} (u^2 + w^2) dx dz dt \quad (3.106)$$



Hình 3.5. Phác thảo định nghĩa của động năng

Dùng các thành phần vận tốc tương ứng với sóng tiến  $\zeta = A \sin(kx - \omega t)$ , ta có:

$$KE = \frac{\rho g a^2}{4} \quad (3.107)$$

Như vậy, năng lượng toàn phần là:

$$E = PE + KE = \frac{\rho g a^2}{2} \quad (3.108)$$

Tiếp theo, ta xem xét sự vận chuyển năng lượng qua một mặt thẳng đứng từ mặt đến đáy có chiều rộng đơn vị và vuông góc với hướng sóng tiến (như vậy  $x = \text{const}$ ). Các hạt lỏng đi ngang qua mặt này (với vận tốc  $u$ ) mang theo động năng và thế năng  $((1/2)\rho(u^2 + w^2) + \rho g z)$  trên một đơn vị thể tích. Khi chúng cắt ngang mặt phẳng này, áp suất ( $p$ ) tác động lên chúng và thực hiện công (với tốc độ  $pu$  trên một đơn vị diện tích).

Như vậy tốc độ vận chuyển năng lượng qua một đơn vị diện tích mặt đứng tại  $x = \text{constant}$  được cho bởi:

$$\left[ p + \frac{1}{2}\rho(u^2 + w^2) + \rho g z \right] u \quad (3.109)$$

Tốc độ vận chuyển trung bình thời gian của năng lượng qua một đơn vị chiều rộng tích phân theo phương thẳng đứng được định nghĩa là:

$$E_f = \int_{-h-T/2}^{\zeta} \int_{-h-T/2}^{T/2} \left[ p + \frac{1}{2} \rho(u^2 + w^2) + \rho g z \right] u dz dt \quad (3.110)$$

Chỉ giữ lại các số hạng bậc hai, từ phương trình trên ta có phương trình gần đúng sau:

$$E_f = \int_{-h-T/2}^0 \int_{-h-T/2}^{T/2} p_+ u dz dt \quad (3.111)$$

Thế (3.72) và (3.89) vào (3.111) ta có:

$$E_f = Enc = Ec_g \quad (3.112)$$

Như vậy, ta thấy rằng vận tốc nhóm là vận tốc vận chuyển năng lượng.

### 3.6 Năng lượng của sóng phức hợp

Ta đã thấy ở trên là trong việc tính toán cả hai thành phần năng lượng sóng, ta đã dùng bình phương biên độ dao động của mặt tự do. Ta cũng đã biết rõ rằng một hàm tuần hoàn bất kỳ  $\zeta(t)$  với chu kỳ  $2T$  có thể biểu thị bằng một chuỗi Fourier như sau:

$$\zeta(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos \frac{n\pi t}{T} + b_n \sin \frac{n\pi t}{T} \right) \quad (3.113)$$

với điều kiện là  $\int_{-T}^T \zeta(t) dt$  hữu hạn. Ở đây  $a_n$  và  $b_n$  lần lượt là biên độ của cosine và sine

của sóng thành phần thứ  $n$ .

Có thể dễ dàng thấy rằng (3.113) có thể viết dưới dạng số phức như sau:

$$\zeta(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{in\pi t/T} \quad \text{với } C_0 = a_0/2, \quad C_n = (a_n - ib_n)/2, \quad C_{-n} = (a_n + ib_n)/2.$$

Hệ số Fourier phức  $C_n$  có thể được xác định từ biểu thức:

$$C_n = \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \zeta(t) e^{-in\pi t/T} dt, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Và định lý Parseval cho các hàm điều hòa cho ta:

$$\begin{aligned}
\frac{\rho g}{2T} \int_{-T}^T \zeta^2(t) dt &= \frac{\rho g}{2T} \int_{-T}^T \zeta(t) \zeta'(t) dt = \frac{\rho g}{2T} \int_{-T}^T \zeta(t) \left( \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{\frac{i n \pi}{T} t} \right) dt \\
&= \rho g \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \left( \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \zeta(t) e^{\frac{i n \pi}{T} t} dt \right) \\
&= \rho g \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n C_{-n} \\
&= \rho g \sum_{n=-\infty}^{\infty} |C_n|^2 \\
&= \rho g \left[ \frac{a_0^2}{4} + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} (a_n^2 + b_n^2) \right]
\end{aligned}$$

Như vậy thế năng là:

$$PE = \rho g \left[ \frac{a_0^2}{4} + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} (a_n^2 + b_n^2) \right]$$

Số hạng đầu tiên của kết quả này rõ ràng là phù hợp với (3.104) cho một sóng tiến đơn với biên độ  $a_0 (= a)$ .

## Bài tập

1. (a) Chứng minh rằng các điều kiện biên tuyến tính tại bề mặt  $z = \zeta$ , biểu thị bằng thế vận tốc  $\Phi$ , có thể được viết là  $w = \zeta_t = -\Phi_z$  và  $\Phi_{tt} - g\zeta_t = 0$

$$\left( \Phi = \frac{ag}{\omega} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \cos(kx - \omega t) \right)$$

- (b) Sau đó chứng minh rằng mối liên hệ phân tán là  $\omega^2 = gk \tanh kh$  với  $h$  là độ sâu của biển,  $k$  là số sóng ( $= 2\pi/L$ ),  $L$  là bước sóng,  $\omega$  là tần số góc ( $= 2\pi/T$ ),  $T$  là chu kỳ sóng và  $g$  là gia tốc trọng trường.

- (c) Viết một đoạn chương trình ngắn bằng ngôn ngữ FORTRAN để tính bước sóng ( $L$ ) bằng cách sử dụng mối liên hệ phân tán với thuật toán lặp. Cho  $T = 5, 10, 15$  s và độ sâu  $h = 5, 10, 20$  m. Vẽ đồ thị biểu diễn kết quả đạt được. ( $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ).

2. (a) Bắt đầu bằng thế vận tốc:

$$\Phi = \frac{ag}{\omega} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \cos(kx - \omega t)$$

chứng minh rằng cho độ sâu trung gian, các hạt lỏng bên dưới một sóng tiến chuyển

động theo những quỹ đạo ellipse kín cho bởi  $x^2 / \alpha^2 + z^2 / \beta^2 = 1$ , với:

$$\alpha = \frac{a \cosh k(z+h)}{\sinh kh} \quad \text{và} \quad \beta = \frac{a \sinh k(z+h)}{\sinh kh}$$

(b) Xác định quỹ đạo của hạt lỏng trong trường hợp nước sâu và nước nông.

(c) Vẽ hình để minh họa các kết quả trên.

3. Tính động năng và thế năng của một chuỗi sóng tiến tại nước sâu. Sau đó, từ điều kiện là các năng lượng đó bằng nhau, tìm công thức  $c^2 = gL / 2\pi$ .

# Chương 4 NHỮNG LÝ THUYẾT SÓNG PHI TUYẾN CHO VÙNG CÓ ĐỘ SÂU KHÔNG ĐỔI

## 4.1 Giới thiệu chung

Không có một lời giải chính xác nào cho các phương trình đầy đủ về sóng được trình bày trong chương 3. Điều này là do các số hạng phi tuyến trong các điều kiện biên trên bề mặt tự do. Trong các xấp xỉ tuyến tính, các số hạng này bị bỏ qua hoàn toàn. Tuy nhiên, trong các lý thuyết phi tuyến thì chúng được tính đến bằng cách xấp xỉ. Rất nhiều lý thuyết về sóng phi tuyến với phương pháp giải quyết và mức độ chính xác của việc xấp xỉ khác nhau đã được đưa ra. Trong chương này, ta sẽ trình bày một cách định tính tổng quan về những lý thuyết này.

Lý thuyết sóng phi tuyến đầu tiên do Stokes (1847) đưa ra. Lý thuyết của ông về mặt nguyên tắc là có thể áp dụng cho tất cả các độ sâu. Tuy nhiên, trong thực tế, đối với nước nông thì kết quả lý thuyết này chỉ chấp nhận được khi mà độ cao sóng rất nhỏ. Một loại lý thuyết thứ hai là chỉ áp dụng cho các điều kiện sóng nước nông. Những lý thuyết này sẽ được trình bày trong mục 4.3.

Các lý thuyết vừa nói cho ta các biểu thức giải tích về nhiều hệ số cần thiết cho việc tính toán sóng. Các lý thuyết số trị cho ta thuật toán để xác định giá trị của các hệ số cho một tập hợp cho trước các điều kiện đầu vào. Một số lý thuyết số trị sẽ được trình bày trong mục 4.4. Vấn đề về tính đúng đắn của các lý thuyết sẽ được xử lý trong mục 4.5.

## 4.2 Lý thuyết Stokes

Stokes (1847) dùng phương pháp xấp xỉ liên tiếp, có thể được mô tả sơ qua như sau.

Kết quả của lý thuyết tuyến tính được dùng để tìm một xấp xỉ thứ nhất cho các số hạng phi tuyến bị bỏ qua. Việc hiệu chỉnh các kết quả của phép xấp xỉ thứ nhất (tuyến tính) của nghiệm được tiến hành bằng cách tính đến điều trên.

Bằng cách dùng nghiệm đã được hiệu chỉnh lần thứ nhất, một xấp xỉ lần thứ hai cho các số hạng phi tuyến được tiến hành. Sau đó là xấp xỉ lần thứ ba. Nếu như quá trình này hội tụ thì nó có thể cứ được tiếp tục cho đến khi đại lượng hiệu chỉnh trở nên đủ bé. Thật ra thì một giới hạn thực tế sẽ đạt được sớm mà không phải tiến hành nhiều phép xấp xỉ vì các biểu thức toán học trở nên rất dài và rất khó tìm ra các xấp xỉ bậc cao.

Như đã trình bày ở trên, các biểu thức toán học trong những xấp xỉ bậc cao rất dài. Bởi vậy, để dễ dàng hơn trong việc áp dụng những lý thuyết này, người ta đã chuẩn bị những đồ thị và bảng như là những đồ thị và bảng của Skjelbreia (1959) cho xấp xỉ bậc 3, trong đó tất cả những số hạng có bậc 3 hay nhỏ hơn được giữ nguyên và những số hạng khác bị bỏ qua.

Trong phần tiếp theo, một số kết quả sẽ được trình bày chủ yếu dưới dạng định tính. Một số phương trình của lý thuyết bậc hai sẽ được trình bày với mục đích diễn giải.

#### 4.2.1 Mặt cắt bề mặt nước

Biểu thức bậc 2 đối với mặt nước có thể được viết như sau:

$$\zeta(S) = \hat{\zeta}_1 \cos S + \hat{\zeta}_2 \sin S \quad (4.1)$$

trong đó:

$$\hat{\zeta}_1 = a \quad (4.2)$$

$$\hat{\zeta}_2 = \frac{1}{2} ka^2 \frac{\cosh kh(2 + \cosh 2kh)}{\sinh^2 kh} \quad (4.3)$$

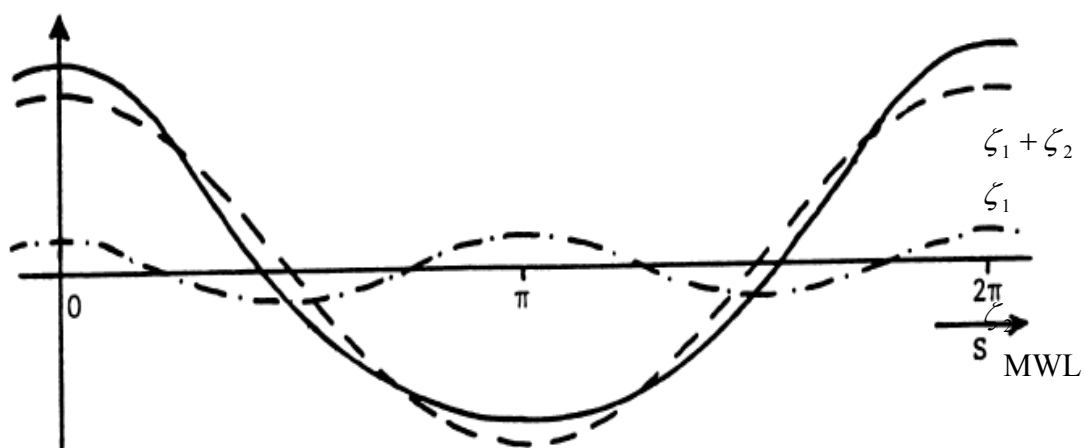
Điểm  $S=0$  được chọn tại một đỉnh sóng. Hình 4.1 trình bày một phác thảo của (4.1).

Một số hạng tuyến tính điển hình là tỷ lệ với  $a \cos S$  hay  $a \sin S$ , trong đó  $a$  là biên độ của dao động mực nước trong phép xấp xỉ tuyến tính, và  $S = (\omega t - kx)$  là pha. Bởi vì các thành phần phi tuyến bao gồm các tích như là  $u^2$ , xấp xỉ đầu tiên cho các số hạng này bao gồm các số hạng tỷ lệ với  $a^2 \cos^2 S = (1/2)a^2(1 + \cos 2S)$ , và các số hạng tương tự với  $\sin^2 S$ . Điều này cũng áp dụng được cho hiệu chỉnh thứ nhất của xấp xỉ tuyến tính của nghiệm chính xác. Tiếp tục theo cách này, ta có thể tìm được những xấp xỉ liên tiếp của nghiệm chính xác dưới dạng những số hạng liên tục của một chuỗi số mũ của  $a$  (các số hạng tỷ lệ với  $a, a^2, a^3, \dots$ ). Nếu  $a$  là đủ nhỏ (đối với  $L$  và  $h$ ), mỗi số hạng bậc cao sẽ nhỏ hơn nhiều những số hạng bậc thấp hơn và nếu như khi đó chuỗi được kết thúc bằng một vài số hạng thì ta có thể tìm được một xấp xỉ tiện lợi.

Mặt cắt sóng dường như có các đỉnh hẹp hơn và nhọn hơn mặt cắt biểu thị bằng hàm cosine, và bụng rộng hơn và phẳng hơn. Hệ quả là mực nước tại đỉnh sóng trên mực biển trung bình (MWL) cao hơn một nửa chiều cao sóng, với giá trị vượt quá là  $\hat{\zeta}_2$  (tới bậc 2).

Điều này quan trọng cho việc tính toán lực sóng tác động lên các công trình ở nước nông hay là cho việc xác định độ cao cần thiết của khoảng không giữa mặt dưới của cầu tàu hay bến mà mực MWL (còn được gọi là “khoảng không”).





Hình 4.1 Mặt cắt bề mặt nước khi có sóng xấp xỉ bằng lý thuyết bậc 2 của Stokes

Tính bất đối xứng như ở trên thường được quan sát thấy rõ ràng trong các sóng thực. Mặt cắt thực đo được như được dự báo rất tốt bằng lý thuyết Stokes bậc 2 và bậc 3 cho sóng nước sâu, nhưng sự phù hợp là kém hơn cho các điều kiện nước nông. Từ lý thuyết có thể rút ra một chỉ thị cho quá trình này, thí dụ như tỷ số của biên độ bậc hai và biên độ bậc nhất cần phải nhỏ để phương pháp tiếp cận Stokes là có giá trị. Tại nước sâu, tỷ số này là (xem các phương trình 4.2 và 4.3):

$$\frac{\hat{\zeta}_2}{\hat{\zeta}_1} \cong \frac{1}{2} ka \cong \frac{\pi}{2} \frac{H}{L} \quad (kh \gg 1) \quad (4.4)$$

Tỷ số này thường là nhỏ (lớn nhất là vào khoảng 0.2) vì rằng sóng vỡ giới hạn độ dốc có thể có của sóng. Mặt khác tại nước sâu hơn tỷ số trên trở thành (xem các phương trình 4.2 và 4.3):

$$\frac{\hat{\zeta}_1}{\hat{\zeta}_2} \cong \frac{3}{4} (kh)^{-3} ka \cong \frac{3}{32\pi^2} \frac{HL^2}{h^3} \cong 10^{-2} \times \frac{HL^2}{h^3} \quad (kh \ll 1) \quad (4.5)$$

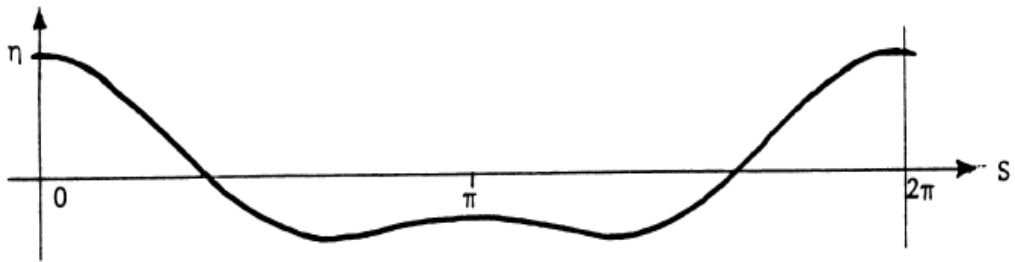
Nếu ta yêu cầu  $\hat{\zeta}_2 \leq 0.2\hat{\zeta}_1$  thì bất đẳng thức sau sẽ phải được thỏa mãn:

$$\frac{HL^2}{h^3} \leq 20$$

Đây là một yêu cầu rất chặt chẽ về  $H/L$  vì rằng  $L \gg h$  tại nước nông. Tỷ số  $\frac{HL^2}{h^3}$  thường được gọi là số Ursell, ký hiệu bởi  $U_r$ :

$$U_r = \frac{HL^2}{h^3} \quad (4.6)$$

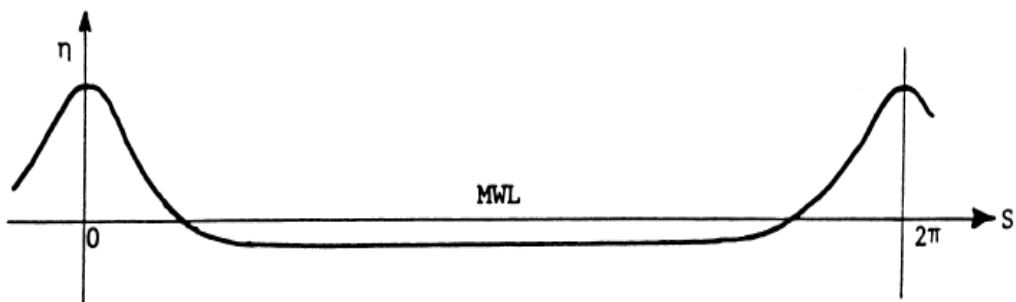
Nếu  $U_r$  là quá lớn thì chuỗi Stokes phân kỳ. Một chỉ thị cho điều này là sự xuất hiện của một cực đại thứ hai tại bụng sóng khi mà  $\hat{\xi}_2 > \hat{\xi}_1 / 4$  như được phác thảo trên hình Fig. 4.2. Khi mà cực đại thứ hai tại bụng sóng không được quan trắc ở sóng thực tại nước nông thì sự xuất hiện của nó trong các kết quả tính toán chỉ ra rằng lý thuyết được sử dụng trong các điều kiện vượt quá giới hạn áp dụng của nó.



Hình 4.2 Cực đại thứ hai tại bụng sóng do lý thuyết Stokes bậc 2 dự báo tại nước rất nông.

Các đo đạc mực nước khi có sóng lớn tại nước nông cho thấy các profile mặt nước với bụng dài và phẳng cùng với đỉnh hẹp và nhọn, như chỉ ra trên hình 4.3.

Nếu profile này được xấp xỉ bằng một tổng các thành phần điều hòa dạng  $\cos S$ ,  $\cos 2S$  v.v.) thì cần có một số lượng lớn các thành phần. Điều này có nghĩa là chuỗi cần phải được tính tại một bậc rất cao. Đây là một nhiệm vụ rất khó khăn và mất thời gian, và do vậy trong thực tế, không nên áp dụng chuỗi Stokes trong các điều kiện đó, thậm chí cả khi mà nó không phân kỳ.

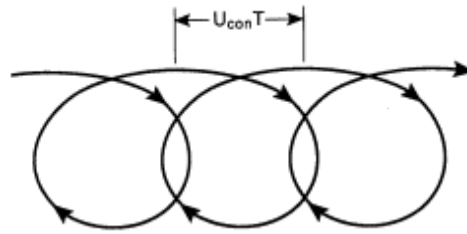


Hình 4.3 Profile mặt nước khi có sóng đo được tại nước nông.

#### 4.2.2 Vận tốc và quỹ đạo hạt nước

Trong xấp xỉ phi tuyến, vận tốc hạt nước không còn là đối xứng qua giá trị trung bình (bằng 0 nếu chỉ có sóng). Vận tốc nằm ngang của hạt nước có dạng bất đối xứng gần giống với mặt nước. Vì vậy, vận tốc có giá trị tuyệt đối lớn hơn bên dưới đỉnh so với bên dưới bụng. Điều này ảnh hưởng mạnh tới việc tính toán áp lực sóng lên công trình, đặc biệt là trong các điều kiện nước nông. Các số hạng bậc cao trong các chuỗi vận tốc hạt nước giảm nhanh hơn theo khoảng cách dưới bề mặt so với các số hạng bậc thấp. Vận tốc ở gần đáy được dự báo khá tốt bằng lý thuyết tuyến tính.

Trong lý thuyết tuyến tính, quỹ đạo hạt nước là đối xứng cả theo phương đứng và phương ngang. Trong các lý thuyết phi tuyến, không thể bỏ qua sự bất đối xứng của vận tốc hạt nước. Vì vậy quỹ đạo hạt nước không còn là đối xứng. Sau một chu kỳ sóng thì hạt nước tiến về phía trước một chút, như vẽ trên hình 4.4.



Hình 4.4 Quỹ đạo hạt nước xấp xỉ bằng các lý thuyết sóng phi tuyến

Vậy, sóng gây ra vận chuyển khối lượng đối với hệ quy chiếu của ta. Một cách khác là ta có thể chọn một hệ quy chiếu sao cho vận tốc vận chuyển khối lượng tổng cộng dư tích phân theo phương thẳng đứng bằng 0. Trong trường hợp này các hạt nước trong phần thấp của profile thẳng đứng sẽ có vận tốc dư ngược lại và chỉ có các hạt nước ở trên là có vận tốc dư theo hướng sóng. Với độ chính xác bậc hai, vận tốc trung bình thời gian của một hạt nước tại một độ cao trung bình  $z_0$  trong các điều kiện sóng nước sâu được cho bởi:

$$\bar{u}(z_0) = ka\omega a e^{2kz_0} \quad kh \gg 1 \quad (4.7)$$

Với nước trung bình và nước nông, lý thuyết Stokes cho dự đoán không chính xác về vận tốc vận chuyển vật chất. Điều này là do ảnh hưởng của độ nhớt (chỉ giới hạn trong lớp biên mỏng gần đáy). Longuet-Higgins (1953) đã phân tích kỹ càng về tốc độ vận chuyển vật chất do sóng gây ra tính theo các lý thuyết sóng khác nhau và có tính đến ảnh hưởng của độ nhớt.

#### 4.2.3 Mối liên hệ phân tán và vận tốc pha

Trong xấp xỉ Stokes bậc 2, mối liên hệ phân tán giống như trong lý thuyết tuyến tính.

Trong lý thuyết bậc 3, xuất hiện một thành phần hiệu chỉnh phi tuyến tỷ lệ với bình phương độ dốc sóng. Hiệu ứng của nó là làm tăng vận tốc pha. Do vậy, vận tốc pha tại mọi độ sâu không chỉ phụ thuộc vào tần số mà còn phụ thuộc vào biên độ. Tuy rằng hiệu chỉnh là tương đối nhỏ nhưng nó thể trở nên đáng kể khi mà khác biệt trong vận tốc pha là đáng kể, như trong trường hợp nhóm sóng.

#### 4.2.4 Hàm lượng năng lượng và vận chuyển năng lượng

Trong xấp xỉ bậc thấp nhất, hàm lượng năng lượng ( $E$ ) và tốc độ vận chuyển năng lượng là tỷ lệ với  $a^2$ . Hiệu chỉnh phi tuyến cho đại lượng này bao gồm các thành phần tỷ lệ với  $a^4$  v.v... Năng lượng tổng cộng của sóng có độ cao nào đó trở nên nhỏ hơn giá trị tính theo lý thuyết sóng tuyến tính. Có thể thấy được điều này mà không cần các tính toán chi tiết về thế năng trung bình, bằng với  $(1/2)\rho g \overline{\zeta^2}$ . Với các sóng hình sin,  $\overline{\zeta^2} = (1/2)a^2 = (1/8)H^2$ . Tỷ số  $\overline{\zeta^2} / H^2$  giảm khi mà profile trở nên nhọn hơn.

Tại nước sâu, các hiệu chỉnh phi tuyến cho  $E$  và  $E_f$  là đáng kể cho các sóng gần vỡ. Chúng là quan trọng trong nước nông, nhưng trong trường hợp đó chuỗi Stokes là không phù hợp ngoại trừ các giá trị nhỏ của độ cao sóng tương đối, như đã thảo luận ở trên.

### 4.3 Lý thuyết Cnoidal

Một cách tiếp cận khác cho sóng phi tuyến tại nước nông đã được Boussinesq đưa ra. Các phương trình Boussinesq mô tả sóng tại nước nông có tính đến một chút ảnh hưởng của áp suất phi thủy tĩnh xảy ra dưới đỉnh sóng khi mà độ cong là khá lớn thậm chí nếu bước sóng là lớn hơn nhiều so với độ sâu. Vì vậy, lời giải của các phương trình Boussinesq có một số tính chất của sóng dài và một số tính chất của sóng ngắn.

Lời giải của các phương trình Boussinesq biểu thị các sóng chu kỳ có dạng không đổi được diễn tả bằng một hàm có sử dụng ký hiệu "cn". Vì vậy lời giải đã được gọi là sóng cnoidal và lý thuyết tương ứng với nó là lý thuyết cnoidal. Thực ra là hiện nay một tiếp cận khác và một mức độ xấp xỉ khác đã được sử dụng nhưng do lý do nguyên nhân lịch sử, lý thuyết trên vẫn được gọi là lý thuyết cnoidal. Trong phần sau ta sẽ mô tả các kết quả của phép xấp xỉ do Skovgaard và cộng sự (1974) sử dụng. Rất nhiều thông số sóng do các tác giả xác định theo lý thuyết Cnoidal được trình bày trong bảng 4.1.

Bảng 4.1 Các thông số sóng xác định từ lý thuyết Cnoidal

**HƯỚNG DẪN TÍNH SỐNG CNOIDAL**

<p>1 THAM SỐ ĐỊA PHƯƠNG</p> <p>1.1 Cho: <math>h, H</math> và <math>T</math>      Xác định: <math>L, c</math></p> <p>Tính <math>L_0 = \frac{g}{2\pi} T^2</math></p> <p>(= 1.561 <math>T^2</math> trong hệ SI),      Kiểm tra*</p> <p>Tính <math>H/h</math> và <math>T\sqrt{g/h}</math></p> <p>Tìm <math>L/h</math> từ bảng 2 và sau đó tính <math>L</math>, Xác định <math>c=L/T</math></p> <p>1.2 Cho: <math>h, H</math> và <math>L</math>      Xác định: <math>T, c</math></p> <p>Kiểm tra*</p> <p>Tìm <math>A</math> từ bảng 1</p> <p>Xác định <math>c = (gh(1 + AH/h))^{1/2}</math> và <math>T=L/c</math></p> <p style="text-align: center;">* Nếu <math>h/L_0 &gt; 0.10</math> (<math>h/L &gt; 0.13</math>)</p>	<p>2 NƯỚC NÔNG</p> <p>Cho: <math>H_a</math> và <math>T</math> (hoặc <math>L_a</math>) tại độ sâu <math>H</math></p> <p>Xác định: <math>H_b</math> và <math>L_b</math> tại độ sâu <math>h_b</math></p> <p>Tính <math>L_0</math> và <math>L_a</math> sử dụng 1.1 hoặc <math>T</math> và <math>L_0</math> sử dụng 1</p> <p>Tính <math>U_a</math> và tìm <math>B_a</math> từ bảng 1</p> <p>Tính <math>H_0 = 4H_a(B_a L_a / L_0)^{1/2}</math></p> <p>Tính <math>h_b/L_0</math> và <math>H_b/L_0</math></p> <p>Kiểm tra*</p> <p>Xác định <math>H_b/H_0</math> từ bảng 3 và sau đó tính <math>H_b</math></p> <p>Xác định <math>L_b</math> sử dụng 1.1</p> <p>Lý thuyết Cnoidal không áp dụng được, sử dụng sóng dạng sin cho vùng nước sâu này</p>
---	---

**CÔNG THỨC CƠ BẢN**

Đại lượng      (hệ SI)

<b>A</b>		$A \equiv \frac{2}{m} - 1 - \frac{3}{m} \frac{E}{K}$	(1)
<b>B</b>		$B \equiv \frac{1}{m^2} \left[ \frac{1}{3} (3m_1^2 - m_1 + (2 - 4m_1) \frac{E}{K}) - (m_1 - \frac{E}{K})^2 \right]$	(2)
<b>c</b>	(m/s)	$\sqrt{g h (1 + A \frac{H}{h})}$	(3)
<b>E<sub>f</sub></b>	(W/m)	$\rho g H^2 B c$	(4)
<b>F<sub>m</sub></b>	(N/m)	$2 \rho g h \Delta h$	(5)
<b>F<sub>p</sub></b>	(N/m)	$\rho g h \Delta h$	(6)
<b>F<sub>w</sub></b>	(N/m)	$3 \rho g h \Delta h$	(7)
<b>Δh</b>	(m)	$\frac{H^2}{2h} B$	(8)
<b>p</b>	(N/m <sup>2</sup> )	$p^+ - \rho g z$	(9)
<b>p<sub>max</sub><sup>+</sup></b>	(N/m <sup>2</sup> )	$\rho g \left[ \eta_{max} - 4h \left( 1 - \left( \frac{z+h}{h} \right)^2 \right) \frac{H K^2}{g T^2} \right]$	(10)
<b>p<sub>min</sub><sup>+</sup></b>	(N/m <sup>2</sup> )	$\rho g \left[ \eta_{min} + 4h m_1 \left( 1 - \left( \frac{z+h}{h} \right)^2 \right) \frac{H K^2}{g T^2} \right]$	(11)
<b>u<sub>max</sub></b>	(m/s)	$c \left[ \frac{\eta_{max}}{h} - \left( \frac{\eta_{max}}{h} \right)^2 - 4 \left( \frac{1}{3} - \left( \frac{z+h}{h} \right)^2 \right) \frac{H K^2}{g T^2} \right]$	(12)
<b>u<sub>min</sub></b>	(m/s)	$c \left[ \frac{\eta_{min}}{h} - \left( \frac{\eta_{min}}{h} \right)^2 + 4 m_1 \left( \frac{1}{3} - \left( \frac{z+h}{h} \right)^2 \right) \frac{H K^2}{g T^2} \right]$	(13)
<b>U</b>		$U \equiv \frac{H L^2}{h^3} = \frac{16}{3} m K^2$	(14)
<b>η</b>	(m)	$\eta_{min} + H \operatorname{cn}^2(\theta, m)$	(15)
<b>η<sub>max</sub></b>	(m)	$\eta_{min} + H$	(16)
<b>η<sub>min</sub></b>	(m)	$H \left( \frac{1}{m} \left( 1 - \frac{E}{K} \right) - 1 \right)$	(17)
<b>θ</b>		$\theta \equiv 2K \left( \frac{t}{T} - \frac{z}{L} \right)$	(18)

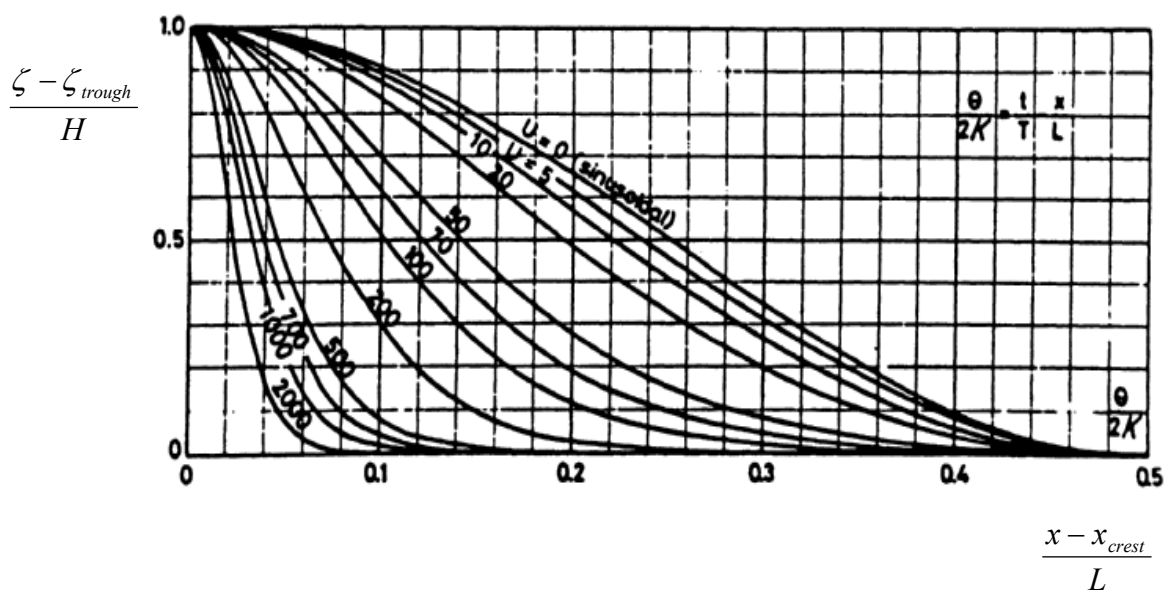
*Bản tóm tắt các phương trình lý thuyết Cnoidal (Skovgaard và cộng sự, 1974)*

Trước khi đi vào chi tiết, ta hãy đưa ra hai nhận xét chung. Thứ nhất là lý thuyết cnoidal về bản chất chỉ giới hạn cho điều kiện nước nông với tiêu chuẩn  $h/L_0 \leq 1$

(hay  $T(gh)^{\frac{1}{2}} \geq 8$ ) là thoả mãn. Thứ hai, một thông số quan trọng trong lý thuyết là số Ursell ( $U_r = HL^2/h^3$ , phương trình 4.6). Các hàm toán học dạng cnoidal mô tả nghiệm cho một giá trị nào đó của  $U_r$  được giảm xuống cho hai trường hợp giới hạn:  $U_r \rightarrow 0$  và  $U_r \rightarrow \infty$ . Trường hợp đầu tiên tương ứng với  $H/h \rightarrow 0$  (vì rằng  $L/h \gg 1$  trong lý thuyết cnoidal). Các kết quả trong trường hợp này trở thành các kết quả của lý thuyết sóng tuyến tính cho vùng nước nông. Trường hợp giới hạn thứ hai tương ứng với  $L/h \rightarrow \infty$  (vì  $H/h$  là giới hạn; thực tế là đã giả thiết rằng  $H/h \ll 1$ ). Điều này dẫn tới tên gọi là sóng cô lập.

#### 4.3.1 Profile mặt nước

Profile mặt nước dự báo theo lý thuyết cnoidal chỉ phụ thuộc vào  $U_r$  (xem hình 4.5). Với  $U_r \rightarrow 0$ , profile mặt nước có dạng hình sin. Khi giá trị  $U_r$  tăng lên, đỉnh sóng trở nên nhọn hơn và bụng sóng trở nên dài hơn và phẳng hơn. Nói chung các profile dự báo phù hợp tốt với các profile đo đạc được.



Hình 4.5 Các profile mặt nước dự báo theo lý thuyết sóng Cnoidal (Skovgaard và cộng sự, 1974).

#### 4.3.2 Vận tốc và quỹ đạo hạt lỏng

Trong lý thuyết sóng cnoidal bậc nhất, vận tốc nằm ngang của hạt lỏng là gần như tỷ lệ với mực mặt nước và thay đổi theo khoảng cách từ đáy theo một đường parabol. Có thể tham khảo Skovgaard và cộng sự (1974) về các công thức với  $u_{max}$  và  $u_{min}$  (Bảng 4.1).

### 4.3.3 Vận tốc pha

Vận tốc pha trong lý thuyết sóng cnoidal có bậc biên độ là  $(gh)^{\frac{1}{2}}$ , hơi giảm hơn một chút vì giá trị giới hạn của tỷ số giữa bước sóng và độ sâu (hiệu ứng phụ thuộc vào tần số như trong lý thuyết cho sóng ngắn) và tăng lên một chút do ảnh hưởng của tính hữu hạn của biên độ (hiệu ứng phi tuyến).

### 4.3.4 Hàm lượng năng lượng và tốc độ vận chuyển năng lượng

Năng lượng thế trung bình trên một đơn vị diện tích ( $PE$ , phương trình 3.103) là tỷ lệ thuận với  $\overline{\zeta^2}$ . Với một mặt sóng dạng hình sin,  $\overline{\zeta^2} = H^2 / 8$ . Với mặt sóng cnoidal với dạng mặt nước phụ thuộc vào  $U_r$ , tỷ số  $B = \overline{\zeta^2} / H^2$  là một hàm giảm của  $U_r$ .

Với phép xấp xỉ bậc thấp nhất, tốc độ vận chuyển năng lượng trong sóng cnoidal được tính từ (3.111), với  $p_+$  cho bởi xấp xỉ tĩnh học  $p_+ = \rho g \zeta$ , và  $u$  bởi biểu thức tuyến tính cho sóng dài  $u = c \zeta / h$ . Điều đó cho

$$E_f = \frac{1}{T} \int_{-h-T/2}^0 \int_{-T/2}^{T/2} p_+ u dz dt = \rho g c \overline{\zeta^2} = B \rho g H^2 c \quad (4.8)$$

Thực ra,  $p_+$  không phải là thủy tĩnh và giá trị tuyệt đối của nó nhỏ hơn  $\rho g \zeta$  tại các điểm thấp hơn MWL. Vì vậy, (4.8) tính quá tốc độ vận chuyển năng lượng.

## 4.4. Các lý thuyết số

Các lý thuyết ở trên cung cấp các biểu thức giải tích cho các hệ số xuất hiện trong các chuỗi số mũ giả thiết với bậc chính xác cho trước. Sự phức tạp của các biểu thức tăng nhanh với sự gia tăng của bậc chính xác. Vì lý do đó mà các xấp xỉ giải tích bậc cao là không khả thi. Tuy nhiên có thể đưa ra các thuật toán để tính các hệ số này bằng phương pháp số trị. Theo cách này, có thể dùng các xấp xỉ có độ chính xác rất cao (khoảng 100) để mở rộng phạm vi áp dụng của lý thuyết và tăng cường độ chính xác. Các lý thuyết thuộc dạng này được gọi là các lý thuyết số trị. Cần nhận thấy rằng tên này không có nghĩa là lời giải số trị cho các phương trình vi phân cơ bản, thí dụ như bằng phương pháp sai phân hữu hạn hay phần tử hữu hạn.

Một lý thuyết được biết đến rất rộng rãi là lý thuyết hàm dòng do Dean (1965) xây

dụng. Việc sử dụng nó khá dễ dàng nhờ việc xuất bản các bảng (Dean, 1974). Các bảng này đã được xây dựng để áp dụng cho kỹ thuật. Ngoài các thông số khác, nó chứa số liệu về vận tốc pha, vận tốc hạt lỏng, gia tốc và áp lực cũng như moment sóng trên các hình trụ đứng. Các đại lượng này được lập bảng cho 10 độ sâu tương đối 10 ( $h/L_0$  trong khoảng từ 0.02 tới 2) và 4 độ cao sóng tương đối ( $H/H_{\max} = 1/4, 1/2, 3/4$  và 1, trong đó  $H_{\max}$  là độ cao cực đại của sóng có bước sóng hay chu kỳ cho trước tại một độ sâu cho trước).

Chaplin (1980) đã xây dựng một phiên bản nữa của lý thuyết hàm dòng có độ chính xác cao hơn cho các sóng rất dốc. Ông đã so sánh kết quả của mình và các kết quả của Dean (1974) với kết quả của lý thuyết chính xác của Cokelet (xem dưới đây). Các giá trị tính theo các bảng của Dean là chính xác với ba giá trị nhỏ của  $H/H_{\max}$ , nhưng với  $H/H_{\max} = 1$  có một sự sai khác lớn (cụ thể là sai số 30% trong vận tốc hạt nước cực đại).

Rienecker và Fenton (1981) đã đưa ra những cải tiến về lý thuyết hàm dòng và một thuật toán để tính tập hợp các hệ số bằng một sơ đồ lặp hiệu quả với tốc độ hội tụ nhanh.

Một lý thuyết số trị khác do Cokelet (1977) đề xuất đã sử dụng mối liên hệ giữa các hệ số của các bậc khác nhau để mở rộng lời giải tới các bậc rất cao. Thêm vào đó, Cokelet dùng một kỹ thuật toán đặc biệt để cải tiến cách lấy tổng của các chuỗi được tạo thành. Bằng cách đó ông đã có thể tính toán rất nhiều đặc tính của sóng với độ chính xác tới hai chữ số sau dấu phẩy, thậm chí cho sóng cao nhất có thể có như đã được kiểm chứng bằng cách so sánh với các lý thuyết đã được xây dựng độc lập cho trường hợp đặc biệt này. Có vẻ như từ khía cạnh thực tế, công trình của Cokelet có thể được xem là cho một lời giải chính xác về các vấn đề cổ điển như các sóng trọng lực bề mặt phi tuyến và không xoáy. Kết quả của ông có thể được dùng như tiêu chuẩn để đánh giá các lý thuyết xấp xỉ khác nhau. Cokelet đã trình bày các bảng về các tính chất độc lập về pha và trung bình của sóng mà không phải là các giá trị tức thời như vận tốc và gia tốc hạt lỏng. Việc sử dụng lý thuyết của ông vào thực tế kỹ thuật yêu cầu phải viết một số chương trình máy tính khá phức tạp.

Cuối cùng là cần phải kể đến công trình của Williams (1985) người đã phát triển một công thức thay thế có khả năng hội tụ nhanh ngay cả với những sóng cao nhất. Các kết quả của ông, kể cả áp suất thay đổi theo pha và vận tốc, gia tốc và dịch chuyển nằm ngang và thẳng đứng đã được lập thành bảng.

#### **4.5 Giới hạn áp dụng của các lý thuyết khác nhau**

Trước khi tìm ra lời giải có độ chính xác cao, một câu hỏi thông thường nhất là các xấp xỉ bậc thấp (như Stokes bậc 1, 2 hay 3 hay cnoidal bậc 1 hay 2) là áp dụng được cho một phối hợp cho trước của độ dốc sóng và độ sâu tương đối. Vì vậy, người ta đã cố gắng xác lập



giới hạn áp dụng của các xấp xỉ bậc thấp.

Từ quan điểm học thuật, việc xác lập miền áp dụng là một việc làm không phù hợp sau khi Cokelet và những người khác đã tìm được lời giải bậc cao hầu như là chính xác.

Không có một câu trả lời duy nhất cho câu hỏi là xấp xỉ bậc thấp nào của một tập hợp các xấp xỉ cho trước là áp dụng phù hợp nhất cho một phối hợp cho trước của  $H/L$  và  $h/L$ . Câu trả lời phụ thuộc vào các thông số dùng để so sánh (vận tốc pha, độ cao cực đại của đỉnh sóng v.v...).

Từ quan điểm thực tế, việc quyết định dùng xấp xỉ này hay xấp xỉ kia phụ thuộc không chỉ vào độ chính xác có thể đạt được mà còn phụ thuộc vào độ chính xác mà bài toán thực tế yêu cầu và công sức phải bỏ ra. Trong mỗi liên hệ này, cần nhận thấy rằng việc chỉ chú ý tới độ chính xác vài phần trăm chẳng có ý nghĩa đáng kể nếu các số liệu đầu vào có sai số khoảng 10% hay 20%.

Vì rằng có rất nhiều lý thuyết nên khi xem xét khả năng cũng như công sức có thể bỏ ra của người làm nghiệp vụ, không thể đưa ra một nhận xét chung nào về xấp xỉ nào là xấp xỉ tốt nhất. Tuy nhiên, các nhận xét sau có thể được xem như là hướng dẫn chung:

Một xấp xỉ bậc cao không nhất thiết là tốt hơn một xấp xỉ bậc thấp vì rằng chuỗi sử dụng có thể phân kỳ. Ví dụ như với các giá trị của số Ursell lớn, lý thuyết Stokes bậc 1 (lý thuyết tuyến tính) cho kết quả xấp xỉ của vận tốc hạt nước lớn hơn so với xấp xỉ Stokes bậc 2 và bậc 3. Điều nói trên cũng đúng cho các lý thuyết cnoidal.

Tính phi tuyến là tương đối quan trọng với các giá trị địa phương (như độ cao đỉnh sóng, vận tốc hạt nước cực đại) hơn là đối với các giá trị chung (vận tốc pha, hàm lượng năng lượng trung bình v.v...). Biên độ tương đối của các thành phần phi tuyến giảm theo độ sâu dưới bề mặt tự do.

# CHƯƠNG 5 CÁC ĐẶC TRƯNG CỦA SÓNG DO GIÓ TẠO RA

## 5.1 Cơ chế tạo sóng do gió

### 5.1.1 Profile vận tốc gió và ứng suất gió trên mặt biển khơi

Loại trừ một số rất ít loại sóng gây ra do các nguyên nhân khác (như do tàu thuyền đi qua v.v...) thì sóng biển là do gió tạo ra. Gió tác động lên mặt nước một ứng suất nhất định. Ứng suất này thông thường được đại diện bằng vận tốc ma sát. Vận tốc gió trên mặt biển thường được biểu diễn bằng một chỉ số là độ cao đo vận tốc gió tính bằng m từ mực nước biển (MWL). Thí dụ, biểu thị vận tốc gió tại độ cao 10 m trên mực nước biển. Giá trị vận tốc gió này thường được chấp nhận để sử dụng cho hầu hết các hoạt động trên biển. Một giá trị rất thông dụng của vận tốc gió là giá trị tại độ cao 19,5m, bởi vì nhiều máy đo vận tốc gió trên các tàu lớn được đặt ở độ cao này. Tốc độ gió có thể được đo bằng m/s, km/h, dặm/giờ, hay knots (hải lý trên giờ). Các giá trị này liên hệ với nhau như sau:

$$1 \text{ m/s} = 3.6 \text{ km/h} = 2.24 \text{ dặm/h} = 1.94 \text{ knots}$$

Profile tốc độ gió trên biển khơi được Pierson (1964) chấp nhận là tốc độ gió do Sheppard (1958) đề nghị cho các điều kiện của biển khơi là

$$U_y / U_{10} = 1 + (C_{10}^{1/2} \ln y / 10) / k \quad (5.1)$$

với  $U_y$  là vận tốc gió tại độ cao  $y$  trên mặt biển,  $C_{10}$  là một hệ số trở kháng phụ thuộc vào vận tốc gió, và  $k$  là hằng số von Karman (= 0.4). Ứng suất gió tác động lên bề mặt nước được cho như sau:

$$\tau = \rho_a u_*^2 \quad (5.2)$$

với  $\rho_a$  là mật độ không khí và  $u_*$  là vận tốc ma sát gần mặt nước. Ứng suất này còn có thể được biểu thị như sau:

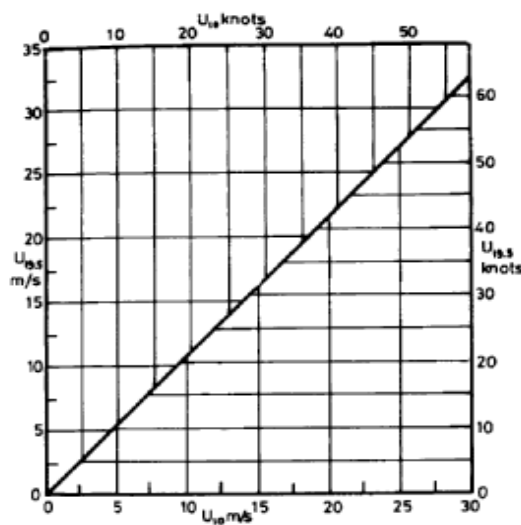
$$\tau = \rho_a C_y U_y^2 \quad (5.3)$$

với  $C_y$  là hệ số trở kháng, biến đổi theo vận tốc gió. Ứng suất này bị ảnh hưởng bởi độ gồ ghề của mặt nước do sóng gây ra.

Giá trị của hệ số  $C_{10}$  như trong phương trình (5.1) đã được Sheppard (1958) và Wilson (1960) rút ra, và được Wu (1969) tổng kết lại. Silvester (1974a) đã dùng một số kết quả để vẽ đồ thị và đề nghị một mối liên hệ sau:

$$C_{10} = 0.00065U_{10}^{1/2} \quad (5.4)$$

đối với  $U_{10}$  nhỏ hơn 15 m/s và một giá trị không đổi  $C_{10} = 0.0024$  với  $U_{10}$  lớn hơn hoặc bằng 15 m/s. Thế vào phương trình (5.1) cho ta các giá trị của vận tốc gió tại các độ cao như chỉ ra trên hình 5.1. Giá trị của hệ số này tại các độ cao khác được rút ra nhờ sử dụng phương trình (5.1).



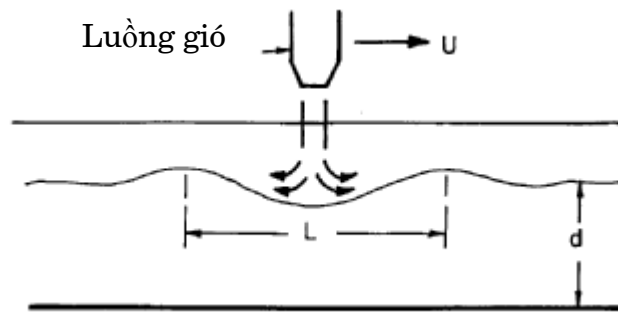
Hình 5.1 Liên hệ giữa vận tốc gió tại 10m và 19.5m trên mực nước biển

### 5.1.2 Các lý thuyết về cơ chế tạo sóng do gió

Gió có thể tạo ra dòng chảy trong biển do tác dụng một ứng suất vào bề mặt biển, hoặc là tạo sóng do các biến động áp suất. Một khi đã có gió thì sẽ có những xoáy rối do gió gây ra. Các xoáy rối này được gió vận chuyển đi theo hướng gió, đồng thời chuyển động lên xuống phía trên bề mặt nước. Những biến động áp suất gây ra do chuyển động của các xoáy rối này sẽ tạo ra những dao động trên bề mặt nước và như vậy tạo ra sóng. Dòng chảy do gió tạo ra trên bề mặt cũng ảnh hưởng tới nước ở một độ sâu nào đó.

Sự lồi của bề mặt nước gây ra bởi các xoáy rối là rất nhỏ, tuy nhiên, khi được duy trì trong một khoảng thời gian nào đó cùng với phần lồi lên của mặt nước do nó tạo ra, nó sẽ phát triển. Điều này cũng giống như một luồng gió chạy trên mặt nước như trong hình 5.2 mà độ lớn của tốc độ gió sẽ tạo nên một bước sóng nào đó. Nếu như luồng gió đứng yên thì sẽ không có sóng tạo thành. Nếu như nó chuyển động chậm thì phần lồi xuống sẽ tự biến mất. Tuy nhiên,

nếu như nó chuyển động với tốc độ bằng với tỷ lệ giữa bước sóng và chu kỳ, sóng sẽ lớn lên. Rối trong không khí là rối ba chiều, vì vậy, các chỗ lõm là ngẫu nhiên cả về không gian và thời gian. Như vậy, sóng được tạo thành tại rất nhiều hướng mà chỉ những sóng chuyển động cùng tốc độ với các xoáy rối là lớn lên. Góc cộng hưởng với hướng gió càng lớn thì chu kỳ sóng càng nhỏ, và sóng có chu kỳ lớn nhất là sóng chuyển động theo hướng gió.



Hình 5.2 Sóng gây ra bởi một luồng gió chuyển động (Theo Silvester và Hsu, 1997)

Một khi gió đã thổi thì nó sẽ tạo ra rất nhiều sóng có độ cao và chu kỳ khác nhau. Một khi sóng đã tạo ra được một khoảng thời gian đủ dài, các sóng ngắn sẽ phát triển đến một độ cao tới hạn nào đó và sau đó nó sẽ bị vỡ. Các sóng dài cũng giúp cho các quá trình này bằng cách làm giảm bước sóng của các sóng ngắn nằm trên đỉnh của nó (Longuet Higgins và Stewart 1960; Wu 1971) và làm cho chúng vỡ trên mặt trước của các sóng này (hiện tượng sóng bạc đầu). Đây cũng là một phương pháp dịch chuyển năng lượng từ các sóng thành phần ngắn tới các sóng thành phần dài và làm tăng độ cao của các sóng thành phần dài. Khi mà đà và thời gian tác động của gió tăng lên, tổng năng lượng của sóng sẽ tăng lên tới khi bão hoà và tất cả năng lượng gió hấp thụ được sẽ bị tiêu tán do sóng vỡ. Trạng thái này được gọi là sóng phát triển hoàn toàn hay FAS. Khi đó các đặc trưng sóng phụ thuộc vào tốc độ gió dừng mà không phụ thuộc vào đà hay thời gian tác động của gió.

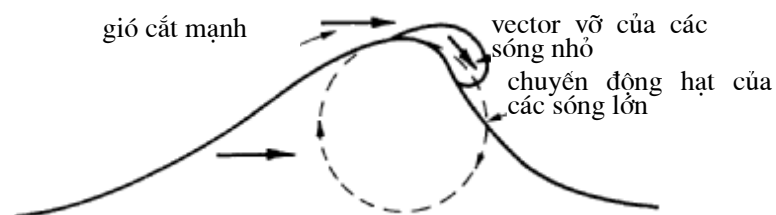
Ở đây sẽ trình bày ngắn gọn bốn giai đoạn tạo sóng xảy ra đồng thời, đã được Silvester (1974a) và rất nhiều nhà nghiên cứu khác thảo luận rất kỹ. Các cơ chế này là cộng hưởng, dòng cắt, hiệu ứng che chắn và sóng vỡ.

Phillips (1957) đã có những đóng góp đáng kể cho ngành hải dương học bằng cách đề ra rằng các nhiễu động ngẫu nhiên của áp suất trên bề mặt nước là nguồn gốc của chuyển động sóng. Các dao động áp suất này phải tác động trong một khoảng thời gian đáng kể trong lúc chuyển động trên mặt nước với một vận tốc bằng vận tốc truyền sóng. Các xoáy rối nhỏ gần mặt nước chuyển động chậm hơn các xoáy rối lớn nằm cách xa mặt nước hơn. Tuy nhiên, các sóng có chu kỳ khác nhau có thể được tạo thành đồng thời, và như đã trình bày ở trên, các sóng

nhỏ hơn phát triển nhanh hơn. Những dao động này không nhất thiết phải lan truyền theo hướng gió, mà có thể lan truyền theo một hướng tạo với hướng gió một góc nào đó. Quá trình cộng hưởng này chỉ áp dụng cho các sóng có độ cao rất nhỏ và không được tính đến khi nghiên cứu liên kết biển khí. Sau quá trình bắt đầu này, các quá trình tạo sóng khác xảy ra.

Đồng thời với thời điểm mà Phillips công bố lý thuyết của mình, Miles (1957) đưa ra lý thuyết dòng chảy cắt dựa trên phân bố logarit của vận tốc gió theo phương thẳng đứng. Tuy rằng bỏ qua các dao động rối, lý thuyết này tính đến áp suất tác dụng theo phương thẳng đứng với bề mặt nước. Nó giả thiết rằng mặt nước ban đầu bị nhiễu động khi có gió thổi ở phía trên sẽ tạo ra những vùng hút và nén không cùng pha với sóng. Điều đó gây ra lực tác động lên mặt sau của đỉnh sóng làm cho mặt nước tại đây chuyển động xuống phía dưới. Việc này giúp cho sóng phát triển. Tuy nhiên, lý thuyết này trở nên bất cập khi mà các đường dòng tách khỏi bề mặt đỉnh sóng. Khi đó, sự phát triển của sóng cần được giải thích bằng một số cơ chế khác. Stewart (1961) đã làm việc này.

Hai lý thuyết trên bổ sung cho nhau vì rằng cộng hưởng do rối tạo ra những dao động ban đầu với một phổ chu kỳ rộng, trong khi dòng chảy cắt giúp cho các sóng ngắn hơn phát triển. Cộng hưởng tạo ra sự gia tăng năng lượng một cách tuyến tính, trong khi cơ chế thứ hai tạo ra sự gia tăng năng lượng theo hàm mũ. Các sóng có vận tốc truyền gần với tốc độ gió (hay  $c/U \rightarrow 0.8$ ) có thể đạt tới độ dốc tới hạn ( $H/L$ ) chỉ bằng cách phát triển theo cơ chế cộng hưởng. Các sóng ngắn hơn ( $c \ll U$ ) sẽ vượt qua giai đoạn phát triển tuyến tính và phát triển theo hàm mũ trước khi đạt tới giới hạn này. Phillips và Katz (1961) đã tính thời gian thực hiện việc chuyển đổi này đối với các sóng có chu kỳ khác nhau. Longuet-Higgins và những người khác (1963) đã đo sóng bằng phao và kết luận rằng 90% dao động áp suất không khí là phối hợp với sóng và chỉ 10% là phối hợp với rối do gió.

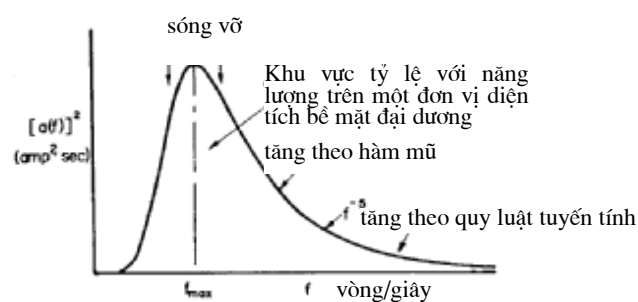


Hình 5.3: Sự chuyển dịch động năng có thể có từ các sóng ngắn bị vỡ cho các sóng có chu kỳ dài (theo Silvester và Hsu, 1997)

Sóng tiếp tục phát triển quá các điều kiện được Miles dự báo bằng một cơ chế gọi là hiệu ứng che chắn. Điều này có nghĩa là tồn tại một lực hút ở mặt trước và một lực đẩy ở mặt sau của các sóng đã hình thành. Stanton (1937) đã khẳng định sự tồn tại của cơ chế này và nhờ nó mà

Jeffreys (1925) đã giải thích quá trình hình thành sóng một cách hoàn chỉnh. Chỉ có áp suất tác dụng theo phương vuông góc với mặt nước là được tính đến còn lực tác dụng theo phương tiếp tuyến với bề mặt là bị bỏ qua. Vì các hạt nước tại đỉnh sóng chuyển động theo hướng gió, đường như là bất kỳ một ứng lực nào tác động lên nó cũng có xu hướng gia tăng đường kính của quỹ đạo hạt, tức là gia tăng độ cao sóng. Hino (1966) liên kết các phương trình của Phillips và Miles mà không dùng một yếu tố thực nghiệm nào. Ông đã chứng minh rằng ở trạng thái FAS, đóng góp của áp suất trong ứng lực toàn phần đạt tới 100%, trong lúc tại đầu đón gió của đà, đóng góp này chỉ là 50%. Điều này có thể hiểu được là vì độ gồ ghề của bề mặt nước tăng lên dọc theo đà, và như vậy cho phép gió tác động tốt hơn tới sóng. Trạng thái ổn định sẽ đạt tới khi mà năng lượng hấp thụ được từ gió được tiêu tán bởi sóng vỡ, rối, nhiễu hiệu ứng khác và dòng chảy gió.

Sóng vỡ là một phần rất quan trọng của quá trình tạo sóng mà nhiều nhà nghiên cứu cho là một cơ chế tiêu tán năng lượng. Tuy nhiên, khi mà sóng vỡ, như đã chỉ ra trên hình 5.3, động năng có thể được chuyển đổi sang chuyển động quỹ đạo của các hạt nước mặt. Quá trình vỡ trên đỉnh của các sóng dài hơn có thể được gia tăng nhờ tốc độ gió. Tuy nhiên, khi mà tốc độ lan truyền của các sóng dài này tiệm cận tới vận tốc gió, ( $C/U = 1.0$ ), quá trình này suy giảm và do vậy kết thúc quá trình gia tăng năng lượng. Longuet-Higgins (1969) đã đưa ra cơ sở lý thuyết cho quá trình chuyển đổi năng lượng từ các sóng ngắn hơn tới các sóng dài hơn. Ông phát biểu rằng "Khi mà các sóng ngắn suy giảm nhanh chóng vì buộc phải vỡ trên mặt trước của các sóng dài, năng lượng của các sóng dài được gia tăng nhanh chóng. Các kết quả tính toán cho thấy rằng cơ chế này có khả năng truyền năng lượng cho sóng biển với một tốc độ quan trọng được."



Hình 5.4 Phổ năng lượng đặc trưng cho sóng đại dương

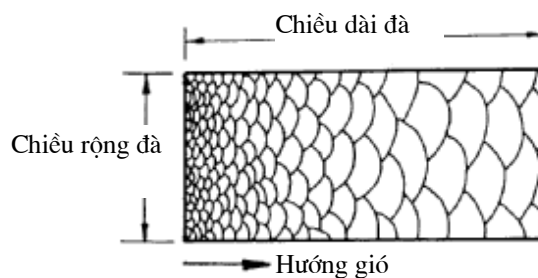
Chuỗi số liệu đo đạc sóng tại một số điểm trong đại dương có thể được phân tích để cho ta năng lượng của các thành phần theo tần số ( $f$ ). Phân bố năng lượng theo tần số này có thể được vẽ thành đồ thị, như đồ thị trên hình 5.4, mà ở đó năng lượng được đo bằng bình phương biên độ của mỗi sóng thành phần với tần số  $f$ .

### 5.1.3 Sóng gió và sóng lừng

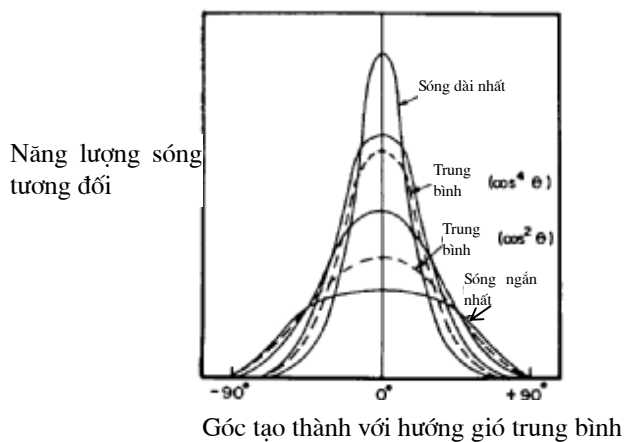
Nếu như sóng vẫn đang được tạo thành và duy trì nhờ gió, sóng được gọi là sóng gió. Sóng đã rời khỏi khu vực tạo sóng và phân tán trên biển được gọi là sóng lừng. Mỗi loại sóng có các tính chất riêng biệt và ảnh hưởng khác nhau tới động lực học ven bờ.

**Sóng gió:** Các dao động của bề mặt nước là rất phức tạp, bao gồm các sóng có bước sóng và độ cao khác nhau, lan truyền theo các hướng khác nhau. Vì vậy, quá trình này tạo ra các sóng chính có độ dốc lớn, và chúng làm cho các sóng nhỏ vỡ ra trên mặt của chúng. Điều này làm cho các sóng dốc hơn trở thành bất đối xứng và dốc hơn ở mặt trước. Các đặc trưng này làm cho sóng gió dễ dàng bị vỡ và như vậy những vùng nước nông hay dòng chảy ngược dễ dàng tiêu tán những sóng này. Bản chất đa hướng của sóng gió được vẽ trên hình 5.5, với các sóng ở đầu gió chủ yếu là các sóng ngắn và lan truyền theo hướng gió. Tiến thêm về phía cuối gió ta thấy rằng các sóng lớn hơn và dài hơn có xu hướng lan truyền theo hướng gió hơn, nhưng không phải hoàn toàn như vậy. Điều này mang lại tầm quan trọng của chiều rộng đà trong quá trình tạo sóng, bởi vì các sóng ngắn lan truyền theo một hướng xiên với hướng gió cần phải đạt tới sự bất ổn định và vỡ để năng lượng của chúng biến thành năng lượng của các sóng dài hơn. Một đà rất hẹp sẽ không cho phép điều này xảy ra, loại trừ trong mô hình máng sóng hay vực sâu gần cửa sông khi mà phản xạ sóng xảy ra.

Sơ đồ phân bố năng lượng theo hướng của sóng được vẽ trên hình 5.6, với các đường trung bình  $\cos^2 \theta$  và  $\cos^4 \theta$  áp dụng riêng rẽ cho các sóng ngắn và dài. Như ta đã thấy, một phần năng lượng được vận chuyển gần như là theo các hướng vuông góc với hướng vector gió cả hai bên.

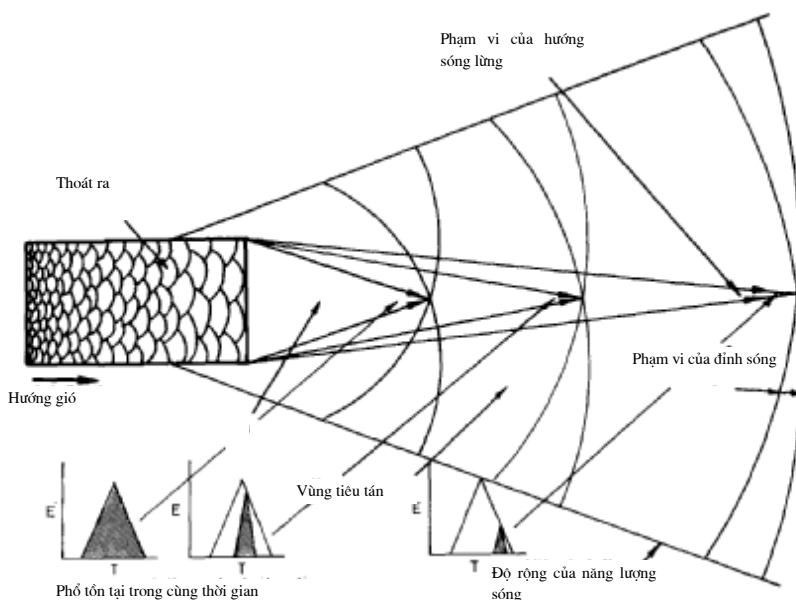


Hình 5.5 Dạng đỉnh đặc trưng của sóng dọc theo đà (Theo Silvester và Hsu, 1997)



Hình 5.6 Phân bố năng lượng theo hướng trong các sóng có chu kỳ khác nhau trong điều kiện gió đặc biệt (Theo Silvester và Hsu, 1997)

**Sóng lừng:** Các sóng có một chu kỳ nào đó trong ã sẽ có một hướng phát triển tối ưu, như ta thấy trên hình 5.4. Một khi đã được tạo thành, các sóng này sẽ lan truyền theo hướng cho trước và đi ra khỏi miền gió lớn hay bão. Các sóng này được gọi là sóng lừng và lan truyền qua một khoảng cách rất dài, thậm chí là vượt đại dương. Trong miền cuối gió hay miền phân tán, như thấy trên hình 5.6, các sóng phân tán theo hình tròn và theo các tia từ cuối của ã.

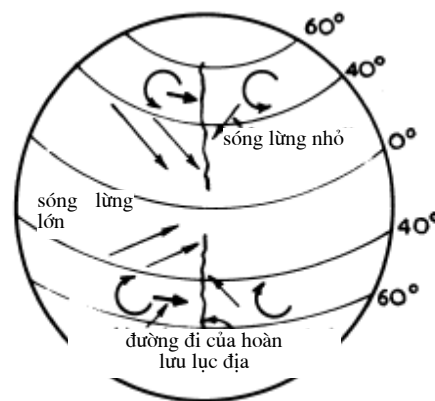


Hình 5.8 Phổ sóng và sự lan truyền sóng trong vùng phân tán (Theo Silvester và Hsu, 1997)



Phần lớn năng lượng sóng tập trung vào khoảng  $30^\circ$  xung quanh vector tốc độ gió. Phần của năng lượng FAS lan truyền tới bất cứ điểm nào cuối gió được quyết định bởi góc tạo bởi hai đường thẳng nối hai biên giới của đà tới điểm đó. Điểm đó càng ở xa thì góc càng nhỏ và càng ít năng lượng từ vùng gió mạnh được lan truyền tới. Như vậy, chiều rộng của đà có tầm quan trọng rất lớn đối với kích thước của các sóng lừng trong vùng phân tán, hay đôi khi được gọi là vùng suy giảm, bởi vì năng lượng của sóng không bị tiêu tán mà chỉ bị phân tán rộng ra. Khoảng cách càng lớn thì càng ít sóng có thể tương tác, và như vậy là độ cao sóng càng giảm.

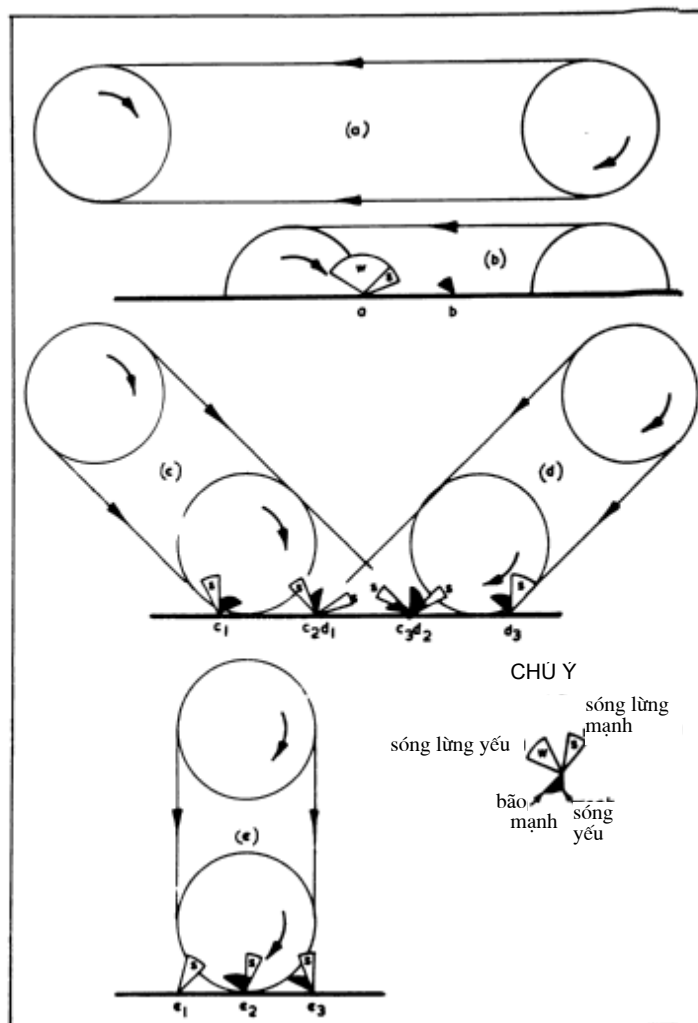
Sóng trong phạm vi đà có thể ổn định trong một khoảng thời gian nào đó sau một khoảng thời gian ổn định tại một điểm cho trước. Tuy nhiên, trong miền phân tán sóng lừng sẽ thay đổi liên tục bởi vì các sóng dài hơn sẽ tới một điểm nào đó trước, sau đó là các sóng có chu kỳ trung bình với độ cao lớn hơn, và sau cùng là các sóng nhỏ với chu kỳ ngắn nếu như chúng có thể tới điểm đó. Điều này được biểu thị bằng phổ sóng tại các điểm khác nhau trong phạm vi miền phân tán như trên hình 5.8. Phần diện tích phía bên dưới đường cong phổ diễn tả độ cao sóng thống kê  $H_{1/3}$ , hay độ cao trung bình của 1 phần 3 số sóng lớn nhất (thường được xem là độ cao sóng có nghĩa), thường được dùng trong thiết kế kỹ thuật. Trong vùng tam giác, lân cận phần cuối gió của đà, tất cả các sóng thành phần chuyển động đồng thời và như vậy dạng bề mặt biển cũng phức tạp y như ở trong đà, trừ việc sóng không bị vỡ.



Hình 5.9 Quỹ đạo của các cơn bão trong khoảng  $40-60^\circ$  độ vĩ (Davies, 1964)

Một đặc điểm nữa của sóng lừng là tính bất biến của hướng sóng tại các điểm khác nhau ở trên bờ. Mặc dù đà sóng có thể trải rộng theo một vĩ độ, các sóng lừng xuất hiện từ vùng này tập trung trong một dải hướng hẹp, đặc biệt là khi chúng bị khúc xạ qua một thềm lục địa nông trước khi vào tới đường bờ. Như ta đã thấy trên hình 5.8, các sóng đi qua một điểm cách xa đà sóng có hướng rất gần nhau. Thậm chí nếu như đà sóng dịch chuyển sang bên một chút,

các sóng xuất hiện từ đầ về cơ bản là có cùng hướng. Một đặc điểm quan trọng của sóng bão trên đại dương là chúng được gây ra bởi các cơn bão di chuyển từ tây sang đông giữa các vĩ độ  $40^\circ$  tới  $60^\circ$  ở cả hai bán cầu, như chỉ ra trên Hình 5.9 (Davies 1964). Quỹ đạo của các cơn bão dao động từ bắc tới nam theo mùa. Một số các cơn bão thậm chí vượt qua vĩ tuyến  $30^\circ$  trong một khoảng thời gian ngắn. Như ta đã thấy trong hoàn lưu gió tại mỗi bán cầu, các sóng bão mạnh nhất, và như vậy là các sóng lừng chính, lan truyền từ hướng đông tới xích đạo. Do vậy bờ tây của các lục địa luôn tiếp nhận các sóng lừng từ hướng đó. Ở các bờ đông sóng lừng tới từ phần đuôi các cơn bão di chuyển từ bờ ra khơi. Trường sóng ở đây được bổ sung bởi các sóng lừng và sóng bão giữa các vĩ độ  $10^\circ$  và  $25^\circ$  tại cả hai bán cầu. Các sóng này có xu hướng lan truyền về phía tây và đi khỏi đường xích đạo. Vì vậy, chế độ sóng tại các bờ phía đông và phía tây lục địa có thể khác nhau một cách đáng kể. Thậm chí tại vị trí mà tâm bão ở gần với một bờ biển trước khi vượt qua nó, các sóng lừng sẽ tập trung vào một dải hẹp trong lúc các sóng bão tại nước sâu có thể trải ra một dải rất rộng, như chỉ ra trên hình 5.10.

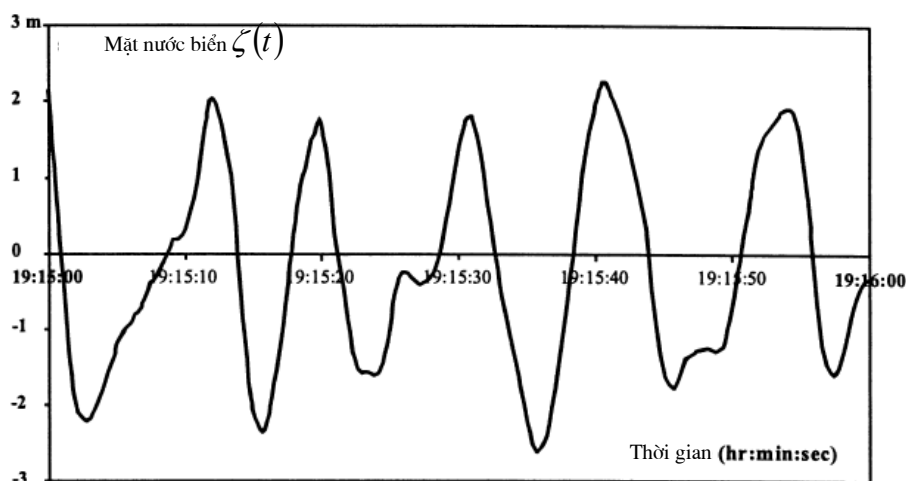


h

Hình 5. Sóng tới từ các cơn bão ở gần một bờ biển

Các sóng lừng có độ cao nhỏ so với bước sóng, hay là độ dốc của chúng ( $H/L$ ) là nhỏ. Do đó chúng có dạng hình sin và rất bền vững. Khi mà chúng vượt qua đại dương, quỹ đạo chuyển động của các hạt nước không đạt tới đáy và do vậy chúng mất rất ít năng lượng. Một đặc tính khác của sóng lừng là chúng có khoảng thời gian tồn tại dài hơn. Cần một khoảng thời gian dài hơn cho các sóng có chu kỳ khác nhau đi qua một điểm cách xa đũa hơn là thời gian chúng tồn tại trong phạm vi đũa. Snodgrass và những người khác (1966) ghi sóng tại năm điểm cắt ngang Thái Bình Dương từ vùng “biển động 40” (40, 50° S) tới Alaska. Họ thấy rằng: “Cứ một hay hai tuần lại thấy một chuỗi sóng liên quan tới một cơn bão lớn ở nam bán cầu, gây ra một “sự kiện” đáng kể, mà có thể tìm được dấu vết qua toàn bộ đại dương.” Các sóng lừng bị suy giảm rất ít khi lan truyền ra khỏi vùng mà chúng được tạo ra. Quá trình suy giảm mạnh mẽ nhất xảy ra với các thành phần có chu kỳ nhỏ là do chúng phân tán tại các góc lớn đối với hướng gió.

## 5.2 Mô tả sóng gió



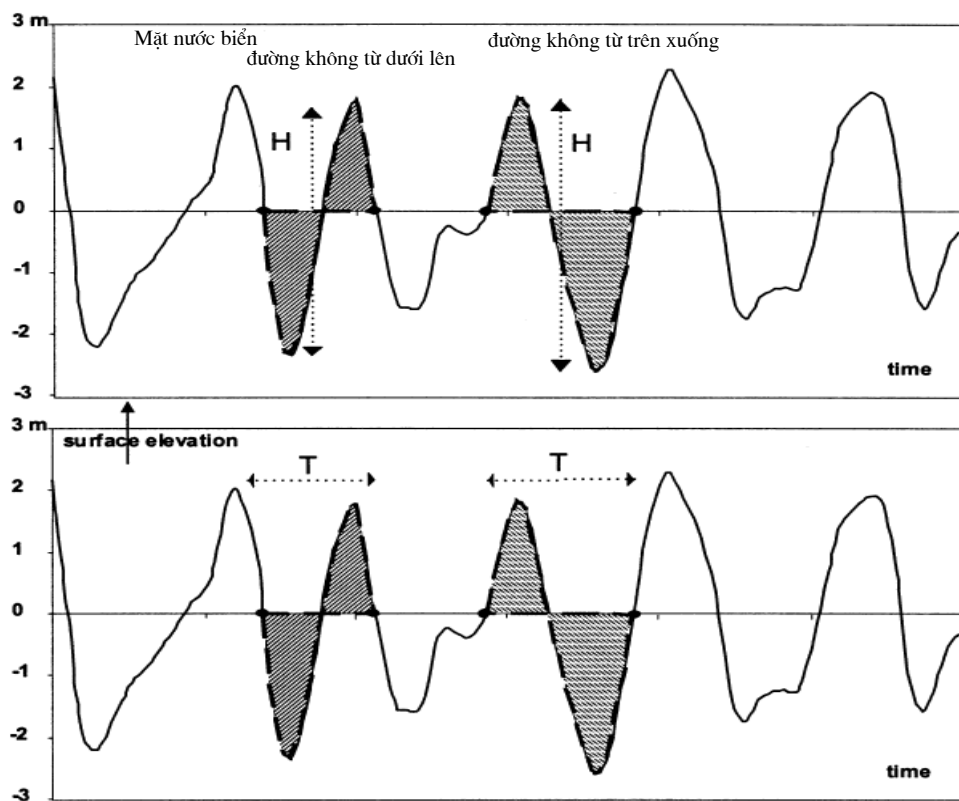
Hình 5.11 Mặt nước biển như là một hàm của thời gian trong cơn bão gần Petten, Hà lan, cách bờ 3500 m, ngày 1 tháng 1 năm 1995 (Holthuijsen và Battjes, 2002).

Bước đầu tiên của việc mô tả sóng gió là xem xét chuyển động thẳng đứng của bề mặt nước tại một vị trí nào đó trên mặt biển. Khi đó, ta sẽ thấy là sóng gió được biểu thị bằng một hàm khá ngẫu nhiên phụ thuộc thời gian. Có thể biểu thị sự biến đổi không gian của bề mặt nước khi có sóng bằng cách xem rằng có sự tương tự giữa biến đổi không gian và biến đổi thời gian của mặt nước.

Mặt nước khi có sóng gió, biểu thị bằng  $\zeta(t)$  thường là khá hỗn loạn và không cho phép

mô tả nó bằng một phương pháp xác định. Nói chung, không thể dự báo được  $\zeta(t)$  vì nó là một hàm ngẫu nhiên của thời gian.

Hãy xem xét một khoảng thời gian  $D$  đủ ngắn để có thể coi các điều kiện sóng là dừng, nhưng đủ dài để có thể lấy được các giá trị trung bình có ý nghĩa. Đối với các quan trắc trên biển, khoảng thời gian này thường được lấy là 15-30 phút. Giá trị trung bình của  $\zeta(t)$  được giả thiết là bằng không. Một đoạn băng ghi sóng trong một cơn bão thực như đã trình bày ở trên được cho trên Hình 5.11.



Hình 5.12 Định nghĩa một sóng bằng các phương pháp cắt đường không từ dưới lên và cắt đường không từ trên xuống (Theo Holthuijsen và Battjes, 2002)

Cho dù một người quan trắc sóng nghiệp dư đến thế nào chăng nữa, họ cũng có xu hướng chú ý vào các sóng lớn. Những quan trắc viên đã được đào tạo cũng làm như thế. Thí dụ, các quan trắc sóng bằng mắt từ các tàu được báo cáo hàng ngày cho mạng lưới của Tổ chức Khí tượng Thế giới (WMO). Các đánh giá này là dựa trên các hướng dẫn của WMO rằng các đánh giá bằng mắt cần dựa trên độ cao và chu kỳ trung bình của 15 tới 20 sóng lớn nhất trong một loạt nhóm sóng. Các đặc trưng sóng trung bình được gọi là độ cao và chu kỳ sóng có nghĩa, ký

hiệu tương ứng là  $H_s$  và  $T_s$  (hay  $H_v$  và  $T_v$  to để cho thấy rằng chúng được đánh giá bằng mắt). Việc chỉ dùng các sóng lớn hơn là rất hay, vì thông thường các sóng nhỏ thường là không được xác định một cách rõ ràng, hơn nữa là chúng quá nhiều nên rất khó cho người quan trắc ghi nhận và tính toán chúng một cách chính xác. Tính chủ quan của các quan trắc bằng mắt đó thường là không tránh khỏi, cho dù có những hướng dẫn của WMO. Do vậy, những khác biệt giữa các đặc trưng sóng quan trắc bằng mắt và đo đạc là không thể tránh khỏi. Vì lý do đó, cần ưu tiên các phân tích khách quan của các đo đạc bằng thiết bị. Một phân tích khách quan yêu cầu phải có một định nghĩa của “sóng”, “độ cao sóng” và “chu kỳ sóng”.

Phần 1.3 cho ta định nghĩa của độ cao sóng với các sóng điều hòa. Tuy nhiên, vì rằng sóng gió có bản chất ngẫu nhiên, độ cao và chu kỳ của sóng biến đổi theo thời gian và như vậy là nhất định phải được xác định cho mỗi sóng. Trong trường hợp này, ta có thể định nghĩa một sóng, như là một hàm thời gian, là mực nước giữa hai điểm mà mặt nước cắt đường không từ dưới lên hay từ trên xuống liên tiếp (xem hình 5.12). Đối với các đặc trưng thống kê của một quá trình Gaussian (xem Chương 6), cả hai định nghĩa này đều có ý nghĩa như nhau. Tuy nhiên, khi nghiên cứu các sóng vỡ với bề mặt dốc, cần thiết nhất là biết được độ cao của đỉnh phía trước. Một bề mặt dốc như vậy được bao hàm trong định nghĩa của sóng bằng phương pháp cắt đường không từ trên xuống. Định nghĩa này còn tương ứng với thói quen ước tính độ cao sóng bằng mắt khi mà độ cao của đỉnh đối với bụng ngay phía trước được ước tính. Cả hai lý do này cho ta ưu tiên lựa chọn định nghĩa sóng bằng phương pháp cắt đường không từ trên xuống.

Tương tự với phần 1.3, với các sóng ngẫu nhiên, ta có thể rất tự nhiên định nghĩa độ cao sóng  $H$  là hiệu số của các giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của  $\zeta(t)$  giữa hai điểm cắt đường không từ trên xuống liên tiếp (tức là giữa một đỉnh và một bụng, hình 5.12. Bằng cách xếp hạng các sóng căn cứ vào thứ tự thời gian của chúng, độ cao sóng trung bình,  $\bar{H}$  được định nghĩa là

$$\text{độ cao sóng trung bình} = \bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i \quad (5.5)$$

với  $i$  là thứ tự của sóng trong một chuỗi thời gian (tức là,  $i=1$  là sóng đầu tiên trong chuỗi thời gian,  $i=2$  là sóng thứ hai v.v...). Đôi khi người ta còn dùng độ cao sóng bình phương trung bình,

$$\text{độ cao sóng bình phương trung bình} = H_{rms} = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i^2 \right)^{1/2} \quad (5.6)$$

Tuy nhiên, độ cao sóng đặc trưng hay được dùng nhất là độ cao trung bình của 1/3 sóng cao nhất. Nó thường được gọi là độ cao sóng có nghĩa  $H_s$ , nhưng để phân biệt nó với độ cao sóng có nghĩa ước tính từ các quan trắc bằng mắt, người ta ký hiệu nó bằng  $H_{1/3}$  (đọc là H một phần ba). Nó được tính như sau:

$$\text{độ cao sóng có nghĩa} = H_s = H_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} H_j \quad (5.7)$$

với  $j$  không phải là số thứ tự theo thời gian mà là thứ tự của sóng sắp xếp theo thứ tự độ cao giảm dần từ sóng cao nhất đến sóng thấp nhất (tức là  $j=1$  ứng với sóng lớn nhất,  $j=2$  ứng với sóng lớn thứ nhì v.v...). Giá trị độ cao sóng này tương ứng với ước tính độ cao sóng bằng mắt và tốt hơn rất nhiều  $\bar{H}$  hay  $H_{rms}$ . Đôi khi, người ta dùng độ cao trung bình của 1/10 sóng cao nhất (H một phần mười), định nghĩa bằng phương trình 5.8. Tuy nhiên, độ cao sóng này không có một mối liên hệ rõ ràng nào với độ cao sóng có nghĩa ước tính từ các quan trắc bằng mắt:

$$H_{1/10} = \frac{1}{N/10} \sum_{j=1}^{N/10} H_j \quad (5.8)$$

với  $j$  được định nghĩa theo cách giống như trong phương trình 5.7.

Một cách rất tự nhiên, ta có thể định nghĩa chu kỳ sóng  $\bar{T}_0$  là khoảng thời gian giữa hai lần cắt đường không từ trên xuống của  $\zeta(t)$  liên tiếp (Hình 5.12). Giá trị trung bình của chu kỳ cắt đường không, ký hiệu là  $\bar{T}_0$  được định nghĩa tương tự với độ cao trung bình  $\bar{H}$  như sau:

$$\text{chu kỳ sóng trung bình} = \bar{T}_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{0,i} \quad (5.9)$$

với  $i$  là số thứ tự của sóng trong một chuỗi thời gian.

Chu kỳ sóng có nghĩa cũng hay được sử dụng, nhưng định nghĩa của nó không hoàn toàn tương tự như định nghĩa của độ cao sóng có nghĩa (nó đòi hỏi phải xếp thứ tự các sóng theo chu kỳ chứ không phải là theo độ cao). Người ta định nghĩa chu kỳ sóng có nghĩa  $T_s$  là giá trị trung bình của chu kỳ của 1/3 sóng cao nhất. Giá trị chu kỳ này được ký hiệu là  $T_{1/3}$  (đọc là T một phần ba) và được tính như sau:

$$\text{chu kỳ sóng} = T_s = T_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} T_{0,j} \quad (5.10)$$

ở đây,  $j$  không phải là số thứ tự thời gian mà là số thứ tự của sóng xếp theo độ cao. Cũng giống như độ cao sóng, đôi khi chu kỳ trung bình của 1/10 sóng cao nhất là được dùng. Giá trị này được ký hiệu là  $T_{1/10}$  (T một phần mười) và được ước tính là:

$$T_{1/10} = \frac{1}{N/10} \sum_{j=1}^{N/10} T_{0,j} \quad (5.11)$$

Một chu kỳ sóng đặc trưng khác cũng được dùng nhưng được định nghĩa với phổ sóng và sẽ được đề cập đến trong chương 6.

Các đo đặc sóng bằng thiết bị thường chỉ được tiến hành thường xuyên tại một số vị trí trong đại dương thế giới (tuy rằng các quan trắc bằng vệ tinh đang nhanh chóng bổ trợ các đo

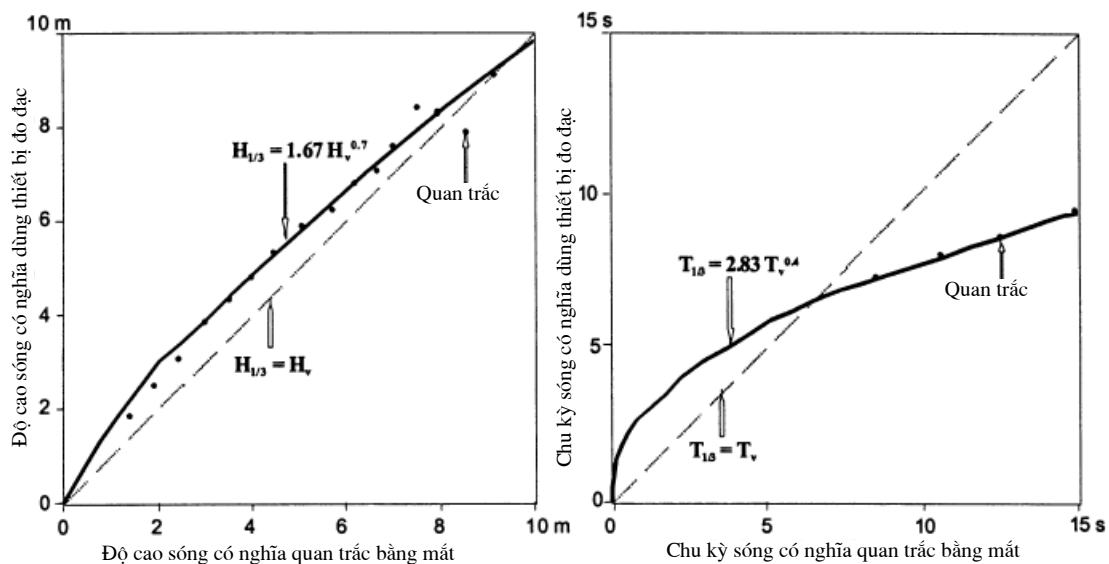
đặc này trên quy mô đại dương). Những khu vực có mật độ thiết bị cao nhất là bờ biển Châu Âu, Mỹ và Nhật Bản. Vì thiếu số liệu, tại nhiều nơi, trong nhiều trường hợp, các kỹ sư cần phải biết tìm thông tin từ nguồn quan trắc khác. Chỉ có thể có hai lựa chọn: quan trắc bằng mắt và thông tin về sóng thu được bằng cách dùng thông tin về gió (bằng cách dùng các mô hình tính toán phục hồi sóng). Do vậy, một kỹ sư cần phải biết được rằng các quan trắc bằng mắt phản ánh các quan trắc bằng dụng cụ tới một mức độ nào. Để làm điều này, người ta có thể quan trắc sóng đồng thời bằng mắt và bằng thiết bị. Sau đó, kết quả của cả hai cách sẽ được so sánh và tìm ra mối liên hệ. Cuối cùng, mối liên hệ này có thể được áp dụng trong trường hợp chỉ có các quan trắc bằng mắt để ước tính  $H_{1/3}$  và  $T_{1/3}$ . Kết quả của các nghiên cứu này (so sánh độ cao và chu kỳ sóng có nghĩa thu được từ các quan trắc bằng mắt và dùng thiết bị (Nordenstroni, 1969)) được trình bày trên Hình 5.13. Sự phù hợp giữa độ cao sóng có nghĩa quan trắc được bằng mắt và thiết bị là rất đáng khích lệ. Quy luật hàm mũ thích hợp nhất tìm được trong trường hợp này là:

$$H_{1/3} = 1.67H_v^{0.77} \quad (5.12)$$

và  $H_{1/3} \approx H_v$  (Hình 5.13). Các chu kỳ sóng có nghĩa quan trắc được bằng mắt không phù hợp một cách thoả đáng với các quan trắc dùng thiết bị. Mối liên hệ hàm mũ phù hợp nhất với chu kỳ sóng là:

$$T_{1/3} = 2.83T_v^{0.44} \quad (5.13)$$

và như vậy  $T_{1/3} \neq T_v$  (Hình 5.13).



Hình 5.13 Mối liên hệ giữa độ cao và chu kỳ sóng quan trắc được bằng mắt và dùng thiết bị đo đạc

# Chương 6 CÁC ĐẶC TRƯNG THỐNG KÊ CỦA SÓNG GIÓ

## 6.1 Các phương pháp thống kê dùng mô tả sóng ngẫu nhiên

### 6.1.1 Sóng mặt đại dương như là một hàm thống kê

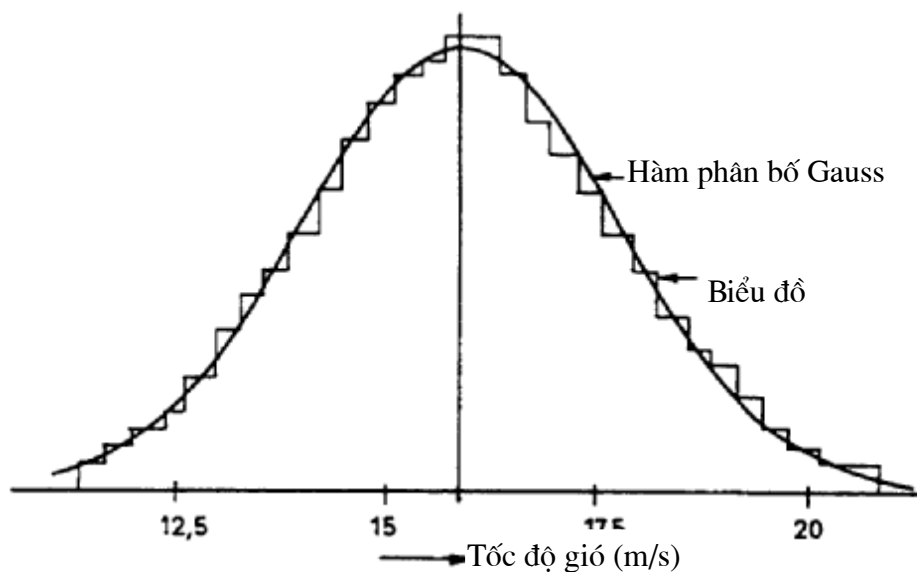
Tốc độ gió là một biến ngẫu nhiên cả về quy mô thời gian ngắn và dài. Trong một quy mô ngắn, một vài phút, tốc độ gió tại một điểm có một giá trị và hướng trung bình nào đó, nhưng nó thay đổi xung quanh các giá trị này một cách ngẫu nhiên, không dự đoán được. Tuy nhiên, trong một khoảng thời gian ngắn thì các đặc trưng thống kê ở một mức độ nào đó là không đổi. Do vậy mà ta có thể coi đó là một quá trình ngẫu nhiên dừng. Các biến đổi ngắn hạn này có thể được mô tả một cách thống kê. Các quan trắc cho thấy rằng biên độ của vận tốc gió tại một thời điểm nào đó một cách gần đúng tuân theo phân bố Gauss (xem Hình 6.1)

Trên một quy mô thời gian dài hơn, các giá trị trung bình trong khoảng thời gian ngắn tự thân chúng là biến đổi. Ở đây, ta có thể phân biệt các quy mô thời gian vài giờ, vài ngày, vài tuần, vài tháng, mấy mùa, mấy năm hay mấy thập kỷ v.v.... Ở quy mô thời gian nhiều nhất là vài ngày, có thể dự báo được vận tốc gió trung bình ngắn hạn bằng một mô hình khí quyển với số liệu đầu vào là trạng thái thời tiết hiện tại (dự báo thời tiết).

Trong ngành kỹ thuật ngoài khơi và bờ biển, người ta thường phải xem xét những hiệu ứng tích lũy nhiều năm hay nhiều thập kỷ (như hình thái bờ biển, sự đổ vỡ của các công trình) hay các sự kiện đặc biệt có xác suất xảy ra nhỏ trong khoảng thời gian nhiều năm, như là tuổi thọ thiết kế của công trình. Trong cả hai trường hợp quy mô thời gian là vài thập kỷ. Với quy mô thời gian đó, vận tốc gió trung bình ngắn hạn là không thể dự báo được một cách xác định vì ta không biết rằng khi nào thì một cơn bão với một cường độ và hình thái nào đó xảy ra, hoặc là thậm chí nó có xảy ra hay không. Trên một quy mô thời gian dài đó, trung bình ngắn hạn của vận tốc gió có thể được xử lý như là một biến ngẫu nhiên có các tính chất thống kê nhất thiết phải được tính toán từ các quan trắc (các số liệu chế độ gió). Trong những trường hợp này ta nói tới các đặc trưng thống kê dài hạn.

Những phương pháp phân loại tương tự có thể được áp dụng cho sóng gió. Sóng gió trong biển có thể được coi là các quá trình dừng trong một khoảng thời gian cho tới khoảng chừng nửa giờ. Trên một quy mô thời gian dài hơn, những biến đổi về vận tốc gió, sự thay đổi của mực nước triều hay dòng triều có thể thay đổi các đặc trưng của sóng gió.





Hình 6.1 Phân bố xác suất của vận tốc gió tức thời tại độ cao 12 m trên mực nước biển (MSL), so sánh với một hàm Gauss pdf (Theo Battjes, 1984)

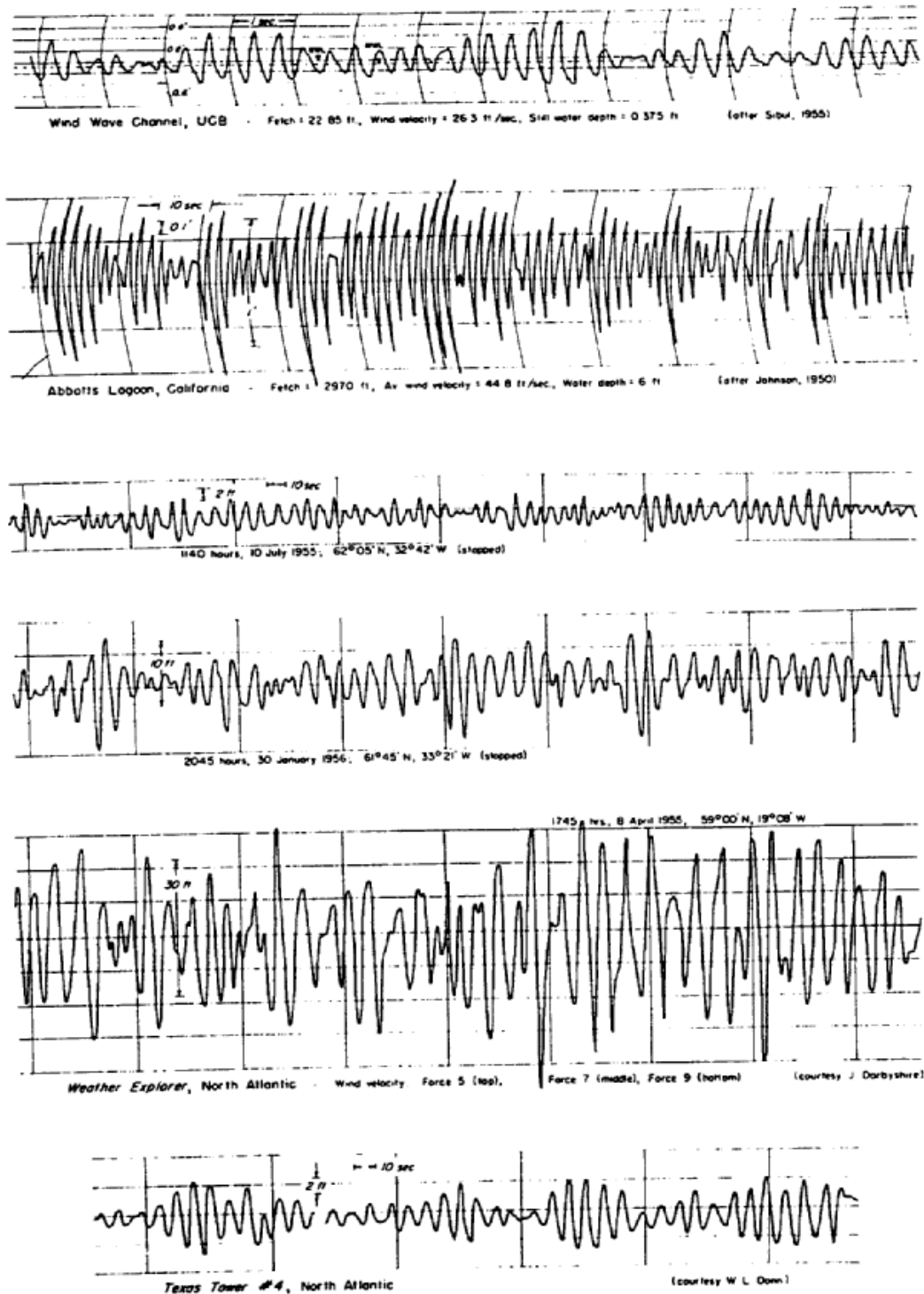
Hiện tại, chúng ta hãy bỏ qua các tính chất không gian của mặt biển và chỉ xem xét dao động của mặt nước  $\zeta(t)$  đối với mặt nước biển trung bình ngắn hạn tại một điểm cố định. Hình 6.2 cho ta một số ghi nhận của  $\zeta(t)$  trong một số trường hợp biến đổi nhiều, từ sóng gió với quy mô hẹp của phòng thí nghiệm tới sóng lừng đại dương. Các ghi chép này có một điểm chung là chúng cho thấy một bộ phận của các dao động biến đổi theo dạng và độ cao, và không bao giờ lặp lại một cách chính xác.

Bởi vì một tính chất cơ bản của sóng bề mặt là tính ngẫu nhiên của nó, việc dự báo sóng chỉ có thể thực hiện được bằng cách phân tích thống kê mặt biển qua ba miền: thời gian, tần số và xác suất.

Trong miền thời gian, các hàm tự tương quan và tương quan chéo được tính từ các ghi chép sóng. Hàm tự tương quan là thước đo của mối liên hệ giữa hai giá trị  $\zeta(t)$  và  $\zeta(t + \tau)$  của biến ngẫu nhiên  $\zeta$ . Từ chuỗi thời gian của một đại lượng cho trước, như bề mặt nước, vận tốc quỹ đạo hay áp suất, các moment thống kê đầu tiên có thể được tính toán một cách trực tiếp.

Phân tích tần số áp dụng chủ yếu cho việc đánh giá sự phân bố của năng lượng sóng theo tần số và hướng. Có hai phương pháp tìm phổ tần số. Phương pháp truyền thống là dựa trên việc biến đổi Fourier của hàm tương quan. Cơ sở lý thuyết của phép biến đổi này được cho bởi định lý Wiener-Khinchine. Việc biến đổi hàm tương quan cho ta hàm mật độ phổ của một biến nào đó. Một cách biểu hiện phổ tổng hợp của sóng mặt có thể có được khi mà phân

bố năng lượng theo tần số cũng như hướng được tính đến. Phổ đạt được được gọi là phổ tần số và hướng.



Hình 6.2 Ghi chép của mặt nước khi có sóng (Wiegel, 1964)

Phương pháp thứ hai là chuyển một cách trực tiếp chuỗi thời gian thành các thành phần

Fourier. Kỹ thuật này, thường được gọi là biến đổi Fourier nhanh (Fast Fourier Transform, FFT), được Cooley and Tukey (1965) đưa ra lần đầu tiên. Nó giảm bớt số lượng các tính toán từ một số tỷ lệ với  $n^2$  ( $n$  là số lượng các mẫu) thành một số gần tỷ lệ với  $n \log n$  và đã tạo ra một cuộc cách mạng trong phân tích phổ các chuỗi thời gian.

Nếu sóng lan truyền trong một môi trường không đồng nhất, phổ của sóng biến đổi theo không gian và thời gian. Điều này chủ yếu là do tương tác của sóng với trường gió, dòng chảy biến đổi và độ sâu nước. Việc biến đổi chậm chạp của phổ được biểu diễn bằng phương trình vận chuyển bức xạ (hay phương trình vận chuyển hay phương trình động năng).

Trong miền xác suất, các thông số sóng cụ thể như là tọa độ của các dịch chuyển bề mặt tại một thời điểm cho trước, biên độ sóng, độ cao sóng, chu kỳ sóng v.v... được coi là các sự kiện ngẫu nhiên cơ bản. Cách tiếp cận bằng xác suất là dễ hiểu khi ta xử lý các số liệu đã được số hoá. Các số liệu đã được số hoá của một thông số nào đó tạo ra một tập hợp các thể hiện ngẫu nhiên của một biến ngẫu nhiên, khi mà chuỗi thời gian của biến được xem xét. Kết quả cuối cùng của phương pháp tiếp cận này được biểu hiện bằng các hàm mật độ xác suất, các hàm phân bố và các moment thống kê.

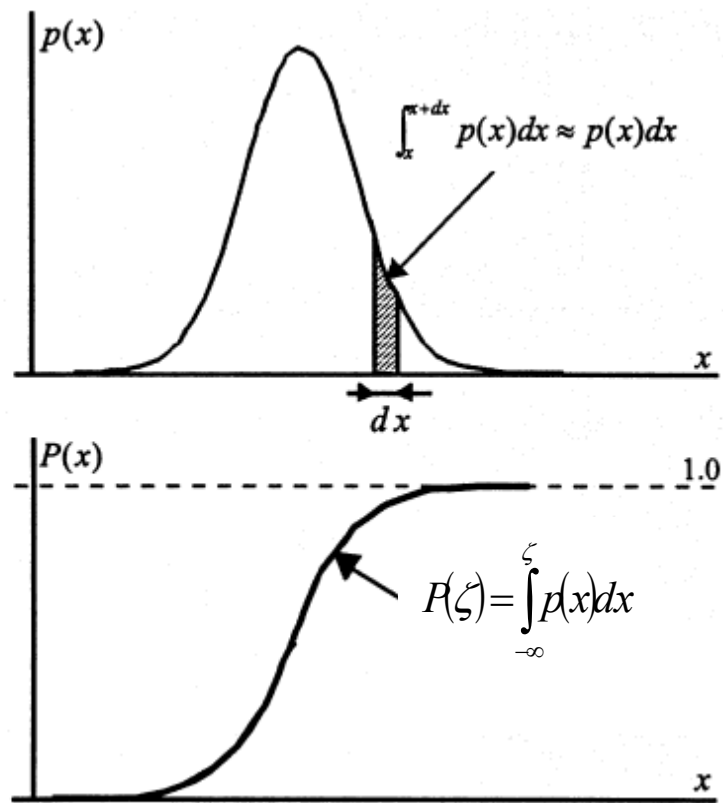
Có thể thu được đặc trưng thống kê đơn giản nhất khi mà ta giả thiết rằng trường sóng quan trắc là tổng của một số lượng rất lớn các sóng độc lập về mặt động lực học. Đây là cơ sở của mô hình Gauss, mà nó chỉ cần hai moment đầu tiên là đủ để mô tả trường sóng một cách thống kê hoàn chỉnh. Tuy nhiên, trong đại dương thực, do có tương tác phi tuyến của các thành phần phổ và các quá trình tiêu tán năng lượng, có thể thấy một sự khác biệt lớn so với mô hình Gauss. Sóng đại dương trong rất nhiều trường hợp cần được xem là các quá trình thống kê phi Gauss.

### 6.1.2 Các định nghĩa và khái niệm cơ bản của phân tích chuỗi thời gian

#### a) Biến thống kê

Như đã trình bày trước, mực nước tại một thời điểm nào đó sẽ được coi là một biến thống kê  $\zeta$ . Hàm mật độ xác suất  $p(\zeta)$ , định nghĩa là xác suất để  $\zeta$  có được một giá trị giữa  $\zeta_1$  và  $\zeta_2$  được cho bởi:

$$P_r \{ \zeta_1 < \zeta < \zeta_1 + d\zeta \} = \int_{\zeta_1}^{\zeta_1 + d\zeta} p(\zeta) d\zeta \quad (6.1)$$



Hình 6.3 Hàm mật độ xác suất  $p(\zeta)$  và hàm phân bố  $P(\zeta)$  tương ứng

Theo đó thì xác suất để  $\zeta$  là nhỏ hơn hay bằng  $\zeta_1$  là:

$$P_r\{\zeta \leq \zeta_1\} = \int_{-\infty}^{\zeta_1} p(\zeta) d\zeta = P(\zeta_1) \quad (6.2)$$

$P(\zeta)$  được gọi là hàm phân bố của  $\zeta$ .

Một diễn giải của hàm mật độ xác suất  $p(\zeta)$  và hàm phân bố  $P(\zeta)$  được trình bày trên hình 6.3.

Một biến thống kê  $\zeta$  có thể được đặc trưng bằng giá trị trung bình, độ lệch tiêu chuẩn, skewness và kurtosis tương ứng được định nghĩa là:

$$\text{trung bình} = \mu_\zeta = E[\zeta] = \int_{-\infty}^{\infty} \zeta p(\zeta) d\zeta \quad (6.3)$$

$$\text{độ lệch tiêu chuẩn} = \sigma_{\zeta} = \left[ \int_{-\infty}^{\infty} (\zeta - \mu_{\zeta})^2 p(\zeta) d\zeta \right]^{1/2} \quad (6.4)$$

$$\text{skewness} = \frac{1}{\sigma_{\zeta}} \left[ \int_{-\infty}^{\infty} (\zeta - \mu_{\zeta})^3 p(\zeta) d\zeta \right]^{1/3} \quad (6.5)$$

$$\text{kurtosis} = \frac{1}{\sigma_{\zeta}} \left[ \int_{-\infty}^{\infty} (\zeta - \mu_{\zeta})^4 p(\zeta) d\zeta \right]^{1/4} \quad (6.6)$$

với  $E[\zeta]$  ký hiệu giá trị trung bình của  $\zeta$ .

Bình phương của độ lệch tiêu chuẩn được gọi là variance của biến thống kê  $\zeta$ .

Một hàm mật độ xác suất rất phổ biến là hàm mật độ xác suất Gauss, được định nghĩa là:

$$p(\zeta) = \frac{1}{2\pi\sigma_{\zeta}} \exp \left[ -\frac{(\zeta - \mu_{\zeta})^2}{2\sigma_{\zeta}^2} \right] \quad (6.7)$$

Trong thực tế, các giá trị trung bình thường được tính không phải từ các hàm mật độ xác suất mà từ một tập hợp các giá trị mẫu của  $\zeta$  (ensemble). Giá trị trung bình được tính như vậy được gọi là trung bình tập hợp và được ký hiệu là:

$$\text{trung bình} = \mu_{\zeta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \zeta_i \quad (6.8)$$

$$\text{variance} = \sigma_{\zeta}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\zeta_i - \mu_{\zeta})^2 \quad (6.9)$$

với  $N$  là số lượng các số liệu của tập hợp mẫu.

Một tập hợp của hai biến thống kê  $\zeta, \xi$  được đặc trưng hoàn toàn bằng một hàm mật độ xác suất chung  $p(\zeta, \xi)$  (một hàm mật độ xác suất hai chiều). Tương tự với ở trên, hàm này được định nghĩa sao cho xác suất để  $\zeta$  nhận một giá trị giữa  $\zeta_1$  và  $\zeta_1 + d\zeta$ , và để  $\xi$  nhận một giá trị giữa  $\xi_1$  và  $\xi_1 + d\xi$  được cho bởi

$$P_r \{ \zeta_1 \leq \zeta \leq \zeta_1 + d\zeta, \xi_1 \leq \xi \leq \xi_1 + d\xi \} = \int_{\zeta_1}^{\zeta_1 + d\zeta} \int_{\xi_1}^{\xi_1 + d\xi} p(\zeta, \xi) d\zeta d\xi \approx p(\zeta_1, \xi_1) d\zeta d\xi \quad (6.10)$$

Mối liên hệ giữa hai biến thống kê được biểu thị bằng hệ số tương quan, được định nghĩa như sau:

$$K_{\zeta, \xi} = \frac{1}{\sigma_{\zeta} \sigma_{\xi}} E \{ (\zeta - \mu_{\zeta}) (\xi - \mu_{\xi}) \} \quad (6.11)$$

b) Các quá trình thống kê

Một tập hợp các biến thống kê có thể được xếp thứ tự theo một nghĩa nào đó. Thí dụ, một tập hợp rất lớn độ cao của mặt nước biển tại một vị trí nào đó có thể được xếp thứ tự căn cứ vào thời gian quan trắc.

Chú ý rằng một biến thống kê  $\zeta$  tại một thời điểm  $t$  là một biến thống kê khác  $\zeta$  tại thời điểm  $t_2$ , và là một biến thống kê khác  $\zeta$  tại thời điểm  $t_3$  v.v... Một tập hợp có thứ tự như vậy của các biến thống kê  $\zeta(t_i)$  được gọi là một quá trình thống kê, biểu thị như là  $\{\zeta(t)\}$ . Thí dụ như chúng ta hãy xem xét một máng sóng trong đó có một máy tạo gió để tạo ra sóng tại mặt nước trong máng. Máy đo sóng đo đặc độ cao mực nước như là một hàm của thời gian tại một điểm nào đó trong máng. Các đo đạc bắt đầu khi mà gió bắt đầu thổi, tức là từ một mặt nước phẳng. Ban đầu các sóng còn nhỏ nhưng khi mà gió tiếp tục thổi thì sóng trở nên lớn hơn và dài hơn. Cuối cùng đạt tới một trạng thái theo một số nghĩa nào đó là không đổi theo thời gian. Kết quả của thí nghiệm là một chuỗi mẫu của các biến thống kê  $\zeta(t_1)$ ,  $\zeta(t_2)$ ,  $\zeta(t_3)$  v.v..., với  $\zeta(t_i)$  là độ cao mặt nước tại một thời điểm nào đó trong thí nghiệm. Một thí nghiệm giống hệt như thế có thể được lặp lại để có được nhiều mẫu số liệu trong những điều kiện giống hệt nhau.

Biến thống kê  $\zeta(t_i)$  giống như nhiều biến thống kê khác, được đặc trưng bởi hàm mật độ xác suất (có thể là hay không phải là dạng Gauss). Điều này có nghĩa là cần một hàm mật độ xác suất (thường là khác nhau) để đặc trưng cho mực nước tại mỗi thời điểm  $t_i$ .

Các hàm mật độ xác suất chung của biến tại hai thời điểm khác nhau  $t_i$  là cần thiết để biểu thị các biến thống kê như là một quá trình, thí dụ như tập hợp của mực nước được xếp theo thứ tự thời gian. Mỗi mẫu số liệu được gọi là một thể hiện của biến thống kê và được biểu thị bằng một chỉ số thể hiện  $k$  và như vậy thể hiện thứ  $k$  của biến thống kê  $\zeta(t_i)$  được ký hiệu bằng  $\zeta_k(t_i)$ . Tập hợp của tất cả các thể hiện được gọi là một tập hợp. Các giá trị trung bình tính từ các thể hiện này được gọi là trung bình tập hợp.

Nếu tất cả các hàm mật độ xác suất của các biến thống kê của một quá trình là Gaussian, quá trình được gọi là quá trình Gauss. Một quá trình Gauss là khá đơn giản để mô tả vì ta chỉ cần giá trị trung bình và covariance.

Giả thiết là tồn tại một tập hợp  $k$  các ghi chép sóng  $\{\zeta_k(t)\}$ , thu được với các điều kiện vĩ mô giống hệt nhau, thí dụ như vị trí trên mặt đại dương, độ sâu nước, tốc độ gió trung bình, vận tốc gió trung bình, nhiệt độ nước và không khí v.v... Thậm chí trong các điều kiện đồng nhất, chúng ta không thể hy vọng rằng các ghi chép sóng này là đồng nhất hay rất giống nhau về các chi tiết. Vì vậy, một họ  $\{\zeta_k(t)\}$  diễn tả  $k$  thể hiện của quá trình thống kê  $\zeta(t)$ . Với

một  $k$  cho trước,  $\zeta(t)$  là một hàm của thời gian  $t$ , khi mà  $t = t_1$ ,  $\{\zeta_k(t)\}$  là một biến ngẫu nhiên.

Các quá trình thống kê có thể thuộc về một trong ba loại: a) dừng và ergodic, b) dừng, và c) không dừng.

Một quá trình ngẫu nhiên (hay hàm ngẫu nhiên) là dừng theo một nghĩa rộng nếu nó có một giá trị trung bình theo thời gian không đổi và một hàm tự tương quan có giá trị chỉ phụ thuộc vào khác biệt thời gian

$$E[\zeta(t)] = \bar{\zeta} = \text{const} \quad (6.12)$$

$$K(t_1, t_2) = K(t_1 - t_2) = E[\zeta(t_1)\zeta(t_2)] = K(\tau), \quad \tau = t_1 - t_2 \quad (6.13)$$

trong đó  $K(\cdot)$  là một hàm tự tương quan. Nói một cách chặt chẽ, một quá trình ngẫu nhiên là dừng nếu như nó không đổi cho dù có biến đổi thời gian. Cả hai định nghĩa dừng này là trùng hợp khi mà  $\zeta$  là một quá trình Gauss với tất cả các đặc trưng thống kê của  $\zeta$  hoàn toàn được xác định bởi các moment thứ nhất và thứ hai. Định nghĩa chặt chẽ này thường được nói lỏng và khái niệm dừng theo nghĩa rộng thường được sử dụng.

Nói chung, khi mà dừng một tập hợp các ghi chép sóng  $\{\zeta_k(t)\}$ , chúng ta có thể tìm ra một hàm bất kỳ của  $\zeta$ , thí dụ  $F$ , sao cho  $F\{\zeta_k(t)\}$ . Cụ thể hơn, chúng ta hãy chọn thời gian  $t = t_1$ , trong họ  $\{\zeta_k(t)\}$ . Khi mà  $F$  chính là giá trị  $\zeta$  thì phép lấy trung bình  $F\{\zeta_k(t_1)\}$  với  $k$  sẽ cho ta một trung bình tập hợp của quá trình tại  $t = t_1$ , tức là:

$$E[F\{\zeta_k(t_1)\}]_k = E[\zeta_k(t_1)]_k = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\sum_{k=1}^N \zeta_k(t_1)}{N} \quad (6.14)$$

Điều kiện  $N \rightarrow \infty$  chỉ là khái niệm vì trong thực tế  $N$  luôn luôn là hữu hạn.

Khi mà  $F\{\zeta_k(t_1)\} = [\zeta_k(t_1)]^2$ , thì phép lấy trung bình  $F\{\zeta_k(t_1)\}$  với  $k$  cho ta variance tại  $t = t_1$ .

Bây giờ ta định nghĩa  $F$  như sau:

$$F\{\zeta_k(t_1)\} = \begin{cases} 1 & \text{nếu } a < \zeta_k(t_1) \leq b \\ 0 & \text{trường hợp khác} \end{cases} \quad (6.15)$$

Phép lấy trung bình trên một tập hợp  $E[F\{\zeta_k(t_1)\}]_k$  có thể được diễn giải là xác suất tập hợp sao cho  $\zeta_k(t_1)$  nằm trong khoảng từ  $a$  tới  $b$  tại  $t = t_1$ .

Lặp lại phép lấy trung bình trên tại các thời gian khác nhau giúp cho ta có được các giá

trị số trị khác nhau của các đặc trưng thống kê. Tuy nhiên, kỹ thuật quan trắc lặp lại cho phép ta có được một tập hợp  $k$  ghi chép sóng có thể áp dụng trong bể sóng phòng thí nghiệm, nhưng không thể áp dụng cho hiện tượng sóng ngoài hiện trường. Để giải quyết các khó khăn này, định lý ergodic thường được sử dụng. Định lý này cho phép ta thay thế trung bình tập hợp bằng trung bình thời gian.

Định lý ergodic phát biểu rằng (Kinsman, 1965):

*Nếu  $\zeta_k(t)$  là một hàm ngẫu nhiên dừng thỏa mãn tính ergodic, các đặc trưng thống kê tính được bằng cách lấy trung bình tập hợp tại một thời điểm  $t = t_*$  là đồng nhất với các đặc trưng thống kê tương ứng tính bằng phép lấy trung bình thời gian đối với mỗi thể hiện cho trước  $k = k_*$ .*

Như vậy, một quá trình dừng thỏa mãn tính ergodic cần thỏa mãn đẳng thức sau:

$$\begin{aligned} E[F\{\zeta_k(t=t_*)\}]_k &= \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\sum_{k=1}^N \zeta_k(t=t_*)}{N} = E[F\{\zeta_{k=k_*}(t)\}]_t \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T F\{\zeta_{k=k_*}(t)\} dt \end{aligned} \quad (6.16)$$

Chúng ta có thể nói rằng các quá trình dừng là một tập hợp con của các quá trình thống kê thì các quá trình ergodic thậm chí còn là một tập hợp con của các quá trình dừng.

Tầm quan trọng của định lý ergodic là nó cho phép ta tìm được các đặc trưng thống kê của quá trình  $\zeta(t)$  bằng cách dùng một thể hiện đủ dài. Tuy nhiên, người ta chưa bao giờ chứng minh được tính ergodic của sóng đại dương vì các thí nghiệm không thể lặp lại một cách chính xác trong đại dương như chúng được lặp lại trong phòng thí nghiệm.

Có thể chứng minh rằng điều kiện đủ để một quá trình sóng dừng  $\zeta(t)$  là ergodic là hàm tự tương quan  $K(\tau)$  thỏa mãn điều kiện sau (Tikhonov, 1966):

$$K(\tau) = 0 \quad \text{tại } \tau \rightarrow \infty \quad (6.17)$$

Giờ chúng ta hãy biểu diễn khả năng áp dụng của định lý ergodic và điều kiện (6.17) cho một quá trình đơn giản. Chúng ta giả thiết là chúng ta có một tập hợp các ghi chép của một quá trình  $\{\zeta_k(t)\} = z_k$ . Điều này có nghĩa là với một  $k$  nào đó, quá trình  $\zeta_k(t)$  là không đổi và bằng  $z_k$ . Rõ ràng là quá trình này là dừng. Tại một thời điểm  $t$ , bất cứ một đặc trưng thống kê nào, thí dụ như giá trị trung bình tính với cả tập hợp cho một số đồng nhất. Tuy nhiên khi mà một ghi chép đơn  $\zeta_{k=k_*}(t)$  được lựa chọn ngẫu nhiên và trung bình thời gian của nó được tính như sau:



$$E[\zeta_{k=k_*}(t)]_t = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \zeta_{k=k_*}(t) dt \quad (6.18)$$

thì rõ ràng là:

$$E[\zeta_k(t=t_*)]_t \neq E[\zeta_{k=k_*}(t)]_t \quad (6.19)$$

Như vậy, rõ ràng là quá trình đơn giản này là dừng, nhưng không ergodic. Điều kiện (6.17) rõ ràng là không được thỏa mãn vì:

$$K(\tau) = E[\zeta_{k=k_*}(t)\zeta_{k=k_*}(t+\tau)] = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T z_{k_*}^2 dt = z_{k_*}^2 \quad (6.20)$$

Trong các phần tiếp theo ta giả thiết rằng tính ergodic là thỏa mãn cho các quá trình trình bày trong bài giảng này. Như vậy, thay thế cho một tập hợp các ghi chép  $\{\zeta_k(t)\}$ , một ghi chép đơn  $\zeta(t)$  sẽ được sử dụng.

### 6.1.3 Các cơ sở của việc mô tả phổ sóng đại dương

Chúng ta hãy bắt đầu bằng việc mô tả chuỗi sóng quan trắc được tại một điểm  $P(x,y)$  bằng phương pháp xác định. Phương pháp mô tả xác định là khởi đầu tự nhiên của các mô hình ngẫu nhiên được cho sau đây. Dạng mặt nước của một sóng lan truyền theo phương tạo một góc  $\theta$  với trục  $x$  có thể được biểu thị như sau:

$$\zeta(x, y, t) = a \cos[k(x \cos \theta + y \sin \theta) - \omega t + \varphi] \quad (6.21)$$

trong đó  $h$  là độ sâu nước,  $\varphi$  là dịch chuyển pha và  $k$  là số sóng ( $= 2\pi/L$  với  $L$  là bước sóng) liên hệ với tần số góc  $\omega$  ( $= 2\pi/T = 2\pi f$  với  $f$  là tần số sóng) bằng mối liên hệ phân tán tuyến tính:

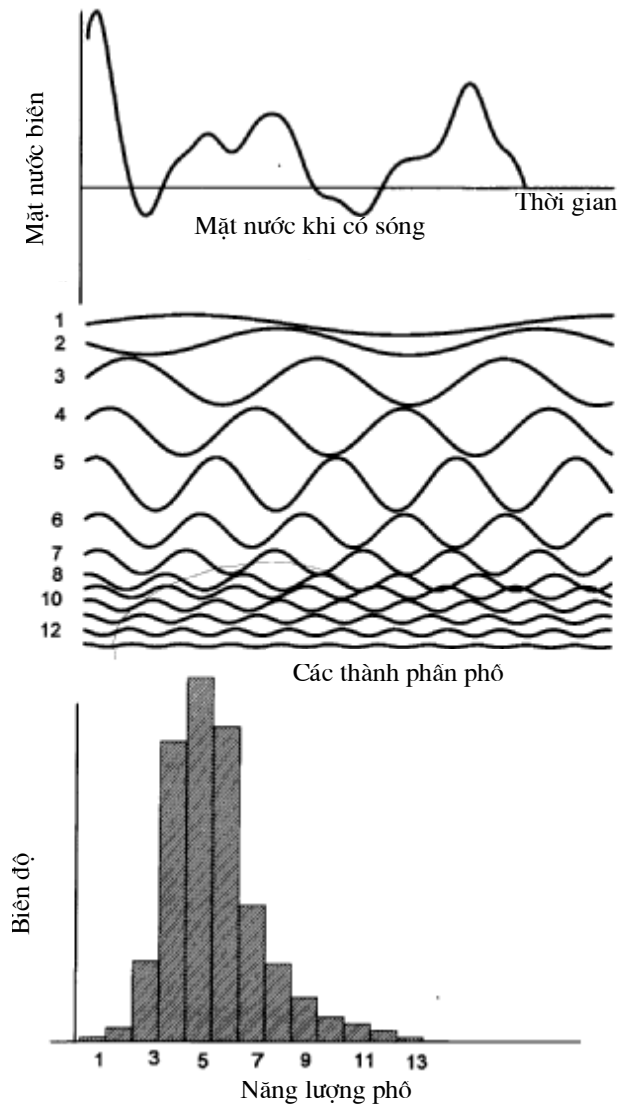
$$\omega^2 = gk \tanh(kh) \quad (6.22)$$

Cách đơn giản và tự nhiên nhất dùng để diễn tả mặt nước là chồng chất tuyến tính nhiều thành phần điều hoà lan truyền theo nhiều hướng khác nhau.

Một diễn giải đơn giản của quá trình chồng chất này là thí dụ trên hình 6.4 mà 13 thành phần được cộng lại để tạo ra một profile sóng cuối cùng. Như vậy, dùng phương trình (6.21), phương trình mô tả mặt nước khi có sóng có thể được viết như sau:

$$\zeta(x, y, t) = \sum_{l=1}^N a_l \cos[k_l(x \cos \theta_l + y \sin \theta_l) - \omega_l t + \varphi_l] \quad (6.23)$$

Hướng  $\theta_l$  và pha  $\varphi_l$  phủ một khoảng  $-\pi, \pi$ ; và biên độ sóng và tần số nằm trong khoảng  $0 \leq a_l \leq \infty$  và  $0 \leq \omega_l \leq \infty$ .



Hình 6.4 Chồng chất của các thành phần phổ và phổ kết quả

Nếu như có thể giả thiết là mặt sóng là một chồng chất tuyến tính của một số vô hạn các sóng điều hoà lan truyền theo các hướng khác nhau và có biên độ thay đổi liên tục theo tần số và hướng truyền, phương trình (6.23) trở thành:

$$\zeta(x, y, t) = 2 \int_0^{\infty} \int_{-\pi}^{\pi} a(\omega, \theta) \cos[k(x \cos \theta + y \sin \theta) - \omega t + \varphi] d\omega d\theta \quad (6.24)$$

Dùng ký hiệu của Euler's:

$$\cos \alpha = \frac{1}{2} [\exp(i\alpha) + \exp(-i\alpha)] \quad (6.25)$$

chúng ta có thể viết lại phương trình (6.24) dưới dạng:

$$\zeta(x, y, t) = \int_0^{\infty} \int_{-\pi}^{\pi} a(\omega, \theta) \exp[i\varphi(\omega, \theta)] \exp[ik(x \cos \theta + y \sin \theta)] d\omega d\theta \quad (6.26)$$

## 6.2 Mô tả sóng gió bằng phổ

### 6.2.1 Phổ năng lượng của sóng gió

Variance của mặt nước, được viết là  $\sigma_{\zeta}^2$  trong đó  $\sigma_{\zeta}$  là độ lệch tiêu chuẩn, là một đại lượng quan trọng để mô tả thống kê các quá trình sóng. Giá trị này liên hệ chặt chẽ với năng lượng sóng trung bình trên một đơn vị diện tích  $E$

$$E = \rho g \sigma_{\zeta}^2 \quad (6.27)$$

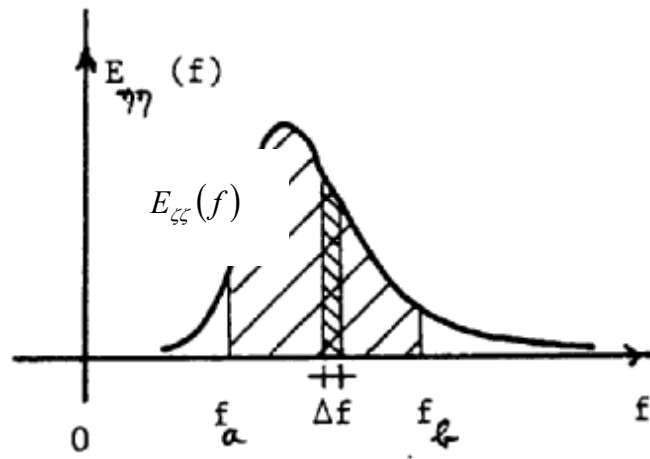
Vì lý do này mà hai khái niệm “variance” và “năng lượng” sẽ được dùng thay thế cho nhau vì thực ra chỉ là bỏ qua  $\rho g$  khi nói tới năng lượng sóng.

Với một quá trình dừng, cần phải xác định giá trị trung bình (hay là giá trị bình phương trung bình của các dao động xung quanh giá trị trung bình) trong một ghi chép trong một khoảng thời gian đủ dài (về mặt lý thuyết là dài vô hạn). Với các điều kiện nào đó luôn thoả mãn cho sóng tạo bởi gió, thí dụ như các trung bình thời gian cho kết quả đồng nhất với các kết quả của trung bình tập hợp tương ứng. Điều này đúng rất nhiều trong tự nhiên, loại trừ là khoảng thời gian lấy trung bình là hữu hạn (thường là 15 tới 30 phút với sóng gió) và tạo ra các sai số lấy mẫu trong các kết quả. Tuy nhiên, nếu ta cố gắng giảm các sai số này bằng cách dùng các ghi chép thời gian dài hơn, có thể phát sinh vấn đề về tính không dừng của bài toán.

Như ta đã trình bày trước, tính dao động của sóng gió (và các quá trình tương tự) cho ta giả thiết rằng ta có thể xem nó như là một chồng chất tuyến tính của một số sóng hình sin có biên độ, tần số và pha khác nhau. Các sóng này được gọi là các thành phần phổ. Trong phép phân tích phổ hay phân tích Fourier, một ghi chép nào đó được phân chia thành các thành phần phổ.

Các hàm biểu thị sự phân bố của năng lượng và pha của các sóng thành phần theo tần số được gọi là các phổ (tần số) năng lượng. Nếu quá trình chỉ bao gồm hay được biểu thị bằng các đóng góp của một số đếm được các thành phần phổ thì phổ được gọi là phổ rời rạc. Không có lý do nào mà sóng gây ra bởi rối gió lại có một số đếm được các chu kỳ. Vì vậy, phổ sóng gió được cho là liên tục.

Vì sóng đại dương là một biến ngẫu nhiên, khi mà cho trước phổ biên độ và pha, không thể nào tạo ra một cách chính xác bề mặt nước dùng để tính các phổ này. Vì vậy, chúng ta phải tập trung vào việc mô tả một cách thống kê tập hợp của những thể hiện có thể có của các biến thống kê. Tuy nhiên, sẽ là rất hữu ích nếu như chúng ta chỉ tập trung vào nghiên cứu năng lượng (hay variance) và bỏ qua pha. Điều này dẫn tới việc dùng phân bố phổ của variance (hay năng lượng hoặc là biên độ bình phương) như là một khái niệm cơ bản của sóng gió. Nó cho ta thông tin về phần đóng góp của các thành phần phổ khác nhau vào năng lượng (hay variance) của quá trình.



Hình 6.5 Phác thảo mật độ phổ variance

Để làm rõ hơn khái niệm này, ta hãy xem xét biến đổi thời gian của mặt nước đối với MSL tại một điểm cố định  $\{\zeta(t)\}$  khi có sóng gió. Variance của mặt nước được viết là  $\text{var } \zeta$  hay  $\sigma_\zeta^2$ . Mật độ phổ variance liên quan với biến đổi này được viết là  $S(f)$ , trong đó  $f$  là tần số của một thành phần phổ, hay là số các dao động trong một đơn vị thời gian (trong hệ đơn vị SI:  $[f] = 1 \text{ Hz}$ ). Mật độ phổ được định nghĩa sao cho việc tích phân trên một khoảng tần số nào đó, thí dụ từ  $f_a$  tới  $f_b$  (xem hình 6.5) là bằng với sự đóng góp của các thành phần phổ có tần số nằm trong khoảng trên vào variance tổng cộng  $\sigma_\zeta^2$ :

$$\int_{f_a}^{f_b} S(f) df = \Delta[\text{var } \zeta]_{a,b} \quad (6.28)$$

Nếu ta tích phân theo tất cả các tần số từ 0 tới  $\infty$ , ta sẽ có variance tổng cộng:

$$\int_0^{\infty} S(f)df = \text{var } \zeta = \sigma_{\zeta}^2 \quad (6.29)$$

Mặt khác, nếu khoảng tần số có một dải rất hẹp với chiều rộng  $\Delta f$  (xem hình 6.5), phương trình 6.28 trở thành:

$$S(f)\Delta f = \Delta[\text{var } \zeta] \quad (6.30)$$

hay

$$S(f) = \frac{\Delta[\text{var } \zeta]}{\Delta f} \quad (6.31)$$

Các phương trình này cho ta ý nghĩa của  $S(f)$ : nó chỉ ra rằng variance (hay năng lượng) tổng cộng phân bố theo tần số của các thành phần phổ như thế nào.

Phương trình 6.62 chỉ ra rằng  $S(f)$  có nghĩa của variance trên một đơn vị tần số. Trong hệ SI, đơn vị của nó là  $\text{m}^2/\text{Hz}$ . Điều này giải thích ý nghĩa của tên hàm là mật độ phổ variance. Tập hợp các giá trị của mật độ phổ của tất cả các tần số là mật độ phổ variance, hay thường được gọi một cách đơn giản là phổ variance hay phổ năng lượng.

Phổ variance trong một mức độ đáng kể có thể được đặc trưng bằng một dãy các moment phổ, định nghĩa như sau

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n S(f)df \quad (n = 0, 1, \text{etc.}) \quad (6.32)$$

Moment bậc không ( $m_0$ ) chỉ là diện tích phía dưới đường cong phổ, hay là variance của quá trình (xem phương trình 6.29). Ký hiệu này của variance thường được dùng để nhấn mạnh mối liên hệ của nó với phổ. Tỷ số  $m_1 / m_0$  biểu thị khoảng cách từ “tâm trọng lực” của phổ tới đường  $f = 0$ . Nói cách khác, theo một số nghĩa thì nó diễn tả một tần số trung bình. Điều này cũng đúng cho đại lượng  $(m_2 / m_0)^{1/2}$  (“bán kính hồi chuyển” của phổ đối với đường  $f = 0$ ). Sự khác nhau giữa hai đại lượng này là thước đo chiều rộng của phổ.

Trong thực tế, phổ năng lượng hay là phổ variance được tính từ một ghi chép thời gian trong khoảng  $T$  bằng cách khai triển các tín hiệu ghi được (với một giá trị trung bình bằng không) thành một chuỗi Fourier, tức là một chuỗi với các hàm sine hay cosine phù hợp với số nguyên thời gian của khoảng thời gian ghi nhớ  $T$ , và vì vậy phù hợp với các tần số rời rạc là tích nguyên của các tần số (điều hoà) cơ bản  $1/T$ :

$$\eta(t) = \sum_n a_n \cos(2\pi f_n t + \alpha_n) \quad (6.33)$$

trong đó:

$$f_n = nf_1 = n/T \quad \text{for } n = 1, 2, \dots \quad (6.34)$$

Chú ý rằng các tần số rời rạc  $f_n$  là đồng khoảng cách vì rằng  $\Delta f_n \equiv f_{n+1} - f_n = 1/T$ , độc lập với  $n$ .

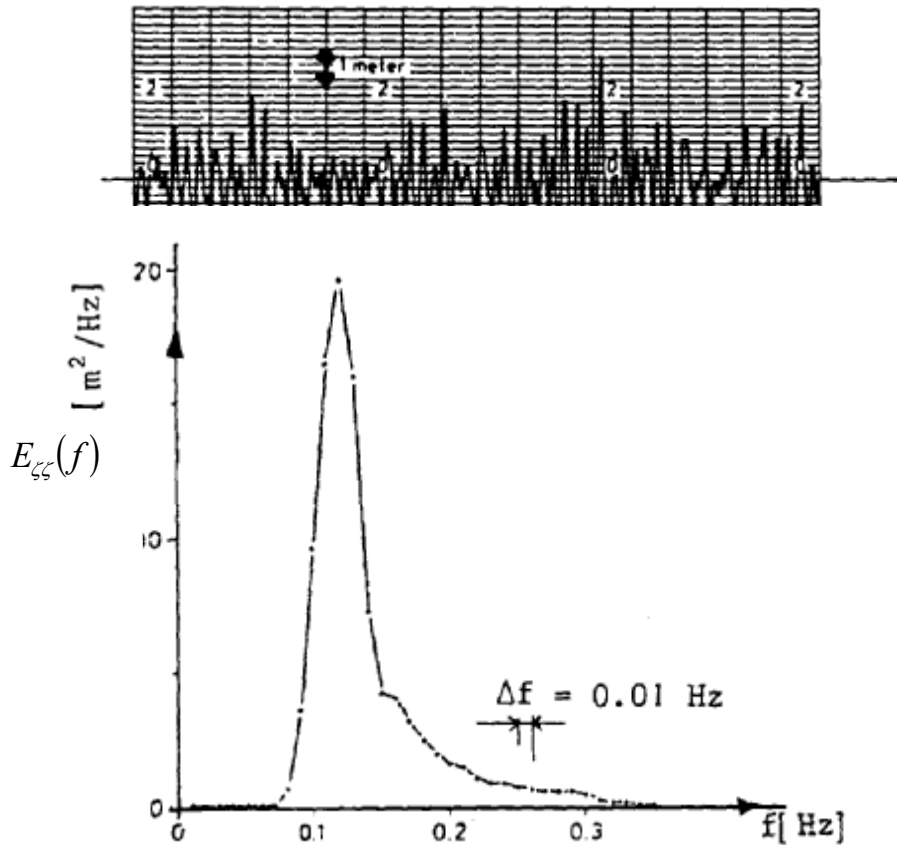
Có thể chứng minh rằng trung bình bình phương của (6.33) là:

$$E\{\eta^2(t)\} = \sum_{n=1}^N \frac{1}{2} a_n^2 \quad (6.35)$$

Đây là một giá trị ước tính của quá trình mà ghi chép được lấy mẫu. Vì vậy, đại lượng  $(1/2)a_n^2$  là phần đóng góp của thành phần phổ với tần số  $f_n$  tới giá trị ước tính của variance.

Tập hợp của các giá trị này như là một hàm của các tần số rời rạc  $f_n$  cho ta giá trị xấp xỉ của mật độ phổ variance liên tục. Mối liên hệ giữa hai đại lượng có thể được biểu thị bằng

$$\frac{1}{2} a_n^2 = S(f_n) \Delta f_n \quad (6.36)$$



Hình 6.6 Ghi chép của mặt nước và phổ variance tương ứng (Battjes, 1984)

Thực ra, vì những sai số lấy mẫu trong  $1/2a_n^2$  (ước tính từ chỉ một thể hiện), đây không

phải là một phương pháp đáng tin cậy để ước tính  $S(f)$ . Cần phải lấy trung bình trên một tập hợp các giá trị  $1/2a_n^2$  để có được một đánh giá đủ tin cậy. Tuy nhiên, chúng ta sẽ không nghiên cứu thêm về vấn đề này ở giáo trình này.

Hình 6.6 cho ta một thí dụ về một đoạn ghi chép ngắn của bề mặt nước và một phổ mật độ variance ước tính tương ứng, chú ý tới tỷ lệ vẽ phổ. Để kiểm tra sơ bộ các số và diễn giải ý nghĩa của phổ, chúng ta có thể xấp xỉ đường cong phổ bằng một tam giác với giá trị trên đỉnh bằng  $20\text{m}^2/\text{Hz}$  và giá trị dưới đáy bằng  $0.1\text{Hz}$ . Từ đó, chúng ta có thể ước tính được diện tích phía dưới đường cong (variance) là  $1/2 \times (20\text{m}^2/\text{Hz}) \times (0.1\text{Hz}) = 1\text{m}^2$ , tương ứng với độ lệch tiêu chuẩn là  $1\text{m}$ . Giá trị này tương đối phù hợp với ghi chép sóng.

Chú ý rằng phổ variance hay năng lượng không cho biết gì về pha của các thành phần phổ. Vì vậy, không thể dùng phổ này để tạo ra bản ghi chép mà ta đã dùng nó để xác định phổ. Ngược lại, bằng cách dùng các tập hợp pha khác nhau, ta có thể tạo ra các thể hiện khác nhau mà tất cả chúng đều có phổ variance (hay năng lượng) giống hệt nhau. Điều này cho ta manh mối để xây dựng các mô hình xác suất sóng mà ta sẽ mô tả dưới đây.

### 6.2.2 Chiều rộng của phổ và dạng phổ

#### a) Chiều rộng phổ

Nói chung, dạng của phổ tần số sóng phụ thuộc vào các điều kiện tạo sóng bên ngoài (tốc độ gió, đà gió, thời gian tác động của gió, độ sâu nước, sự tồn tại của sóng lừng, giai đoạn của bão) cũng như các cơ chế nội tại (tương tác phi tuyến giữa các sóng thành phần, tiêu tán năng lượng do sóng vỡ hay ma sát đáy). Tuy nhiên, dạng của phổ không phải là tùy ý và một số đặc tính cơ bản của phân bố năng lượng được áp dụng cho tất cả các phổ.

Bởi vì sẽ là rất thuận lợi nếu như ta xử lý các phổ tần số bằng cách dùng tần số góc  $\omega$  ( $= 2\pi/T = 2\pi f$ , rad/s) thay cho tần số  $f$  (Hz). Trong phần này, tần số góc cũng được gọi vắn tắt là tần số. Khi dùng  $\omega$ , chúng ta không nên nhầm lẫn với tần số  $f$ .

Năng lượng của phổ sóng đạt giá trị cực đại tại  $\omega = \omega_p$ , và giảm dần với cả các tần số lớn hơn và nhỏ hơn. Thông thường, tốc độ giảm tại khoảng tần số thấp là nhanh hơn tại khoảng tần số cao. Tần số  $\omega_p$  mà tại đó năng lượng của phổ sóng đạt giá trị cực đại được gọi là tần số đỉnh. Tần số thấp nhất của sóng trọng lực do gió gây ra được ước tính là xấp xỉ  $0.03\text{Hz}$  ( $0.2\text{rad/s}$ ). Năng lượng tại các tần số thấp hơn giá trị này sóng đập, seiches hay thủy triều.

Tần số cao nhất của sóng trọng lực do gió gây ra tương ứng với vận tốc pha nhỏ nhất là 23 cm/s tại bước sóng nhỏ nhất là 1.7 cm (trong nước sạch ở 20°C). Như vậy, tần số cao nhất là 13.6 Hz (85 rad/s). Lực cản do sức căng mặt ngoài không cho phép tạo ra sóng có các tần số cao hơn. Các tần số giới hạn này được cho bởi các xấp xỉ lý thuyết. Trong thực tế chúng ta chỉ sử dụng một dải tần số cho sóng trọng lực gây bởi gió hẹp hơn nhiều.

Hơn nữa, phổ thường là có quy luật, thí dụ như có vùng quy luật hàm mũ mà  $S(\omega) \sim \omega^{-n}$  với một số mũ  $n$  nào đó. Một thí dụ hay của tính quy luật đó được cho bởi khoảng bão hoà (hay khoảng cân bằng) trong phổ sóng, khi mà phổ phụ thuộc vào tần số theo quy luật  $\omega^{-5}$  (hay  $\omega^{-4}$ ). Khoảng bão hoà này biểu thị sự cân bằng giữa năng lượng mất mát do sóng vỡ và năng lượng sóng nhận được từ gió.

Một loạt các hàm mũ đã được đề nghị để có thể bao hàm phần dễ thay đổi nhất của phổ. Các phổ khác nhau này thường là kết quả phân tích các chuỗi thời gian thu được từ các thí nghiệm với các điều kiện tạo sóng khác nhau.

Phổ cho ta một mô tả hoàn chỉnh về sóng đại dương chỉ khi mà nó được coi là chồng chất tuyến tính của rất nhiều thành phần hình sin cơ bản. Tuy nhiên, đặc biệt là trong nước nông, sóng đại dương luôn cho ta thấy một đỉnh nhọn hơn và một bụng nông hơn, gây ra do các thành phần điều hoà được tạo thành và sự tương tác của chúng. Sự hiện diện của các thành phần điều hoà có thể thấy trong phổ sóng đại dương như là các đỉnh thêm vào trong khoảng tần số cao. Thông tin này không đủ để cho thấy các phối hợp của tần số tương tác tạo ra các đỉnh đó. Để tạo ra một “bản đồ” của các tần số tương tác, cần phải áp dụng phép phân tích phổ bậc cao hơn.

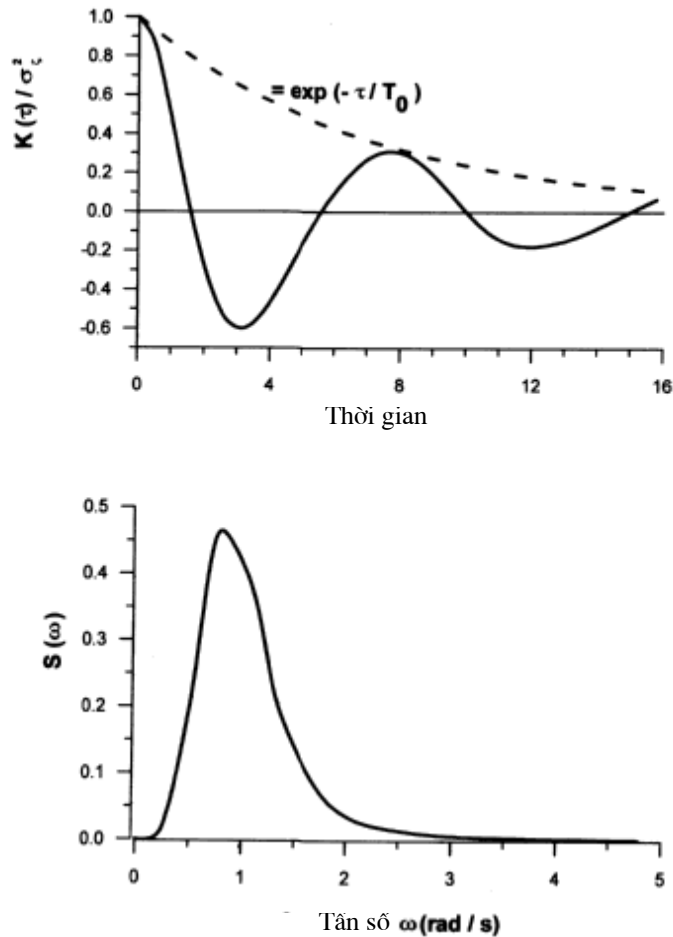
Do tính phức tạp của việc truyền năng lượng từ khí quyển vào đại dương, sóng bề mặt là đa hướng. Chỉ có một phần năng lượng sóng là lan truyền theo hướng gió. Bởi vì có sự giới hạn của các phương pháp quan trắc, kiến thức về phân bố hướng là khá nghèo nàn so với kiến thức về phổ tần số. Trong phần này ta sẽ xem lại các diễn giải hiện tại về phổ hướng của sóng đại dương, gọi là mô hình mũ cosine, mô hình Gauss bọc xung quanh, mô hình von Mises, mô hình dạng hyperbolic, và mô hình trải hai đỉnh.

Hình 6.7 chỉ ra một hàm phổ tần số sóng điển hình và một hàm tự tương quan tương ứng. Hàm tự tương quan đã được chuẩn hoá  $K(\tau)/\sigma_\zeta^2$  bắt đầu bằng 1 tại  $\tau = 0$ . Với tất cả các quá trình,  $K(\tau) \rightarrow 0$  khi mà  $\tau \rightarrow \infty$ , và thời gian tắt đặc trưng cho tính chất này được gọi là quy mô tương quan. Thí dụ như một quá trình Markov có một hàm tự tương quan dạng:



$$K(\tau) = K_0 \exp\left(-\frac{|\tau|}{\tau_0}\right) \quad (6.37)$$

trong đó  $\tau_0$  được gọi là quy mô tương quan. Như vậy,  $\tau = \tau_0$  khi  $K(\tau_0) = e^{-1} \approx 0.368$ .



Hình 6.7 Hàm tự tương quan  $K(\tau)$  và hàm mật độ phổ  $S(\omega)$ .

Dùng định nghĩa của quy mô tương quan, ta có thể nhận ra rằng trong trường hợp của chúng ta  $\tau_0 \approx 7s$ . Trong trường hợp này, hàm tự tương quan  $K(\tau)$  của một tín hiệu cosin có pha ngẫu nhiên được cho bởi:

$$\frac{K(\tau)}{K_0} = \cos(\omega_0 \tau) = \cos\left(\frac{2\pi\tau}{T_0}\right) \quad (6.38)$$

trong đó  $T_0$  là chu kỳ của tín hiệu. Hàm  $K(\tau)$  biến mất với  $\tau_1 = T_0/4$ . Giả thiết rằng phần lớn năng lượng sóng được tập trung xung quanh tần số đỉnh  $\omega_p = 2\pi/T_0$  thì sẽ là rất tự nhiên nếu ta liên kết điểm cắt đường không đầu tiên của hàm  $K(\tau)$  tại  $\tau = \tau_1$  với chu kỳ thống trị

của quá trình. Như vậy, tần số đỉnh  $\omega_p = 2\pi / 4\tau_1$ .

Trong hình 6.7,  $\tau_1 \approx 1.7$  s, tương ứng với chu kỳ đỉnh  $\omega_p = 2\pi / (4 \times 1.7) = 0.92$  rad/s.

Nhìn nhanh hình 6.7 ta có thể thấy rằng phổ trong hình có một đỉnh tại  $\omega_p = 0.85$  rad/s, gần với giá trị xấp xỉ là 0.92 rad/s.

Hàm  $S(\omega)$  biểu thị một phân bố của năng lượng sóng trong miền tần số. Vì vậy, tương tự với  $S(f)$ , moment tần số  $m_r$  được định nghĩa là:

$$m_r = \int_0^{\infty} \omega^r S(\omega) d\omega \quad (6.39)$$

Một số moment đầu tiên là đặc biệt quan trọng đối với việc mô tả phổ của sóng đại dương. Moment đầu tiên xác định tần số sóng trung bình  $\bar{\omega}$  và chu kỳ trung bình  $\bar{T}$ , tức là:

$$\bar{\omega} = \frac{m_1}{m_0} \quad \text{and} \quad \bar{T} = \frac{2\pi}{\bar{\omega}} = 2\pi \frac{m_0}{m_1} \quad (6.40)$$

Cũng như các moment  $m_r$ , các moment phổ trung tâm  $\tilde{m}_r$  cũng được dùng tới. Chúng được định nghĩa là:

$$\tilde{m}_r = \int_0^{\infty} (\omega - \bar{\omega})^r S(\omega) d\omega \quad (6.41)$$

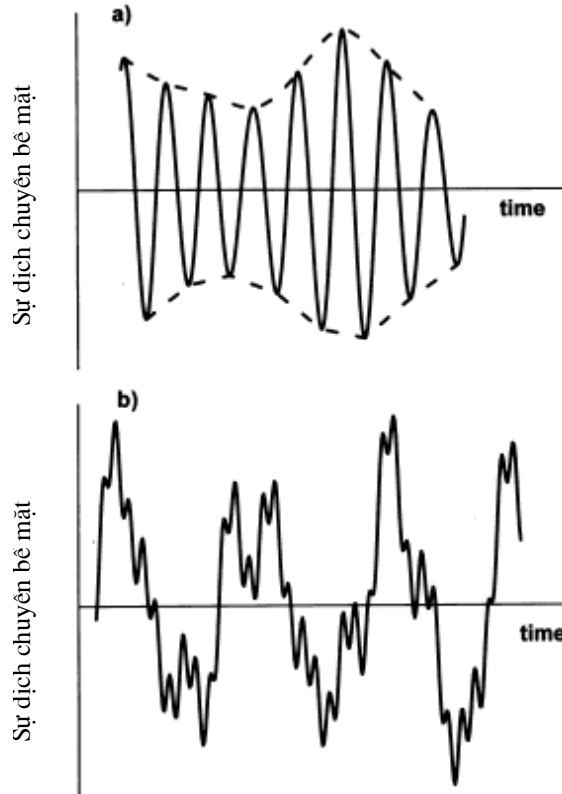
Vì vậy:

$$\tilde{m}_0 = m_0, \quad \tilde{m}_1 = m_1 - \bar{\omega}m_0 = 0, \quad \tilde{m}_2 = m_2 - \frac{m_1^2}{m_0} \quad (6.42)$$

Momen trung tâm  $\tilde{m}_2$  là một thước đo mức độ tập trung của năng lượng phổ sóng xung quanh tần số  $\bar{\omega}$ .

Khi mà chúng ta chuẩn hoá  $\tilde{m}_2$  trong phương trình (6.42) bằng tích  $(\bar{\omega}^2 m_0)$ , ta có được một thông số không thứ nguyên  $\nu^2$  như sau:

$$\nu^2 = \frac{\tilde{m}_2}{\bar{\omega}^2 m_0} = \frac{m_0 m_2}{m_1^2} - 1 \quad (6.43)$$



Hình 6.8: Biến trình thời gian của dao động mực nước: a) phổ hẹp và b) phổ rộng.

Thông số  $\nu^2$  là một đại lượng bậc thấp và thuận tiện để đo chiều rộng phổ. Phương trình (6.43) chỉ ra một cách rõ ràng rằng khi mà tất cả năng lượng sóng tập trung vào một tần số  $\omega = \bar{\omega}$ , ta có  $\nu^2 \rightarrow 0$ . Khi mà năng lượng sóng phân bố rộng rãi quanh các tần số,  $\nu^2$  tăng lên. Trong các cơn bão điển hình, thông số chiều rộng phổ  $\nu$  xấp xỉ bằng 0.3.

Các profile sóng điển hình tương ứng với các phổ rộng và phổ hẹp được chỉ ra trong hình 6.8. Ta có thể thấy rằng các sóng của một phổ hẹp gần như có tần số giống nhau nhưng biên độ biến đổi. Các đường bao trên và dưới trùng lặp một cách chính xác với đỉnh và bụng, và tạo ra một cặp các đường cong đối xứng đối với một giá trị trung bình. Trong trường hợp như vậy, dịch chuyển dương và âm của mặt sóng là bằng nhau, và bằng với biên độ sóng. Đối với phổ rộng, hiện diện các sóng có nhiều tần số và chúng cưỡi lên nhau tạo ra những cực đại địa phương thấp hơn mực nước biển trung bình.

### b) Dạng phổ

Sự phát triển của sóng dưới tác động của gió không phải là vô hạn. Năng lượng mà gió truyền cho sóng được cân bằng bởi tương tác của các sóng, truyền năng lượng từ một dải cho trước tới các dải khác, và bởi tiêu tán năng lượng. Tại nước sâu, quá trình tiêu tán năng lượng thường được xảy ra dưới dạng sóng bạc đầu với quy mô nhỏ hơn bước sóng. Sóng bạc đầu xảy

ra khi mà hai đỉnh sóng chồng lên nhau hay một sóng ngắn cưỡi lên một sóng dài.

Một dạng giới hạn sóng phát triển khác liên quan với việc tạo thành những sóng mao dẫn ngay trước đỉnh nhọn của các sóng chính. Các sóng mao dẫn này lấy năng lượng của các sóng chính nhờ có độ cong của bề mặt cao (Phillips, 1977). Chúng ta cũng cần chú ý rằng dòng chảy gió cũng làm cho sóng vỡ tại một biên độ nhỏ hơn nhiều. Sóng vỡ tại nước nông tạo ra một giới hạn trên cho việc phát triển của sóng bằng cách lấy năng lượng sóng tại một điều kiện tới hạn.

Việc xảy ra của bất cứ một cơ chế nào như thế là một chỉ số của trạng thái bão hoà của các thành phần sóng, trong đó đạt được cân bằng giữa năng lượng do gió cung cấp và năng lượng mất mát do tiêu tán. Như vậy, khoảng bão hoà có thể được mô tả một cách rõ ràng nhờ các thông số vật lý địa phương cho biết hình thái sóng tới hạn, thí dụ như gia tốc trọng trường, ( $g$ ), vận tốc ma sát gió trên bề mặt sóng ( $u_*$ ), và tần số địa phương ( $\omega$ ). Phillips (1958), dùng các lý luận thứ nguyên đã tìm ra rằng:

$$S(\omega) = f\left(\frac{\omega u_*}{g}\right) g^2 \omega^{-5} \quad (6.44)$$

Khi mà dòng chảy mặt là không quan trọng, tức là khi mà  $\omega u_* / g \ll 2$ , phương trình 6.44 cho ta

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5}, \quad \left(\omega_p \ll \omega \ll \frac{2g}{u_*^2}\right) \quad (6.45)$$

trong đó  $\alpha$  là một hằng số ( $\alpha = 1.23 \times 10^{-2}$ ).

### 6.2.3 Các phổ tần số điển hình

Các phổ mà ta thảo luận cho tới nay chỉ giới hạn trong điều kiện bão hoà, khi mà  $\omega > \omega_p$ . Để có thể bao hàm phần quan trọng nhất của phổ, một loạt các hàm đã được đề nghị.

Một dạng chung của các hàm mật độ phổ là:

$$S(\omega) = A \omega^{-p} \exp(-B \omega^{-q}) \quad (6.46)$$

trong đó  $A$ ,  $B$ ,  $p$  and  $q$  là các thông số tự do. Vậy, các moment phổ định nghĩa bởi phương trình (6.41) trở thành:

$$m_r = AB^{(r-p+1)/q} \left(\frac{1}{q}\right) \Gamma\left(\frac{p-r-1}{q}\right) \quad (6.47)$$

trong đó  $\Gamma(\ )$  là hàm gamma.

### Phổ Pierson- Moskowitz

Có thể là phổ phổ biến nhất trong số các phổ được đề nghị là phổ Pierson và Moskowitz (1964). Các ông dùng các số liệu quan trắc hiện trường và các phát kiến lý thuyết của Phillips (1958) và Kitaigorodskii (1962) đã chỉ ra rằng:

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp \left[ -B \left( \frac{g}{\omega U} \right)^4 \right] \quad (6.48)$$

với  $\alpha = 8.1 \times 10^{-3}$ ,  $B = 0.74$  và  $U$  là vận tốc gió tại độ cao 19.5 m trên bề mặt biển. Dạng của phổ sóng được điều khiển bởi một tham số duy nhất - vận tốc gió  $U$ . Phổ trong phương trình (6.48) được đề nghị cho biển đã phát triển hoàn toàn, khi mà vận tốc pha bằng vận tốc gió. Phổ thực nghiệm đề nghị bởi Pierson và Moskowitz cho ta:

$$\frac{U \omega_p}{g} = const = 0.879 \quad \text{and} \quad \frac{U \omega_p}{2\pi g} = \frac{U f_p}{g} = 0.13 \quad (6.49)$$

với  $f_p = \omega_p / 2\pi$ . Sau khi thế vào phương trình (6.48) ta có:

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp \left[ -\frac{5}{4} \left( \frac{\omega}{\omega_p} \right)^4 \right] \quad (6.50)$$

Có một số vấn đề toán học khi ta tính các moment thứ tư của phổ bằng cách dùng phương trình (6.50). Về mặt vật lý, moment này biểu thị gia tốc bình phương trung bình đo được tại một điểm Eulerian là không bị giới hạn. Để khắc phục nhược điểm này, ta thường cắt bỏ một phần tần số, tức là

$$m_4 = \int_0^{\omega_c} S(\omega) d\omega \quad (6.51)$$

trong đó  $\omega_c = n \omega_p$  và  $n$  được lấy là  $n > 3$ .

Chúng ta cần chú ý rằng phổ Pierson-Moskowitz không nhất thiết tương ứng với sóng phát triển hoàn toàn. Trong thực tế, Hasselmann và những người khác (1976) sau khi đã kiểm tra rất kỹ phổ thực nghiệm của Pierson-Moskowitz, đã tìm ra rằng chỉ có một phần của các phổ này là tương ứng với sóng phát triển hoàn toàn.

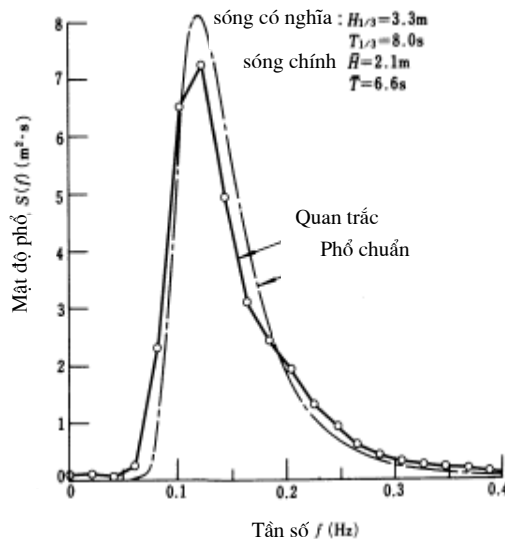
### Phổ Bretschneider-Mitsuyasu

Mitsuyasu (1970) dùng các số liệu quan trắc để hiệu chỉnh các hệ số trong các công thức do Bretschneider (1968) đề nghị và thấy rằng phổ của sóng gió phát triển hoàn toàn được

cho bởi:

$$S(\omega) = 2517 H_{1/3}^2 T_{1/3}^{-4} \omega^{-5} \exp[-1605(T_{1/3} \omega)^{-4}] \quad (6.52)$$

Hình 6.9 cho ta sự so sánh giữa phổ Bretschneider-Mitsuyasu và phổ quan trắc với trường hợp  $H_{1/3} = 3.3 \text{ m}$ ,  $T_{1/3} = 8.0 \text{ s}$ ,  $\bar{H} = 2.1 \text{ m}$ ,  $\bar{T} = 6.6 \text{ s}$ . Hình vẽ cho thấy rằng năng lượng sóng trải trong khoảng  $f = 0.05 \sim 0.4 \text{ Hz}$ , hay là tương ứng với  $T = 2.5 \sim 20 \text{ s}$ , cho dù rằng chu kỳ của sóng có nghĩa là  $8 \text{ s}$ . Hình vẽ còn cho ta thấy rằng năng lượng sóng tập trung vào quanh tần số  $f_p \cong 0.11 \text{ Hz}$ , mà nó thường là nhỏ hơn tần số  $f = 0.125 \text{ Hz}$  tương ứng với chu kỳ sóng có nghĩa. Đường đứt gãy là kết quả của việc đưa các giá trị của độ cao và chu kỳ sóng có nghĩa xác định từ ghi chép vào phương trình (6.52). Tuy rằng một số khác biệt có thể thấy được giữa phổ tính toán và phổ quan trắc, một phần vì hiệu ứng nước nông trong ghi chép sóng đã được hiệu chỉnh với độ sâu đặt máy là  $11 \text{ m}$ , phổ tiêu chuẩn mô tả phổ thực khá tốt.



Hình 6.9 So sánh giữa phổ Bretschneider-Mitsuyasu và phổ quan trắc

### Phổ JONSWAP và những biến thể của nó

Phổ JONSWAP phát triển phổ Pierson-Moskowitz để có thể bao hàm sóng có đà giới hạn. Phổ này được phát triển nhờ sử dụng các số liệu từ một chương trình quan trắc rất quy mô (Joint North Sea Wave Project) tiến hành trong các năm 1968 và 1969 tại biển Bắc. Phổ JONSWAP, sau khi được công bố vào năm 1973, gần như được công nhận ngay và trở thành

rất nổi tiếng trên trường quốc tế. Mô hình phổ kết quả có dạng (Hasselmann và những người khác, 1973):

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp\left[-\frac{5}{4}\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right] \gamma^\delta, \quad (6.53)$$

trong đó:

$$\delta = \exp\left[-\frac{(\omega - \omega_p)}{2\sigma_0^2 \omega_p^2}\right] \quad (6.54)$$

Phổ (6.53) chứa 5 thông số, tức là  $\alpha, \gamma, \omega_p$  và  $\sigma_0 = \sigma_0'$  với  $\omega \leq \omega_p$ , và  $\sigma_0 = \sigma_0''$  với  $\omega > \omega_p$  cần phải biết trước. Thông số  $\gamma^\delta$  là một thông số tăng cường đỉnh được đưa vào trong phổ Pierson-Moskowitz để diễn tả một phổ có đỉnh nhọn hơn, đặc trưng cho sóng đang phát triển. Thông số  $\gamma$  mô tả mức độ của đỉnh và thông số  $\sigma_0$  mô tả chiều rộng của miền đỉnh.

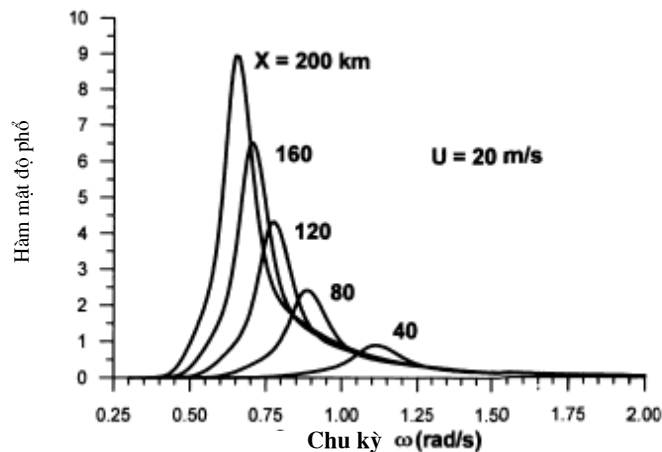
Phổ JONSWAP trung bình cho  $\gamma = 3.3$ ,  $\sigma_0' = 0.07$  và  $\sigma_0'' = 0.09$ , trong khi  $\alpha$  và  $\omega_p$  được cho bởi:

$$\alpha = 0.076 \left(\frac{gX}{U^2}\right)^{-0.22} \quad (6.55)$$

và:

$$\omega_p = 7\pi \left(\frac{g}{U}\right) \left(\frac{gX}{U^2}\right)^{-0.33} \quad (6.56)$$

với  $X$  là đà hiệu dụng.



Hình 6.10 Biến đổi của phổ JONSWAP theo đà.

Chúng ta có tổng năng lượng không thứ nguyên  $\varepsilon$  là:

$$\varepsilon = \frac{m_0 g^2}{U^4} = 1.6 \times 10^{-7} \left( \frac{gX}{U^2} \right) \quad (6.57)$$

Các phương trình (6.56) và (6.57) cho thấy rằng tần số đỉnh  $\omega_p$  giảm và tổng năng lượng tăng lên theo đà hiệu dụng (Hình 6.10).

Dùng hai thông số không thứ nguyên  $\xi = (gX/U^2)$  và  $\nu = (\omega_p U / 2\pi g)$ , các phương trình (6.55), (6.56) và (6.57) có thể được viết lại như sau:

$$\left. \begin{aligned} \xi &= 44.534\nu^{-3.03} \\ \alpha &= 0.076\xi^{-0.22} = 0.033\nu^{0.67} \\ \varepsilon &= 1.6 \times 10^{-7} \xi = 7.13 \times 10^{-6} \nu^{-3.03} \end{aligned} \right\} \quad (6.58)$$

Mặt khác, tích phân phương trình (6.53), dùng  $\gamma = 3.3$  và hai mối liên hệ đầu tiên (6.58) cho ta:

$$\varepsilon = 0.99 \times 10^{-7} \xi^{1.1} \quad (6.59)$$

Kết quả này phù hợp với mối liên hệ thứ ba trong phương trình (6.58). Hasselmann và những người khác (1976) cố gắng điều hoà sai lệch này và phát triển các hiệu chỉnh của  $\alpha, \xi$  và  $\varepsilon$  có dùng tới một loạt các lý luận lý thuyết. Cuối cùng là họ tìm ra:

$$\left. \begin{aligned} \xi &= 32.4384\nu^{-3.03} \\ \alpha &= 0.0662\xi^{-0.2} = 0.033\nu^{0.67} \\ \varepsilon &= 1.6 \times 10^{-7} \xi = 5.3 \times 10^{-6} \nu^{-3.33} \end{aligned} \right\} \quad (6.60)$$

Về mặt nguyên tắc, phổ JONSWAP cần phải tiệm cận phổ Pierson-Moskowitz khi mà đà lớn, tức là khi mà  $\nu \rightarrow 0.13$ ,  $\alpha \rightarrow 8.1 \times 10^{-3}$  và  $\gamma \rightarrow 1.0$ . Trong thực tế, phổ JONSWAP và các phổ cho đà giới hạn khác không cho thấy một xu hướng rõ ràng về việc giảm  $\gamma$  tới 1 khi mà đà tăng lên.

Hasselmann và những người khác (1976) sau khi phân tích lại phổ Pierson-Moskowitz dùng sơ đồ chấp các thông số giống hệt như khi tìm phổ JONSWAP và tìm ra rằng hơn một nửa số phổ có nhiều đỉnh. Sau khi đã loại trừ các số liệu đó khỏi tập số liệu, phần phổ còn lại cho một hệ số tăng cường đỉnh  $\gamma = 1.4$ , khá lớn hơn 1. Kết quả này cho thấy rằng quá trình chuyển đổi thành phổ phát triển hoàn toàn xảy ra trong giai đoạn cuối cùng của quá trình phát



triển sóng.

Một tập hợp số liệu độc lập của Hasselmann và những người khác (1976) cho  $\gamma = 1.7$  tại giới hạn Pierson-Moskowitz (Mitsuyasu và những người khác, 1980). Cho phép  $\sigma_0'$  và  $\sigma_0''$  biến đổi, nhưng vẫn giả thiết rằng dạng Pierson-Moskowitz là chính xác, Lewis và Allos (1990) tìm ra rằng:

$$\gamma = 17.54\xi^{-0.284} = 5.87\nu^{0.86} \quad (6.61)$$

Các chỉnh sửa của Battjes và những người khác (1987) cho thấy rằng trong dải tần số cao, sự khác biệt trong tính phù hợp giữa các quy luật  $\omega^{-4}$  và  $\omega^{-5}$  là đáng kể một cách thống kê tại mức tin tưởng là 99.9% và phổ sóng có thể được xấp xỉ tốt hơn bằng đuôi  $\omega^{-4}$ .

Một biến đổi của phổ JONSWAP có chứa công thức của Toba về khoảng bão hòa đã được Donelan và những người khác (1985 đưa ra dưới dạng:

$$S(\omega) = \beta g^2 \omega_p^{-1} \omega^{-4} \exp\left[-\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right] \gamma^\delta \quad (6.62)$$

trong đó:

$$\beta = 0.006\nu^{0.55} \quad \text{với} \quad 0.83 < \nu^{0.55} < 5.0 \quad (6.63)$$

$$\gamma = \begin{cases} 6.489 + 6 \log \nu & \text{với} \quad 1.0 \leq \nu < 5 \\ 1.7 & \text{với} \quad 0.83 < \nu < 1 \end{cases} \quad (6.64)$$

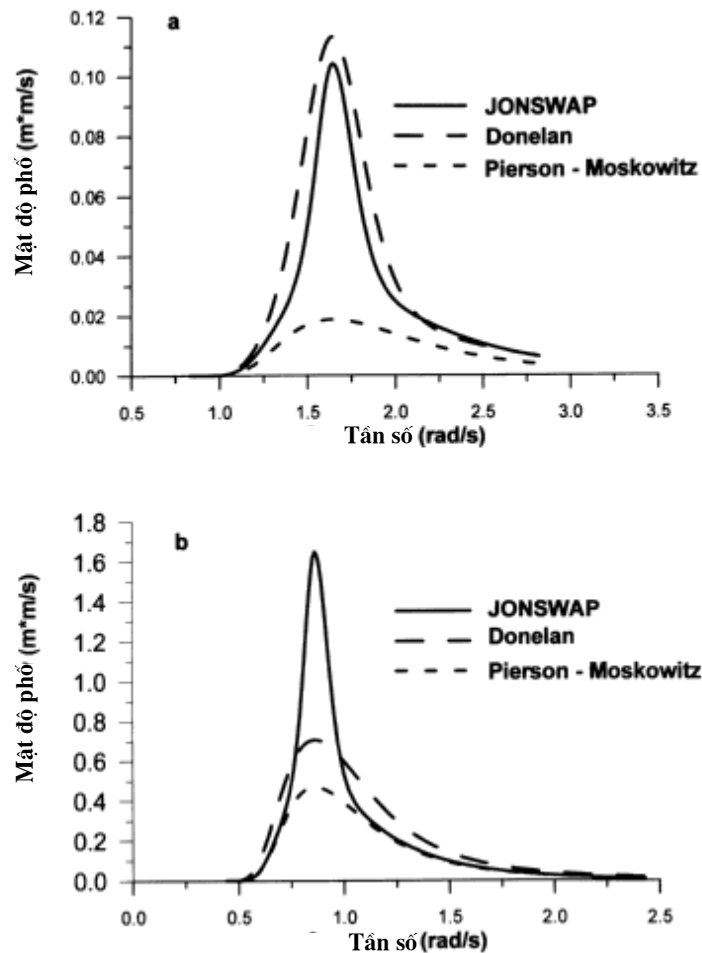
$$\varepsilon = 0.0027\nu^{-3.3} \quad (6.65)$$

$$\sigma_0 = 0.08 + 0.32\nu^{-3} \quad (6.66)$$

Khi  $\nu$  giảm đi (tần số đỉnh chuyển dịch sang các tần số thấp hơn), cả  $\beta$  và  $\gamma$  giảm đi và  $\sigma_0$  giữ nguyên là tương đối không thay đổi cho đến khi gần với trạng thái phát triển đầy đủ mà tại đó nó tăng rất nhanh. Thông số  $\gamma$  không đạt tới giá trị 1.0 mà gần với 1.7 tại giới hạn phát triển đầy đủ.

Trong hình 6.11 các phổ Pierson-Moskowitz, phổ JONSWAP và phổ Donelan được so sánh với hai chế độ khác nhau. Hình đầu tiên cho ta các điều kiện giới hạn đà khi mà đà  $X = 25$  km và vận tốc gió  $U = 10$  m/s. Tần số đỉnh và các thông số phát triển sóng là  $\omega_p = 1.64$

rad/s và  $\nu = (\omega_p U / g) = (U / C) = 1.673$  (C là vận tốc pha tại biển sâu). Hình thứ hai cho phổ của sóng phát triển hoàn toàn ( $X = 200$  km,  $U = 10$  m/s,  $\omega_p = 0.862$  rad/s và  $\nu = 0.879$ ). Phổ Pierson-Moskowitz chỉ được áp dụng cho sóng phát triển hoàn toàn. Mặt khác, phổ JONSWAP, được ngoại suy ra giới hạn phát triển hoàn toàn, giữ nguyên đỉnh được tăng cường của nó và trái ngược với các phổ phát triển hoàn toàn rộng hơn của sóng phát triển hoàn toàn. Dạng của Donelan và những người khác đồng ý rất tốt với phổ JONSWAP trong giai đoạn phát triển giới hạn bởi ã và cũng phản ánh những đặc điểm chính của phổ sóng phát triển hoàn toàn.



Hình 6. So sánh các phổ Pierson-Moskowitz, JONSWAP và của Donelan và những người khác: a) các điều kiện có ã giới hạn và b) sóng phát triển hoàn toàn .

Các mối liên hệ (6.63) - (6.66) xác định hoàn toàn phổ (6.62). Về mặt kỹ thuật, sẽ là rất thuận tiện nếu biểu thị các mối liên hệ này bằng độ cao sóng có nghĩa ( $H_s$ ) và chu kỳ đỉnh

của sóng ( $T_p$ ), thường được dùng trong công tác thiết kế. Houmb và Overvik (1976) đã chỉ ra rằng nguyên tắc này có thể thực hiện được cho phổ JONSWAP. Bằng cách dùng ý kiến này, Young (1992) đã tìm được mối liên hệ sau cho phổ của Donelan và những người khác (1985):

$$\beta = 200g^{-1,571}m_0^{0,786}T_p^{-3,143} \quad (6.67)$$

$$\gamma = 6.489 + 6 \log[2.649 \times 10^7 g^{-2,857}m_0^{1,429}T_p^{-5,714}] \quad (6.68)$$

$$\sigma_0 = 0.08 + 6.940 \times 10^{-26} g^{8,57}m_0^{-4,287}T_p^{17,142} \quad (6.69)$$

trong đó  $m_0 = \frac{H_s^2}{16}$ .

#### 6.2.4 Các hàm phổ hướng

Phương pháp được sử dụng rộng rãi nhất để nghiên cứu sóng gió là kiểm tra phổ tại một điểm. Tuy nhiên, các đo đạc tại một điểm là không đủ để mô tả đầy đủ bản chất của sóng gió. Vì quá trình truyền năng lượng một cách phức tạp từ khí quyển và đại dương và vì tương tác giữa các sóng, sóng bề mặt là đa hướng. Chỉ một phần của năng lượng là lan truyền theo hướng gió. Đặc biệt hơn, năng lượng sóng của các sóng có chu kỳ  $\omega \approx \omega_p$  chủ yếu là lan truyền theo hướng gió, trong khi đó năng lượng sóng liên quan với các tần số cao hay thấp hơn phân bố trên một dải hướng rộng hơn. Tính đa hướng của sóng còn là kết quả chồng chất tại một điểm của các chuỗi sóng khác nhau được tạo ra bởi các hệ thống tạo sóng rất xa.

Phân bố hướng là một đặc tính cơ bản của trường sóng ngẫu nhiên và là một yếu tố cơ bản để hiểu được cơ học sóng đại dương, cũng như các quá trình thành tạo, lan truyền và vỡ. Thông tin về phân bố hướng của năng lượng sóng là cần thiết để dự báo đúng nhiều hiện tượng hải dương và địa mạo tại nước sâu và nước nông. Thí dụ, dòng ven tạo ra vận chuyển bùn cát trong đới ven bờ nhưng cường độ của dòng này phụ thuộc mạnh mẽ vào hướng sóng tại điểm sóng vỡ. Tính hiệu quả của một công trình ngoài khơi và ven bờ phụ thuộc vào hướng của nó đối với hướng sóng tới. Hơn nữa, lực tác động của sóng lên công trình là hàm của phân bố hướng của năng lượng sóng (Sarpkaya và Isaacson, 1981; Wiegel, 1982).

Vì những giới hạn của các phương pháp quan trắc, kiến thức về phổ hướng là khá nghèo nàn so với phổ tần số. Phương pháp tiếp cận cơ bản với phổ hai chiều  $S(\omega, \theta)$  là nhân phổ tần số  $S(\omega)$  với một hàm phân bố hướng  $D$  xác định bằng thực nghiệm. Một biểu thức tổng quát hơn cho  $\hat{S}(\omega, \theta)$ , chứa nhiều hàm phân bố hướng vẫn được dùng có thể được viết như sau

(Niedzwecki and Whatley, 1991):

$$S(\omega, \theta) = S(\omega)D(\theta; \omega, p_1, p_2, \dots) \quad (6.70)$$

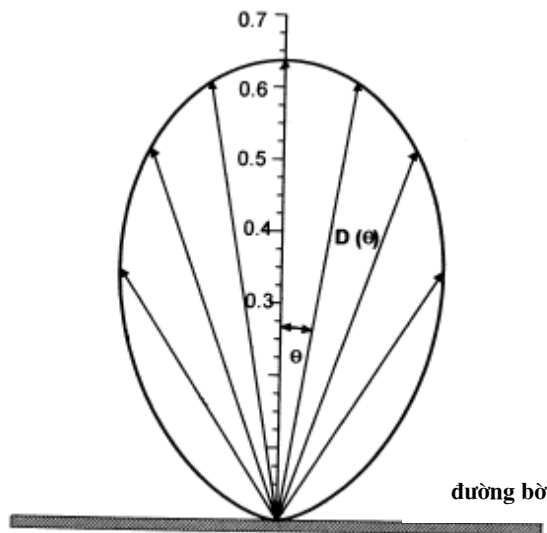
trong đó  $p_1, p_2, \dots$  biểu thị nhiều thông số liên quan với các hàm phân bố hướng khác nhau.

Có bốn hàm phân bố hướng cơ bản: hàm số mũ cosine, hàm mũ, hàm chuỗi mũ và hàm hyperbolic.

#### Hàm số mũ cosine

Trong lịch sử, Pierson và những người khác (1955) đã tìm cách mô hình hoá phân bố năng lượng theo hướng dưới dạng hàm cosine (Hình 6.12):

$$D(\theta) = \frac{2}{\pi} \cos^2 \theta, \quad -\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \quad (6.71)$$



Hình 6.12: Hàm phân bố hướng (6.71).

Từ phương trình (6.71), ta thấy rằng chỉ có 11% năng lượng sóng là lan truyền trong khoảng tạo thành  $\pm 5^\circ$  với hướng sóng, không truyền theo hướng vuông góc với hướng gió. Hàm phân bố hướng này là không thực tế vì nó cho tất cả các thành phần tần số phân bố theo hướng giống nhau.

Trên cơ sở các nghiên cứu hiện trường với các phao pitch-and-roll, Longuet-Higgins và những người khác (1961b) đưa ra một dạng cụ thể hơn của hàm phân bố hướng dạng cosine như sau:

$$D(\theta, s) = \frac{2^{2s-1} \Gamma^2(s+1)}{\pi \Gamma(2s+1)} \cos^{2s} \left( \frac{\theta - \theta_0}{2} \right), \quad -\pi \leq \theta \leq \pi \quad (6.72)$$

Hay:

$$D(\theta, s) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{\Gamma\left(1 + \frac{s_1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1+s_1}{2}\right)} \cos^{2s_1}(\theta - \theta_0), \quad -\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \quad (6.73)$$

trong đó  $\theta_0$  là hướng của tần số đỉnh,  $s$  và  $s_1$  là các hàm thực nghiệm của  $(U/C)$  và  $\Gamma(\ )$  là hàm gamma.

Trong quá khứ, nhiều biểu thức đã được đề nghị cho  $s$  hay  $(s_1)$ . Tất cả chúng cho thấy bản chất phụ thuộc của hàm phân bố hướng  $D$  vào tần số. Thí dụ, Krylov và những người khác (1966) tìm ra rằng:

$$D(\theta, \omega) = 2^{1.8/\omega_*} \frac{\Gamma\left(\frac{1.8}{\omega_*} + 1\right)}{\Gamma^2\left(\frac{1.8}{\omega_*} + 1\right)} [\cos(\theta - \theta_0)]^{1.8/\omega_*} \quad (6.74)$$

Trong đó  $\omega_* = (\omega/\bar{\omega})$ . Như vậy, các thành phần tần số thấp ( $\omega \ll \bar{\omega}$ ) có một hàm phân bố hướng rất hẹp, tập trung vào xung quanh  $\theta_0$ , trong khi đó các thành phần tần số cao ( $\omega > \bar{\omega}$ ) phân bố trong một dải hướng rộng hơn nhiều. Trong khoảng lân cận của cực trị phổ ( $\omega_* \approx 0.8$ ), hàm phân bố hướng là  $D \sim \cos^2 \theta$ .

Trong hầu hết các thí nghiệm, người ta quan trắc thấy tính bất đối xứng đặc trưng trong mối phụ thuộc của thông số  $s$  vào tần số. Thông số  $s$  đạt cực đại với tần số đỉnh và giảm cả với các tần số cao và thấp hơn. Xu hướng giảm là khác nhau, và sự giảm sút nhanh chóng hơn được quan sát thấy trong dải tần số thấp. Dùng các số liệu của các phao cloverleaf, Mitsuyasu và những người khác (1975) đề nghị mối phụ thuộc sau trong phương trình (6.72):

$$\frac{s}{s_{\max}} = \begin{cases} \left(\frac{\tilde{\omega}}{\tilde{\omega}_p}\right)^5 & \text{for } \tilde{\omega} \leq \tilde{\omega}_p \\ \left(\frac{\tilde{\omega}}{\tilde{\omega}_p}\right)^{-2.5} & \text{for } \tilde{\omega} > \tilde{\omega}_p \end{cases} \quad (6.75)$$

với  $\tilde{\omega} = (\omega U/g)$ ,  $\tilde{\omega}_p = (\omega_p U/g)$  và  $s_{\max} = 11.5 \tilde{\omega}_p^{-2.5}$

Tính bất đối xứng ở trên rõ ràng là phản ánh giá trị của số mũ (5 và 2.5). Ta cần phải nhấn mạnh rằng thông số  $s$  tăng khi mà  $\omega_p$  giảm. Vì vậy, hàm phân bố trở nên hẹp hơn khi mà sóng gió phát triển hơn.

Hàm phân bố của Mitsuyasu và những người khác (1975) có đặc điểm là thông số  $s$  diễn tả mức độ tập trung năng lượng theo hướng có giá trị đỉnh xung quanh tần số tại đỉnh của phổ, và giá trị của  $s$  giảm đi khi mà tần số rời xa tần số tại đỉnh phổ, cả về hướng tần số thấp và tần số cao. Điều đó có nghĩa là hàm phân bố hướng của năng lượng sóng là hẹp nhất xung quanh tần số tại đỉnh phổ. Tuy rằng ban đầu Mitsuyasu và những người khác liên hệ thông số phân bố hướng  $s$  với vận tốc gió  $U$ , Goda và Suzuki (1975) đã viết lại phương trình nguyên thủy thành dạng sau đây, có chứa giá trị đỉnh của  $s$ , ký hiệu là  $s_{\max}$  như là một thông số cơ bản để áp dụng cho kỹ thuật:

$$s = \begin{cases} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^5 s_{\max} & \text{với } \omega \leq \omega_p \\ \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-2.5} s_{\max} & \text{với } \omega > \omega_p \end{cases} \quad (6.76)$$

ở đây,  $\omega_p$  ký hiệu tần số tại đỉnh phổ và có mối liên quan với chu kỳ sóng có nghĩa như sau  $\omega_p = 2\pi / (1.05T_{1/3})$  cho trường hợp phổ tần số Bretschneider-Mitsuyasu.

Mức độ phân bố hướng của năng lượng sóng ảnh hưởng rất lớn tới mức độ khúc xạ và nhiễu xạ. Goda và Suzuki (1975) dùng các số liệu quan trắc hiện trường chi tiết và tìm ra rằng

$$\begin{aligned} \text{Sóng gió:} & \quad s_{\max} = 10 \\ \text{Sóng lừng với khoảng cách suy giảm ngắn (độ dốc sóng tương đối lớn):} & \quad s_{\max} = 25 \\ \text{Sóng lừng với khoảng cách suy giảm dài (độ dốc sóng tương đối nhỏ):} & \quad s_{\max} = 75 \end{aligned}$$

Mối liên hệ tương tự của thông số  $s$  vào tần số sóng được tìm ra trong thí nghiệm JONSWAP (Hasselmann và những người khác, 1980). Họ định nghĩa thông số  $s$  như sau:

$$s = s_p \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^\mu \quad (6.77)$$

trong đó:

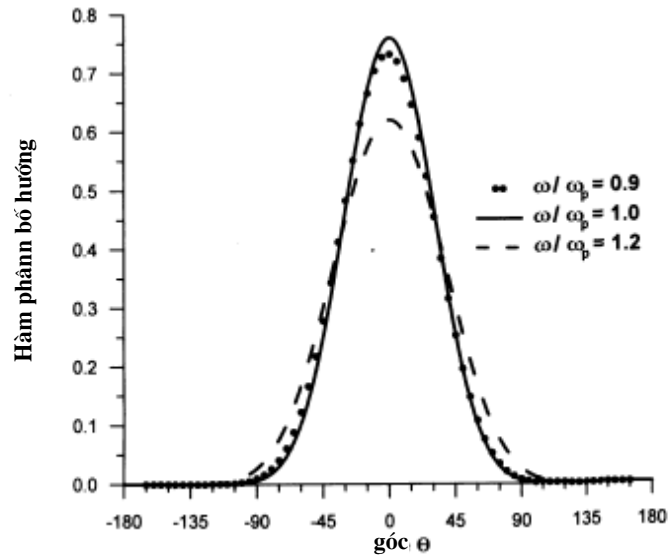
$$\left. \begin{aligned} s_p &= 6.97 \pm 0.83 \\ \mu &= 4.06 \pm 0.22 \end{aligned} \right\} \text{ for } \omega < \omega_p \quad (6.78)$$

và:

$$\left. \begin{aligned} s_p &= 9.77 \pm 0.43 \\ \mu &= -(2.33 \pm 0.06) - (1.45 \pm 0.45) \left( \frac{U}{c} - 1.17 \right) \end{aligned} \right\} \text{ for } \omega < \omega_p \quad (6.79)$$

Công thức trên là đúng cho sóng đang phát triển, tức là khi  $1 \leq \frac{U}{c} \leq 1.5$ .

Hàm phân bố hướng (6.72) với sơ đồ thông số hoá của Hasselmann et al. được trình bày trên hình 6.13 cho ba tần số, i.e.  $\frac{\omega}{\omega_p} = 0.8; 1.0; 1.8$ .



Hình 6.13: Hàm phân bố hướng theo Hasselmann và những người khác (1980).

Với các thành phần tần số thấp, ( $\omega < \omega_p$ ), hàm phân bố hướng chỉ được xác định bằng tỷ số  $\left( \frac{\omega}{\omega_p} \right)$ . Trong dải tần  $\omega \geq \omega_p$ , hàm phân bố này phụ thuộc cả vào tỷ số của vận tốc gió và vận tốc pha của sóng (tuổi sóng). Khi mà sóng đã đủ phát triển, dải phân bố hướng trở nên hẹp (hãy xem cả Davidan et al., 1985). Tại đỉnh phổ, thông số  $s = 9.77$  là lớn hơn nhiều  $s = 2$ , được tính toán trước đây (Pierson et al. 1955; Krylov et al., 1966).

Việc thông số hoá (6.77), do Hasselmann et al. (1980) đề nghị, là dựa trên giả thiết rằng

dạng phổ với  $\omega \leq \omega_p$  được điều khiển bởi tương tác phi tuyến khi mà ta cho rằng  $s$  phụ thuộc vào  $\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)$ . Tuy nhiên, trong khoảng tần số cao hơn, ( $\omega > \omega_p$ ), dạng phổ còn phụ thuộc vào trường gió. Hasselmann et al. (1980) chỉ ra rằng sự phụ thuộc này là khá yếu và sự phụ thuộc của  $s$  vào  $\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)$  là quan trọng hơn, tức là thông số phân bố  $s$  đối với  $\omega \geq \omega_p$  cuối cùng có dạng như trong phương trình (6.79).

Giờ ta có thể hỏi rằng liệu dải bão hoà của phổ hai chiều  $S(\omega, \theta)$  có tồn tại theo cách tương tự như dải bão hoà trong phổ tần số hay không. Davidan et al. (1985) công bố một số quan trắc hiện trường cho thấy rằng trong dải tần số thấp các đường đẳng của phổ  $S(\omega, \theta)$  thay đổi theo mức độ phát triển của sóng, trong khi các đường đẳng liên quan tới các tần số cao hơn (dải bão hoà) thì giữ không đổi. Vì vậy, hàm phân bố hướng trong dải bão hoà không phụ thuộc vào trạng thái phát triển của sóng mà chỉ phụ thuộc vào tần số sóng.

Vai trò của hàm phân bố hướng của năng lượng đã được nhận thấy từ lâu vì nó rất cần thiết cho việc thiết kế các công trình ngoài biển. Tuy nhiên, các mô hình toán dùng phương pháp phân chia biến để tách biệt các thành phần tần số và hướng vẫn đang được dùng. Chỉ gần đây, Niedzwecki và Whatley (1991) dùng mô hình dạng hàm mũ cosine biến đổi (Eq. 6.72), trong đó  $s = s(\omega)$  và  $\theta_0 = \theta_0(\omega)$ , và số liệu hiện trường của Forristall et al. (1978), để đánh giá mối liên hệ của tần số vào các thông số phân tán theo hướng có nhấn mạnh đặc biệt tới việc áp dụng của chúng vào thiết kế các công trình ngoài khơi.

### 6.3 Mô hình pha ngẫu nhiên

Như đã trình bày ở trên, các thí nghiệm khác nhau tiến hành với cùng điều kiện tạo sóng cho phổ variance hay phổ năng lượng giống nhau, nhưng không cho các chuỗi số liệu dao động mực nước đồng nhất. Từ các thí nghiệm đó, ta có thể nói rằng gió truyền một lượng năng lượng nhất định cho sóng, phân chia theo tần số và hướng theo một phương thức có thể lặp lại được (và như vậy về mặt nguyên tắc có thể dự đoán được), nhưng với các pha ngẫu nhiên.

Một khái niệm rất có ích trong vấn đề này là coi các thành phần phổ là các biến ngẫu nhiên độc lập về mặt thống kê và không nhận một giá trị mong muốn nào cả. Độc lập có nghĩa là các thành phần không ảnh hưởng lẫn nhau. Điều này là thích hợp cho các sóng nhỏ (mô hình tuyến tính). Đồng thời, trong một quá trình dừng, pha không thể có một giá trị



mong muốn. Điều này dẫn ta tới một cách tiếp cận sau đây mà người ta thường gọi là mô hình pha ngẫu nhiên. Trong mô hình này, một quá trình ngẫu nhiên dùng  $\{\zeta(t)\}$  nào đó (không nhất thiết là mặt nước có sóng gió mà có thể là vận tốc quỹ đạo của hạt nước, dao động áp suất v.v... ) có thể được viết như sau:

$$\zeta(t) = \sum_m a_m \cos(2\pi f_m t + \varphi_m), \quad m = 1, 2, \dots \quad (6.80)$$

Các pha  $\varphi_n, \varphi_m$  là độc lập với  $n \neq m$ , mỗi cái có một mật độ xác suất đồng nhất trong khoảng  $(-\pi, \pi)$ . Vậy:

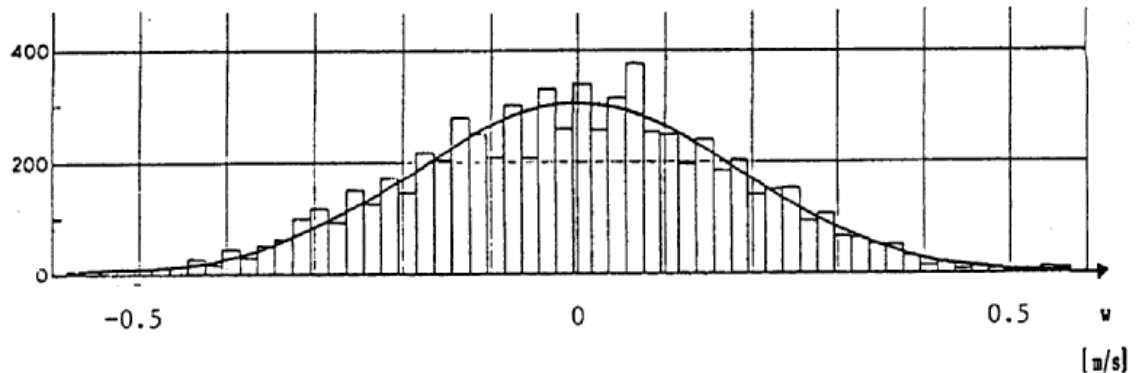
$$p(\varphi_i) = \frac{1}{2\pi} \quad \text{for } \varphi_i \in (-\pi, \pi) \quad (6.81)$$

Chú ý rằng theo mô hình này thì bề mặt nước là tổng của một số rất lớn các thành phần độc lập với nhau về mặt thống kê. Theo định lý giới hạn trung tâm của lý thuyết xác suất thì đây là một quá trình Gauss, tức là các giá trị của nó tuân theo phân bố xác suất Gauss. Thông thường thì các biên độ ngẫu nhiên tuân theo phân bố Rayleigh như sau

$$p(a) = \frac{\pi}{2} \frac{a}{\mu^2} \exp\left(-\frac{4\pi a^2}{\mu^2}\right) \quad (6.82)$$

Nếu như biên độ sóng tuân theo phân bố Rayleigh thì bình phương của nó tuân theo phân bố hàm mũ, và như vậy là variance  $E\left\{\frac{1}{2}a_i^2\right\}$  tuân theo phân bố hàm mũ.

Mô hình pha ngẫu nhiên có thể được giải thích như sau. Với một phổ cho trước của variance, ta có thể lựa chọn một tập lớn các tần số nằm gần nhau, không nhất thiết là đồng khoảng cách, và xác định biên độ cho mỗi thành phần này theo phương trình 6.36. Để tạo ra một thể hiện (“ghi chép”) ta có thể cho mỗi thành phần một pha ngẫu nhiên và thế vào phương trình 6.80 để tính thể hiện (hay ghi chép) như là một hàm của thời gian. Lập lại các tính toán này với một tập hợp pha mới, ta có thể tạo ra một thể hiện mới v.v... Rõ ràng là các ghi chép là khác biệt nhau về chi tiết, nhưng có chung phổ variance và có một số tính chất chung.



Hình 6.14 Phân bố vận tốc thẳng đứng của hạt nước quan trắc được và hàm pdf dạng Gauss

Từ các vấn đề đã trình bày ở trên, rõ ràng là các tính chất thống kê của các quá trình pha ngẫu nhiên (tập hợp các thể hiện) là được xác định hoàn toàn bằng phổ variance.

Bởi vì năng lượng phân bố trên một khoảng tần số chứ không phải tập trung vào một tần số, các thể hiện là dao động nhưng không tuần hoàn.

Hình 6.14 so sánh giữa phân bố xác suất lý thuyết và quan trắc của mặt nước. Sự phù hợp là tốt. Điều này là đúng nếu như sóng là sóng dài, không quá dốc và không lan truyền ở nước quá nông. Nó là do mô hình phổ ngẫu nhiên giả thiết rằng tất cả các thành phần sóng là độc lập về mặt thống kê, có nghĩa là các sóng có thể cộng với nhau.

Hãy xem xét bề mặt sóng, phân bố xác suất Gauss áp dụng không chỉ cho mặt nước tức thời mà cho cả các giá trị tức thời khác như vận tốc quỹ đạo, gia tốc, dịch chuyển, dao động áp suất nếu như tất cả các đại lượng này có thể coi là chồng chất của nhiều thành phần. Hình 6.14 cho ta một thí dụ về thành phần thẳng đứng của vận tốc hạt.

#### Thí dụ

Hãy xem xét mặt biển có phổ variance của dao động mặt nước có thể viết dưới dạng

$$E_{\zeta}(f) = Ag^2 f^{-5} \quad \text{với } f_c < f < \infty, \quad E_{\eta\eta} = 0 \quad \text{cho những trường hợp khác} \quad (6.83)$$

trong đó  $A = 5 \times 10^{-6}$  và  $f_c = 0.1 \text{ Hz}$ . Tính

- năng lượng sóng trung bình ( $E$ ) trên một đơn vị diện tích
- xác suất mà bề mặt nước tại một thời điểm nào đó vượt quá 3 m trên MSL.

(a)  $E = E_p + E_k \approx 2E_p = \rho g \overline{\zeta^2} = \rho g m_0$  (với dấu gạch ngang ở trên ký hiệu trung bình thời gian). Dùng phương trình 6.111, ta tìm được  $m_0 = (1/4)Ag^2 f_c^{-4} = 1.20 \text{ m}^2$ , vậy  $E = 12 \text{ kJ/m}^2$ .

(b) Độ lệch tiêu chuẩn của mặt nước là  $\sigma_\zeta = m_0^{1/2} = 1.10 \text{ m}$ , vậy xác suất cần thiết bằng với xác suất sao cho biến chuẩn hoá  $(\zeta - \mu_n) / \sigma_n$  sẽ vượt qua giá trị  $(3\text{m} - 0\text{m}) / (1.10\text{m}) = 2.73$ . Xác suất này có thể tìm được trong bảng phân bố xác suất tích lũy Gauss, và là 0.0032.

#### 6.4 Xác định các đặc trưng phổ của sóng đại dương từ các ghi chép sóng ngoài hiện trường

Chuỗi thời gian của bề mặt nước thường được tạo ra nhờ dòng điện. Dòng điện này bản thân nó được biến đổi trực tiếp thành các giá trị phổ variance của sóng nhờ một hệ analog (tức là mạch điện có hay không có các thành phần quang học) hay là có thể số hoá để được xử lý bằng một máy tính. Với sự tiến bộ của các máy tính cá nhân, lựa chọn sau đã được chấp nhận một cách rộng rãi và vì vậy chúng ta chỉ xem xét lựa chọn này.

Việc đánh giá các phổ bằng cách phân tích các ghi chép sóng có thể là dựa trên hai cách tiệm cận mà cuối cùng chúng cho ta cùng một kết quả. Cách tiệm cận thứ nhất là đầu tiên tính hàm tự tương quan của mặt nước và sau đó dùng biến đổi Fourier để biến các hàm này. Phương pháp tiệm cận thứ hai là biến đổi trực tiếp ghi chép sóng thành phổ bằng biến đổi Fourier. Phương pháp thứ nhất là phổ biến trong những năm 1950 và 60. Vào khoảng 1970 phép biến đổi Fourier nhanh (Fast Fourier Transform, FFT) đã giúp cho phép biến đổi Fourier trở thành hiệu quả hơn và do vậy đã trở thành kỹ thuật được ưa thích hiện nay. Định nghĩa của phổ trong giáo trình này sẽ gắn với cách tiệm cận này.

Bây giờ, phổ năng lượng sóng trong phương trình (6.31) được định nghĩa lại bằng biên độ của các thành phần điều hoà.

$$E(f) = \lim_{\Delta f_n \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta f_n} E \left\{ \sum_{\Delta f_n} \frac{1}{2} a_i^2 \right\} \quad (6.84)$$

Phép phân tích phổ dùng các số liệu quan trắc hiện trường cho ta đánh giá  $E(f)$  dựa trên định nghĩa này. Phương pháp này yêu cầu việc xác định biên độ  $a_i$  từ ghi chép sóng. Từ đây chúng ta có thể dùng mô hình biên độ / pha với các khoảng tần số không đổi  $\Delta f = 1/D$  (với  $D$  là khoảng thời gian của toàn chuỗi). Với một ghi chép sóng, biến trình thời gian của mặt nước có thể được viết như sau:

$$\zeta(t) = \sum_{i=1}^N a_i \cos(2\pi f_i t + \varphi_i) \quad \text{với} \quad f_i = \frac{i}{D} \quad (6.85)$$

nó còn có thể được viết là:

$$\zeta(t) = \sum_{i=1}^N [A_i \cos(2\pi f_i t) + B_i \sin(2\pi f_i t)] \quad (6.86)$$

Trong đó mỗi liên hệ giữa một mặt là biên độ  $a_i$  và pha  $\varphi_i$  và một mặt khác là các biên độ  $A_i$  và  $B_i$  là:

$$a_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2} \quad (6.87)$$

và:

$$\varphi_i = \arctan\left(-\frac{B_i}{A_i}\right) \quad (6.88)$$

Dùng phương trình (6.88), ta có thể dễ dàng chỉ ra rằng  $A_i$  và  $B_i$  có thể được tìm từ:

$$A_i = \frac{2}{D} \int_D \zeta(t) \cos(2\pi f_i t) dt \quad (6.89)$$

$$B_i = \frac{2}{D} \int_D \zeta(t) \sin(2\pi f_i t) dt \quad (6.90)$$

Bằng cách áp dụng thao tác này cho tất cả các tần số (tức là  $i$ ), tất cả các giá trị  $A_i$  và  $B_i$ , và sau đó là các giá trị biên độ  $a_i$  và pha  $\varphi_i$  có thể tính được.

Các biên độ và pha là các biên độ và pha của mô hình biên độ – pha ngẫu nhiên. Nói một cách khác, các biên độ  $a_i$  là các biên độ được dùng trong định nghĩa của mật độ phổ variance. Bước tiếp theo trong việc phân tích là tính tổng của các variance  $(1/2)a_i^2$  trên một dải tần với độ rộng của tần là  $\Delta f_n$  để xác định giá trị kỳ vọng của tổng này và lấy giới hạn  $\Delta f_n \rightarrow 0$ . Tuy nhiên, điều này vẫn là không đúng vì có những giới hạn của ghi chép sóng, và như vậy sẽ được thảo luận sau.

Trong thực tế, thông thường một ghi chép sóng sẽ phải chịu mấy giới hạn như sau:

- khoảng thời gian mà ghi chép sóng là hữu hạn,
- thường là chỉ có một ghi chép,
- ghi chép sóng là rời rạc về thời gian
- mật nước đo đạc được bị ảnh hưởng bởi những sai số của dụng cụ đo đạc.

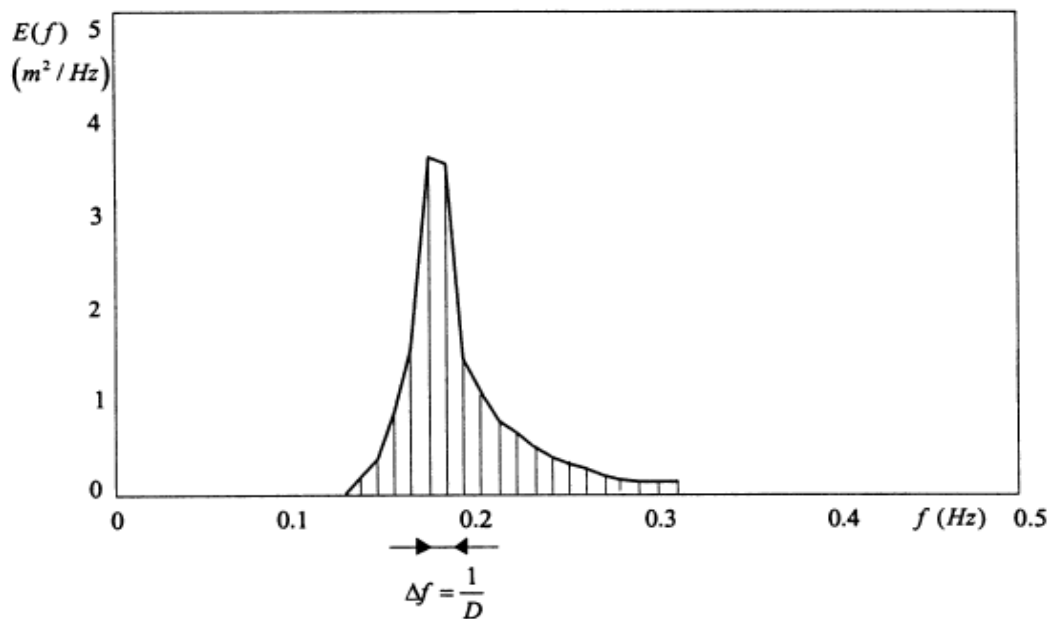
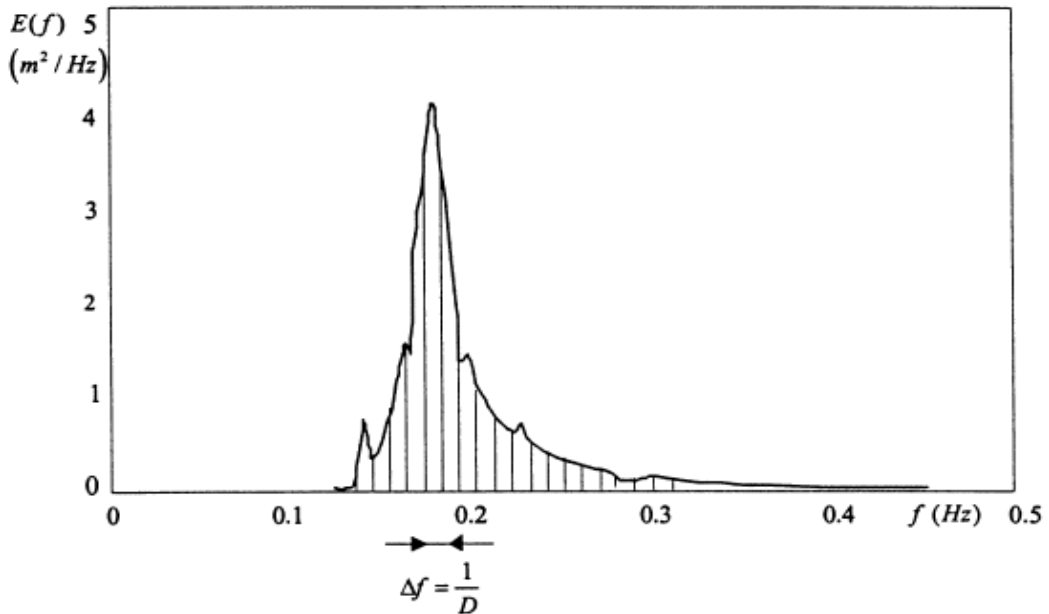
Giá trị nhỏ nhất có thể có của khoảng tần số  $\Delta f$  trong biến đổi Fourier của một tần số sóng với quãng thời gian quan trắc  $D$  bằng  $1/D$ . Vậy, với một khoảng thời gian hữu hạn của

ghi chép sóng, rõ ràng là không thể làm cho  $\Delta f \rightarrow 0$  để tính các giá trị của phổ năng lượng theo phương trình 6.84. Như vậy, công thức tính toán giá trị của phổ năng lượng sóng trở thành:

$$E(f_n) = \frac{1}{\Delta f} E \left\{ \sum_{\Delta f} \frac{1}{2} a_i^2 \right\} \quad \text{với} \quad \Delta f = \frac{1}{D} \quad (6.91)$$

Chú ý rằng tần số liên tục  $f$  trong mật độ phổ  $E(f)$  đã được thay bằng tần số rời rạc  $f_n$ . Dải tần số giới hạn này có nghĩa là nó không cho biết thông tin về các chi tiết của phổ sóng với các tần số nhỏ hơn dải tần này. Độ phân giải của tần số là (xem hình 6.15):

$$\Delta f_n = \Delta f = \frac{1}{D} \quad (6.92)$$



Hình 6.15 Độ phân giải tần số giới hạn vì tính giới hạn của ghi chép sóng

Độ phân giải tần số trong một quan trắc sóng chỉ có thể cải thiện được nếu tiến hành các quan trắc với quãng thời gian dài hơn. Tuy nhiên, điều này mâu thuẫn với yêu cầu là các điều kiện sóng là dừng. Để hoà hợp hai yêu cầu này, thời gian của một quan trắc sóng tại biển là từ 15 tới 30 phút.

Một khoảng thời gian rất ngắn cũng có nghĩa là trong dải tần  $\Delta f$  chỉ có một thành phần với phương sai  $(1/2)a_i^2$  là được tính toán sao cho không thể tính được tổng trên toàn bộ các phương sai trong dải tần (như là trong định nghĩa của phổ phương sai). Công thức tính phổ do vậy trở thành:

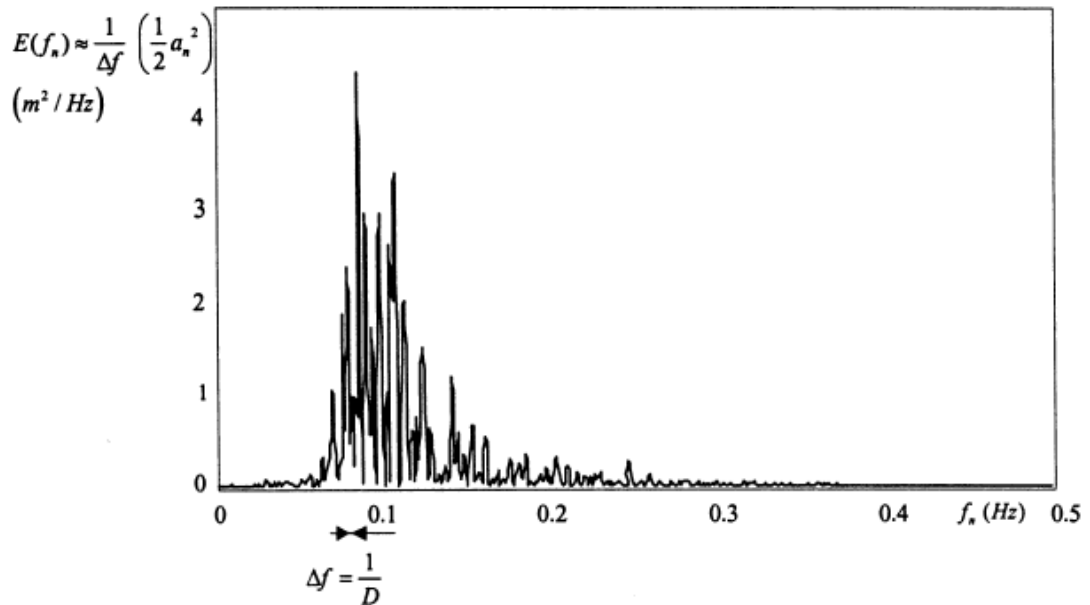
$$E(f_n) = \frac{1}{\Delta f} E\left\{\frac{1}{2}a_n^2\right\} \quad (6.93)$$

với chỉ số  $i$  đã được thay thế bằng chỉ số  $n$  trong phương sai bởi vì không có sự phân biệt hơn nữa giữa hai chỉ số (chỉ có một biên độ  $a_i$  trên một tần số  $f_n$ )

Từ những điều trên ta thấy rằng nếu như chỉ có một ghi chép sóng, ta chỉ có thể có được một giá trị tính toán biên độ của một tần số. Nói cách khác, chỉ một mẫu của phương sai trong dải tần  $\Delta f$  là được lấy. Một mẫu  $(1/2)a_n^2$  của  $(1/2)a_i^2$  có thể được dùng như là giá trị ước tính của giá trị kỳ vọng  $E\{(1/2)a_n^2\}$  và công thức tính mật độ phổ tiếp tục trở thành

$$E(f_n) = \frac{1}{\Delta f} \left(\frac{1}{2}a_n^2\right) \quad (6.94)$$

Công thức này có thể được chấp nhận được nếu như độ trải rộng thống kê của các giá trị  $(1/2)a_n^2$  là tương đối nhỏ so với các giá trị của  $E\{(1/2)a_n^2\}$ . Tuy nhiên trong thực tế không phải là như vậy. Đối với sóng biển, giá trị của  $(1/2)a_n^2$  là phân bố theo quy luật hàm mũ (xem mục 6.3). Vì vậy khi lấy giá trị của mẫu để làm giá trị của kỳ vọng thì có nghĩa là sai số có bậc 100%. Vì vậy, mẫu của  $(1/2)a_n^2$  là một đánh giá kém chất lượng của  $E\{(1/2)a_n^2\}$  (đánh giá thô với tính tin cậy thấp). Có thể thấy rõ ràng điều này từ dáng vẻ rất hỗn loạn của phổ được đánh giá như trên (Hình 6.116). Sai số bậc 100% là rõ ràng không chấp nhận được và ta cần phải tăng độ tin tưởng.



Hình 6.16 Phổ hỗn loạn thu được từ một đánh giá thô của phương sai trong dải tần.

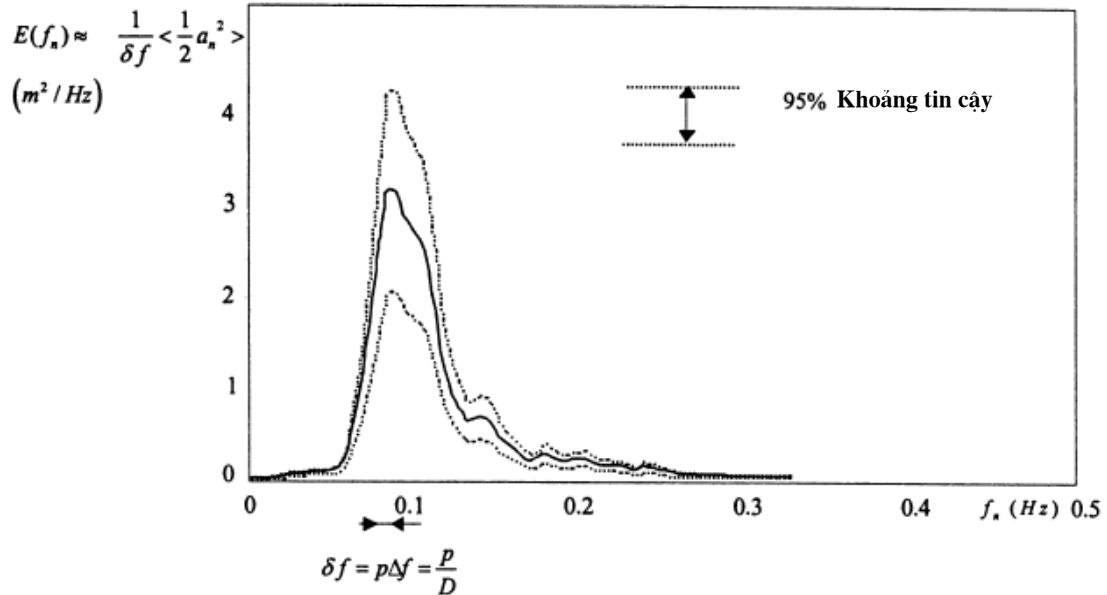
Có một vài kỹ thuật để tăng tính tin cậy của việc đánh giá phổ năng lượng, nhưng tất cả chúng đạt được nhờ giảm độ phân giải của phổ. Một kỹ thuật là chia ghi chép sóng thành một số ( $p$ ) các đoạn của dải không gối lên nhau  $D/p$ . Phân tích Fourier mỗi đoạn này để tìm một đánh giá của  $(1/2)a_n^2$  tại khoảng  $\delta f = (D/p)^{-1} = p\Delta f$ . Bằng cách lấy trung bình tập hợp, giá trị của  $(1/2)a_n^2$  với một dải tần số cho trước (trung bình chuẩn tập hợp), có thể tìm được một đánh giá đáng tin cậy hơn của  $E\{(1/2)a_n^2\}$ . Sai số được giảm với hệ số  $\sqrt{p}$ . Độ tin cậy của đánh giá này như vậy là tăng một hệ số  $p^{1/2}$ .

$$E(f_n) \approx \frac{1}{\delta f} \left\langle \frac{1}{2} a_n^2 \right\rangle \quad \text{với} \quad \delta f = p\Delta f \quad \text{và sai số} \approx \frac{100\%}{\sqrt{p}} \quad (6.95)$$

Độ tin cậy cũng có thể được biểu hiện bằng các khoảng phần trăm. Có nghĩa là khẳng định độ tin cậy 95% là một khoảng với xác suất 95% là giá trị kỳ vọng sẽ rơi vào (khoảng tin cậy, xem hình 6.17).

Một điều không may là nếu chia ghi chép thành  $p$  đoạn, độ phân giải của phổ giảm xuống một hệ số  $p$ . Cần phải thỏa hiệp để cân bằng giữa một độ phân giải phổ chấp nhận được

và một độ tin cậy chấp nhận được với giá trị của  $p = 20$  tới  $30$  là điển hình đối với các quan trắc trên biển.



Hình 6.17 Phổ tính được với khoảng tin cậy 95%.

Các ghi chép sóng thường là số hoá bằng cách thu nhận các tín hiệu từ các cảm biến sóng tại các khoảng thời gian cố định  $\Delta t$ . Khoảng này thông thường là 0.5s với các quan trắc sóng tại biển. Một hệ quả trực tiếp của việc rời rạc hoá là tích phân ở trong tích phân Fourier nói ở trên cần phải được thay bằng tổng rời rạc. Do vậy, phổ tính toán bị sai số gọi là sai số nhầm giá trị (aliasing error).

Giả thiết rằng một ghi chép của dao động mặt nước có chiều dài  $D$ . Dữ liệu số hoá bao gồm  $N$  giá trị ghi tại các khoảng thời gian bằng nhau  $\Delta t$ . Vậy:

$$\zeta_n = \zeta(t_0 + n\Delta t), \quad n = 1, 2, \dots, N, \quad (6.96)$$

với  $t_0$  là một thời điểm ban đầu nào đó và  $\Delta t$  là khoảng cách thời gian lấy mẫu. Trong giai đoạn lập kế hoạch thí nghiệm, cần đặc biệt chú ý tới việc chọn giá trị  $\Delta t$ . Giả thiết rằng dải tần số mà ta chú ý đến nằm trong khoảng từ 0 tới  $f_c$  (Hz), ( $\omega_c = 2\pi f_c$  rad/s).

Số các mẫu rời rạc  $N$  cần để mô tả  $\zeta(t)$  cần thỏa mãn các mối liên hệ sau:



$$N = \frac{D}{1/(2f_c)} = 2f_c D = \frac{\omega_c D}{\pi} \quad (6.97)$$

Hay:

$$\Delta t = \frac{D}{N} = \frac{1}{2f_c} = \frac{\pi}{\omega_c} \quad (6.98)$$

Khoảng tăng  $\Delta t = 1/(2f_c) = \pi/\omega_c$  cơ bản được gọi là khoảng cách thời gian lấy mẫu Nyquist, và  $f_c$  hay  $\omega_c$  được gọi là tần số Nyquist. Thí dụ các ghi chép sóng bằng phao điện hình có khoảng cách thời gian ghi là  $\Delta t = 0.3906$  s. Như vậy, dải tần số tương ứng là (0, 1.2801) Hz hay (0, 8.043) rad/s.

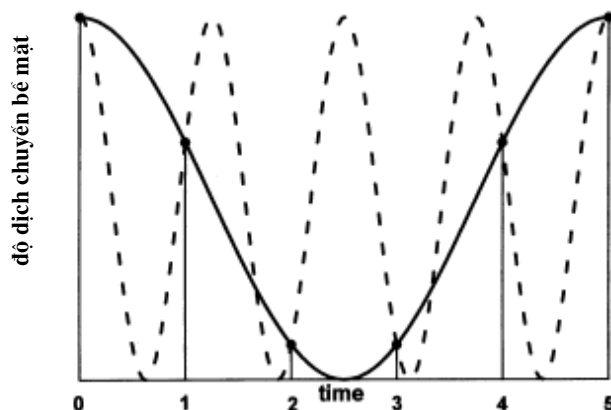
Khoảng cách thời gian lấy mẫu là khoảng cách thời gian cực đại để mô tả  $\zeta(t)$  một cách phù hợp. Các tần số lớn hơn  $\omega_c$  trong các số liệu nguyên bản sẽ gây ra sai số nhầm giá trị, xảy ra đối với việc xử lý các tập số liệu số hoá, nhưng không xảy ra khi xử lý các tập số liệu analog trực tiếp. Việc dùng các số liệu rời rạc tạo ra việc cắt bỏ một số tần số tại tần số  $\omega_c$ . Điều này có nghĩa là tất cả các sai phương trong số liệu cần phải được tính đến phải nằm trong các dải tần nhỏ hơn  $\omega_c$ .

Tuy nhiên, một số các sai phương này là do các tần số cao hơn, không phân giải nổi. Tình trạng này được giải thích trong hình 6.18 mà trong đó hai đường cong với hai tần số khác nhau được đặt vào cùng các số liệu. Chỉ có đường cong liên tục là được phân giải và phương sai nhất thiết phải được tính theo nó. Tuy nhiên, số liệu lại có thể được hoàn toàn tạo bởi đường cong đứt. Với bất cứ một tần số  $f$  nào nằm trong khoảng  $0 \leq \omega \leq \omega_c$ , các tần số cao hơn nhầm tên với tần số  $\omega_c$ , được định nghĩa bởi:

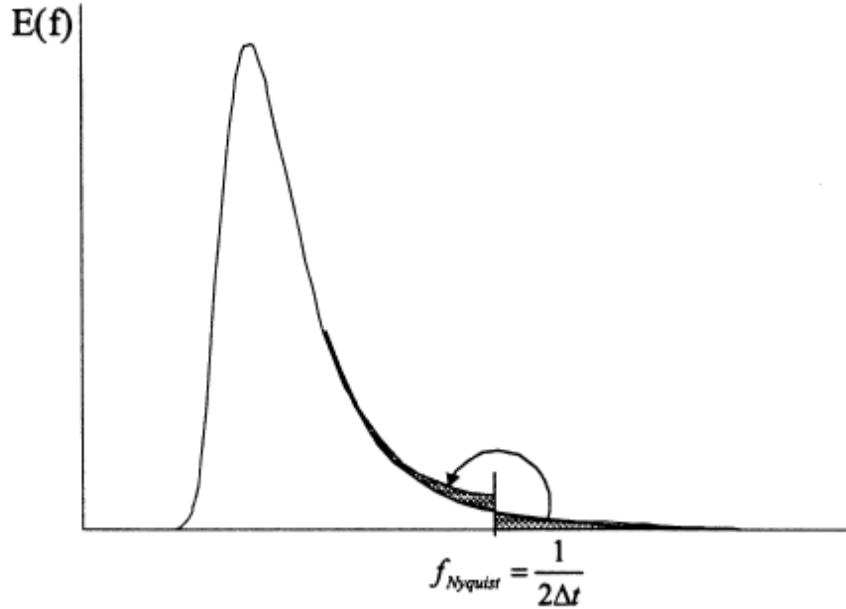
$$(2\omega_c \pm \omega), (4\omega_c \pm \omega), \dots, (2n\omega_c \pm \omega) \quad (6.99)$$

nếu  $t = \frac{\pi}{\omega_c}$ , thành phần điều hoà với tần số  $\omega$  trở thành:

$$\cos(\omega t) = \cos\left[(2n\omega_c \pm \omega)\frac{\pi}{\omega_c}\right] = \cos\left(\frac{\pi\omega}{\omega_c}\right) \quad (6.100)$$



Hình 6.18 Giải thích về hiện tượng nhậm giá trị.



Hình 6.19 Hiệu ứng nhậm giá trị trong phổ của các ghi chép sóng số hoá.

Vậy, tất cả các tần số  $(2n\omega_c \pm \omega)$  có hàm cosine chung như là số liệu tại tần số  $\omega$ , khi được lấy mẫu tại các điểm cách nhau  $t = \frac{\pi}{\omega_c}$ . Thí dụ như số liệu thu được từ các trạm phao ( $\Delta t = 0.3906$  s,  $\omega_c = 8.043$  rad/s) tại tần số  $\omega = 6$  rad/s sẽ bị nhậm giá trị với số liệu do các sóng có tần số 10.086 rad/s, 22.086 rad/s, 26.172 rad/s, v.v... tạo ra. Tương tự như thế, năng lượng của các sóng có tần số cao hơn này sẽ bị nhậm giá trị với năng lượng của các sóng có tần số thấp hơn. Như vậy, phổ thực tế chuyển thành phổ nhậm giá trị.

Hiện tượng nhậm giá trị (xuất hiện dưới một giá trị khác) có nghĩa là không thể phân biệt được hai sóng hình sin trong một ghi chép số hoá. Phép biến đổi Fourier sẽ gán tổng của sai phương của hai sóng hình sin cho sóng có tần số thấp hơn. Với việc phân tích thống kê các điều kiện sóng với một phổ liên tục, điều này có nghĩa là phổ phía trên tần số Nyquist sẽ được phản chiếu xuống phía dưới tần số Nyquist (Hình 6.19). Tần số này vì vậy đôi khi được gọi là tần số phản chiếu.

Quan trắc sóng mặt thường dựa trên một số đặc tính vật lý của bề mặt nước mà chúng có

thể được biến đổi bởi một số thiết bị thành các giá trị số như là một hàm phụ thuộc thời gian. Các giá trị số này không cho ta một cách chính xác mặt nước biển mà ở một mức độ nào đó luôn bị nhiễu bởi các sai số của thiết bị (cơ học, điện tử, số hoá v.v...). Thường là không có những giá trị ước tính những của sai số này. Trong trường hợp tốt nhất, chỉ có các ước tính dựa trên việc so sánh các kết quả đo đạc với các kết quả đo đạc được nhờ dùng các thiết bị tối tân. Vì vậy, các chuỗi thời gian quan trắc được thường là khác biệt đáng kể với bề mặt nước thực tế. Mật độ phổ phương sai tính toán từ chuỗi thời gian có sai số cũng sẽ sai lệch như vậy từ mật độ phổ phương sai thực tế (phổ “thực”). Sự khác biệt này thường được gọi là “ôn quan trắc” hay “ôn thiết bị”. Nếu như có một giá trị ước tính của ôn, chuỗi quan trắc thời gian có thể được hiệu chỉnh để có được một giá trị ước tính tốt hơn của phổ thực. Một lựa chọn khác là các hiệu chỉnh được tính toán từ phổ sóng, bao gồm pha là hàm của tần số. Vấn đề này sẽ không được thảo luận chi tiết hơn trong khuôn khổ của bài giảng này.

## Chương 7 CÁC QUÁ TRÌNH SÓNG VEN BỜ

### 7. Suy giảm sóng do ma sát đáy

Trong phần này, ta sẽ đánh giá sự suy giảm sóng do cản trở của đáy biển. Sự suy giảm này bao gồm suy giảm do chuyển động của đáy, do nước thấm vào đáy và suy giảm trực tiếp do lực ma sát nhớt. Thông thường, sự suy giảm do chuyển động của đáy là rất quan trọng đối với đáy bùn; tuy nhiên, cho tới nay, các kiến thức về vấn đề này lại là nghèo nàn nhất.

Ký hiệu ứng suất tại đáy là  $\tau_b$  và vận tốc quỹ đạo của hạt nước ngay phía ngoài lớp biên mỏng là  $u_b$ , ta có thể biểu thị tốc độ tiêu tán năng lượng trên một đơn vị diện tích như sau (trong hệ đơn vị S.I.:  $\text{Wm}^2$ ):

$$D = \overline{\tau_b u_b} \quad (7.1)$$

Giả thiết rằng ta có một lớp biên rối, ta sẽ có thể viết lại công thức (7.1) như sau:

$$\tau_b = C_r \rho u_b |u_b| \quad (7.2)$$

trong đó  $C_r$  là hệ số cản trở (không thứ nguyên), là hàm của tỷ số giữa biên độ dịch chuyển của hạt lỏng ( $\hat{\chi}_b$ ) và thông số nhám của đáy, và số Reynold tại biên. Một giá trị điển hình của  $C_r$  trong các điều kiện thực tế ngoài hiện trường là  $10^{-2}$ .

Thế (7.2) và (3.72) vào (7.1) ta có:

$$D = \frac{4}{3\pi} C_r \rho \left( \frac{\omega a}{\sinh kh} \right)^3 \quad (7.3)$$

Sau khi đã tính tốc độ tiêu tán năng lượng trên một đơn vị diện tích, ta hãy tính biên độ suy giảm gây ra do quá trình tiêu tán này. Để làm việc này, hãy xem xét lượng năng lượng chứa trong một thể tích lỏng có chiều rộng đơn vị và nằm giữa hai mặt cắt  $x = x_1$  và  $x_2 = x_1 + \delta x$ . Ký hiệu tốc độ vận chuyển năng lượng qua các mặt cắt này là  $E_{f1}$  và  $E_{f2}$ , với  $E_{f2} \approx E_{f1} + dE_{f1}/dx \delta x$ . Hiệu số  $E_{f2} - E_{f1}$  là tốc độ tiêu tán năng lượng trên khoảng  $\delta x$  và bằng  $D \delta x$  (trên một đơn vị chiều rộng), sao cho cân bằng năng lượng trở thành

$$\frac{dE_f}{dx} + D = 0 \quad (7.4)$$

Thế (7.3) và (3.112) vào (7.4) ta có:

$$\rho g n c a \frac{da}{dx} + \frac{3}{4\pi} C_r \rho \left( \frac{\omega a}{\sinh kh} \right)^3 = 0 \quad (7.5)$$

phương trình này còn có thể được viết là:

$$\frac{da}{a^2} + \beta dx = 0 \quad (7.6)$$

trong đó  $\beta$  là một hệ số có thứ nguyên được cho bởi:

$$\beta = \frac{4}{3\pi} C_r \frac{\left( \frac{\omega}{\sinh kh} \right)^3}{g n c} \quad (7.7)$$

Dùng mối liên hệ phân tán giữa vận tốc pha, bước sóng và chu kỳ sóng, (7.7) còn có thể được viết là:

$$\beta = \frac{4}{3\pi} C_r \frac{k^2}{n(\sinh kh)^2 \cosh kh} \quad (7.8)$$

Cuối cùng, tích phân (7.6) cho ta:

$$\frac{1}{a(x)} = \frac{1}{a(x_1)} + \beta(x - x_1) \quad (7.9)$$

Điều này cho thấy sự suy giảm theo quy luật hyperbolic của biên độ theo khoảng cách lan truyền. Công thức (7.9) có thể được viết lại như sau:

$$\frac{a}{a_1} = (1 + \beta a_1 \Delta x)^{-1} \quad (7.10)$$

trong đó  $a = a(x)$ ,  $a_1 = a(x_1)$  và  $\Delta x = x - x_1$ . Ta có thể thấy rằng tốc độ suy giảm tương đối không chỉ phụ thuộc vào  $\beta$ , mà còn vào biên độ ban đầu. Các sóng lớn suy giảm nhanh hơn các sóng nhỏ. Điều này là do ảnh hưởng của quy luật giả định về ứng suất đáy là hàm bậc hai của vận tốc (7.2).

Sự tiêu tán ở đây là do trở kháng đáy, và như vậy tốc độ tiêu tán tăng với sự giảm của độ sâu. Xem xét kỹ (7.8), ta có thể thấy rằng  $\beta \rightarrow \frac{4}{3\pi} C_r h^2$  khi mà  $kh \rightarrow 0$ .

## 7.2 Hiệu ứng nước nông

Cho tới nay ta chỉ mới nghiên cứu tính chất của sóng lan truyền trên một bề mặt nhẵn nằm ngang với độ sâu không đổi trong các điều kiện không có dòng chảy hay chướng ngại vật trên đường lan truyền. Tuy nhiên, trong thực tế, khi mà một chuỗi sóng lan truyền vào một vùng nước nông, chúng ta có thể quan sát thấy sự thay đổi của một loạt các thông số sóng như độ cao sóng, vận tốc pha, vận tốc nhóm và bước sóng v.v... Quá trình này thường

được mô tả là hiệu ứng nước nông. Việc giải bài toán biên hoàn chỉnh của phương trình truyền sóng có tính đến điều kiện biên tại đáy biển là rất khó khăn. Tuy nhiên, có cả một loạt các kỹ thuật để giải quyết các vấn đề như thế này. Hiệu ứng nước nông có thể được đánh giá bằng một lý thuyết sóng nào đó với giả thiết rằng chuyển động là hai chiều, chu kỳ sóng là không đổi và tốc độ vận chuyển năng lượng theo hướng truyền sóng là không đổi. Tuy nhiên, các giả thiết này yêu cầu đáy biển có độ dốc nhỏ sao cho không có phản xạ sóng, and sóng không phát triển do gió hay bị suy giảm do ma sát đáy.

Trên cơ sở của lý thuyết tuyến tính, chúng ta ký hiệu mối liên hệ phân tán (3.67) và (3.68) cho sóng nước sâu như sau:

$$c_0 = gT / 2\pi, L_0 = gT^2 / 2\pi, k_0 = 2\pi / (gT^2) \quad (7.11)$$

với chỉ số 0 dùng để ký hiệu sóng nước sâu.

Mối liên hệ phân tán (3.66) giờ có thể viết như sau:

$$gk \tanh kh = \omega^2 = gk_0 = \text{constant} \quad (7.12)$$

Từ đó ta có:

$$ck = c_0 k_0 = \omega = \text{constant} \quad (7.13)$$

Như vậy từ các phương trình (7.12) và (7.13) chúng ta phải có:

$$c / c_0 = k_0 / k = L / L_0 = \tanh kh \quad (7.14)$$

Mối liên hệ phân tán được cho bởi  $k \tanh kh = k_0$ , hay:

$$kh \tanh kh = hk_0 = \frac{2\pi h}{L_0} = \frac{4\pi^2 h}{gT^2} \quad (7.15)$$

cho thấy rằng  $kh$  là một hàm duy nhất của  $h / gT^2$ . Giờ đã rõ ràng là các tỷ số trong phương trình (7.15) là được xác định duy nhất cho mỗi độ sâu cho trước.

Thêm vào đó, tốc độ vận chuyển năng lượng  $E_f$  là không phụ thuộc vào độ sâu. Do vậy ta có:

$$E_f = \frac{1}{2} \rho g a^2 C_g = \frac{1}{2} \rho g a_0^2 C_{g_0} = \text{constant} \quad (7.16)$$

sao cho:

$$\frac{a}{a_0} = \left( \frac{C_{g0}}{C_g} \right)^{\frac{1}{2}} = (2n \tanh kh)^{\frac{1}{2}} \quad (7.17)$$

Hay:

$$a = a_0 \left( \frac{C_{g0}}{C_g} \right)^{\frac{1}{2}} = a_0 K_s \quad (7.18)$$

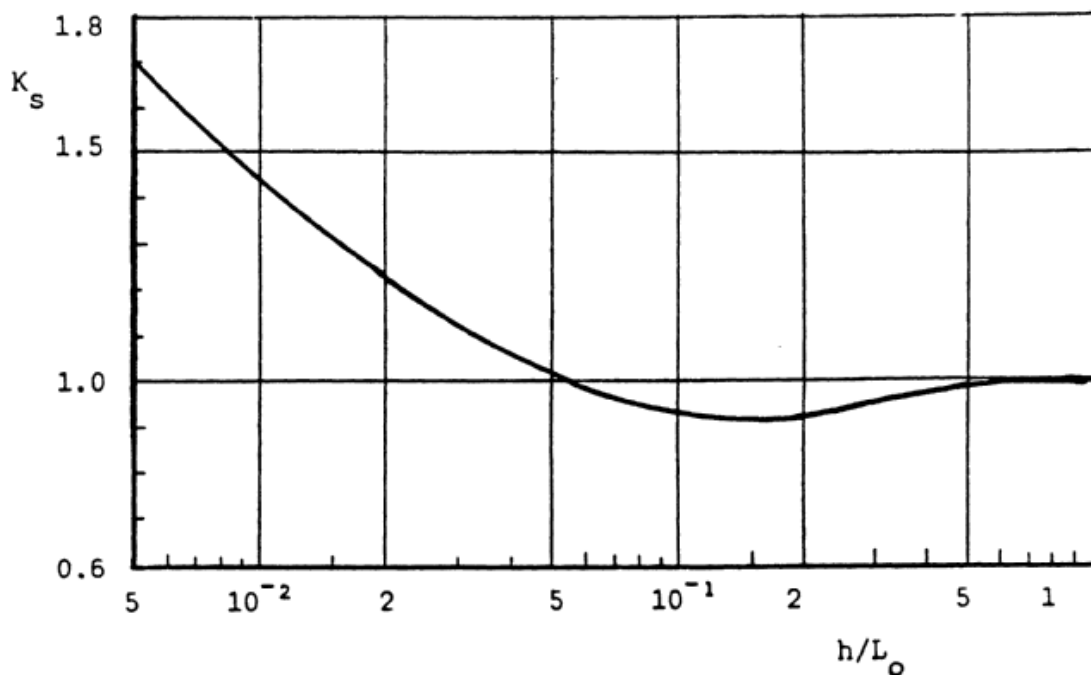
trong đó  $K_s$  được gọi là hệ số nước nông, định nghĩa như sau:

$$K_s = \left( \frac{C_{g0}}{C_g} \right)^{\frac{1}{2}} = (2n \tanh kh)^{\frac{1}{2}} \quad (7.19)$$

Với các sóng nước sâu, phép xấp xỉ thông thường cho ta các mối liên hệ được đơn giản hoá như sau:

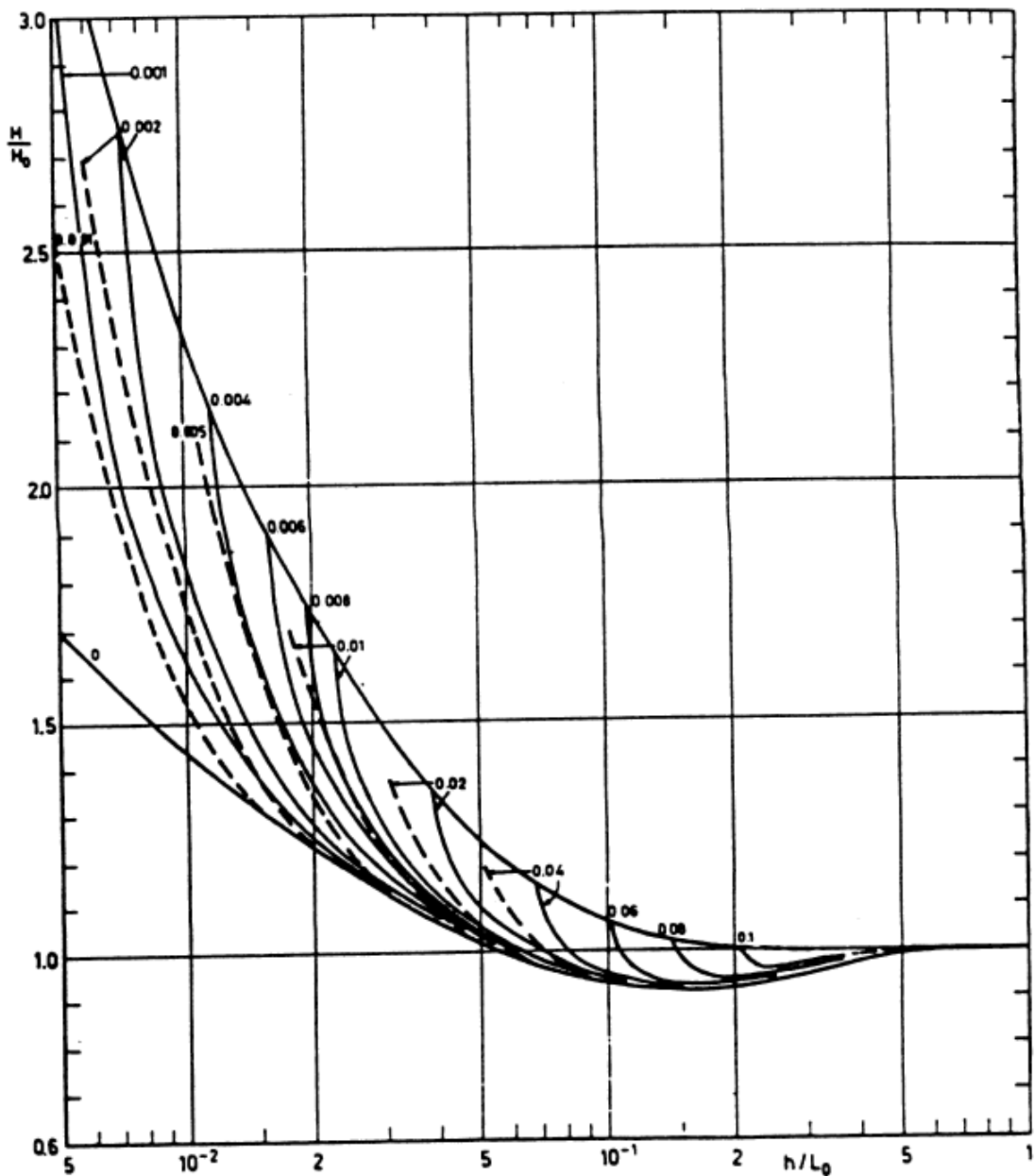
$$\frac{c}{c_0} = \frac{L}{L_0} = 2\pi \sqrt{\frac{h}{gT^2}} = \sqrt{\frac{2\pi h}{L_0}} \quad (7.20)$$

$$K_s = \left( \frac{16\pi^2 h}{gT^2} \right)^{\frac{1}{2}} = \left( \frac{8\pi h}{L_0} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7.21)$$



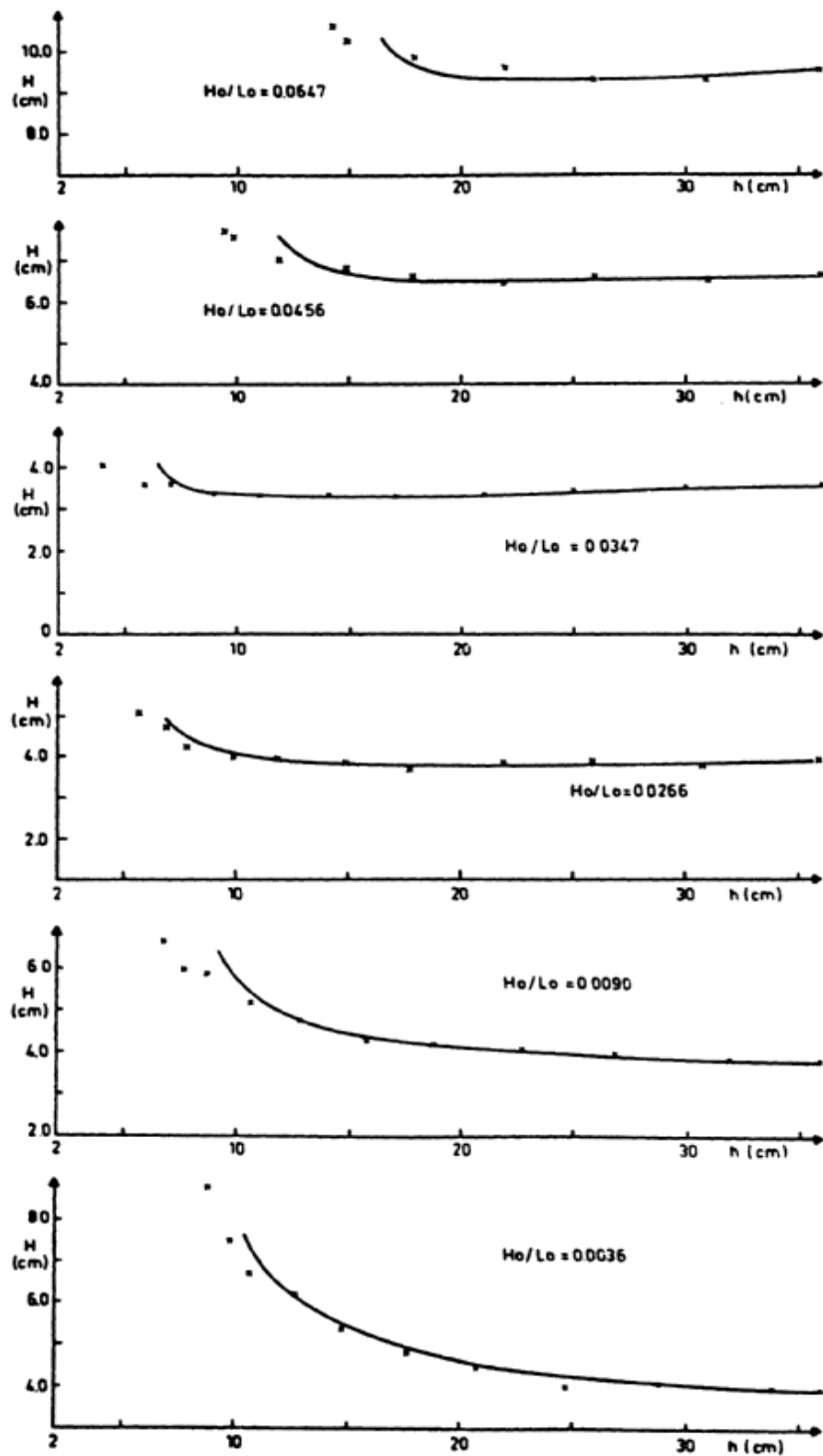
Hình 7.1. Hệ số nước nông tính từ lý thuyết sóng tuyến tính

Hình (7.1) cho thấy sự biến đổi của hệ số nước nông dựa trên lý thuyết sóng tuyến tính. Đường như là  $K_s$  có một giá trị cực tiểu khoảng 0.91 tại một độ sâu ( $h/L_0 \cong 0.16$  or  $kh \cong 0.20$ ). Hệ số này tăng vô hạn khi mà độ sâu tương đối tiệm cận giá trị zero. Tuy nhiên, trong khoảng độ sâu tương đối tiệm cận zero phương trình (7.21) là không áp dụng được vì rằng khi mà độ sâu giảm, độ cao sóng tăng lên thì lý thuyết sóng tuyến tính không còn áp dụng được nữa. Hơn nữa, tại một số điểm sóng sẽ bị vỡ và không thể bỏ qua mất mát năng lượng do sóng vỡ.



Hình 7.2 Các đường liên biểu thị các đường cong nước nông dựa trên lý thuyết Cokelet. Các đường đứt là các đường cong dựa trên Shuto (1974); các giá trị  $H_0/L_0$  được chỉ ra trên hình (Sakai và Battjes, 1980).





Hình 7.3 So sánh các đường cong nước nông dựa trên lý thuyết Cokelet (được hiệu chỉnh với suy giảm rối) với các kết quả thí nghiệm của Svendsen và Buhr-Hansen (1976) trên độ dốc 1:35 (Sakai và Battjes, 1980).

Thay vì cho việc dùng tốc độ vận chuyển năng lượng xấp xỉ  $E_f$  trong lý thuyết

tuyến tính, ta còn có thể áp dụng lý thuyết phi tuyến. Trong trường hợp này, tỷ số  $a/a_0$  (hay  $H/H_0$ ) phụ thuộc không chỉ vào độ sâu tương đối ( $kh$  hay  $h/L_0$ ) mà còn vào độ dốc sóng ban đầu ( $k_0 a_0$  or  $H_0/L_0$ ). Các kết quả dựa trên giả thiết về tốc độ vận chuyển năng lượng không đổi  $E_f$  theo lý thuyết Cokelet được cho trên hình 7.2 (các đường liền). Đường cong  $H_0/L_0 = 0$  biểu thị các xấp xỉ dựa trên lý thuyết sóng tuyến tính, phương trình 7.18.

Một xấp xỉ phi tuyến khác đã được Shuto (1974) rút ra. Các kết quả của ông có thể được viết như sau:

$$\begin{aligned} K_s = H/H_0 & & \tilde{U} < 30 \\ Hh^{2/7} = \text{const} & \text{for} & 30 < \tilde{U} < 50 \\ Hh^{5/2}(\tilde{U} - 2\sqrt{3}) = \text{const} & & \tilde{U} > 50 \end{aligned} \quad (7.22)$$

trong đó,  $\tilde{U}$  là số Ursell đã được biến đổi, định nghĩa như sau:

$$\tilde{U} = \frac{gHT^2}{h^2}$$

số này lại được xấp xỉ từ phương trình (4.6) với bước sóng xấp xỉ là:

$$L \cong T\sqrt{gh}.$$

Xấp xỉ của Shuto (7.22) được vẽ trên hình 7.2 (các đường đứt).

Xấp xỉ của  $E_f$  theo lý thuyết cnoidal bậc thấp nhất được cho bởi phương trình 4.8 cho một giá trị thông lượng năng lượng quá cao với các giá trị cho trước của  $h$ ,  $H$  và  $T$ . Vì vậy, nó cho ta một đánh giá quá thấp độ cao sóng nước nông cho các giá trị thông lượng năng lượng cho trước được tính từ sóng nước sâu.

So sánh đường cong tuyến tính với các đường cong phi tuyến trên hình (Fig. 7.2) cho ta thấy rằng các đường cong phi tuyến cho tốc độ tăng của độ cao sóng với độ sâu lớn hơn. Điều này cũng được cho bởi các kết quả thí nghiệm. Một thí dụ về so sánh các kết quả thí nghiệm với các tính toán lý thuyết dựa trên lý thuyết Cokelet được cho trên hình 7.3.

Đối với sóng ngẫu nhiên thì cần phải thay đổi cách tính hệ số nước nông theo phương trình (7.19). Một lý do là hiệu ứng của phân bố năng lượng trong miền tần số được biểu thị qua phổ tần số, và một lý do khác là hiệu ứng biên độ hữu hạn của các sóng đơn. Có thể

đánh giá được hiệu ứng thứ nhất bằng cách tính toán hệ số nước nông tại nhiều khoảng tần số trong phổ sóng và sau đó tính hệ số nước nông tổng cộng dựa trên các kết quả cho mỗi dải tần. Việc này sẽ cho ta một đường cong nước nông phụ thuộc vào độ sâu một cách phẳng phiu. Thí dụ như giá trị cực tiểu của hệ số nước nông trở thành  $(K_s)_{\min} = 0.937$  bằng cách đưa vào phổ tần số (Goda, 1975), trong khi đó  $(K_s)_{\min} = 0.913$  với sóng thường. Sự sai khác với bậc 2 tới 3% này giữa sóng ngẫu nhiên và sóng điều hoà có thể được bỏ qua trong thực tế thiết kế.

### 7.3 Khúc xạ sóng

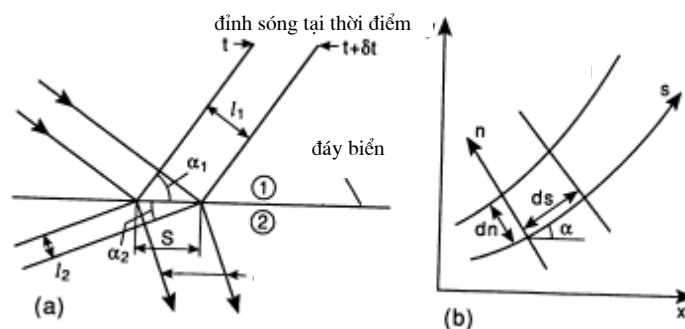
#### 7.3.1 Sự khúc xạ của sóng thường có đỉnh dài

Người ta quan sát thấy rằng trong đại dương khi mà sóng tới xiên với một đáy dốc, theo mỗi liên hệ phân tán  $c^2 = (g/k)\tanh kh$  (có nghĩa là  $c^2 = gh$  với nước nông và  $c^2 = (g/k)$  với nước sâu) thì vận tốc truyền sóng tại phần nông hơn nhỏ hơn nhiều so với phần sâu hơn. Kết quả là đường đỉnh sóng bị cong đi và trở nên gần với đường đẳng sâu hơn. Hiện tượng sóng này được gọi là khúc xạ sóng.

Hiện tượng này được diễn giải trên hình 7.4 cho một khoảng thời gian nhỏ  $\delta t$ , xảy ra qua một đường đẳng sâu mà độ sâu ở hai bên của nó được cho là không đổi và chỉ khác nhau bởi một lượng rất nhỏ. Đỉnh sóng đi được một quãng đường  $l$  sao cho trong các miền 1 và 2 ta có:

$$c_1 = \frac{l_1}{\delta t} = \frac{s \sin \alpha_1}{\delta t} \quad (7.23)$$

$$c_2 = \frac{l_2}{\delta t} = \frac{s \sin \alpha_2}{\delta t} \quad (7.24)$$



Hình 7.4. Khúc xạ của các đỉnh sóng và các tia sóng (các đường vuông góc với đỉnh sóng) trên một khoảng cách ngắn (a) đối với đường đẳng sâu (b) đối với một hệ tọa độ  $(X, Y)$  cho trước.

Vậy ta có:

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} \quad (7.25)$$

Đây chính là định luật Snell. Với  $\alpha$  là góc mà đỉnh sóng tạo với đường đẳng sâu; Chỉ số ký hiệu miền tương ứng. Phương trình (7.25) có thể được áp dụng cho các đường đẳng sâu ngày càng sâu hơn để cuối cùng có các điều kiện sóng nước sâu được dùng để tính toán. Nói chung là đối với một độ sâu bất kỳ:

$$\frac{c}{c_0} = \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_0} \quad (7.26)$$

Đây chính là cơ sở để phát triển nhiều sơ đồ số trị khác nhau dùng để theo dõi các tia sóng từ nước sâu tới nước nông trong điều kiện các đường đẳng sâu cho trước. Có rất nhiều phương pháp số trị để tính toán sóng khúc xạ, thí dụ phương pháp của Jen (1969), Keulegan và Harrison (1970), và Skovgaard, Jonsson và Bertelsen (1975). Với các biến phân độ dài  $ds$  và  $dn$  như chỉ ra trên hình 7.4(b), có thể tìm ra phương trình vi phân của định luật Snell như phương trình (7.26) (Sarpkaya và Isaacson (1981)):

$$\frac{d\alpha}{ds} = -\frac{1}{c} \frac{dc}{dn} \quad (7.27)$$

nó có thể được biểu thị bằng:

$$\frac{d\alpha}{ds} = -\frac{1}{c} \left( \frac{dc}{dx} \frac{dx}{dn} + \frac{dc}{dy} \frac{dy}{dn} \right) \quad (7.28)$$

Với:

$$dx/dn = -\sin \alpha \quad (7.29)$$

$$dy/dn = -\sin \alpha \quad (7.30)$$

Dùng các mối liên hệ trong (7.28), ta có:

$$\frac{d\alpha}{ds} = \frac{1}{c} \left( \sin \alpha \frac{dc}{dx} - \cos \alpha \frac{dc}{dy} \right) \quad (7.31)$$

Ta còn có:

$$dx/ds = \cos \alpha \quad (7.32)$$

$$dy/ds = \sin \alpha \quad (7.33)$$

Các phương trình (7.31), (7.32) và (5.133) thường được biết tới là các phương trình tia

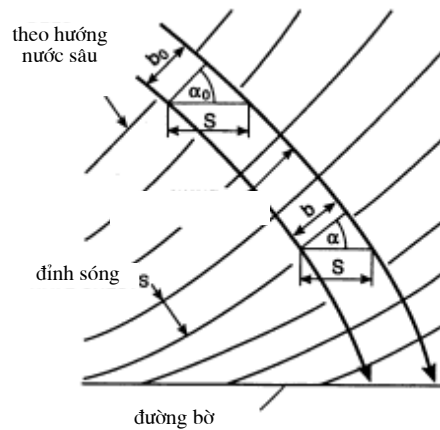
và có thể được giải số trị để xác định sự biến đổi của  $\alpha$  và như vậy là quỹ đạo của các tia.

Có thể đánh giá sự biến đổi của độ cao các sóng khúc xạ bằng cách xem xét sự vận chuyển năng lượng. Năng lượng được coi là không được cung cấp thêm cũng như không tiêu tán đi. Hãy xem xét khoảng cách giữa hai tia sóng cạnh nhau (xem hình 7.5). Có thể biến đổi phương trình vận chuyển năng lượng (7.16) để có được:

$$\frac{1}{2} \rho g A^2 C_g b = \frac{1}{2} \rho g A_0^2 C_{g0} b_0 = \text{constant} \quad (7.34)$$

Phương trình này còn có thể được viết là:

$$\frac{A}{A_0} = \left( \frac{b_0}{b} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{c_{g0}}{c_g} \right)^{\frac{1}{2}} = K_r K_s \quad (7.35)$$



Hình 7.5 Khúc xạ của các tia sóng tới xiên với một đường bờ thẳng với độ dốc đáy không đổi .

với  $K_r = (b_0 / b)^{\frac{1}{2}}$  là hệ số khúc xạ, và  $K_s = (c_{g0} / c_g)^{\frac{1}{2}}$  là hệ số nước nông.

Để hiểu được quá trình này ta hãy xem một tia sóng tới xiên với một đường bờ thẳng có độ dốc đáy không đổi (xem hình 7.5). Góc tới tạo bởi đỉnh sóng và đường đẳng sâu là  $\alpha_0$ . Dùng các mối liên hệ (7.14) và (7.26), ta có:

$$\frac{c}{c_0} = \frac{L}{L_0} = \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_0} = \tanh kh \quad (7.36)$$

$$kh \tanh kh = \frac{4\pi^2 h}{gT^2} \quad (7.37)$$

Từ hình 7.5, rõ ràng là khoảng cách  $s$  độc lập với vị trí và như vậy:

$$s \cos \alpha_0 = b_0, \quad s \cos \alpha = b$$

$$\text{Hoặc} \quad \frac{b_0}{\cos \alpha_0} = \frac{b}{\cos \alpha} = s = \text{constant} \quad (7.38)$$

Do đó, sự biến đổi của độ cao sóng được cho bởi:

$$\begin{aligned} \frac{a}{a_0} &= \left( \frac{b_0}{b} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{c_{g0}}{c_g} \right)^{\frac{1}{2}} = \left( \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{2 \cosh^2 kh}{2kh + \sinh 2kh} \right)^{\frac{1}{2}} \\ &= \left( \frac{1 - \sin^2 \alpha_0 \tanh^2 kh}{\cos^2 \alpha_0} \right)^{\frac{1}{4}} \left( \frac{2 \cosh^2 kh}{2kh + \sinh 2kh} \right)^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (7.39)$$

Với nước nông, các mối liên hệ (7.36), (7.37) và (7.39) có thể được đơn giản hoá để có:

$$\frac{c}{c_0} = \frac{L}{L_0} = 2\pi \left( \frac{h}{gT^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7.40)$$

$$\frac{a}{a_0} = \left( \frac{1 - \sin^2 \alpha_0 4\pi^2 \left( \frac{h}{gT^2} \right)}{\cos^2 \alpha} \right)^{\frac{1}{4}} \left( \frac{16\pi^2 h}{gT^2} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (7.41)$$

Các mối liên hệ này chỉ đúng cho lý thuyết sóng tuyến tính.

### 7.3.2 Sự khúc xạ của sóng ngẫu nhiên

Hệ số khúc xạ ở trên tương ứng với sóng thường với chu kỳ không đổi và một hướng lan truyền. Sự biến đổi của độ cao sóng trong biển thực không nhất thiết được đặc trưng bởi một hệ số khúc xạ cho sóng điều hoà. Như ta đã thảo luận trước, sóng trong biển thực là tổng hợp của một số vô hạn các thành phần có tần số và hướng khác nhau. Bởi vậy, sự biến đổi của độ cao sóng biển được xác định bởi sự đóng góp của tất cả các thành phần mà mỗi thành phần khúc xạ với các hệ số khác nhau. Bởi vậy, công thức cơ bản để tính hệ số khúc xạ với sóng ngẫu nhiên được cho bởi

$$(K_r)_{eff} = \left[ \frac{1}{m_{s0}} \int_0^\infty \int_{\theta_{min}}^{\theta_{max}} S(\omega, \theta) K_s^2(\omega) K_r^2(\omega, \theta) d\theta d\omega \right]^{1/2} \quad (7.42)$$

trong đó:

$$m_{s0} = \int_0^\infty \int_{\theta_{min}}^{\theta_{max}} S(\omega, \theta) K_s^2(\omega) d\theta d\omega \quad (7.43)$$

Chỉ số "eff", có nghĩa là hiệu dụng theo từ Tiếng Anh "effective", được dùng để biểu thị các đại lượng liên quan tới sóng ngẫu nhiên. Trong các phương trình trên,  $S(\omega, \theta)$  ký hiệu phổ hướng,  $K_s(\omega)$  là hệ số nước nông, và  $K_r(\omega, \theta)$  là hệ số khúc xạ của một sóng thành phần (tức là một sóng điều hoà) với tần số  $\omega$  và hướng  $\theta$ . Trong các tính toán thực tế, tích phân được thay thế bằng tổng.

Một cách đơn giản để tính hệ số khúc xạ của sóng ngẫu nhiên là dùng phương trình sau:

$$(K_r)_{eff} = \left[ \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \Delta E_{ij} K_{rij}^2 \right]^{1/2} \quad (7.44)$$

với giả thiết rằng có thể bỏ qua ảnh hưởng của hiệu ứng nước nông.

Đại lượng  $\Delta E_{ij}$  trong phương trình trên ký hiệu năng lượng tương đối của các sóng thành phần với tần số  $i$  và hướng  $j$ , khi mà dải tần của sóng biển được chia thành các khoảng tần được đánh số từ  $i = 1$  tới  $M$  và dải hướng được chia thành các khoảng được đánh số từ  $j = 1$  tới  $N$ . Có nghĩa là:

$$\Delta E_{ij} = \left[ \frac{1}{m_0} \int_{\omega_i}^{\omega_i + \Delta\omega_i} \int_{\theta_j}^{\theta_j + \Delta\theta_j} S(\omega, \theta) d\theta d\omega \right]^{1/2} \quad (7.45)$$

trong đó:

$$m_0 = \int_0^\infty \int_{\theta_{min}}^{\theta_{max}} S(\omega, \theta) d\theta d\omega \quad (7.46)$$

Trong các tính toán thực tế, cần phải chọn các chọn các tần số và hướng đại biểu của các sóng thành phần. Nếu như phổ tần số là phổ Bretschneider-Mitsuyasu, việc chia dải tần có thể được tiến hành sao cho năng lượng sóng trong mỗi khoảng tần là bằng nhau. Cách chia này giảm thời gian tính hệ số khúc xạ của sóng ngẫu nhiên. Tần số đại diện trong mỗi khoảng được xác định tốt nhất như là giá trị trung bình của moment phổ bậc hai của mỗi khoảng sao cho sự biến đổi của chu kỳ sóng gây ra do khúc xạ có thể được ước tính với sai

số nhỏ nhất (bởi vì chu kỳ trung bình được cho bởi moment bậc hai của phổ tần số).

### 7.3.3 Tính sự khúc xạ của sóng ngẫu nhiên bằng phương trình thông lượng năng lượng

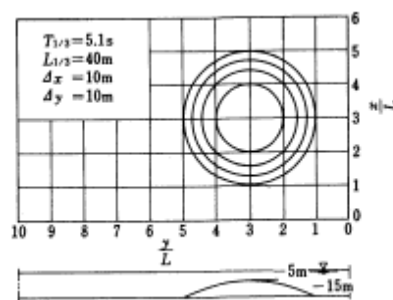
Cùng với phương pháp tính hệ số khúc xạ bằng cách tổng hệ số khúc xạ của các sóng thành phần, sự khúc xạ của sóng ngẫu nhiên có thể được tính toán bằng cách giải số trị phương trình thông lượng năng lượng do Karlsson (1969) đề nghị. Phương trình cơ bản có dạng:

$$\frac{\partial}{\partial x}(Sv_x) + \frac{\partial}{\partial y}(Sv_y) + \frac{\partial}{\partial \theta}(Sv_\theta) = 0 \quad (7.47)$$

với  $S$  ký hiệu mật độ phổ năng lượng sóng và  $v_x$ ,  $v_y$  và  $v_\theta$  được cho bởi:

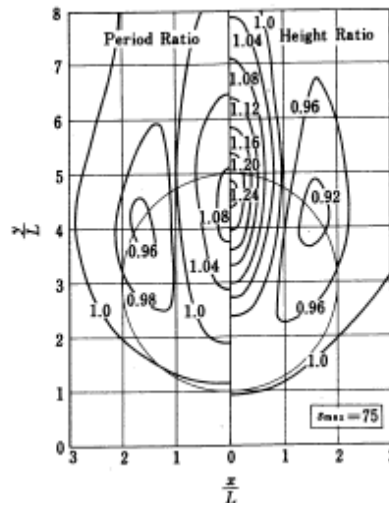
$$\left. \begin{aligned} v_x &= c_g \cos \theta \\ v_y &= c_g \sin \theta \\ v_\theta &= \frac{c_g}{c} \left( \frac{\partial c}{\partial x} \sin \theta - \frac{\partial c}{\partial y} \cos \theta \right) \end{aligned} \right\} \quad (7.48)$$

Phương pháp này đã được áp dụng để tính sự khúc xạ sóng tại một khu vực nước nông hình cầu như thấy trên hình 7.6, có đường kính 40 m và độ sâu nước 5 m tại đỉnh, đặt trong một khu vực nước có độ sâu không đổi bằng 15 m (Karlsson, 1969). Phân bố độ cao và chu kỳ sóng do sự khúc xạ của sóng ngẫu nhiên được cho thấy trên hình 7.7 với sóng với chu kỳ có nghĩa  $T_{1/3} = 5.1$  s. Phổ sóng được giả thiết là có dạng Bretschneider-Mitsuyasu liên kết với phổ hướng dạng Mitsuyasu có  $s_{\max} = 75$ . Phần bên phải của Hình 7.7 cho ta sự biến đổi của độ cao sóng khúc xạ trong khi phần bên trái cho ta sự biến đổi của chu kỳ sóng. Sự biến đổi của sóng ngẫu nhiên thường được kèm theo một số biến đổi trong chu kỳ sóng vì phổ hướng biến đổi khi sóng biến dạng, như ta thấy trên hình 7.7.



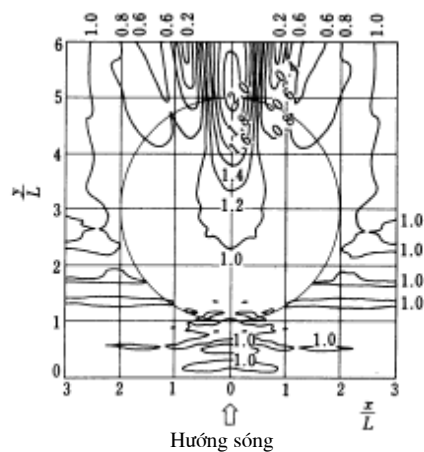
Hình 7.6. Dạng của khu vực nước nông hình cầu





Hình 7.7. Phân bố tỷ số của độ cao và chu kỳ sóng ngẫu nhiên trên một khu nước nông hình cầu

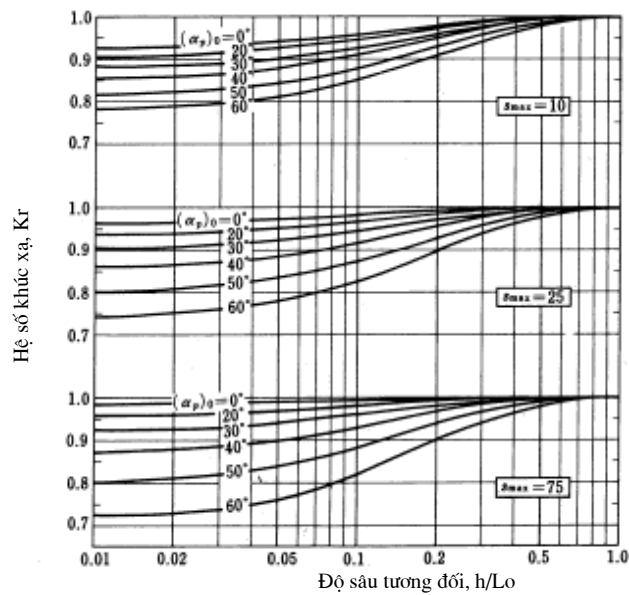
Sự khúc xạ của sóng ngẫu nhiên tại vùng nước nông này đã được Ito et al. (1972) tính bằng một mô hình số trị. Kết quả về sự phân bố của độ cao sóng được biểu thị trên hình 7.8. Như ta đã thấy trên hình, sự khúc xạ của sóng ngẫu nhiên thường tạo ra những biến đổi không gian đáng kể của độ cao sóng. Việc tính toán sự khúc xạ sóng dùng các thành phần phổ với các hướng và tần số khác nhau làm trơn những biến đổi không gian đó đi. Vincent và Briggs (1989) đã nghiên cứu dạng của độ cao sóng phía sau một vùng nước nông dạng elliptic trong phòng thí nghiệm cho cả sóng ngẫu nhiên và sóng điều hoà. Họ thấy rằng yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng đến phân bố độ cao sóng là độ dài trải về hướng của sóng.



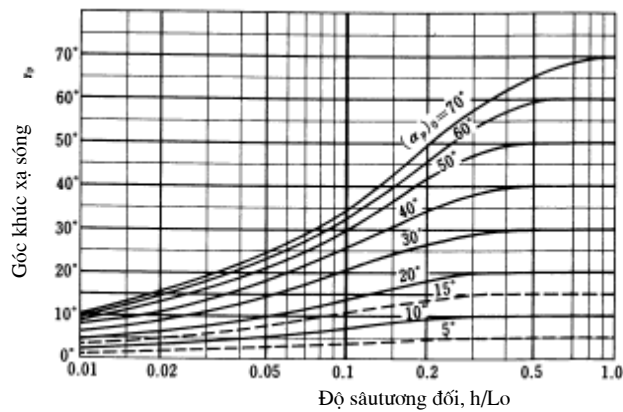
Hình 7.8 Phân bố độ cao sóng điều hoà trên một vùng nước nông hình cầu (theo Ito et al., 1972)

Nói một cách chặt chẽ thì sóng phía trên một vùng nước nông không chỉ bị ảnh hưởng bởi quá trình khúc xạ mà còn bị ảnh hưởng bởi quá trình nhiễu xạ, đặc biệt là khi mà các tia sóng cắt nhau. Một số sơ đồ số trị đã được đưa ra để giải quyết bài toán sóng nhiễu xạ và khúc xạ này. Cho dù rằng các phương trình thông lượng năng lượng (7.47) và (7.48) không có khả năng tính tới sự nhiễu xạ, nó vẫn có khả năng cho ta một đánh giá chấp nhận được về độ cao sóng ngẫu nhiên xung quanh vùng nước nông hay là độ cao sóng tại một vùng có địa hình đáy phức tạp mà phương pháp phân tích sóng khúc xạ thông thường sẽ cho các tia sóng cắt nhau.

7.3.4 Sự khúc xạ của sóng ngẫu nhiên tại vùng biển có các đường đẳng sâu thẳng song song



Hình 7.9 Hệ số khúc xạ của sóng ngẫu nhiên trên một vùng bờ biển có các đường đẳng sâu thẳng, song song



Hình 7.10 Sự biến đổi của hướng sóng chính do khúc xạ của sóng ngẫu nhiên tại một vùng bờ có các đường đẳng sâu thẳng, song song

Đối với trường hợp một vùng ven bờ có các đường đẳng sâu thẳng, song song, có thể tính được sự biến đổi của hướng tia sóng và hệ số khúc xạ của các sóng thành phần bằng phương pháp giải tích. Khi đó, có thể dễ dàng thực hiện việc tính toán sự khúc xạ của các sóng biển ngẫu nhiên bằng phương pháp chồng chất. Hệ số khúc xạ của sóng ngẫu nhiên và sự biến đổi của nó theo hướng sóng chính đã được tính và trình bày trên các hình 7.9 và 7.10, (Goda và Suzuki, 1975).

Các tính toán đã được tiến hành với số lượng các thành phần tần số và hướng  $M = N = 36$ , dùng phổ tần số Bretschneider-Mitsuyasu và hàm phân tán dạng Mitsuyasu. Bước sóng  $L_0$  trên trục hoành của các hình 7.9 và 7.10 là bước sóng nước sâu tương ứng với chu kỳ sóng có nghĩa. Thông thường,  $(\alpha_p)_0$  ký hiệu góc tới của sóng nước sâu.

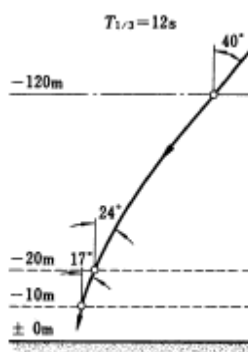
Hệ số khúc xạ của sóng ngẫu nhiên biến thiên theo giá trị  $s_{\max}$ , nhưng chỉ trong khoảng chừng vài phần trăm. Hướng tới chính của sóng, theo định nghĩa của Nagai (1972) là hướng tương ứng với mật độ năng lượng hướng lớn nhất, ít chịu ảnh hưởng của giá trị của hệ số  $s_{\max}$ .

Cần phải nhận thấy trên hình 7.9 là hệ số khúc xạ giảm đi khi sóng truyền vào gần bờ hơn. Điều này là do sự khúc xạ của các tia sóng tới ở cả hai bên của hướng tới chính.

### Thí dụ 7.1

Hãy mô tả các sóng khúc xạ tại các độ sâu 20 và 10 m, khi mà các sóng lừng với chiều cao 2 m và chu kỳ 12 s tới với 1 góc  $40^\circ$  tại một vùng bờ biển có các đường đẳng sâu thẳng, sóng song.

### Lời giải



Hình 7. Tính thay đổi của hướng sóng

Với sóng lừng, thông số phân tán  $s_{\max}$  là 75. Bởi vì bước sóng nước sâu tương ứng với  $T_{1/3} = 12$  s là  $L_0 = 225$  m ( $L_0 = gT_{1/3}^2 / 2\pi$ ), độ sâu tương đối  $h/L_0 = 0.089$  tại  $h = 20$  m. Hệ số khúc xạ xác định theo hình 7.9 là  $K_r = 0.92$  và hướng sóng chính theo hình 7.10 là  $\alpha_p = 24^\circ$ . Tại độ sâu  $h = 10$  m,  $K_r = 0.90$  và  $\alpha_p = 170$  với  $h/L_0 = 0.044$ . Sự biến đổi của hướng sóng chính được trình bày trên hình 7.11.

## 7.4 Sự phản xạ sóng

### 7.4.1 Phân tích lý thuyết sự phản xạ sóng điều hoà

Phần này sẽ thảo luận sự phản xạ sóng và hệ quả của nó là các sóng đứng. Giả thiết rằng sự phản xạ sóng gây ra bởi một chướng ngại vật có tường thẳng đứng đặt tại  $x = b$ . Biên độ tần số và số sóng của sóng phản xạ có giá trị đúng bằng các giá trị tương ứng của sóng tới.

Theo định nghĩa ta biết rằng hệ số phản xạ  $K_r$  được cho bởi:

$$K_r = \text{biên độ của sóng phản xạ} / \text{biên độ của sóng tới}$$

và phải bằng 1 đối với trường hợp phản xạ hoàn toàn.

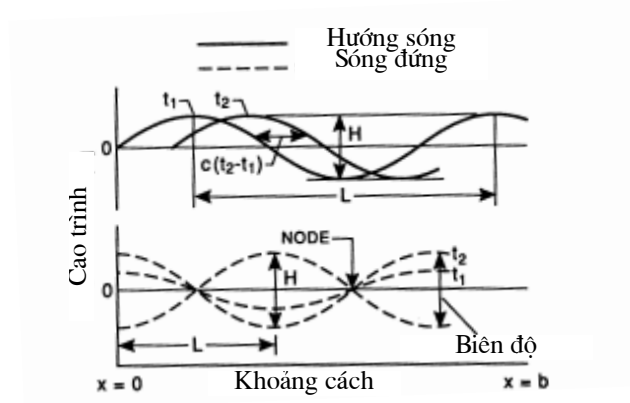
Chúng ta biết rằng phương trình Laplace là tuyến tính. Như vậy, thế vận tốc của một hệ sóng  $\Phi_T$ , được cho là tổng của thế vận tốc của các sóng đơn

$$\Phi_T = \frac{ag}{\omega} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} [\cos(kx - \omega t) - \cos(kx + \omega t + \delta_2)] \quad (7.49)$$

Nếu chướng ngại vật là không thấm thì thành phần vận tốc dòng chảy theo phương pháp tuyến với bề mặt chướng ngại vật tại  $x = b$  bằng 0. Như vậy, điều kiện biên là

$$u_T = -\frac{\partial \Phi_T}{\partial x} = 0 \quad \text{tại} \quad x=b \quad (7.50)$$

áp dụng điều kiện biên này vào phương trình (7.49), ta có  $\sin(kb - \omega t) = \sin(kb + \omega t + \delta_2)$ . Khai triển và cho các hệ số của các số hạng  $\sin(\omega t)$  và  $\cos(\omega t)$  ở cả hai vế bằng nhau, ta có  $\sin kb = \sin(kb + \delta_2)$  và  $\cos kb = -\cos(kb - \delta_2)$ . Nghiệm của các phương trình này là:  $\delta_2 = (2n+1)\pi - 2kb$ ,  $n = 0, 1, 2, \dots$



Hình 7. Sự tạo thành của hệ sóng đứng

Đối với hai sóng tiến chuyển động theo hai phương ngược nhau và có biên độ bằng nhau:

$$\begin{aligned} \zeta_T &= a \sin(kx - \omega t) + a \sin(kx + \omega t + \delta_2) \\ &= a \sin(kx - \omega t) + a \sin(kx + \omega t) \cos \delta_2 + a \cos(kx + \omega t) \sin \delta_2 \end{aligned} \quad (7.51)$$

Thế giá trị của  $\delta_2$  trong biểu thức này của  $\zeta_T$  và sau một chút biến đổi, ta có:

$$\zeta_T = 2a \sin(kb - \omega t) \cos(kx - kb) \quad (7.52)$$

Phương trình (7.52) là tích của hai số hạng: một số hạng độc lập với  $x$  và một số hạng độc lập với  $t$ . Như vậy, có những thời điểm mà  $\zeta_T = 0$  cho tất các giá trị của  $x$  và có những giá trị của  $x$  mà tại đó  $\zeta_T = 0$  tại mọi thời điểm. Những điểm mà  $\zeta_T = 0$  tại mọi thời điểm được gọi là những điểm nút và thỏa mãn điều kiện  $\cos(kx - kb) = 0$ , với các nghiệm là  $x = b + [(2n + 1)\pi]/2k$ ,  $n = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ . Điều kiện của các điểm nút như thế này định nghĩa các sóng đứng. Hình 7.12 chỉ ra các sóng thành phần của sóng đứng.

Có thể nhận thấy rằng độ dốc của  $\zeta_1$  là  $\zeta_2$  luôn luôn bằng nhau và ngược dấu tại  $x = b$ . Điều này cho ta điều kiện sau:

$$\frac{\partial \zeta_T}{\partial x} = 0 \quad \text{tại} \quad x = b \quad \text{tại mọi thời điểm} \quad (7.53)$$

Như thấy rõ ràng từ (7.52). Có thể là rất thuận tiện nếu như lấy gốc của  $x$  tại chướng ngại vật. Điều này tránh cho ta khỏi phải xác định giá trị  $x$  để tìm  $b$ . Cho  $b = 0$ , ta có  $\delta_2 = (2n + 1)\pi$ . Đặt  $x = 0$ , ta thấy rằng các sóng phản xạ giữ nguyên pha của các sóng tới.

Phương trình (7.52) khi đó trở thành:

$$\zeta_T = -2A \sin(\omega t) \cos(kx) \quad (7.54)$$

Trái ngược với các sóng đứng, các sóng tiến:

$$\zeta = A \sin(kx - \omega t) \quad (7.55)$$

có các điểm nút “tiến” tương ứng với  $\sin(kx - \omega t) = 0$  với lời giải  $x_{node} = (n\pi + \omega t)/k$ ,  $n = 0, 1, 2, \dots$ . Dùng giá trị của  $\delta_2$  trong (7.49), thế vận tốc của sóng đứng có thể được cho như sau:

$$\Phi_T = \frac{2Ag}{\omega} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} [\cos(kb - \omega t) \cos(kx - kb)] \quad (7.56)$$

Với (7.56), các thành phần vận tốc của các sóng đứng được cho như sau:

$$u = -\frac{\partial \Phi_T}{\partial x} = \frac{2Akg}{\omega} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} [\cos(kb - \omega t) \sin(kx - kb)] \quad (7.57)$$

$$w = -\frac{\partial \Phi_T}{\partial z} = -\frac{2Akg}{\omega} \frac{\sinh k(z+h)}{\cosh kh} [\cos(kb - \omega t) \cos(kx - kb)] \quad (7.58)$$

Ta đã thấy rằng các điểm nút là tại các vị trí  $\cos(kx - kb) = 0$ ; vì vậy tại các điểm nút các hạt nước chỉ chuyển động theo phương nằm ngang và tại các điểm bụng (là những điểm có biên độ bằng hai lần biên độ của sóng tới), các hạt nước chỉ chuyển động theo phương thẳng đứng.

#### 7.4.2 Sự phản xạ sóng ngẫu nhiên từ các công trình ven bờ

Cho tới nay, ta đã nghiên cứu sự phản xạ của sóng điều hoà cho trường hợp đơn giản nhất là trường hợp phản xạ hoàn toàn với hệ số phản xạ bằng 1. Tuy nhiên, thực tế phức tạp hơn nhiều và đòi hỏi ta phải nghiên cứu sự phản xạ sóng từ các công trình ven bờ.

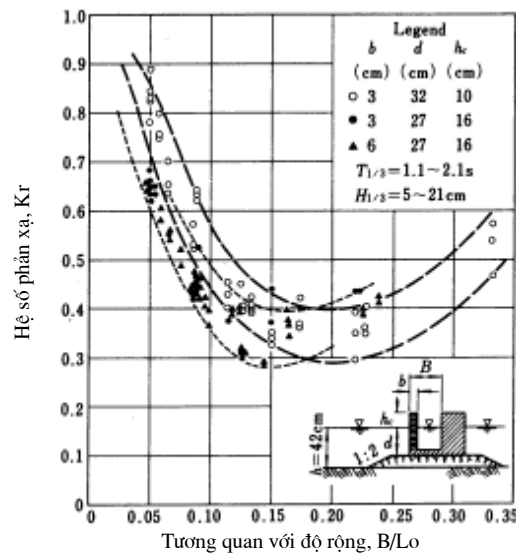
Khi sóng phản xạ từ công trình, sóng phản xạ sẽ gây ra nhiễu động nước phía trước của công trình hoặc là lan truyền một khoảng cách nào đó và gây nhiễu động tại những vùng lạng sóng. Vì vậy, cần phải triệt tiêu sóng phản xạ càng nhiều càng tốt. Hệ số phản xạ sóng với hầu hết các công trình thường được đánh giá nhờ mô hình vật lý trong phòng thí nghiệm vì không thể tiến hành các phân tích lý thuyết với các sóng phản xạ khi có sóng vỡ một phần tại các công trình. Các giá trị xấp xỉ của các hệ số phản xạ sóng của các loại công trình biển khác nhau được cho trên bảng 7.1 (theo Hội Kỹ sư công chính Nhật, JSCE). Khoảng giá trị của các hệ số đối với một bức tường thẳng đứng phụ thuộc vào mức độ sóng

vượt, và tăng lên khi mà cao trình đỉnh công trình tăng lên. Với các công trình có mái nghiêng và bãi biển tự nhiên, hệ số phản xạ tỷ lệ nghịch với độ dốc của sóng tới và cận trên của hệ số này tương ứng với các sóng lừng có chu kỳ dài. Seeling và Ahrens (1981) đã tìm ra một công thức thực nghiệm để đánh giá hệ số phản xạ cho các bãi biển, kè và đập phá sóng bằng đá học dựa trên một lượng lớn các số liệu thí nghiệm trong đó có cả các thí nghiệm với các sóng ngẫu nhiên.

Bảng 7.1. Các giá trị xấp xỉ của các hệ số phản xạ (JSCE).

Dạng công trình	Hệ số phản xạ
Tường đứng có đỉnh cao hơn mặt nước	0.7~1.0
Tường đứng có đỉnh ngầm	0.5~0.7
Mái nghiêng bằng đá học (độ dốc 1/ 2hay 1/ 3)	0.3~0.6
Mái nghiêng bằng các tảng bê tông tiêu tán năng lượng sóng	0.3~0.5
Tường đứng dạng tiêu tán năng lượng sóng	0.3~0.8
Bãi cát tự nhiên	0.05~0.2

Đối với một bức tường thẳng đứng có dạng tiêu tán năng lượng sóng, thí dụ như loại tường gắn các mặt nạ bê tông, hệ số phản xạ phụ thuộc vào dạng công trình, tỷ lệ giữa chiều rộng của mỗi tấm tiêu tán năng lượng sóng và bước sóng, và các yếu tố khác. Vì vậy, cần tiến hành các thí nghiệm trên các mô hình vật lý để đánh giá các hệ số phản xạ.



Hình 7.13 Hệ số phản xạ sóng ngẫu nhiên của một đập phá sóng dạng thùng chìm có mặt nạ tiêu sóng (Tanimoto và cộng sự, 1976)

Hình 7.13 là một thí dụ về kết quả các thí nghiệm của Tanimoto và các cộng sự (1976). Nó cho ta hệ số phản xạ sóng ngẫu nhiên của đê dạng thùng chìm có tường thẳng đứng với mặt nạ tiêu sóng trên đó có các lỗ tròn. Hệ số phản xạ có giá trị cực tiểu  $K_{r,\min} \cong 0.3$  khi mà độ rộng tương đối của mỗi phân tử phá sóng  $B/L \cong 0.15$  và tăng lên quá 0.7 khi mà độ rộng của mỗi phân tử phá sóng nhỏ hơn 0.05.

Mỗi thành phần của sóng ngẫu nhiên được giả thiết phản xạ với một góc bằng với góc tới và tiếp tục lan truyền theo hướng phản xạ, giống như theo lý thuyết quang học. Cũng có trường hợp sự phản xạ hình học không diễn ra. Thí dụ như các sóng dài với biên độ lớn tới một công trình theo một góc lớn trong điều kiện nước nông. Trong trường hợp này, sóng tới theo hướng gần như song song với công trình sẽ không tạo ra các sóng phản xạ rõ ràng mà tạo ra các sóng lừng chạy dọc theo mặt công trình. Hiện tượng này được gọi là hiện tượng phản xạ Mach-stem và đã được quan trắc trong trường hợp sóng thần tấn công, như trong thông báo của Wiegel (1964).

Một phương diện khác của các sóng phản xạ là chúng có một chiều dài hữu hạn theo phương đỉnh sóng vì các công trình phản xạ sóng như đê phá sóng dạng thùng chìm hay các tường bến cảng có độ dài hữu hạn. Do đó, các sóng phản xạ phân tán trong quá trình lan truyền từ nguồn theo một kiểu giống như hiện tượng nhiễu xạ sóng. Có thể phân tích sự phân tán của các sóng phản xạ bằng lời giải lý thuyết sóng phản xạ từ một đảo chắn sóng (Goda và cộng sự, 1971; Mitsui và cộng sự, 1975), hoặc là bằng phương pháp tích phân số trị để mô phỏng quá trình truyền sóng (Tanimoto và cộng sự, 1975).

Nếu như công trình có hệ số phản xạ nhỏ hơn 1, hệ số phân tán đánh giá ở trên của các sóng phản xạ cần phải được nhân với hệ số phản xạ để tính độ cao sóng tại điểm cần tính. Một nguyên nhân khác làm suy giảm các sóng phản xạ là sự tiêu tán năng lượng do gió ngược. Đôi khi ta quan trắc thấy hiện tượng là một số đỉnh sóng phản xạ bị gió triệt tiêu. Các sóng phản xạ còn bị tiêu tán năng lượng do tương tác mạnh mẽ với sóng tới. Tuy nhiên, chưa đánh giá định lượng được mức độ tiêu tán năng lượng sóng do gió ngược. Người ta chỉ biết rằng sóng gió có chu kỳ ngắn bị tiêu tán rất nhanh trong khi đó sóng lừng có chu kỳ dài có thể truyền rất xa mà không bị tiêu tán năng lượng một cách đáng kể. Khi quy hoạch và thiết kế xây dựng cảng, có thể bỏ qua ảnh hưởng tiêu tán năng lượng của sóng phản xạ do gió. Nếu như diện tích cảng là khá rộng và cảng được thiết kế để chống sóng do gió địa phương tạo ra, giá trị phản xạ hiệu dụng của các tường đứng trong cảng có thể giảm được tới 80% hay hơn nữa bằng cách tận dụng hiệu ứng tiêu tán năng lượng sóng do gió ngược.

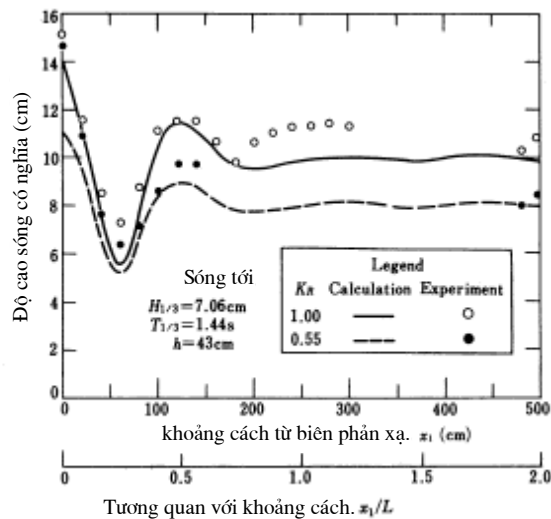
Hiệu ứng các sóng phản xạ gây ra các dao động trong cảng là khá phức tạp vì không chỉ độ cao sóng mà hướng sóng cũng cần được tính. Khi mà chỉ cần quan tâm đến độ cao sóng, về mặt nguyên tắc có thể tính độ cao sóng tổng cộng bằng nguyên lý chồng chất năng



lượng:

$$H_s = \sqrt{H_I^2 + H_{R1}^2 + H_{R2}^2 + \dots} \quad (7.59)$$

với  $H_s$  biểu thị độ cao có nghĩa của sóng tổng hợp, và  $H_{R1}$ ,  $H_{R2}$  biểu thị các độ cao có nghĩa của các sóng phản xạ có nguồn gốc khác nhau. Phương trình (7.59) không áp dụng được ngay cạnh công trình vì có một mối liên hệ cho trước giữa pha sóng tới và pha sóng phản xạ. Tuy nhiên sự tương tác pha giữa các sóng thành phần của sóng ngẫu nhiên sẽ bị triệt tiêu khi mà khoảng cách tới công trình phản xạ trở nên lớn hơn một bước sóng, và phương trình (7.59) cho một đánh giá độ cao sóng với một độ chính xác chấp nhận được.



Hình 7.14 Biến đổi không gian của độ cao sóng đứng

Thí dụ áp dụng phương trình (7.59) được cho trên hình 7.14, trong đó cho thấy sự biến đổi không gian của sóng có nghĩa phía trước một mô hình công trình trong một máng sóng (Goda và Suzuki, 1976). Các sóng tới là một chuỗi sóng phi điều hoà có phổ tần số dạng Bretschneider-Mitsuyasu. Các hình tròn rỗng biểu thị số liệu cho trường hợp một bức tường thẳng đứng phản xạ hoàn toàn và các hình tròn đặc biểu thị trường hợp một mô hình công trình có hệ số phản xạ 0.55. Các đường liền và đường đứt quãng chỉ độ cao sóng tính từ phổ tần số của hệ thống sóng tổng hợp bằng cách tính toán biên độ của các sóng đứng tại mỗi vị trí đối với các thành phần tần số của phổ sóng tới. Tuy rằng độ cao sóng có nghĩa của sóng tổng hợp dao động tương ứng với các điểm bụng và điểm nút của các sóng đứng gần công trình; như ta thấy trên hình 7.14, sự dao động giảm nhanh theo khoảng cách từ công trình và độ cao sóng đạt một giá trị tiệm cận. Trong thực tế, phương trình (7.59) dự

báo một giá trị tiệm cận đối với các điểm cách xa công trình phản xạ.

Cơ sở lý thuyết của phương trình (7.59) là nguyên lý rằng độ cao sóng có nghĩa tỷ lệ với căn bậc hai của năng lượng sóng tổng cộng, không phụ thuộc vào dạng phổ năng lượng.

## 7.5 Sự nhiễu xạ sóng

Khi một chuỗi sóng gặp một chướng ngại vật thẳng đứng lớn, người ta quan sát thấy rằng sóng lan truyền vào cả vùng khuất hình học. Quá trình này được gọi là quá trình nhiễu xạ. Như vậy, khi tính toán ảnh hưởng của sóng phía sau một đê phá sóng hoặc là một công trình xa bờ lớn, cần phải xem xét đến hiệu ứng nhiễu xạ sóng.

### 7.5.1 Quá trình nhiễu xạ của sóng điều hoà

#### a) Các phương trình chính

Rất nhiều tác giả kể cả Stoker (1957) và Mei (1983) đã thảo luận về phương pháp giải quyết vấn đề nhiễu xạ tổng quát. Tuy nhiên, chúng ta sẽ giới thiệu ngắn gọn ở đây. Trước hết, ta giả thiết là chất lỏng là không nén được, dòng chảy không xoáy và thế vận tốc  $\phi = \text{Re}(\Phi e^{i\omega t})$  thoả mãn phương trình Laplace. Chúng ta sẽ giới hạn trong trường hợp sóng tuyến tính với biên độ đủ nhỏ. Khi đó, thế vận tốc tổng cộng  $\Phi$  (một đại lượng phức) có thể được biểu thị là tổng của thế vận tốc của sóng tới và sóng nhiễu xạ như sau:

$$\Phi = \Phi_I + \Phi_s \quad (7.60)$$

với  $\Phi_I =$  thế vận tốc của sóng tới  $\Phi_s =$  thế vận tốc của sóng nhiễu xạ.

Các điều kiện biên đáy và mặt có thể được viết như sau:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad \text{tại} \quad z = 0 \quad (7.61)$$

$$\zeta = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \phi}{\partial t} \right)_{z=0} \quad (7.62)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad \text{at} \quad z = -h \quad (7.63)$$

Các phương trình (7.61) tới (7.63) có thể được viết lại như sau:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} - \frac{\omega^2}{g} \Phi = 0 \quad \text{tại} \quad z = 0 \quad (7.64)$$

$$\zeta = \frac{\omega}{g} \operatorname{Re}(i\Phi e^{-i\omega t}) \quad (7.65)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \quad \text{tại} \quad z = -h \quad (7.66)$$

Điều kiện biên tại bề mặt có nghĩa là thành phần vận tốc trực giao với bề mặt vật thể cần phải bằng 0:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = \frac{\partial \Phi_I}{\partial n} + \frac{\partial \Phi_s}{\partial n} \quad (7.67)$$

với  $n$  là khoảng cách theo phương vuông góc với bề mặt vật thể.

Để đảm bảo có thể tìm được một nghiệm duy nhất có ý nghĩa vật lý, cần một điều kiện biên nữa cho thế vận tốc của sóng nhiễu xạ để tương ứng chỉ với các sóng đi ra khỏi miền tính. Điều kiện biên này được gọi là điều kiện bức xạ và đã được Sommerfeld (1949) trình bày kỹ trong lý thuyết sóng tổng quát. Điều kiện biên bức xạ có thể được biểu thị như sau:

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left( \frac{\partial \Phi_s}{\partial n} \pm ik\Phi_s \right) = 0 \quad (7.68)$$

với  $k$  là số sóng. Điều kiện biên này thường được thỏa mãn khi mà  $\Phi_s$  nhận một giá trị tiệm cận tỷ lệ với  $\exp(\pm ikr)/r^{1/2}$ . Người ta đã tìm ra rằng các hàm Hankel loại 1,  $H_n^{(1)}(kr)$ , thỏa mãn điều kiện (7.68) với dấu âm trong đó các hàm Hankel loại 2,  $H_n^{(2)}(kr)$ , thỏa mãn nó với dấu dương.

Trong một số trường hợp, có thể cần phải đưa vào cả thế vận tốc của sóng phản xạ  $\Phi_R$ . Trong trường hợp này ta có:

$$\Phi = \Phi_I + \Phi_R + \Phi_s \quad (7.69)$$

với  $\Phi_I$  và  $\Phi_s$  là các hàm cho trước.

Phần sau sẽ trình bày một cách rất tóm tắt vấn đề cộng hưởng trong cảng (xem Rahman, 1988).

Dao động trong cảng xảy ra do các sóng truyền từ ngoài biển vào. Các sóng này bị phản xạ một phần tại tường cảng và một phần bị giam lại trong cảng. Các sóng này tạo ra cộng hưởng khi mà tần số của các sóng phản xạ và sóng tới khác nhau trùng với 1 hay nhiều tần số dao động tự do của cảng. Vì vậy, các kỹ sư phải tìm ra phương pháp để dự báo

khả năng phản ứng của một cảng nào đó với các sóng tới.

Thế vận tốc của sóng tới có thể được viết dưới dạng phức như sau

$$\Phi_I = -\frac{gA \cosh k(z+h)}{\omega \cosh kh} \exp(ikx) \quad (7.70)$$

tương ứng với sóng tới:

$$\zeta_I = A \sin(kx - \omega t) \quad (7.71)$$

Thế vận tốc tổng cộng có thể được biểu thị bằng một dạng tương tự:

$$\Phi = -\frac{gA \cosh k(z+h)}{\omega \cosh kh} f(x, y) \quad (7.72)$$

tương ứng với dạng phức của trường sóng tổng cộng:

$$\hat{\zeta} = -\frac{1}{g} \left( \frac{\partial}{\partial t} (\Phi e^{-i\omega t}) \right)_{z=0} = A i f(x, y) e^{-i\omega t} \quad (7.73)$$

Thoả mãn phương trình Laplace và tương ứng là  $f(x, y)$  phải thoả mãn phương trình Helmholtz

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + k^2 f = 0 \quad (7.74)$$

Hàm này được gọi là hàm sóng và nó nhất thiết phải thoả mãn điều kiện bức xạ tại biên hở và các điều kiện biên cứng. Một khi đã xác định được hàm  $f(x, y)$ , độ cao sóng trong cảng được cho bởi:

$$|\hat{\zeta}| = A |f(x, y)| \quad (7.75)$$

Hay:

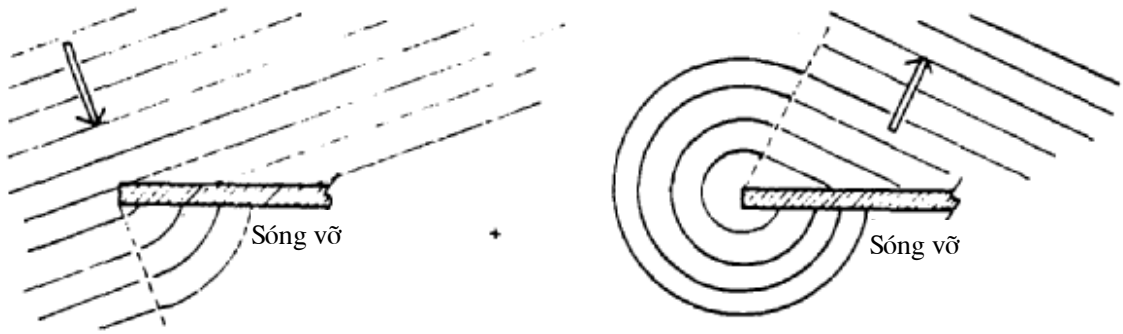
$$\frac{|\hat{\zeta}|}{A} = |f(x, y)| = K_d \quad (7.76)$$

với  $K_d$  là hệ số nhiễu xạ hay hệ số khuếch đại.

b) Lời giải của Sommerfeld

Vấn đề nhiễu xạ của một chuỗi sóng đồng nhất quanh một đập phá sóng bán vô hạn được Sommerfeld giải quyết lần đầu tiên. Sau đây, sau khi lý luận ngắn gọn về hiệu ứng phản xạ, ta sẽ biểu thị lời giải của ông bằng đồ thị.

Lời giải của Sommerfeld có hai số hạng, có thể coi là trường sóng nhiễu xạ do sóng tới và trường sóng nhiễu xạ do sóng phản xạ, như phác thảo trong hình 7.15.



a) trường nhiễu xạ của sóng tới

a) trường nhiễu xạ của sóng phản xạ

Hình 7.15 Phác thảo nghiệm của (Battjes, 1984)

Việc khảo sát kỹ nghiệm của Sommerfeld cho ta thấy những điểm sau:

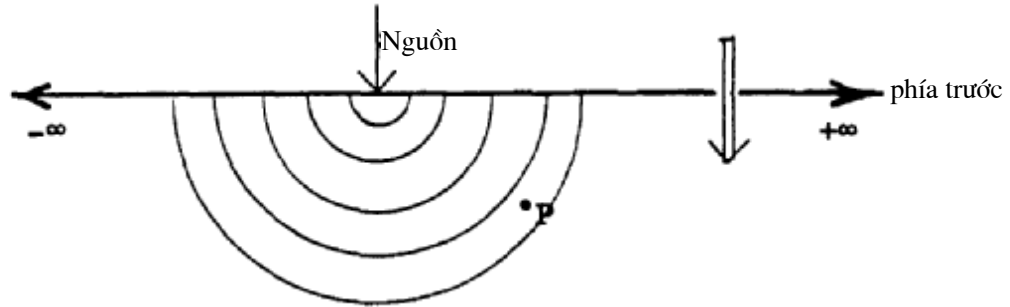
- Sự nhiễu xạ của sóng tới và của sóng phản xạ được biểu thị toán học bằng một hàm duy nhất, gọi là tích phân Fresnel.
- Biên độ của sóng nhiễu xạ và sóng phản xạ tương đối nhỏ tại phần khuất sóng sau đập (ngoại trừ ngay tại mũi đón sóng)

Điểm thứ nhất cho thấy rằng sự nhiễu xạ của một hệ sóng bị suy giảm đột ngột có một dạng chung. Nếu là như vậy, có thể là đã đủ nếu như ta chỉ xem xét sự nhiễu xạ của sóng tới. Điểm thứ hai có nghĩa là sóng nhiễu xạ biểu thị bằng tích phân Fresnel cho ta một xấp xỉ nghiệm tốt cho vùng khuất sóng sau đập phá sóng.

Vì những lý do trên, chỉ sự nhiễu xạ của trường sóng tới được xem xét. Một phương pháp tìm nghiệm bằng đồ thị sẽ được giới thiệu. Người ta đã chứng minh được rằng phương pháp đồ thị trên có thể được áp dụng cả cho các sóng phản xạ để có được nghiệm hoàn chỉnh. Nếu như đập phá sóng chỉ phản xạ một phần, phần thứ hai sẽ được tìm bằng cách nhân nghiệm tìm được cho phần thứ nhất với một hệ số thích hợp (hệ số phản xạ). (cần nhớ rằng các đường đẳng giá trị của  $K_D$  cho trong cuốn Shore Protection Manual (CERC, 1984) là dựa trên lời giải Sommerfeld hoàn chỉnh, tức là với 100% phản xạ)

### 7.5.2 Nguyên lý Huygen

Việc biểu thị bằng đồ thị nghiệm của Sommerfeld có thể giải thích định tính nhờ nguyên lý Huygen mà theo đó thì một mặt sóng có thể xem là một chuỗi các nguồn sóng nhỏ phát xạ năng lượng theo dạng hình tròn như chỉ ra trên hình 7.16



Hình 7.16 Nguyên lý Huygen cho sóng nhiễu xạ

Sự nhiễu xạ sóng tại một điểm P có thể được xác định bằng cách cộng tất cả các đóng góp từ các nguồn khác nhau. Nếu quá trình cộng này được tiến hành với tất cả các nguồn từ  $-\infty$  tới  $+\infty$ , thì chuyển động sóng được hồi phục. Nếu như có đê phá sóng thì tổng được tiến hành với tất cả các nguồn có thể có tia sóng tới được điểm P.

### 7.5.3 Đường xoắn ốc Cornu

#### a) Đường xoắn ốc Cornu

Từ những điều trên, dường như là cần phải xây dựng đồ thị của một số lượng lớn các đại lượng biến đổi theo quy luật hình 7.16, như biểu thị bằng phương trình:

$$\zeta_P(t) = \sum_j a_{Pj} \cos(\omega t + \psi_{Pj}) \quad (7.77)$$

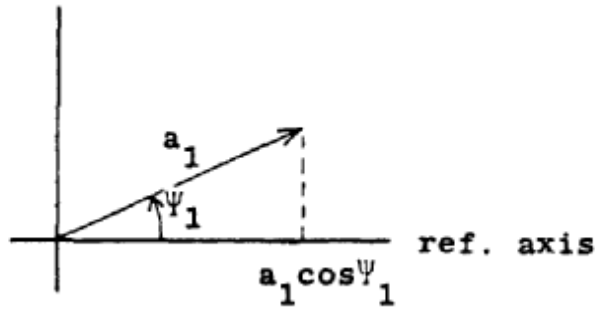
trong đó  $a_{Pj}$  và  $\psi_{Pj}$  biểu thị biên độ và pha tại P do nguồn thứ j gây ra (có thể viết tắt

là  $a_j$  và  $\psi_j$  trong phần sau):

Tại thời điểm  $t=0$ , (7.77) cho :

$$\zeta_P(0) = \sum_j a_j \cos \psi_j \quad (7.78)$$

Đại lượng  $a_1 \cos \psi_1$  có thể được biểu thị như là hình chiếu trên một trục tọa độ của một vectơ  $a_1$ , tạo một góc  $\psi_1$  với trục tọa độ như cho thấy trên hình 7.17.



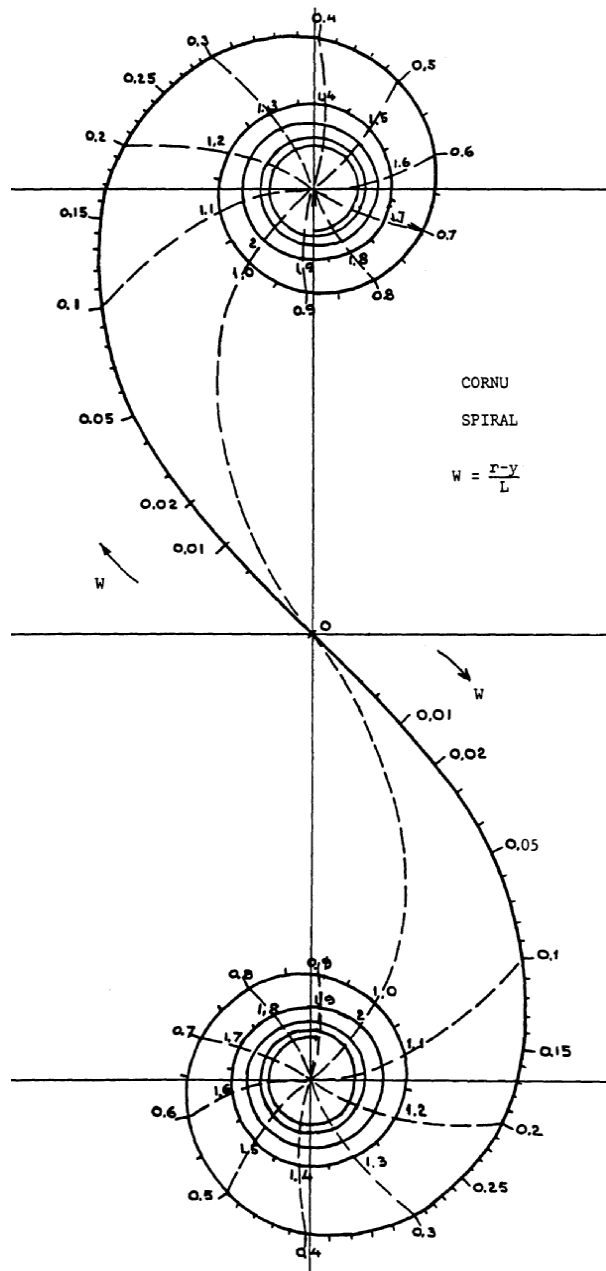
Hình 7.17 Biểu thị  $a_1 \cos \psi_1$  (Battjes, 1984)

Điều tương tự đúng cho  $a_2 \cos \psi_2$ . Tổng  $a_1 \cos \psi_1 + a_2 \cos \psi_2$  có thể tìm được như là tổng của hai vectơ (hình 7.18), tìm được bằng cách vẽ vector thứ hai từ điểm cuối của vector thứ nhất, như trên hình 7.18 (bên phải). Có thể mở rộng điều này ra một số lượng vector bất kỳ. Có thể nhận được kết quả tại  $t \neq 0$  bằng cách xoay tất cả các vector một góc  $\omega t$ . Thao tác này không nhất thiết cần phải được thực hiện, chỉ cần biết rằng có thể thực hiện nó để đạt được kết quả biểu thị bằng phương trình (7.77) là đủ.

Bây giờ hãy xem xét trường hợp một mặt sóng thẳng truyền tới điểm P. Nếu không có bất cứ một chướng ngại vật nào thì ta có một quá trình đối xứng qua điểm P. Mặt sóng được chia thành hai phần với những nguồn có cường độ bằng nhau có số thứ tự  $j = 1, 2, 3, \dots$  tính từ điểm (P') là hình chiếu của P lên mặt sóng về phía phải, và  $j = -1, -2, -3 \dots$  tính từ P' về phía trái.



Hình 7.18 Tổng của hai vector



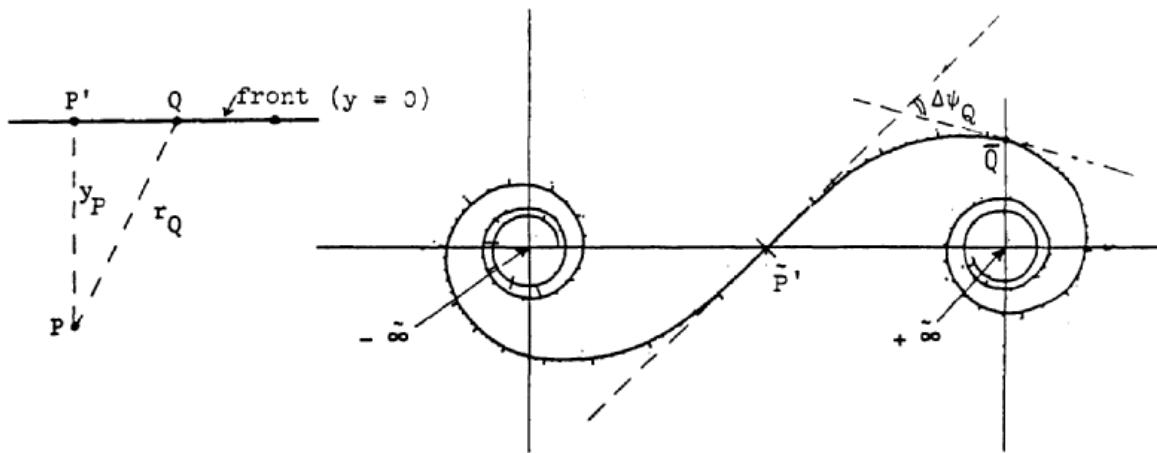
Hình 7.19 Đường xoắn ốc Cornu

Hãy biểu thị sự đóng góp của nguồn 1 tới  $\zeta_p(t)$  bằng một vector. Nguồn 2 cách xa điểm P hơn, do đó đóng góp của nó vào  $\zeta_p(t)$  sẽ bị chậm pha và có biên độ nhỏ hơn so với đóng góp từ nguồn 1. Do đó vector biểu thị đóng góp thứ hai sẽ được quay theo chiều đồng hồ so với vector 1, và nó cũng ngắn hơn. Cứ tiếp tục quá trình này cho tới phía phải của P' (tới  $j = +\infty$ ) sẽ có một loạt vector có độ dài giảm dần và quay theo chiều kim đồng hồ



so với cái trước. Một đường xoắn ốc sẽ được hình thành theo cách này (một đường xoắn ốc tròn tru khi mà các kích thước nguồn tiến tới giới hạn vô cùng bé) với các điểm giới hạn tương ứng với các nguồn tại  $+\infty$ . Có thể tìm được sự đóng góp của các nguồn từ bên trái  $P'$  (tới  $j = -\infty$ ) bằng cách cộng các ảnh trong gương của đường xoắn ốc đối với điểm tương ứng với  $P'$ . Kết quả được gọi là đường xoắn ốc Cornu, như chỉ ra trên hình 7.19.

Tổng của tất cả các đóng góp từ tất cả các nguồn (từ  $-\infty$  tới  $+\infty$  cho ta sóng tới có biên độ ( $a_\infty$ ) cũng như pha. Trên đường xoắn ốc Cornu, điều này được biểu thị bằng một vector vẽ từ điểm giới hạn  $-\infty$  tới điểm giới hạn  $+\infty$ . Chiều dài của vector này biểu thị  $a_\infty$ , và hướng của nó biểu thị pha của sóng tới điểm P.



Hình 7.20 Sơ đồ để xác định  $\Delta\psi_Q$

Có thể thấy từ trình tự trên rằng mặt sóng tới kéo dài từ  $-\infty$  tới  $+\infty$  được chiếu lên đường xoắn ốc tương ứng một một giữa (điểm) các nguồn trên mặt, như được "nhìn" từ P, và ảnh của chúng trên đường xoắn ốc. Sự tương ứng này có thể được xác lập một cách định lượng như sau.

Cho Q là một điểm nào đó trên mặt sóng tới, cách P một khoảng cho trước  $r_Q$  như trên hình 7.20. Ảnh của nó trên đường xoắn ốc Cornu đối với điểm P cách một khoảng  $y_P$  từ mặt sóng theo hướng truyền sóng có thể được xác định từ hiệu số pha của các đóng góp vào  $\zeta_P$  từ các nguồn tại  $P'$  và Q:

$$\Delta\psi_Q = \psi_{PQ} - \psi_{PP'} = 2\pi \frac{r_Q - y_P}{L} \quad (7.79)$$

Hiệu số pha này bằng góc giữa tiếp tuyến với đường xoắn ốc Cornu tại các

điểm có ảnh của  $P'$  và  $Q$ , ký hiệu là  $\tilde{P}'$  và  $\tilde{Q}$ . Vậy, biết  $r_Q$ ,  $y_P$  và  $L$ , có thể tính  $\Delta\psi_Q$  từ (7.79), và điều đó cho một điểm  $\tilde{Q}$  duy nhất trên đường xoắn ốc, biết rằng nó nhất định phải nằm giữa  $\tilde{P}'$  và điểm giới hạn  $+\infty$  (xem hình 7.20).

Trong thực tế, việc dùng một phần của chu kỳ, được cho bởi  $(r - y)/L$  thuận tiện hơn là việc dùng góc như trên. Vì lý do này, người ta dùng một thông số  $W$  định nghĩa như sau

$$W = \frac{r - y}{L} \quad (7.80)$$

Giá trị của  $W$  được vẽ dọc theo copy của đường xoắn ốc Cornu (Hình 7.19). Để tránh làm rối hình, các điểm có cùng phân dư của  $W$  được nối bởi các đường cong đứt. Thí dụ như, hãy xem xét một điểm  $R$  sao cho  $r_R - y_R = L/4$ , hay  $W_R = 1/4$ . Điều này có nghĩa là  $\Delta\psi_R = \pi/2$ , và  $\tilde{R}$  là điểm đầu tiên trên đường xoắn ốc giữa  $\tilde{P}'$  và “ $+\infty$ ” mà ở đó tiếp tuyến của đường xoắn ốc vuông góc với tiếp tuyến của đường đó tại  $\tilde{P}'$ . Nó có thể được xác định là điểm mà ở đó  $W = 0.25$ .

b) Áp dụng cho một đập phá sóng đơn

Các kết quả trước đây giờ sẽ được áp dụng để tính biên độ sóng tại một điểm gần với một đập phá sóng mà hiện tượng nhiễu xạ xảy ra xung quanh nó, như chỉ ra trên hình 7.21.

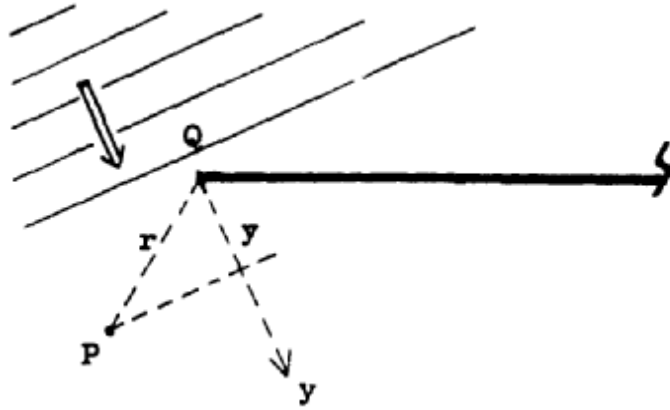
- Trục  $y$  được định nghĩa hướng theo phương truyền sóng với gốc của nó ( $y = 0$ ) nằm tại đỉnh của đập phá sóng  $Q$ .

- Giá trị của  $W = (r - y)/L$  được tính với  $r$  là khoảng cách theo phương bán kính từ điểm  $Q$  tới điểm  $P$ , và  $y$  là tung độ của  $P$ .

- Ảnh ( $\tilde{Q}$ ) của trên đường xoắn ốc được xác định theo giá trị  $W$  tính trong bước trước đó, với chú ý rằng  $\tilde{Q}$  nằm trên nửa đúng của đường xoắn ốc (tức là giữa  $\tilde{P}'$  và “ $+\infty$ ” nếu  $Q$  nằm bên phải của  $PP'$ , nhìn từ  $P$ ).

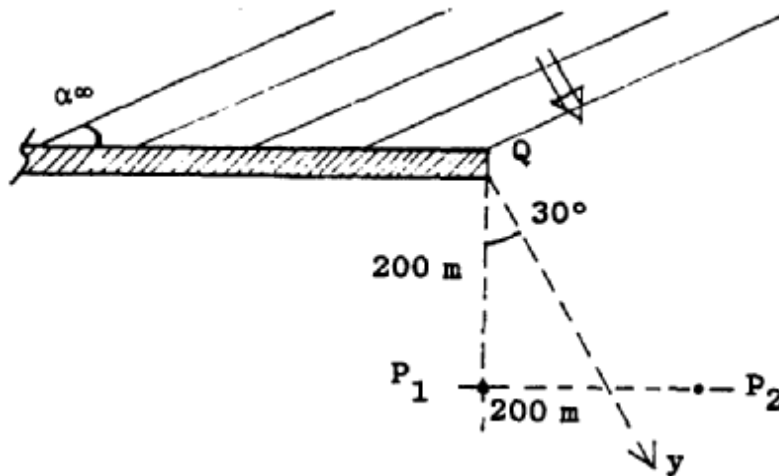
- Tổng vector được xác định là đóng góp của tất cả các nguồn trên của mặt các sóng có thể tới  $P$  theo một đường thẳng (có thể “nhìn” từ  $P$ ). Trong thí dụ tiếp theo, đó là một

vector vẽ từ điểm giới hạn  $-\infty$  tới  $\tilde{Q}$ . Độ dài của vector này biểu thị biên độ sóng tại  $P$ , với một tỷ lệ sao cho khoảng cách giữa hai điểm giới hạn biểu thị  $a_\infty$ .



Hình 7. Xác định hệ số nhiễu xạ tại một điểm gần một đập phá sóng đơn (Battjes, 1984)

Thí dụ Như trên hình 7.22,  $a_\infty=3\text{m}$ ,  $\alpha_\infty=30^\circ$ ,  $L=100\text{m}$ , tìm  $a_{P_1}$  và  $a_{P_2}$ .



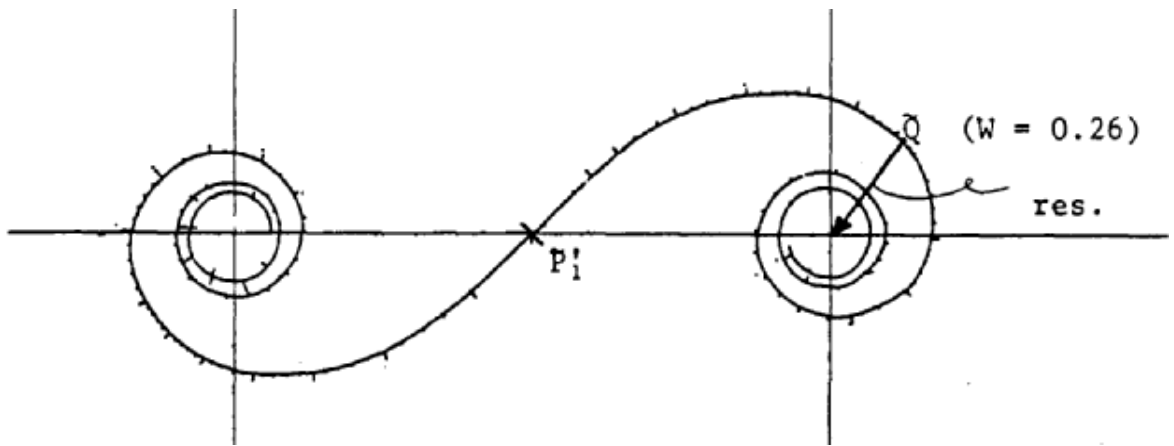
Hình 7.22

Lời giải:

Tại điểm  $P_1$ :  $y = 200(\text{m}) \times \cos 30^\circ = 174\text{m}$ ,  $W = \frac{r-y}{L} = 0.026$ . Đường xoắn ốc Cornu được cho trên hình 7.23.

Vector kết quả từ  $\tilde{Q}$  tới  $+\infty$  với chiều dài 39mm. Khoảng cách giữa hai điểm giới hạn là 198mm, nó biểu thị  $a_\infty=3m$ . Như vậy:

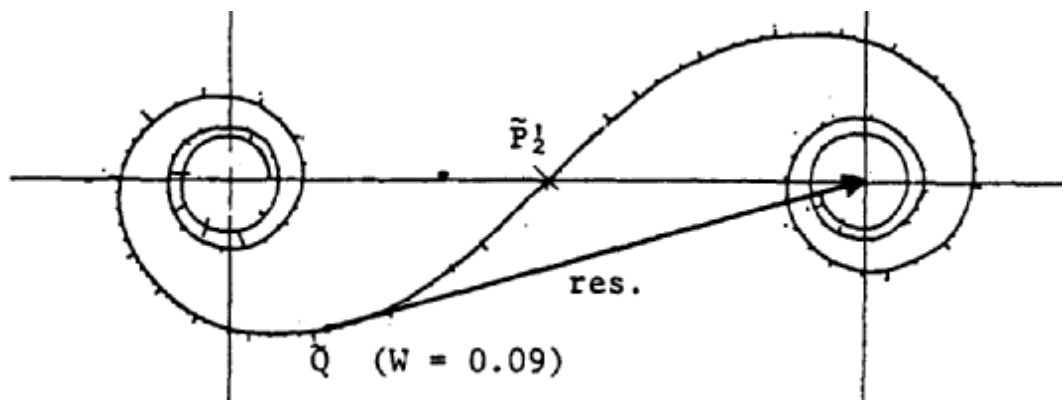
$$a_{P_1} = \frac{39}{198} \times 3m = 0.58m.$$



Hình 7.23 Đường xoắn ốc Cornu cho điểm  $P_1$

Tại điểm  $P_2$  :  $z=200m \times \sqrt{2} = 283$  m,  $y = 200(m) \times (\cos 30^\circ + \sin 30^\circ) = 274m$ ,

$W = \frac{r-y}{L} = 0.09$ . Đường xoắn ốc được cho trên hình 7.24.



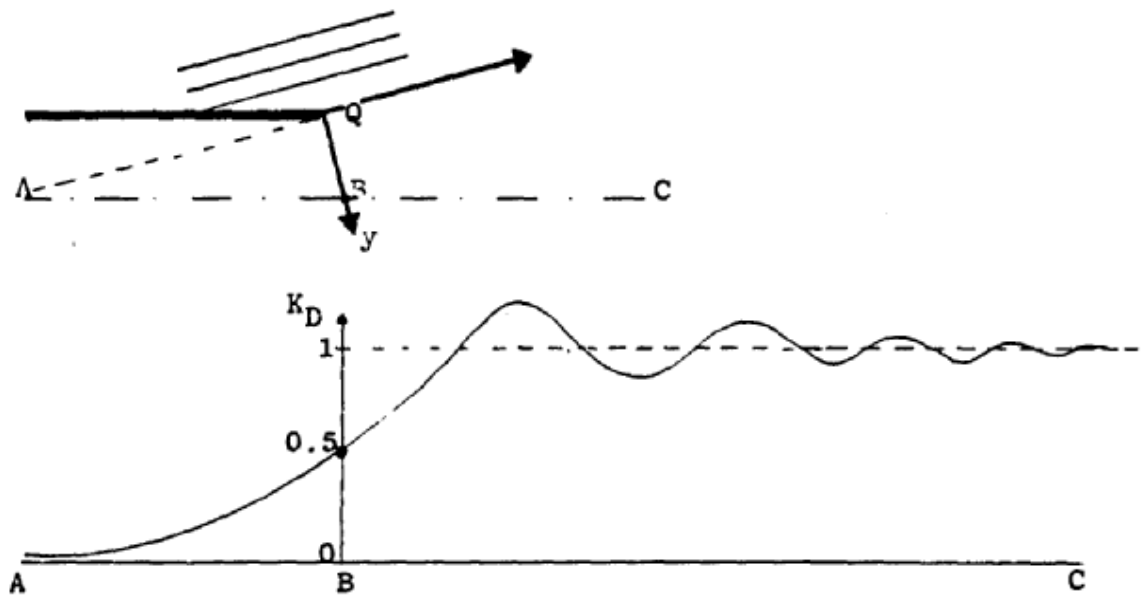
Hình 7.24 Đường xoắn ốc Cornu cho điểm  $P_2$

Vector kết quả từ  $\tilde{Q}$  tới  $+\infty$  với chiều dài 175mm. Như vậy:

$$a_{p_2} = \frac{174}{198} \times 3m = 2.61m.$$

Chú ý rằng ảnh của đầu đê trên đường xoắn ốc phụ thuộc vào điểm quan trắc ( $P_1$  hay  $P_2$ ).

Nếu quy trình mô tả ở trên được lặp lại cho tất cả các điểm trên một đường cắt ngang đường phân chia miền khuất sóng với miền đón sóng (thường được gọi là đường khuất sóng) ta có hình ảnh như trên hình 7.25.



Hình 7. Sự biến đổi của hệ số nhiễu xạ theo khoảng cách từ đầu đập phá sóng.

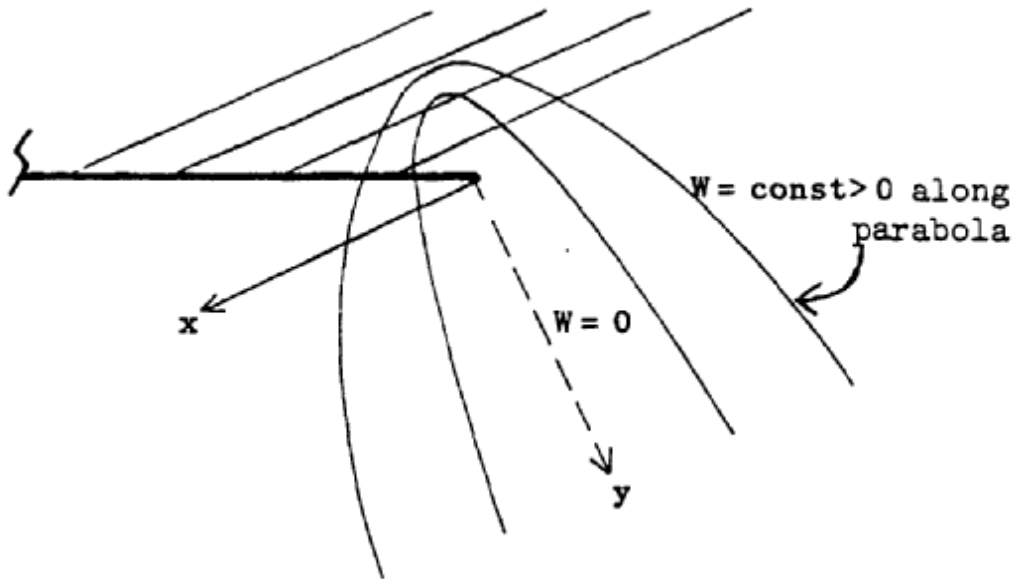
Thay cho sự đột biến trong biên độ sóng nếu như không có nhiễu xạ ( $K_d = 0$  dọc theo AB,  $K_d = 1$  dọc theo BC), ta thấy một quá trình biến đổi từ từ với giá trị  $K_d = 0.5$  dọc theo đường khuất sóng. Trong miền khuất sóng biên độ giảm liên tục khi mà khoảng cách từ đường khuất sóng tăng lên, và trong miền đón sóng nó dao động với một biên độ giảm dần và tiệm cận tới giá trị 1.

Giá trị đầu tiên và lớn nhất của  $K_d$  là xấp xỉ 1.17; Nó xảy ra khi mà  $W=0.36$ . Giá trị này của  $W$  (hay một giá trị nào khác) xảy ra không chỉ ở một điểm, mà còn ở một quỹ tích các điểm được xác định bằng cách chú ý rằng  $r = WL + y$ , hay là

$$x^2 = (WL)^2 + 2WLy \tag{7.81}$$

Đây là phương trình của một parabola nếu  $W = \text{const}$ . Đường khuất sóng mà ở đó  $W$

$= 0$  là một parabola được làm giảm đi. Các parabola được cho thấy trên hình 7.26.



Hình 7.26 Các đường đẳng của  $W$ .

Với mục đích hoàn thiện bài toán, cần phải nhắc lại là quy trình kể trên có thể áp dụng cho các sóng phản xạ từ đập phá sóng. Vector có thể bị giảm độ dài để cho phép phản xạ một phần, có thể được thêm vào các sóng nhiễu xạ từ sóng tới sau khi quay nó một góc sao cho cả hai vector kết quả có một góc chuẩn như nhau.

### c) Tổng quát hoá

Lý thuyết Sommerfeld về nhiễu xạ sóng đã được rút ra từ một tập hợp các giả thuyết. Trong phần này ta sẽ tổng quan các giả thiết liên quan tới đập phá sóng và chỉ ra rằng làm thế nào để nối lỏng các giả thiết này để mở rộng miền áp dụng thực tế.

Chiều dày của màn, hay là chiều dày của đập phá sóng về mặt lý thuyết là bằng 0. Trong thực tế, giả thiết này là đủ tốt nếu như chiều dày này là nhỏ so với bước sóng. Trong khoảng chiều dài hữu hạn đó, mặt đập không nhất thiết phải là thẳng đứng.

Theo lý thuyết thì mặt đập phản xạ sóng 100%, nhưng bởi vì ảnh hưởng của nó là tương đối nhỏ trong miền không lộ trực tiếp ra sóng phản xạ, điều kiện này có thể được bỏ qua. Thực ra, trong quy trình áp dụng trong mục trước, sóng phản xạ bị loại bỏ hoàn toàn, và phép xấp xỉ này sẽ tốt hơn nếu hệ số phản xạ nhỏ hơn.

Đập phá sóng về mặt lý thuyết là cứng và không thấm. Trong trường hợp đập phá

sóng di chuyển được hay rộng, sóng sẽ truyền qua thân đập sang miền khuất sóng. Nếu hệ số truyền qua (tỷ số biên độ) được biết trước thì có thể áp dụng nó như một thừa số nhân vào các vector tương ứng trong giản đồ Cornu.

Cuối cùng, chúng ta hãy xem xét hình thể của đập phá sóng trên mặt ngang. Về mặt lý thuyết, đó là một đường thẳng bán vô hạn. Tuy nhiên, trong phép xấp xỉ cho ở trên mà trong đó hiệu ứng của phản xạ bị bỏ qua, giá trị của  $K_d$  tại một điểm được xác định bằng giá trị của  $W$ , có tính đến thực tế là điểm đó nằm ngoài hay nằm trong miền khuất sóng. Hướng nằm của đập phá sóng đối với hướng sóng tới không ảnh hưởng tới  $K_d$ . Trong phép xấp xỉ này, hiện tượng nhiễu xạ là hiện tượng thuần “hiệu ứng đuôi”. Nói cách khác, phép xấp xỉ sẽ được áp dụng cho trường hợp nhiễu xạ của một trường sóng tới đồng nhất bị mất năng lượng đột ngột. Điều này cho thấy rõ ràng là đập phá sóng có khả năng ngăn sóng không nhất thiết phải thẳng hoặc là dài vô hạn. Trong thực tế, sự nhiễu xạ xung quanh đầu của đập chắn sóng có thể được mô tả bằng phương pháp trên, áp dụng riêng rẽ cho mỗi đầu với điều kiện là đó là một phép xấp xỉ với độ chính xác chấp nhận được sao cho các chuỗi sóng gần như đồng nhất khi tới mỗi đập. Đó là trường hợp nếu mỗi đầu đập nằm trong vùng đón sóng và đủ xa (như cách nhau một vài bước sóng) đường khuất sóng từ một đầu của một đập phá sóng khác.

Việc tính toán sự nhiễu xạ qua một khe giữa hai đầu đập phá sóng sẽ được trình bày trong thí dụ sau đây.

### **Thí dụ**

Hình dạng đập phá sóng được cho trong hình 7.27. Hãy tính hệ số nhiễu xạ tại điểm  $P$  và hệ số nhiễu xạ cực đại.

### **Lời giải**

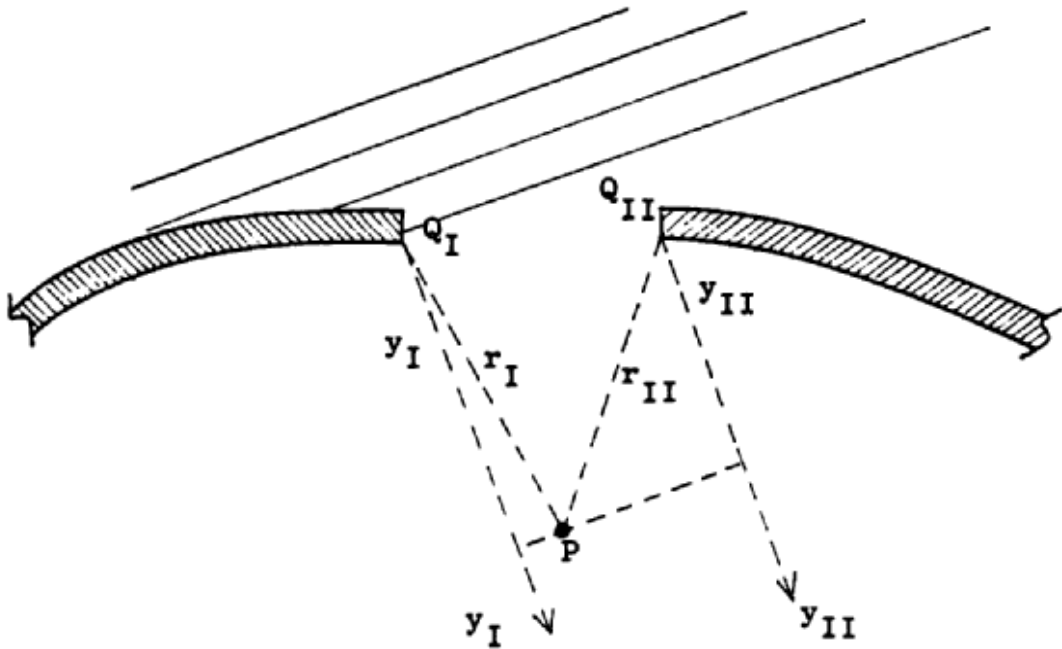
Từ hình dạng đập phá sóng cho trước, hướng và bước sóng tới cũng như vị trí điểm  $P$ , tính:

$$W_I = \frac{r_I - y_I}{L} \quad \text{và} \quad W_{II} = \frac{r_{II} - y_{II}}{L}$$

Thí dụ như  $W_I = 0.25$  và  $W_{II} = 0.40$ .

Nguồn kết quả của sóng tới  $P =$  vector từ  $\tilde{Q}_I$  to  $\tilde{Q}_{II}$  với độ dài 255 mm, do vậy:

$$K_d = 255/198 = 1.28.$$



Hình 7.27 Hai đập phá sóng

Chú ý rằng trong trường hợp nhiễu xạ qua khe, có một điểm mà tại đó  $K_d$  lớn hơn tại tất cả các điểm còn lại. Điểm này được xác định bằng một vector dài nhất có thể có được nối hai điểm của đường xoắn ốc Cornu. Nó xảy ra với  $W_I = W_{II} \sim 0.39$  (tức là tại điểm cắt của hai parabola, mỗi cái cho mỗi đầu đê và có  $W \approx 0.39$ ), và tương ứng là  $K_d = K_{d \max} = 1.34$ .

#### 7.5.4 Sự nhiễu xạ của sóng ngẫu nhiên

Trong các phần trước ta đã khảo sát sự nhiễu xạ của sóng điều hoà. Cùng với đường xoắn ốc Cornu, phân bố của sóng điều hoà trên một miền có độ sâu không đổi có thể được bằng lời giải của Sommerfeld dựa trên lý thuyết thế vận tốc. Các kết quả được dùng để xây dựng các giản đồ cho thấy sự phân bố của tỷ số độ cao sóng nhiễu xạ và sóng tới. Các giản đồ này được gọi là các giản đồ sóng nhiễu xạ. Các giản đồ thông thường trong nhiều sách tham khảo được xây dựng cho các sóng điều hoà có chu kỳ không đổi và truyền theo một hướng. Không nên dùng trực tiếp các giản đồ này vì chúng có thể cho các kết quả sai lệch. Hệ số nhiễu xạ của sóng biển thực cần được tính toán bằng cách đưa vào hàm phổ hướng:

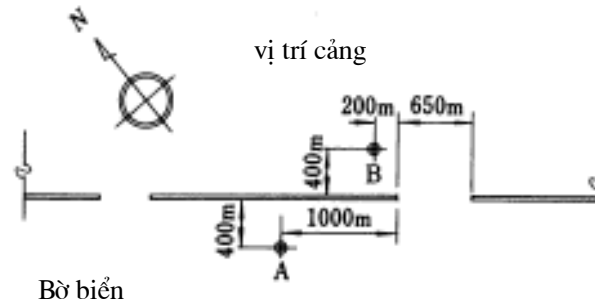
$$(K_d)_{eff} = \left[ \frac{1}{m_0} \int_0^{\theta_{\max}} \int S(f, \theta) K_d^2(f, \theta) d\theta df \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7.82)$$

với  $(K_d)_{eff}$  biểu thị hệ số nhiễu xạ sóng ngẫu nhiên (tức là tỷ số độ cao sóng có nghĩa



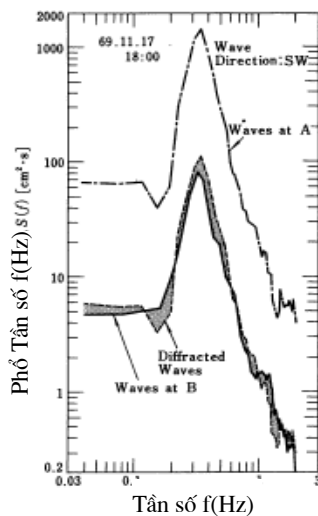
nhiều xạ và sóng có nghĩa tới),  $K_d(f, \theta)$  là hệ số nhiễu xạ của thành phần sóng (điều hoà) có tần số  $f$  và hướng  $\theta$ , và  $m_0$  là tích phân của phổ hướng cho bởi phương trình (7.46).

Tính chính xác của việc tính nhiễu xạ sóng ngẫu nhiên bằng phương trình (7.82) đã được khẳng định bằng cách quan trắc đồng thời sóng trong và ngoài đê phá sóng ngăn nước dâng bão tại cảng Nagoya, Nhật bản (Goda et al, 1978). Máy đo sóng tự ghi đã được đặt tại điểm A bên ngoài và điểm B bên trong cảng như thấy trên hình 7.28. Một thí dụ về tần số ghi được được cho trên hình 7.29. Độ cao và chu kỳ sóng tới được xác định là  $H_{1/3} = 0.46$  m và  $T_{1/3} = 2.8$  s. Hướng sóng tới là hướng SW. Phổ của sóng tới được tính với các điều kiện sóng này, và phổ tính toán phù hợp rất tốt với phổ đo được tại điểm B. Nếu như hệ số khúc xạ được tính bằng lý thuyết sóng điều hoà thì sẽ có  $K_d \cong 0.07$  với điều kiện  $x/L \cong 20$  và  $y/L \cong 31$  với bước sóng  $L \cong 20$  m tương ứng với chu kỳ sóng có nghĩa. Đối với mật độ phổ, lý thuyết sóng điều hoà chỉ tính được giá trị bằng 3% giá trị quan trắc được.



Hình 7.28 Vị trí của các điểm đo

Giản đồ nhiễu xạ của sóng ngẫu nhiên đã được tính toán bằng phương trình (7.82), và chúng được cho trên các hình từ 7.30 tới 7.34 (Goda và cộng sự, 1975). Phổ hướng được dùng ở đây là kết hợp của phổ tần số Bretschneider-Mitsuyasu và hàm phân tán hướng dạng Mitsuyasu.

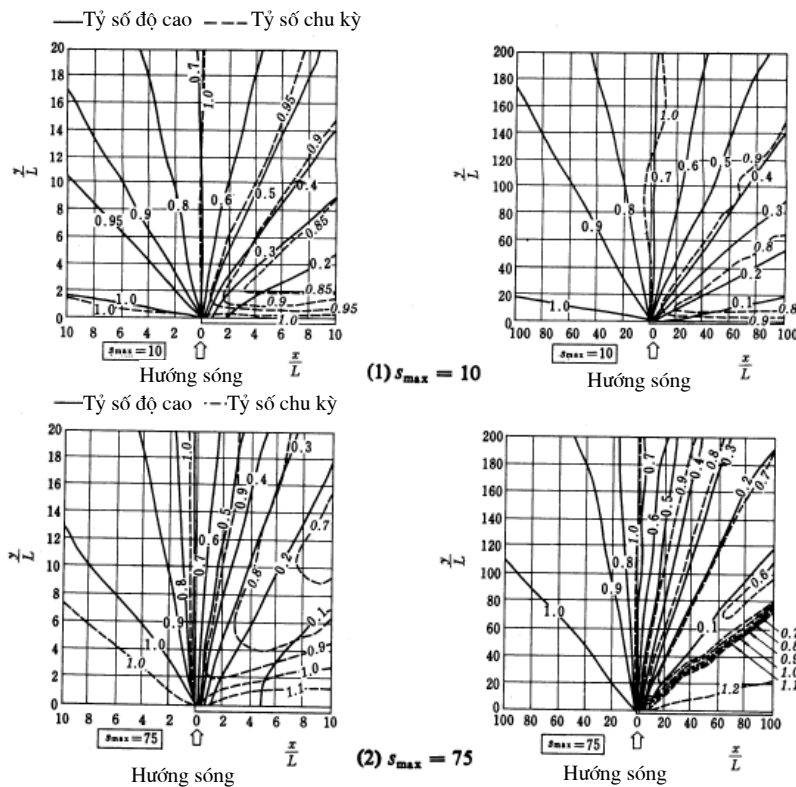


Hình 7.29 Thí dụ phổ tần số của sóng nhiễu xạ quan trắc ngoài hiện trường

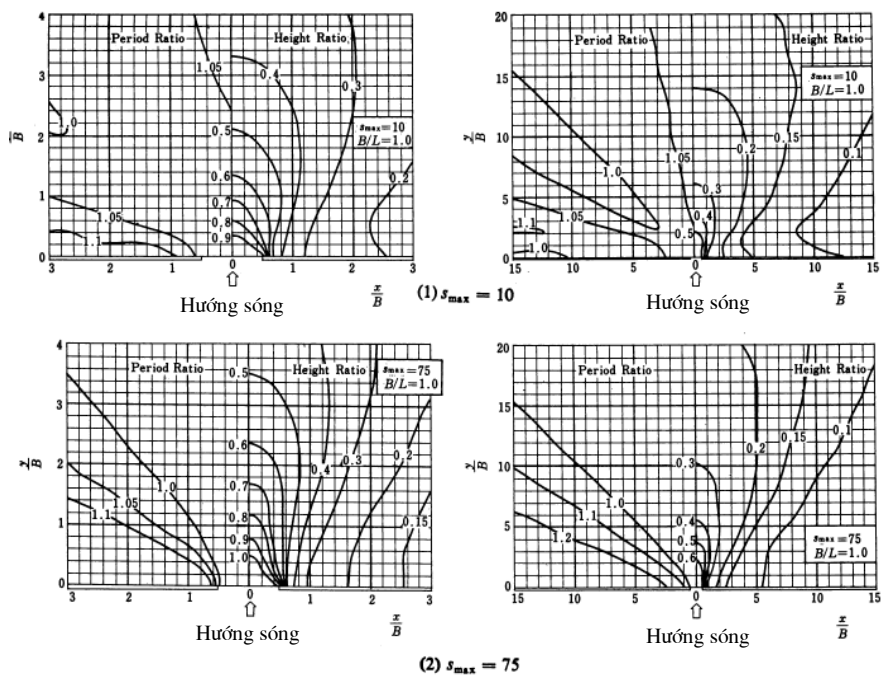
Tích phân trong phương trình (7.82) đã được thay thế bằng tổng với 10 khoảng tần số

và từ 20 tới 36 khoảng hướng có giá trị bằng nhau ( $\Delta\theta = 9^\circ$  to  $5^\circ$ ). Hình 7.30 dùng cho hệ số nhiễu xạ sau một đập phá sóng thẳng có chiều dài bán vô hạn còn các hình từ 7.31 tới 7.34 dùng cho khoảng mở giữa hai đập phá sóng có chiều dài bán vô hạn có chiều rộng khoảng mở lần lượt là 1, 2, 4 và 8 lần bước sóng tương ứng với chu kỳ sóng có nghĩa. Hướng sóng tới vuông góc với trục đập phá sóng. Mỗi hình bao gồm bốn giản đồ cho hai giá trị của  $s_{\max}$  (10 và 75) trong các miền gần và xa nơi phát sinh sóng.

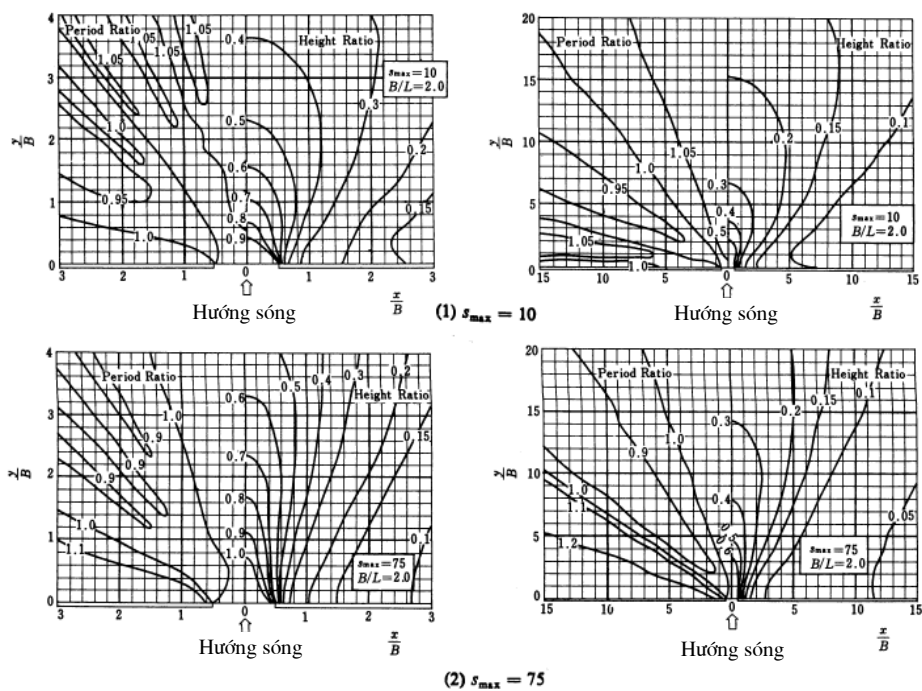
Tập hợp của các giản đồ nhiễu xạ sóng này cho không chỉ sự biến đổi của độ cao sóng mà cả chu kỳ sóng. Sự biến đổi trong chu kỳ sóng được cho bằng các đường đứt gãy trong hình 7.30 và tại phần bên trái của các giản đồ trong các hình từ 7.31 tới 7.34. Sự nhiễu xạ của sóng ngẫu nhiên, đặc biệt là những sóng có hàm phân bố hướng phụ thuộc vào tần số được đặc trưng bởi sự thay đổi về chu kỳ và độ cao sóng. Một nhận xét khác về các hình từ 7.31 tới 7.34 là các tọa độ ngang được chuẩn hoá với chiều rộng  $B$  thay vì với bước sóng  $L$ . Bằng cách này, sự thay đổi của  $(K_d)_{\text{eff}}$  theo các giá trị khác nhau của tỷ số  $B/L$  nhỏ hơn trường hợp lập đồ thị với các tọa độ chuẩn hoá với bước sóng.



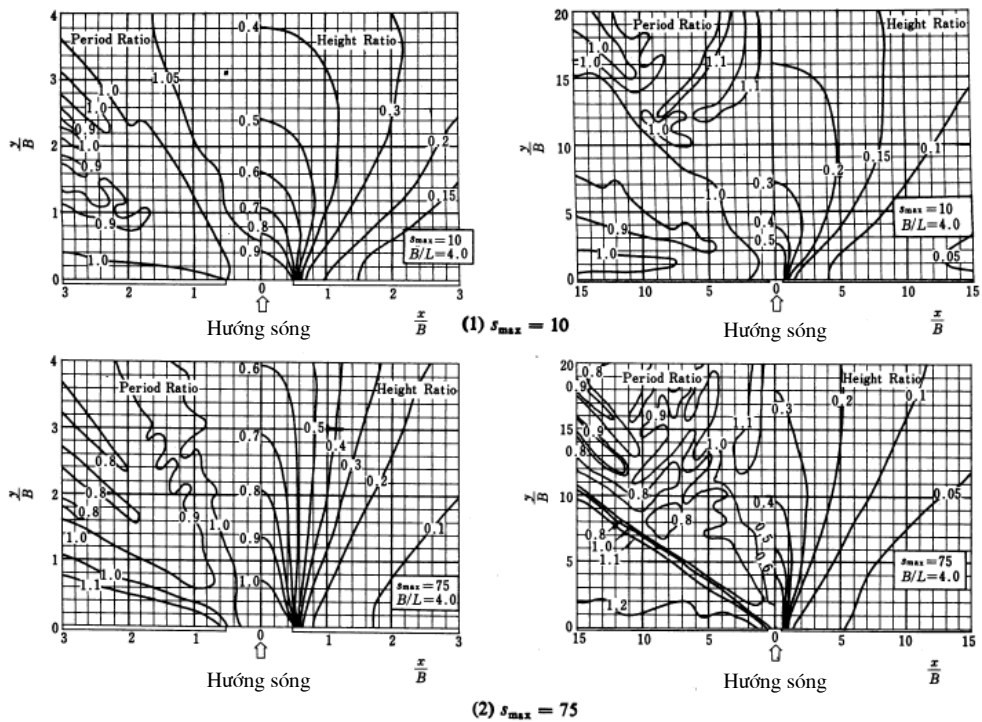
Hình 7.30 Giản đồ nhiễu xạ sóng của một đập phá sóng dài bán vô hạn với sóng ngẫu nhiên tới theo phương vuông góc với đập (các đường liền dùng cho tỷ lệ độ cao sóng và các đường đứt dùng cho tỷ lệ chu kỳ sóng, theo Goda và cộng sự, 1976)



Hình 7.31 Giảm độ nhiễu xạ của một đập phá sóng với độ mở  $B/L=1.0$  với sóng ngẫu nhiên tới theo phương vuông góc với đê, theo Goda và cộng sự 1976).



Hình 7.32 Giảm độ nhiễu xạ của một đập phá sóng với độ mở  $B/L=2.0$  với sóng ngẫu nhiên tới theo phương vuông góc với đê, theo Goda và cộng sự 1976).

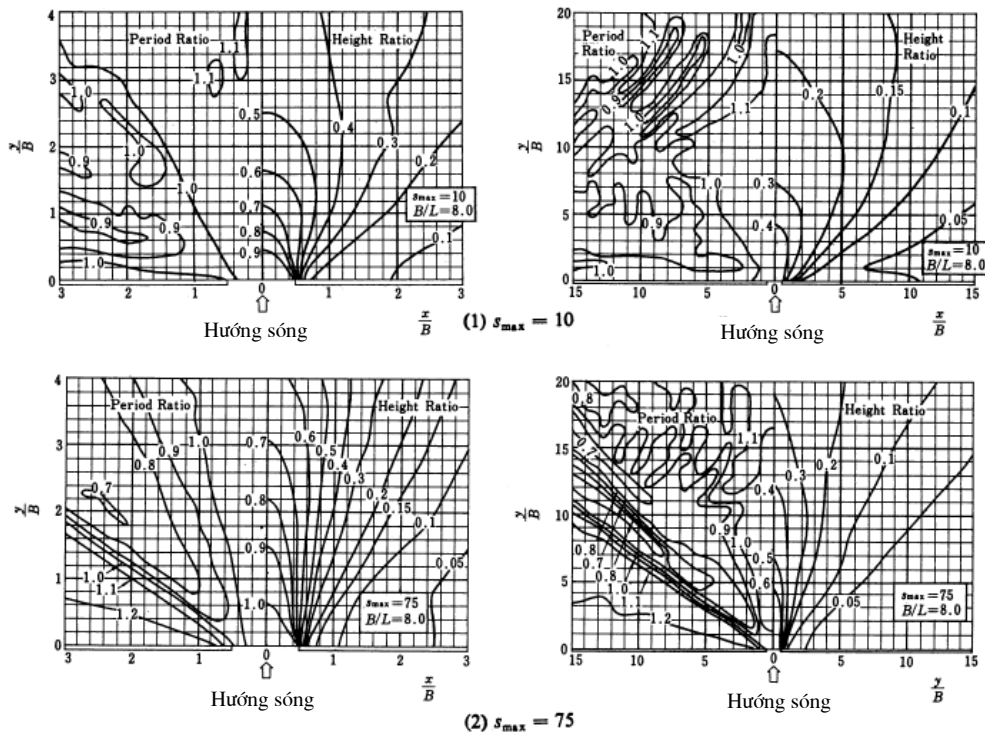


Hình 7.33 Giảm độ nhiễu xạ của một đập phá sóng với độ mở  $B/L=4.0$  với sóng ngẫu nhiên tới theo phương vuông góc với đê, theo Goda và cộng sự (1976).

Hệ số nhiễu xạ của sóng ngẫu nhiên khác nhiều so với sóng điều hoà. Thí dụ, hệ số nhiễu xạ của các sóng ngẫu nhiên dọc theo biên của miền tối hình học (hay là đường thẳng kẻ từ đỉnh đập phá sóng theo phương song song với phương truyền sóng) có giá trị khoảng 0.7, trong khi lý thuyết nhiễu xạ của sóng điều hoà cho giá trị 0.5. Sự khác nhau giữa các giá trị tính toán theo hai lý thuyết này tăng lên trong miền khuất phía sau đê phá sóng và nếu như giảm độ của sóng điều hoà được dùng thì nó có thể cho giá trị độ cao sóng nhỏ hơn trong thực tế. Trong trường hợp sóng nhiễu xạ qua một khoảng hở giữa hai đập phá sóng, sự biến đổi không gian của hệ số nhiễu xạ được làm trơn tới một mức nào đó nếu như tính đến các sóng có hướng truyền khác nhau. Có nghĩa là tỷ lệ độ cao sóng giảm trong miền lộ sóng và tăng trong miền khuất sóng. Kết quả là sự phụ thuộc của độ cao sóng nhiễu xạ vào hướng truyền sóng giảm đi.

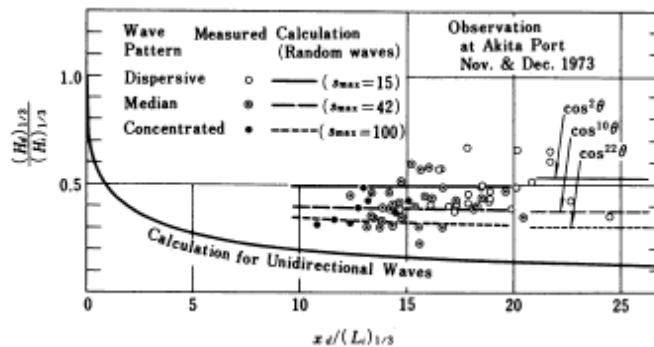
Như đã trình bày ở trên, có một sự khác biệt khá lớn giữa hệ số nhiễu xạ tính với sóng điều hoà và sóng ngẫu nhiên. Cùng với thí dụ trong hình 7.29, một thí dụ khác về nhiễu xạ sóng hiện trường được cho trong hình 7.35. Số liệu được lấy từ Cơ quan quản lý xây dựng cảng Akita, Nhật bản (Irie, 1975). Hình 7.35 so sánh tỷ số của độ cao sóng trong và ngoài một đập phá sóng đơn đo bằng sóng ký. Các đường cong có ký hiệu  $s_{max} = 15, 42$  và  $100$  biểu thị kết quả đối với sự nhiễu xạ của sóng ngẫu nhiên trong khi các đường liền gần đáy

cho sự nhiễu xạ của sóng điều hoà.



Hình 7.33 Giảm độ nhiễu xạ của một đập phá sóng với độ mở  $B/L=8.0$  với sóng ngẫu nhiên tới theo phương vuông góc với đập, theo Goda và cộng sự (1976).

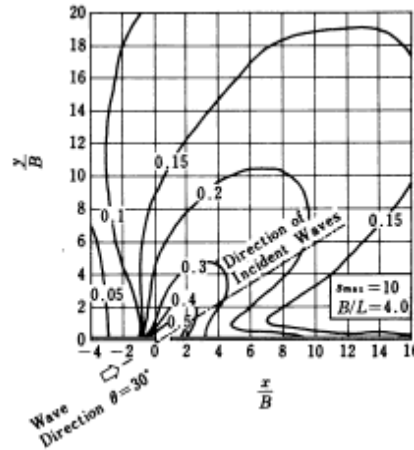
Một điều rõ ràng từ các hình này là kết quả tính sóng ngẫu nhiên phù hợp khá tốt với số liệu đo (phân tán mạnh), trong khi đó các tính toán cho sóng điều hoà cho các giá trị hệ số nhiễu xạ khá nhỏ và không phù hợp với kết quả đo.



Hình 7.35 Hệ số nhiễu xạ đo được tại một đập phá sóng đơn ở cảng Akita so với kết quả tính toán (Irie, 1985)

Briggs và cộng sự (1995) làm thí nghiệm về sóng nhiễu xạ tại một đập phá sóng bán dài vô hạn cho cả sóng điều hoà và phi điều hoà. Kết quả là đã tìm thấy một sự khác biệt rõ

ràng giữa hệ số nhiễu xạ của các sóng điều hoà và phi điều hoà. Briggs và cộng sự (1995) kết luận rằng sự phân tán hướng là rất quan trọng và cần được tính đến khi phân tích nhiễu xạ cho các bài toán kỹ thuật.



Hình 7.36 Giảm độ nhiễu xạ của sóng ngẫu nhiên tới theo hướng xiên

Khi dùng các giản đồ nhiễu xạ của sóng ngẫu nhiên, ảnh hưởng của khúc xạ tới giá trị thông số  $s_{\max}$  cần được tính đến vì rằng hầu hết các đập phá sóng được xây dựng trong các vùng nước tương đối nông và phổ hướng của sóng nước sâu thường được sử dụng.

Hơn nữa, trong hầu hết các trường hợp, sóng thường tới các đập phá sóng theo hướng xiên. Trong trường hợp sóng nhiễu xạ bởi một đập phá sóng bán vô hạn, vấn đề sóng tới xiên có thể được giải quyết bằng cách quay trục của đập trong giản đồ sóng nhiễu xạ trong hình 7.30 trong khi giữ nguyên hướng truyền sóng và các trục tọa độ. Kỹ thuật này tạo ra một sai số nào đó khi mà góc giữa hướng sóng chính và đường vuông góc với đập vượt quá  $\pm 45^\circ$ .

Mặt khác, với các sóng nhiễu xạ qua khoảng hở trên một đập phá sóng, trục của các sóng nhiễu xạ (đường nối các điểm có sóng xâm nhập sâu nhất của các đường đẳng độ cao) dịch chuyển về phía đường vuông góc với đập phá sóng như trên hình 7.36. Góc lệch biến đổi phụ thuộc vào góc giữa hướng truyền sóng và đường song song với đập phá sóng, độ mở tương đối  $B/L$ , và hệ số phân tán  $s_{\max}$ . Từ việc phân tích một số giản đồ của các sóng tới xiên, Goda tìm được độ lệch góc của trục nhiễu xạ như trên hình 7.2. Ngoài trừ các giản đồ của sóng ngẫu nhiên tính bằng máy tính, các giản đồ trên các hình từ 7.31 tới 7.34 đối với các sóng tới vuông góc phải được dùng để tính độ cao sóng phía sau đập phá sóng. Khi các sóng tới xiên, góc sóng tới phải được thay đổi bằng một đại lượng như trên bảng 7.2, và chiều rộng của khoảng mở tính theo sóng đã biến đổi phải được sử dụng.

Bảng 7.2 Góc lệch của các sóng nhiễu xạ qua một khoảng hở giữa đập phá sóng với sóng tới xiên.

$S_{\max}$	$B/L$	Góc lệch			
		$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$	$\theta = 60^\circ$
10	1.0	37°	28°	20°	11°
	2.0	31°	23°	17°	10°
	4.0	26°	19°	15°	10°
75	1.0	26°	15°	10°	6°
	2.0	21°	11°	7°	4°
	4.0	15°	6°	4°	2°

Trong trường hợp có các công trình phản xạ sóng phía sau đập phá sóng thì sự phản xạ của sóng nhiễu xạ cũng cần được tính đến.

#### 7.5.5 Ứng dụng của giản đồ nhiễu xạ sóng điều hoà

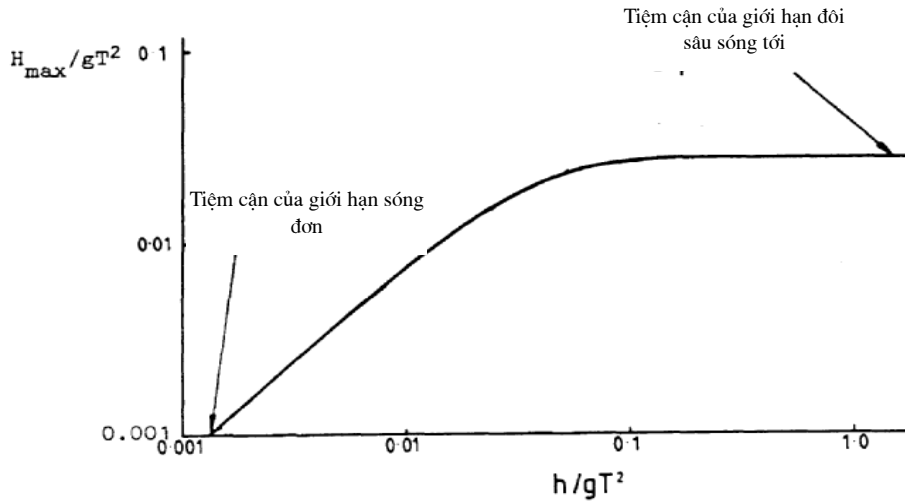
Như đã giải thích, các giản đồ nhiễu xạ sóng điều hoà thường cho các giá trị hệ số nhiễu xạ nhỏ hơn nhiều so với hệ số nhiễu xạ của sóng biển thực và nói chung không nên sử dụng chúng trong tác nghiệp. Nguyên nhân chính là do sự đa hướng của sóng tự nhiên. Trong trường hợp sóng có phổ phân tán hướng rất hẹp như sóng ở cuối một vịnh hẹp và dài hay phía sau một đập phá sóng. Một thí dụ nữa là sóng phía sau một dãy các đập phá sóng ngoài khơi xây dựng để tạo ra các doi cát phía sau. Vì các đập đó được xây ở các vùng nước có độ sâu chỉ vài mét, sóng lừng vào tới đập đã bị khúc xạ và do đó phổ hướng trở nên rất hẹp. Đó là những trường hợp có thể sử dụng các giản đồ nhiễu xạ sóng điều hoà.

#### 7.6 Sóng có độ cao lớn nhất

Đỉnh của một sóng có bước sóng cho trước tại một vùng nước có độ sâu cho trước thường là nhọn hơn khi độ cao sóng tăng lên. Điều kiện giới hạn đạt được khi mà bề mặt tự do tại đỉnh không tròn mà có hình tam giác; Stokes đã cho thấy rằng góc đỉnh tam giác là  $120^\circ$ . Trong các điều kiện giới hạn, vận tốc hạt nước tại đỉnh bằng vận tốc pha của sóng. Điều kiện này tương ứng với độ cao lớn nhất có thể có của một sóng với hình dạng bất biến (có độ cao  $H_{\max}$ ) đối với các giá trị cho trước của độ sâu nước và bước sóng.

Đã có rất nhiều nghiên cứu tìm cách xác định  $H_{\max}$  như là một hàm của  $d$ ,  $L$  (và  $g$ ). Tuy nhiên, có thể dùng biểu thức của Miche (1944) như sau:

$$\left(\frac{H}{L}\right)_{\max} = 0.14 \tanh \frac{2\pi h}{L} \quad (7.83)$$



Hình 7.37 Mối liên hệ giữa độ cao sóng cực đại không thứ nguyên  $H_{\max} / gT^2$  và độ sâu cực đại không thứ nguyên  $h / gT^2$  (Battjes, 1984)

Tại nước sâu, nó được đơn giản hoá thành:

$$\left(\frac{H}{L}\right)_{\max} = 0.14 \quad (7.84)$$

Trong trường hợp giới hạn, bước sóng  $L$  lớn hơn giá trị của nó tính bằng lý thuyết tuyến tính khoảng 20%. Trong vùng nước nông, (7.83) trở thành

$$\left(\frac{H}{h}\right)_{\max} = 0.89 \quad (kh \ll 1) \quad (7.85)$$

Hình 7.37 diễn tả độ cao sóng cực đại không thứ nguyên  $H_{\max} / gT^2$  như là một hàm của độ sâu không thứ nguyên  $h / gT^2$  (Williams, 1985). Chu kỳ  $T$  được định nghĩa trong một hệ mà vận tốc trung bình thời gian bằng không tại bất cứ điểm nào bên dưới bụng. Giới hạn nước sâu là  $H_{\max} / gT^2 = 0.026$ , tương ứng với  $H_{\max} / L = 0.14$  (xem phương trình 7.84).

Giới hạn nước sâu cho sóng điều hoà là  $H_{\max} / h = 0.83$ , hay là gần 7% nhỏ hơn giá trị xấp xỉ của (phương trình 7.85).



## 7.7 Sóng vỡ

Khi sóng tới vùng gần bờ có độ sâu giảm dần, sóng sẽ trải qua quá trình nước nông với độ cao độ dốc mặt của nó tăng lên. Do vậy, năng lượng sóng sẽ bị tiêu tán dưới dạng rối và ma sát đáy. Rối được gây ra bởi sóng vỡ sẽ tăng cường quá trình vận chuyển vật chất đáy và ảnh hưởng tới độ ổn định của công trình. Do vậy, khi mà thiết kế các công trình, cần phải dự đoán được đường sóng vỡ. Sự vỡ của sóng điều hoà khá khác với sóng phi điều hoà. Do vậy, ta sẽ khảo sát chúng một cách riêng rẽ.

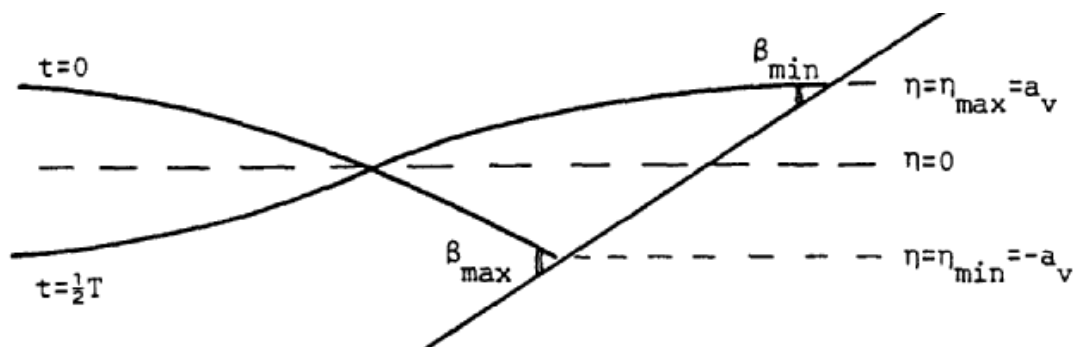
### 7.7.1 Sự vỡ của sóng điều hoà

Từ các quan trắc người ta biết rằng đặc tính của sóng có độ dốc nhỏ trên một mặt nghiêng có độ dốc nhỏ tương tự với đặc tính của sóng có độ dốc lớn trên một mặt nghiêng có độ dốc lớn. Trong thực tế, rất nhiều mặt của dòng chảy đường như là bị điều khiển bởi một thông số duy nhất là tỷ số của độ dốc sóng ( $H/gT^2$ ) và độ dốc đáy ( $\alpha$ ).

Trong phần sau đây, thông số này sẽ được giới thiệu trong khuôn khổ sóng vỡ trên một mặt nghiêng. Sau đó, ảnh hưởng của nó tới các quá trình khác như sóng phản xạ, sóng leo sẽ được khảo sát.

#### a) Tiêu chuẩn sóng vỡ

Người ta biết được qua các quan trắc là với một góc nghiêng  $\alpha$ , có một giá trị độ dốc sóng tới hạn, sao cho sóng với độ dốc nhỏ hơn nó thì không vỡ. Các sóng có độ dốc lớn hơn giá trị này sẽ bị vỡ. Điều kiện tới hạn này được đánh giá như sau.



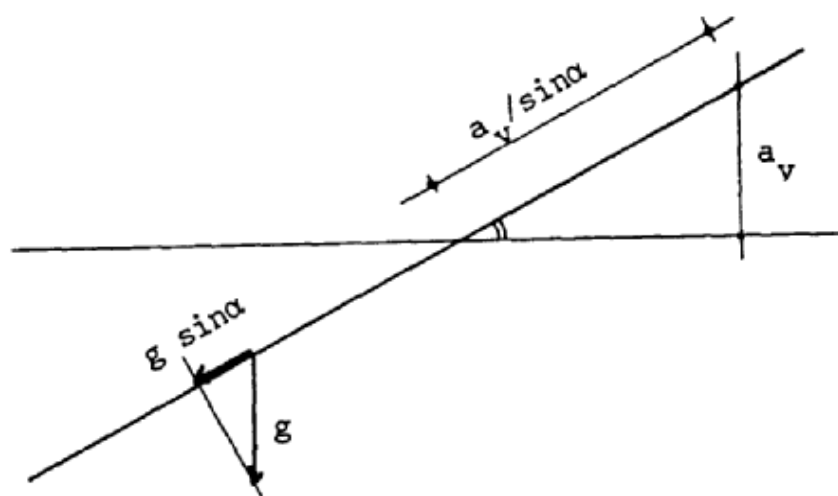
Hình 7.38 Mặt nước gần đường bờ với sóng không vỡ

Khi mà sóng không vỡ, dòng chảy bao gồm sóng đứng trên mặt dốc với các điểm bụng gần đường mặt nước (là đường tiếp giáp giữa mặt nước và đáy) (Hình 7.38). Biên độ

của dịch chuyển thẳng đứng ( $\zeta$ ) của đường mặt nước được ký hiệu bằng  $a_v$ , và góc giữa đường mặt nước và đáy tại điểm tiếp xúc là  $\beta$ . Góc  $\beta$  đạt một giá trị cực tiểu ( $\beta_{\min}$ ) khi  $\zeta$  đạt cực đại, và đạt cực đại ( $\beta_{\max}$ ) khi nước rút thấp nhất.

Sự tăng của  $H/gT^2$  với một góc nghiêng cho trước ( $\alpha$ ) tạo ra sự giảm  $\beta_{\min}$  (và tăng  $\beta_{\max}$ ). Tại một phối hợp tối hạn của  $\alpha$  và  $H/gT^2$ ,  $\beta_{\min}$  bằng 0. Nó không thể là âm do tính không thấm của đáy. Vì vậy, nếu độ dốc của sóng tới tăng, tức là vượt quá một giá trị tối hạn cho một độ dốc đáy cho trước, chuyển động của hạt nước gần đường mặt nước không thể theo cùng một xu hướng. Các điều kiện tối hạn tương ứng với sự thay đổi từ  $\beta_{\min} > 0$  tới  $\beta_{\min} = 0$  xảy ra ở các điều kiện sóng chuyển từ sóng vỡ sang sóng không vỡ trên đáy dốc.

Một đánh giá định lượng các điều kiện tối hạn được cho như sau (Munk and Wimbush, 1969).



Hình 7.39 Sóng tăng tốc trên đáy

Đối với các chuyển động hình sin của đường tiếp giáp giữa mặt nước và đáy với biên độ dịch chuyển thẳng đứng  $a_v$  và tần số góc  $\omega$ , gia tốc cực đại theo phương thẳng đứng là  $\omega^2 a_v$  và gia tốc cực đại dọc theo mặt dốc là  $\omega^2 a_v / \sin \alpha$ . Khi  $\beta = \beta_{\min} = 0$ , chuyển động của đường mặt nước là do trọng lực gây ra với lực tác động lên một đơn vị khối lượng nước theo hướng xuống dốc bằng  $g \sin \alpha$ . ( $\beta_{\min} = 0$  có nghĩa là gradient áp suất dọc theo mặt dốc bằng 0). Lực tác động tổng cộng theo hướng xuống dốc không thể vượt quá giá trị

này vì  $\beta$  không thể nhận giá trị âm. Bởi vậy,

$$\frac{\omega^2 a_v}{g \sin^2 \alpha} \leq 1 \quad (7.86)$$

Với các sóng phản xạ toàn phần,  $a_v$  xấp xỉ bằng  $2a$ , với  $a = \frac{1}{2}h$  là biên độ của sóng tới.

(Một mối liên hệ chính xác hơn sẽ cho ta ảnh hưởng của  $\alpha$  tới  $a_v/a$ , nhưng ta sẽ không xét ở đây). Quá trình thay thế này cho ta thông số

$$\varepsilon = \frac{2\omega^2 a}{g \sin^2 \alpha} \quad (7.87)$$

và tiêu chuẩn:

sóng không vỡ nếu:

$$\varepsilon < \varepsilon_c$$

sóng vỡ nếu:

$$\varepsilon \geq \varepsilon_c \quad (7.88)$$

trong đó:

$$\varepsilon_c \cong 1 \quad (7.89)$$

Các thí nghiệm đã cho thấy rằng tiêu chuẩn (7.88) là gần đúng (Munk and Wimbush, 1969). Chú ý rằng vế trái của (7.86) tỷ lệ với biên độ dịch chuyển thẳng đứng của đường mặt nước và có một giới hạn trên. Một tiêu chuẩn tương tự như (7.88) đã được Iribarren và Nogales (1949) đề nghị. Các công thức của họ sử dụng thông số  $\xi$  định nghĩa như sau (Battjes, 1974)

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}} \quad (7.90)$$

Giá trị tối hạn của  $\xi$  do Iribarren và Nogales đánh giá bán lý thuyết là  $4/\sqrt{\pi} = 2.3$ .

Các thí nghiệm chỉ ra rằng giới hạn giữa không vỡ và vỡ trên một mặt dốc xảy ra với giá trị  $\xi$  xấp xỉ nằm trong khoảng 2.5 và 3. Hai thông số  $\varepsilon$  và  $\xi$  liên hệ chặt chẽ với nhau. Bằng

cách thay thế  $H = 2a$  và  $L_0 = gT^2 / 2\pi = 2\pi g / \omega^2$ , ta có:

$$\xi = \frac{(2\pi)^{1/2}}{\cos \alpha} \varepsilon^{-1/2} \quad (7.91)$$

Trên các mặt không dốc lắm,  $\cos \alpha \approx 1$ , công thức trên trở thành

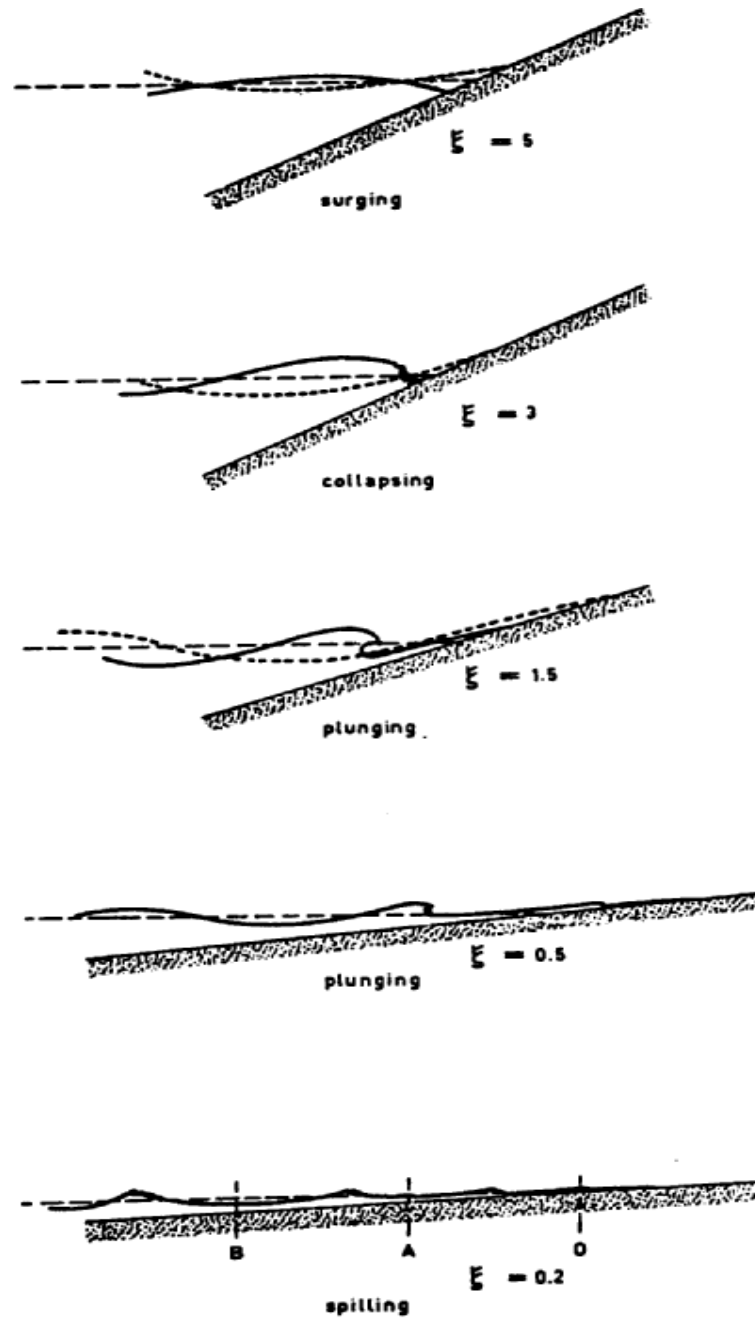
$$\xi \cong 2.5 \varepsilon^{-1/2} \quad (7.92)$$

Theo đó là tiêu chuẩn  $\varepsilon_c \cong 1$  cho ta một cách xấp xỉ:

$$\xi_c \cong 2.5 \quad (7.93)$$

Trong thực tế các thông số  $\varepsilon$  và  $\xi$  là gần như tương đương, nhưng dùng  $\varepsilon$  thích hợp hơn vì nó tỷ lệ trực tiếp với độ dốc của sóng tới, và nó là một số đo tính phi tuyến của chuyển động. Điều này có nghĩa hơn sự tỷ lệ ngược của  $\xi$  với độ dốc sóng. Tuy nhiên, vì lý do lịch sử mà phần sau đây sẽ được trình bày bằng cách dùng  $\xi$ .

b) Dạng sóng vỡ



Hình 7.40 Dạng sóng vỡ như là hàm của  $\xi$  (Battjes, 1974)

Sóng vỡ trên đáy có thể phân chia thành ba dạng: surging, plunging và spilling. Các dạng sóng vỡ này xảy ra do tăng giá trị của  $\varepsilon$  (giảm của  $\xi$ ) khi vỡ. Các dạng sóng vỡ này được giải thích bằng hình vẽ trên hình 7.40.

Sóng vỡ dạng surging rất giống với sóng đứng ngoại trừ nó tạo ra những bọt nước trắng xoá trong khoảng giữa đường mặt nước và đỉnh sóng đầu tiên về phía biển.

Với sóng vỡ dạng plunging, mặt trước của sóng trở nên dốc hơn, đỉnh sóng uốn cong và một lưỡi nước xuất hiện tại đỉnh sóng và nhào xuống bụng của sóng trước đó hay nhào xuống mặt dốc của đáy.

Với sóng vỡ dạng spilling, mặt dốc của sóng bị giới hạn trong một khoảng tương đối hẹp gần đỉnh sóng. Lưỡi nước được tạo thành ban đầu là nhỏ so với độ cao sóng và nó ảnh hưởng tới mặt tự do ngay gần đỉnh sóng. Ngay sau đó nó biến mất vì các bọt nước trắng xoá trên mặt trước của sóng. Khác với sóng vỡ dạng plunging, trong toàn bộ quá trình sóng vỡ, profile mặt nước hầu như giữ nguyên tính đối xứng đối với một mặt thẳng đứng đi qua đỉnh sóng.

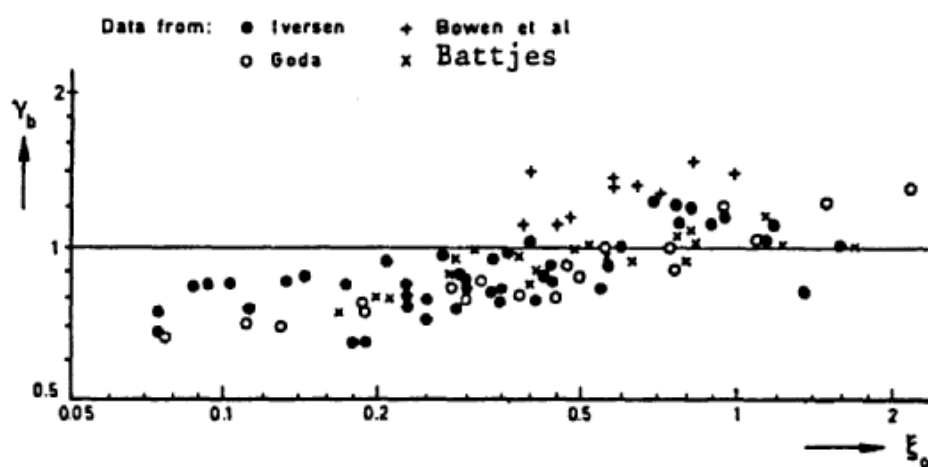
Sự chuyển đổi giữa các dạng sóng vỡ khác nhau xảy ra khá từ từ theo sự biến đổi của các giá trị của  $\xi$ :

Spilling nếu  $\xi_b \leq 0.4$

Plunging nếu  $0.4 \leq \xi_b \leq 2.0$

Surging nếu  $2.0 \leq \xi_b$

Chỉ số “b” có nghĩa là độ cao sóng tại vị trí sóng vỡ, thường được dùng để tính  $\xi$ .



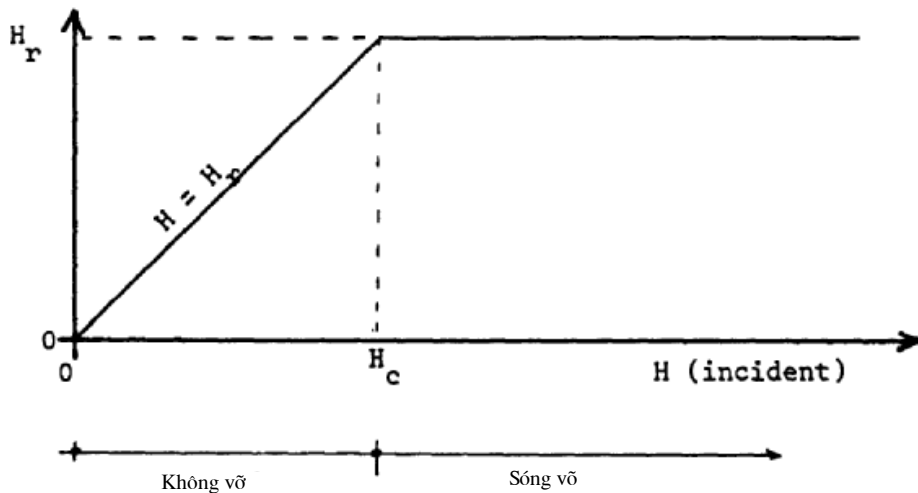
Hình 7.41 Tỷ số  $H_b / h_b$  phụ thuộc vào  $\xi_b$  (Battjes, 1974)

Trong một số điều kiện, sóng vỡ dạng surging và plunging xảy ra ngay tại mặt dốc. Những dạng sóng vỡ này tạo tác động động lực mạnh mẽ nhất đối với một độ cao sóng cho trước và tạo ra sóng leo lớn nhất.

Các giá trị đo đạc được của tỷ lệ giữa độ cao sóng ( $H_b$ ) và độ sâu ( $h_b$ ) tại điểm sóng vỡ là khá phân tán khi xem xét sự phụ thuộc của nó vào  $\xi_b$ , nhưng có một xu thế rõ ràng là giá trị này nhỏ vào khoảng 0.6 với sóng vỡ dạng spilling và lớn hơn 1 với sóng vỡ dạng plunging (xem hình 7.41).

*c) Hệ số phản xạ của một bãi biển*

Khi sóng tới một bãi biển, một phần năng lượng sóng bị tiêu tán do sóng vỡ và ma sát đáy. Phần năng lượng còn lại bị phản xạ. Có thể đánh giá lượng năng lượng phản xạ tương đối nhờ quy trình do Miche (1951) đề xuất.



Hình 7.42 Lý thuyết của Miche về sự phản xạ sóng tại bãi biển

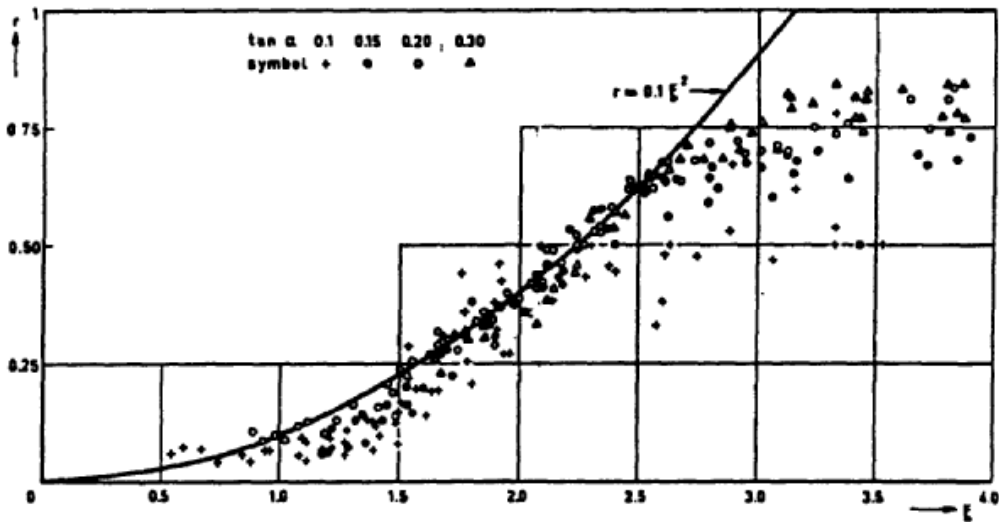
Để trình bày phương pháp của Miche, ban đầu chúng ta hãy xem xét các giá trị không đổi của  $\alpha$  và  $T$  và một độ cao sóng tới biến đổi  $H$ . Nếu  $H$  là nhỏ thì sóng vỡ không xảy ra và sóng bị phản xạ hoàn toàn. Tuy nhiên, trên một mặt dốc với độ dốc nhỏ thì lực ma sát đáy là đáng kể và như vậy một phần rất quan trọng của năng lượng sóng có thể bị tiêu tán. Khi mà độ cao sóng tăng lên, hiện tượng sóng vỡ xảy ra và một phần năng lượng sóng bị tiêu tán do quá trình sóng vỡ, tạo ra một hệ số phản xạ nhỏ. Miche giả thiết rằng trong các điều kiện này độ cao sóng vỡ là không đổi và bằng giá trị độ cao sóng tới trong điều kiện bị vỡ, như chỉ ra trên hình 7.42. Điều đó tương ứng với giá trị không đổi của  $a_v$  (đối với một giá trị cho trước của  $\omega$  và  $\alpha$ ) trong các điều kiện sóng vỡ.

Lý thuyết của Miche có thể được biểu diễn như sau:

$$K_{rid} = 1 \quad \text{if} \quad \xi > \xi_c \quad (7.94a)$$

$$K_{rid} = \frac{H_c}{H} \quad \text{if} \quad \xi < \xi_c \quad (7.94b)$$

Chỉ số "id" có nghĩa là "lý tưởng", dùng cho điều kiện lý tưởng mà có thể bỏ qua lực cản của dòng chảy và một bề mặt không thấm nước nhẵn nhụi.



Hình 7.43 Hệ số phản xạ phụ thuộc vào  $\xi$  (Battjes, 1974)

Từ (7.89), tỷ số  $H/H_c$  có thể được viết là  $H_c/H = (\xi/\xi_c)^2$ . Để có thể đánh giá chính xác hơn  $\xi_c$  trong biểu thức này so với cách đánh giá trong phần b), chúng ta dùng các kết quả của Hunt (1959). Hunt cho rằng  $r \cong 0.5$  với  $\xi \cong 2.3$ . Thay thế giá trị này vào, (7.94b) trở thành

$$K_{rid} = 0.1\xi^2 \quad \text{if} \quad \xi \leq 3 \quad (7.94c)$$

Hình 7.43 cho một so sánh phương trình này với các số liệu thí nghiệm thu được tại một mặt dốc có bốn độ dốc khác nhau và độ dốc sóng  $H_0/L_0$  nằm trong khoảng từ 0.001 tới 0.05 (Battjes, 1974). Dường như là các số liệu nằm trong một dải khá hẹp khi mà  $\xi \leq 2.5$ . Điều này cho thấy rằng trong khoảng này ảnh hưởng của độ dốc đáy và độ dốc sóng có thể được biểu thị đầy đủ bằng thông số  $\xi$ . Hơn nữa, có thể thấy rằng phương trình 7.94c khá phù hợp với các số liệu thí nghiệm.

Sự phản xạ từ một mặt gồ ghề hay là một mặt thấm nước là nhỏ hơn một mặt nhẵn và

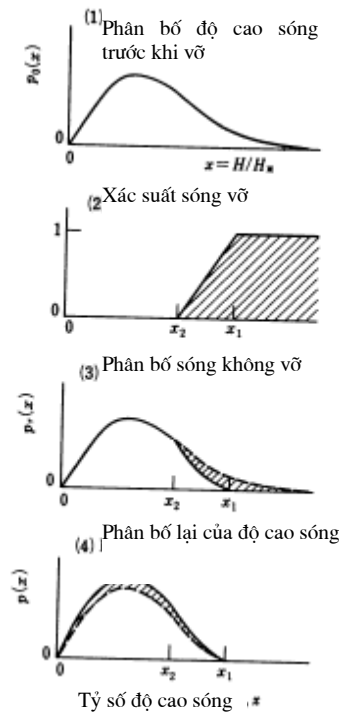
không thấm nước. Miche đưa ra một hệ số suy giảm  $f_r$  để tính tới điều này:

$$K_r = f_r K_{rid}$$

Giá trị của  $f_r$  là vào khoảng 0.8 với mặt đá xếp cẩn thận và 0.5 với một mặt đá đổ tự nhiên.

### 7.7.2 Sự vỡ của sóng ngẫu nhiên

Khác với sóng điều hoà, sóng biển thực, đặc biệt là sóng gió, vỡ tại một dải rộng gần bờ. Một số sóng vỡ khá xa bờ, một số tới rất sát bờ rồi mới vỡ. Vùng sóng vỡ ven bờ còn được gọi là vùng lướt sóng. Nói chung rất khó xác định các giới hạn của miền sóng vỡ. Chỉ có trong trường hợp sóng lừng tới một vùng bờ có một doi cát, ta có thể xác định là miền sóng vỡ bắt đầu từ biên phía ngoài của doi cát.

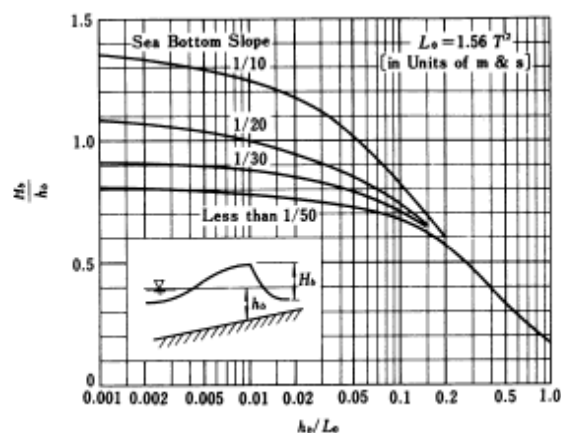


Hình 7.44 Phác thảo để giải thích mô hình sóng vỡ của sóng ngẫu nhiên (Goda, 1975a)

Cơ chế suy giảm sóng trong vùng sóng vỡ là rất khó giải thích vì bản chất phức tạp của vùng rối khi sóng vỡ và quá trình xâm nhập của khí. Tuy nhiên, có thể phân tích được các đặc trưng lớn trong sự phân bố độ cao sóng và sự suy giảm độ cao sóng sau khi vỡ theo mô hình sóng vỡ trình bày trong hình 7.44 (Goda, 1975a,b). Ban đầu, độ cao sóng trước khi



vỡ có thể được giả thiết là tuân theo phân bố Rayleigh.



Hình 7.45 Độ cao sóng giới hạn trước khi vỡ với sóng điều hoà (Goda, 1974)

Như vậy, một nhóm các sóng ngẫu nhiên truyền và vùng sóng vỡ có phân bố Rayleigh như chỉ ra trên hình 7.44(1). Trục hoành  $x$  là độ cao sóng không thứ nguyên được chuẩn hoá với một độ cao sóng chuẩn  $H^*$ . Trong số các sóng tuân theo phân bố này, những sóng có độ cao lớn hơn giới hạn sóng vỡ sẽ vỡ đầu tiên và do vậy không còn giữ được vị trí của chúng trong phân bố đầu tiên. Giới hạn vỡ của sóng biển ngẫu nhiên cần được cho trong một khoảng biến đổi rộng vì thậm chí một chuỗi sóng điều hoà cũng có những dao động nhất định trong độ sâu sóng vỡ. Bởi vậy, một chuỗi sóng tự nhiên sẽ cho một dao động lớn hơn trong giới hạn sóng vỡ vì có sự biến đổi về chu kỳ và độ cao của mỗi sóng đơn. Vì vậy, sóng vỡ được giả thiết là xảy ra trong khoảng độ cao sóng tương đối từ  $x_2$  tới  $x_1$  với xác suất xảy ra biến đổi giữa hai biên này (Hình 7.44(2)). Với giả thiết này, phần của các sóng bị loại khỏi phân bố nguyên thủy sẽ được biểu thị bằng miền gạch chéo như trong hình 7.44(3). Các sóng đã vỡ không mất hết năng lượng mà còn giữ lại được một ít. Vì rằng hiện tại không có thông tin gì về độ cao của các sóng sau khi vỡ, chúng được giả thiết là phân bố trong vùng với độ cao sóng không thứ nguyên giữa 0 và  $x_1$  với xác suất tỷ lệ với phân bố của các sóng chưa vỡ. Với mô hình này, độ cao sóng phân bố trong vùng sóng vỡ được chỉ ra trên hình 3.24(4), mà ở đó các đường gạch chéo biểu thị độ cao của các sóng đã bị suy giảm sau khi vỡ.

Để tính toán sự phân bố độ cao sóng trong vùng sóng vỡ bằng mô hình trên, cần đưa vào một số biểu thức về độ cao tới hạn của các sóng đơn khi vỡ. Ở đây, cách tiếp cận của Goda (2000) được áp dụng. Với mục đích này, có thể dùng giản đồ về sự vỡ của sóng ngẫu nhiên trên hình 7.45, hay công thức xấp xỉ của nó (Goda, 1974) như sau

$$\frac{H_b}{L_0} = A \left\{ 1 - \exp \left[ -1.5 \frac{\pi h}{L_0} (1 + 15 \tan^{4/3} \theta) \right] \right\} \quad (7.95)$$

với  $\theta$  biểu thị góc giữa đáy biển và mặt nằm ngang và do vậy  $\tan \theta$  là độ dốc đáy biển. Hệ số  $A$  có giá trị 0.17 với sóng điều hoà. Trong phần trình bày hiện tại về sự vỡ của sóng ngẫu nhiên,  $A$  được cho là 0.18 tại cận trên của sóng ngẫu nhiên vỡ tại  $x = x_1$ , và 0.12 tại cận dưới  $x = x_2$ . Với quá trình này, dạng phân bố chung của độ cao sóng trong vùng sóng vỡ được mô hình hoá rất tốt.

Cũng cần phải tính đến sự biến đổi của mực nước trung bình. Một yếu tố cần được xem xét là nước dâng do sóng, tạo ra sự tăng độ cao nước khi tới gần bờ. Quá trình này liên quan với sự tồn tại của ứng suất của sóng tác động lên khối nước khi có sóng, được gọi là ứng suất bức xạ. Độ lớn của ứng suất bức xạ liên quan với thông lượng năng lượng kèm theo quá trình truyền sóng. Khi mà độ cao sóng thay đổi do hiệu ứng nước nông và sóng vỡ trong quá trình sóng truyền từ ngoài khơi vào bờ, độ lớn của ứng suất bức xạ cũng thay đổi. Sự biến đổi không gian của ứng suất bức xạ tạo nên sự nghiêng của đường mặt nước trung bình (Longuet-Higgins và Stewart, 1962). Nước dâng do sóng sẽ được nghiên cứu kỹ trong Chương 8.

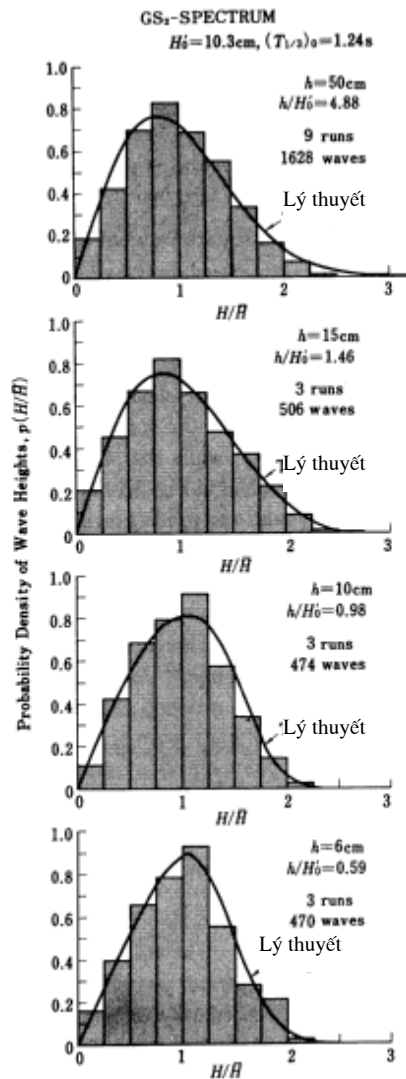
Một nguồn khác có đóng góp vào sự biến đổi của mực nước trung bình là sóng đập; tức là những dao động phi điều hoà có chu kỳ khoảng vài ba chục lần chu kỳ của sóng tới. Tuy rằng biên độ của sóng đập chỉ vào khoảng 10% của biên độ sóng mặt tại nước có độ sâu 10 m, nó có thể lớn hơn 30% biên độ sóng nước sâu ngay gần đường bờ như thấy trong các số liệu quan trắc hiện trường (Goda, 1975). Sau đây là một công thức thực nghiệm cho ta đánh giá về biên độ của sóng đập trong vùng sóng vỡ:

$$\zeta_{rms} = \frac{0.01H_0'}{\sqrt{\frac{H_0'}{L_0} \left( 1 + \frac{h}{H_0'} \right)}} \quad (7.96)$$

với  $\zeta_{rms}$  ký hiệu giá trị trung bình bình phương của profile của sóng đập, và  $H_0'$  ký hiệu độ cao sóng có nghĩa tương đương, được định nghĩa như sau:

$$H_0' = K_d K_r (H_{1/3})_0 \quad (7.97)$$

với  $(H_{1/3})_0$  là độ cao sóng có nghĩa tại nước sâu, và  $K_d$  và  $K_r$  lần lượt ký hiệu các hệ số nhiễu xạ và khúc xạ sóng ngẫu nhiên (Goda, 2000).

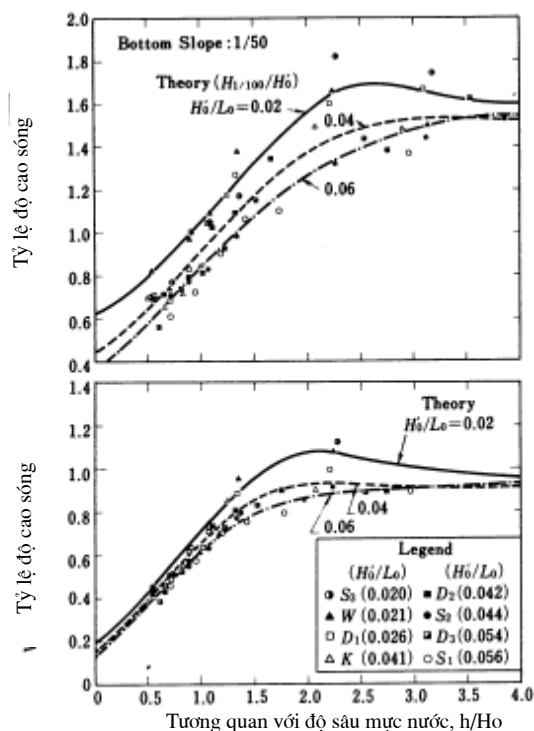


Hình 7.46 Sự biến dạng của phân bố độ cao sóng ngẫu nhiên trong một máng sóng phòng thí nghiệm có độ dốc đáy 1/10 (Goda, 1975).

Sự biến đổi của mực nước gây ra bởi nước dâng sóng và sóng đập tạo ra sự gia tăng trong giới hạn trên của phân bố độ cao sóng. Hình 7.46 biểu thị phân bố độ cao sóng của sóng ngẫu nhiên trong phòng thí nghiệm khi vỡ trên một độ dốc 1/10 (Goda, 2000). Độ cao sóng quan trắc được biểu thị dưới dạng các histogram cho thấy mật độ xác suất trong khi phân bố dự báo bằng mô hình vỡ của sóng ngẫu nhiên được vẽ trên hình 7.44 bằng đường trơn tru. Sự phù hợp giữa quan trắc và dự báo là rất tốt. Độ cao sóng chuẩn trong hình 7.46 là độ cao sóng trung bình  $H$ , thay đổi trong trường hợp này từ 6.1 cm tại độ sâu  $h = 50$  cm ngoài khơi tới các giá trị 6.9, 6.8 and 4.5 cm tại các độ sâu 15, 10 và 6 cm.

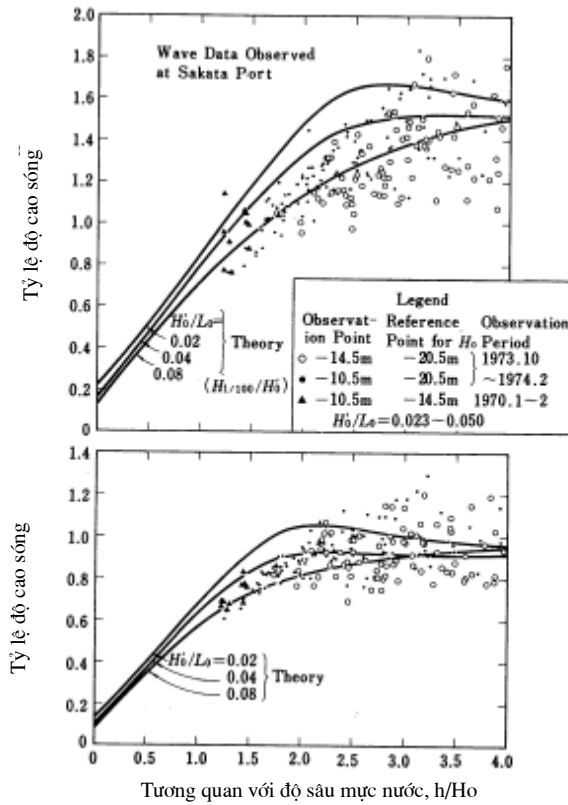
Sự suy giảm của độ cao đặc trưng của sóng ngẫu nhiên đã được đo đạc trong phòng thí nghiệm (Goda, 1975). Như chỉ ra trong hình 7.47, sự biến đổi của các độ cao sóng khác nhau là từ từ. Hình 7.48 biểu thị một so sánh giữa độ cao sóng tính toán và số liệu đo đạc hiện trường tại một vùng bờ. Số liệu được lấy tại cảng Sakata, Nhật bản. Ba máy sóng ký được sử dụng đo sóng đồng thời tại các độ sâu 20, 14 và 10 m.

Tuy rằng các số liệu đo đạc được phân bố rất phân tán do bản chất ngẫu nhiên của sóng, và tuy rằng sự suy giảm sóng tính toán lớn hơn sự suy giảm sóng đo đạc được, nói chung thì mô hình vỡ của sóng ngẫu nhiên đã dự báo tốt dạng biến đổi của độ cao sóng vùng ven bờ.



Hình 7.47 Biến đổi của độ cao sóng cực đại và sóng có nghĩa trong một máng sóng phòng thí nghiệm có độ dốc 1/50 (Goda, 1975).

Các công thức dự báo sự biến đổi của độ cao sóng trình bày trên các hình 7.48 và 7.49 và đã được cho dưới dạng thông số độ dốc sóng nước sâu tương đương. Điều đó là do độ dốc sóng ảnh hưởng mạnh mẽ tới quá trình sóng vỡ. Các sóng có độ dốc lớn bị vỡ trước khi chúng tăng độ sâu một cách đáng kể nhờ quá trình nước nông. Đồng thời, độ dốc đáy là quan trọng đối với sự vỡ của sóng điều hoà và phi điều hoà. Sóng tới các vùng bờ có độ dốc lớn không bị vỡ cho tới khi chúng vào rất gần bờ.



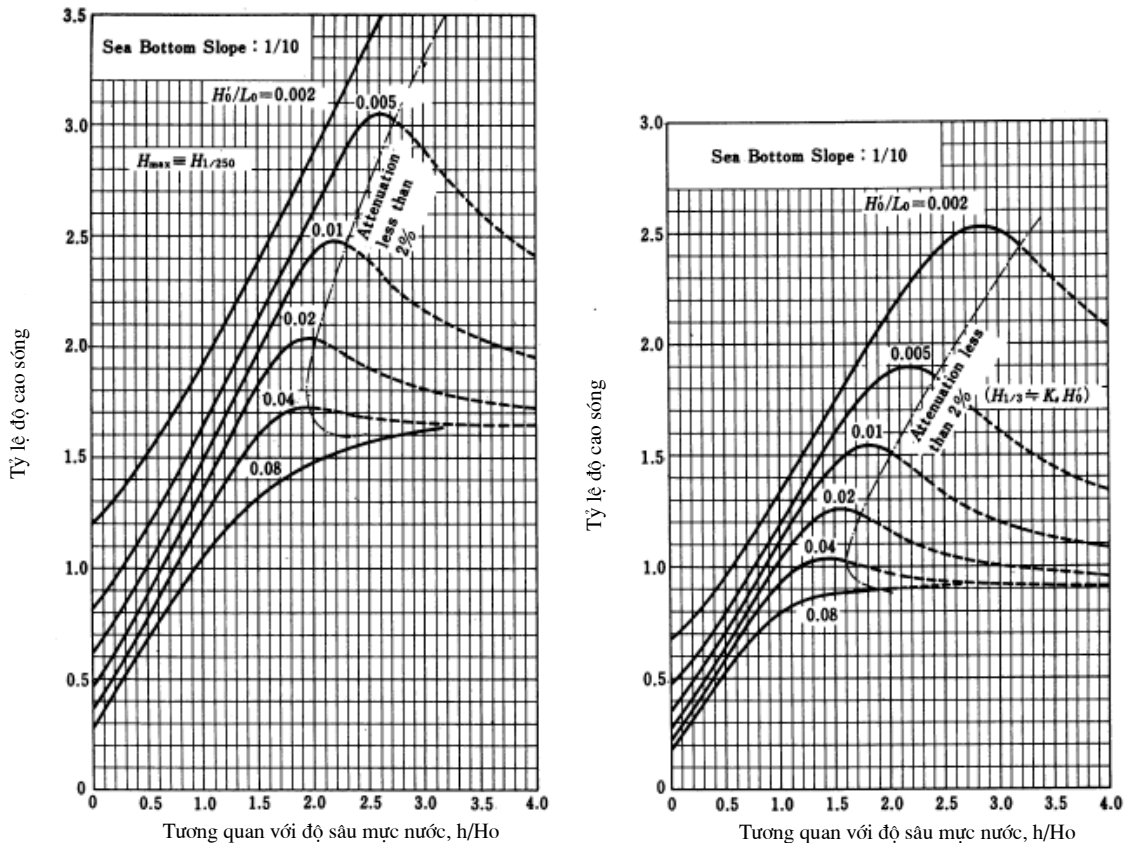
Hình 7.48 Biến đổi của độ cao sóng cực đại và độ cao sóng có nghĩa quan trắc được tại cảng Sakata, Nhật bản (Goda, 1975).

Bằng cách lấy độ cao sóng như là một thông số chính, sự thay đổi trong độ cao sóng lớn nhất và độ cao sóng có nghĩa đã được tính toán bằng mô hình vỡ của sóng ngẫu nhiên trình bày trước đây. Kết quả được chỉ ra trên các hình từ 7.50 tới 7.53 với các độ dốc đáy bằng 1/10, 1/20, 1/30 và 1/100. Độ cao sóng lớn nhất  $H_{\max}$  được lấy là độ cao lớn nhất trong 250 sóng và ký hiệu là  $H_{1/250}$ .

Định nghĩa theo cách này cho thấy  $H_{\max} \cong 1.8H_{1/3}$  bên ngoài vùng sóng vỡ. Đồng thời, mỗi hình có một đường đứt gãy biểu thị “suy giảm ít hơn 2%”. Trong miền về phía bên phải của đường đứt gãy này, sự suy giảm độ cao sóng do sóng vỡ là ít hơn 2% và sự biến đổi độ cao sóng có thể được đánh giá bằng hệ số nước nông phi tuyến (thí dụ như dựa trên lý thuyết Cokelet hay xấp xỉ của Shuto, 1972; hình 7.22).

Một thí dụ về việc sử dụng các giản đồ được trình bày sau đây. Sự biến đổi của độ cao sóng từ ngoài khơi tới ven bờ đã được đánh giá cho sóng lừng với  $H'_0 = 4.5$  m và  $T_{1/3} = 12$  s vào vùng bờ có độ dốc 1/10 hay 1/100. Bằng cách dùng các hình 7.22, 7.49 và 7.52, độ

cao sóng tại các độ sâu khác nhau đã được đánh giá và kết quả được cho trên bảng 7.3. Tuy rằng  $H'_0$  được lấy là hằng số trong thí dụ này, trong thực tế nó biến đổi vì hiện tượng sóng khúc xạ và các hiện tượng khác, và các giá trị của  $H'_0$  và  $H'_0/L_0$  cần được đánh giá tại các độ sâu khác nhau.

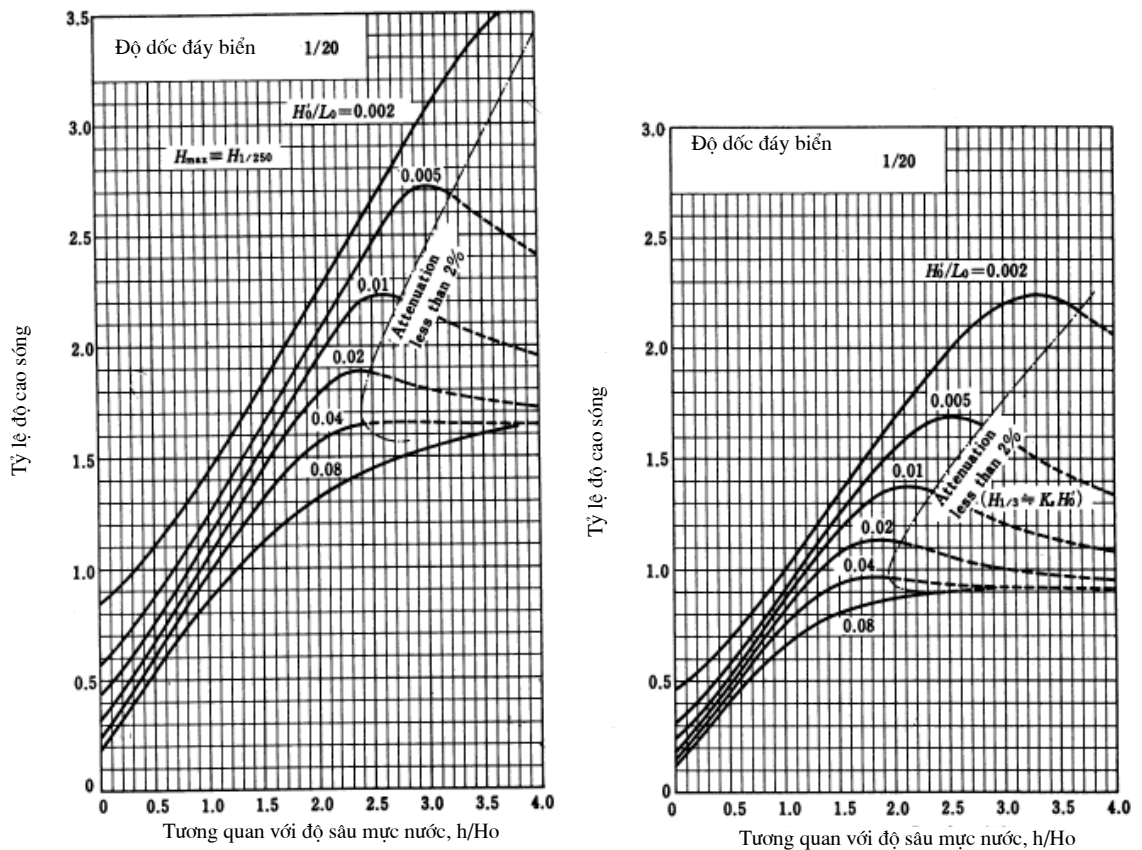


Hình 7.49 Giản đồ để đánh giá độ cao sóng trong miền sóng vỡ (độ dốc đáy biển 1/10) (Goda, 1975)

Theo như hình 7.3, độ cao sóng có nghĩa bắt đầu giảm tại độ sâu giữa 10 và 8 m trên một vùng bờ có độ dốc 1/100, trong khi  $H_{max}$  bắt đầu giảm tại độ sâu giữa 20 và 10 m. Như vậy, với  $H_{max}$ , hiệu ứng của sóng vỡ dường như xuất hiện sớm hơn so với  $H_{1/3}$ . Kết quả là tỷ số  $H_{max}/H_{1/3}$ , có giá trị 1.8 ngoài khơi, giảm xuống còn 1.3 tại một độ sâu trong vùng sóng vỡ và sau đó hồi phục thành một giá trị lớn hơn gần bờ. Bảng 7.3 cũng cho thấy ảnh hưởng của độ dốc đáy là nhận thấy được cho vùng nước nông hơn 10 m.

Đối với sự vỡ của sóng biển ngẫu nhiên, điểm sóng vỡ cũng như độ cao sóng vỡ không được định nghĩa một cách rõ ràng. Tuy rằng có thể định nghĩa một điểm sóng vỡ và độ cao sóng vỡ cho các sóng đơn trong một chuỗi sóng ngẫu nhiên, còn có những điểm không rõ ràng trong việc xác định vị trí mà tại đó các sóng trong nhóm sóng được xem là bị

vỡ. Tuy nhiên, trong ứng dụng thực tế, cần phải có một chỉ số vỡ của nhóm sóng để đánh giá chiều rộng của miền sóng vỡ phục vụ cho tính toán các thông số thiết kế. Đối với những yêu cầu như thế, giá trị đỉnh của độ cao sóng có nghĩa  $(H_{1/3})_{peak}$  trong vùng sóng vỡ và độ sâu  $(h_{1/3})_{peak}$  tại nơi xảy ra có thể được xem là độ cao và độ sâu sóng vỡ. Các hình 7.53 và 7.54 đã được chuẩn bị với mục đích này bằng cách dùng các giá trị trong các giản đồ  $H_{1/3}$  trong các hình 7.50 to 7.53.



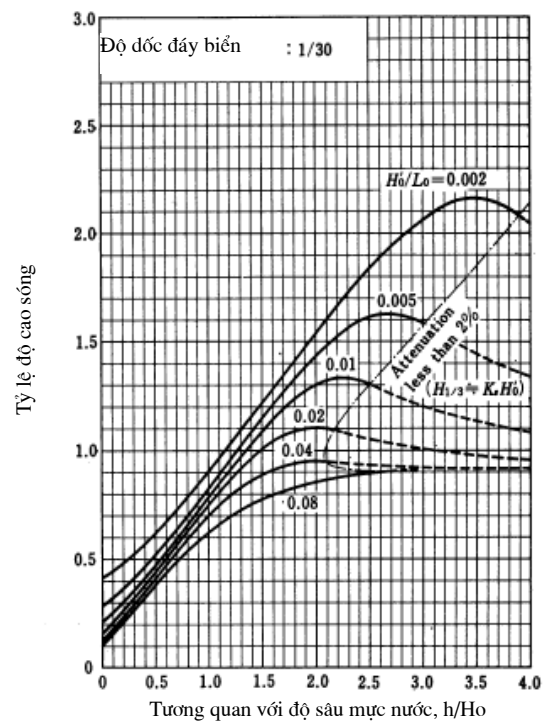
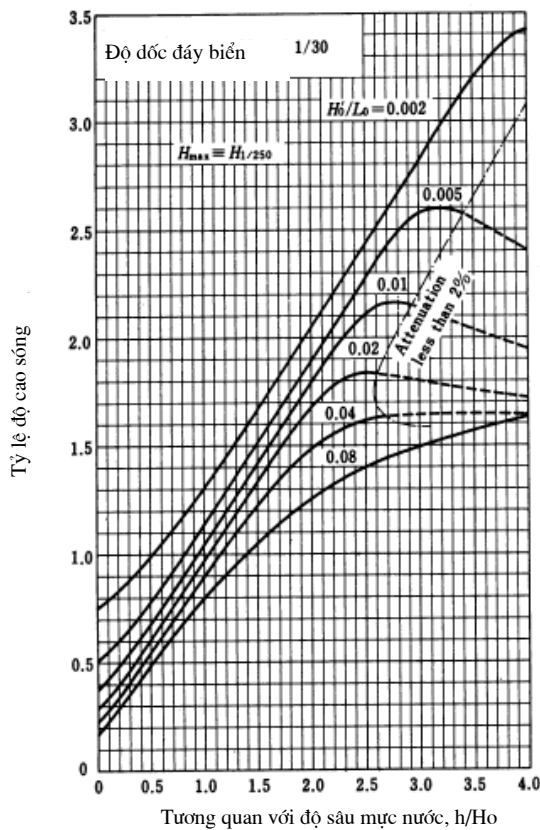
Hình 7.50 Giản đồ để đánh giá độ cao sóng trong vùng sóng vỡ (độ dốc đáy 1/20) (Goda, 1975)

Hình 7.3 Biến đổi của độ cao sóng do hiệu ứng nước nông và sự vỡ của sóng ngẫu nhiên

$$H'_0 = 4.5 \text{ m}, T_{1/3} = 12 \text{ s}$$

Độ sâu $h$ (m)	Độ dốc đáy biển 1/10		Độ dốc đáy biển 1/100	
	$H_{max}$ (m)	$H_{1/3}$ (m)	$H_{max}$ (m)	$H_{1/3}$ (m)
100	7.9	4.4	7.9	4.4
50	7.5	4.1	7.5	4.1

20	7.6	4.2	7.6	4.2
10	8.9	5.0	7.4	4.8
8	9.0	5.6	6.3	4.5
6	7.5	5.5	5.0	3.7
4	5.6	4.3	3.6	2.7
2	3.8	2.7	2.3	1.6
0	2.2	1.3	1.2	0.7

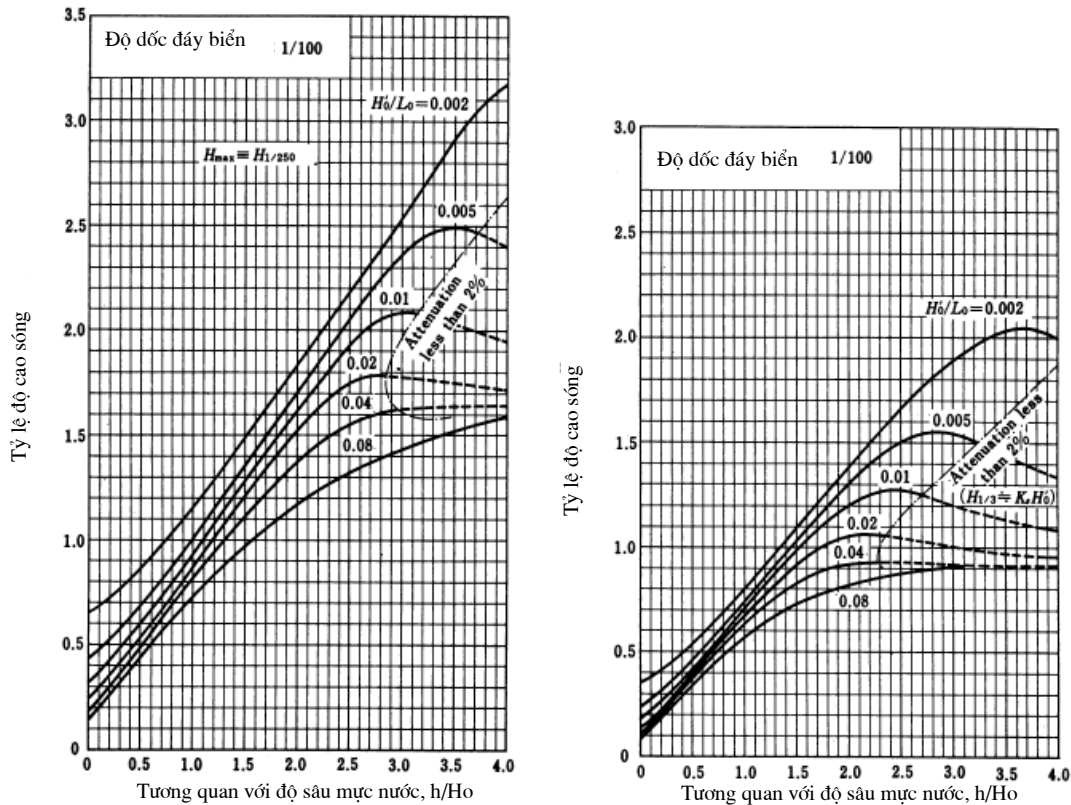


Hình 7.51 Giản đồ để đánh giá độ cao sóng trong vùng sóng vỡ (độ dốc đáy biển 1/30) (Goda, 1975)

Mô hình sóng vỡ được mô tả có nhiều áp dụng trong thực tế kỹ thuật. Một nhược điểm của mô hình này là đáy biển cần có độ dốc không đổi. Với các vùng bờ có độ dốc không đồng nhất, có thể dùng độ dốc địa phương để tính toán. Tuy nhiên, rất khó áp dụng các giản đồ này cho các đáy biển có doi cát và các vùng sâu. Cùng với mô hình hiện tại, một loạt các mô hình khác đang được áp dụng để phân tích số trị sự biến đổi sóng như Battjes và Stive (1985), Dally (1992), Kweon và Goda (1996), Thornton và Guza (1983), và các mô hình khác. Chúng có thể được áp dụng cho các bãi biển có profile phức tạp và có một số doi cát song song với bờ. Chúng thường là chỉ tính độ cao sóng trung bình bình

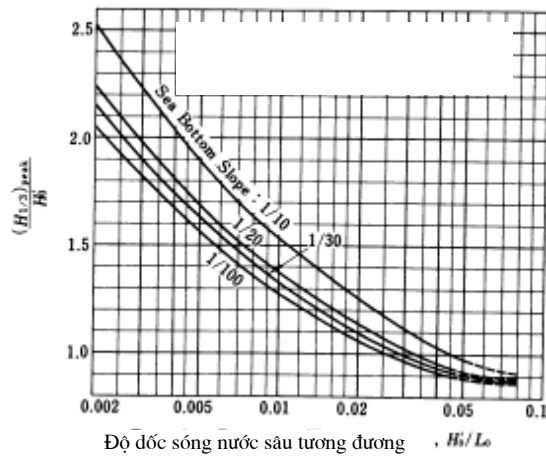


phương  $H_{rms}$ , trong khi đó sự biến dạng của độ cao sóng trong vùng sóng vỡ không được tính, ngoại trừ mô hình của Dally (1992). Trừ mô hình của Kweon và Goda (1996), các mô hình này không tính độ cao sóng cực đại  $H_{max}$ , là một thông số thiết kế quan trọng của các đê thẳng đứng và các công trình khác.

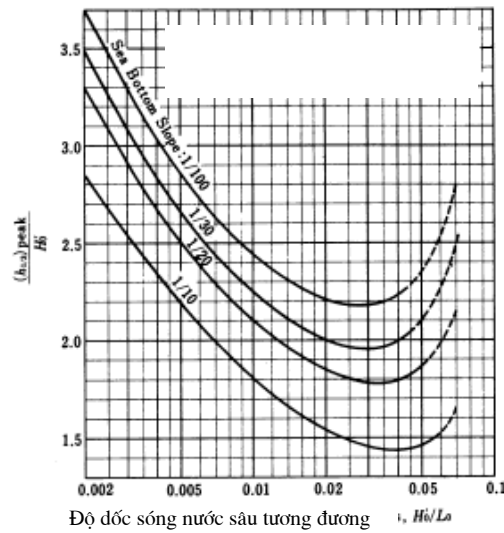


Hình 7.52 Giản đồ để đánh giá độ cao sóng trong vùng sóng vỡ (độ dốc đáy biển 1/100) (Goda, 1975)

Tất cả các mô hình sóng vỡ của các sóng ngẫu nhiên đều có nhược điểm là không tính được hiện tượng sóng đập. Mô hình của Goda (2000) sử dụng một công thức thực nghiệm để tính biên độ sóng đập, như trình bày trong phương trình (7.97), có hiệu chỉnh với độ sâu địa phương kiểm soát độ cao sóng vỡ. Một đánh giá thực tế độ cao sóng tại đường bờ đạt được bằng mô hình bằng cách đưa biên độ của sóng đập vào. Tuy nhiên, phương trình (7.97) vẫn chỉ là một dự đoán kỹ thuật mà không có những hiểu biết thực sự về quá trình vật lý. Rất nhiều mô hình hiện có thậm chí không để ý gì tới hiện tượng sóng đập trong việc đánh giá độ cao sóng ven bờ.



Hình 7.53 Đường cong chỉ định giá trị cực đại của độ cao sóng có nghĩa trong vùng sóng vỡ (Goda, 1975).



Hình 7.54 Đường cong chỉ định giá trị cực đại của độ cao sóng có nghĩa trong vùng sóng vỡ (Goda, 1975).

Hiện tượng sóng đập, hay sóng ngoại trọng lực như nó được gọi gần đây, đang được nghiên cứu rất mạnh trong thời gian gần đây liên quan tới việc neo tàu ở các bến cảng, địa hình đáy biển trong đới sóng leo và các vấn đề khác. Một mô hình tương lai về sóng ngẫu nhiên vỡ cần phải chứa cả sóng đập để tăng độ chính xác tính toán sự biến dạng sóng gần bờ.

## Chương 8 NƯỚC DÂNG VÀ DÒNG VÉN DO SÓNG TẠO RA

### 8.1 Giới thiệu

Chương trước trình bày rất nhiều vấn đề liên quan tới sự biến dạng của sóng trong vùng vén bờ với mục đích là mô tả và tính toán sự biến đổi của các thông số sóng thích hợp. Chương này sẽ trình bày ảnh hưởng của sóng tới sự thay đổi của mực nước và dòng chảy vùng vén bờ.

Khái niệm quan trọng nhất hiện nay trong việc mô hình hoá những sự thay đổi về dòng chảy trung bình do sóng tạo ra là khái niệm ứng suất bức xạ, do Longuet-Higgins và Stewart (1960) đưa ra. Nó có thể được mô tả một cách thô thiển là sự đóng góp của sóng vào sự vận chuyển động năng theo phương nằm ngang.

Vì tốc độ vận chuyển động năng là tương đương với lực, ứng suất tia là tương đương với lực trung bình do sóng tác động lên nước khi sóng lan truyền. Các lực như thế khi tác động vào một khối nước có thể có tổng lực khác 0. Ở giới hạn mà các lực này không cân bằng với lực gradient áp suất (tỷ lệ với độ dốc mặt nước) thì nó sẽ tác dụng như lực gây nên dòng chảy.

Vì rằng chúng ta chỉ chú ý tới những ảnh hưởng do sóng gây ra tới dòng chảy trung bình, biểu thị bằng mực nước trung bình ( $\bar{\zeta}$ ) và các thành phần vận tốc dòng chảy trung bình theo phương thẳng đứng ( $U, V$ ), chúng ta chỉ cần xem xét giá trị trung bình theo thời gian và tích phân theo phương thẳng đứng của tốc độ vận chuyển theo phương nằm ngang của động năng. Sự đóng góp của sóng vào quá trình này được định nghĩa là ứng suất tia.

Dựa trên định nghĩa ở trên, có thể tính giá trị của các thành phần ứng suất tia cho bất kỳ một trường sóng cho trước nào. Điều đó được làm trong phần sau có sử dụng lý thuyết tuyến tính của sóng trọng lực tại vùng nước có độ sâu không đổi. Các thảo luận trước hết sẽ chỉ giới hạn trong trường hợp sự lan truyền của sóng một chiều, sau đó sẽ được tổng quát hoá cho sóng hai chiều theo phương nằm ngang.

### 8.2 Ứng suất bức xạ: trường hợp 1 chiều

Chúng ta hãy xem xét trường hợp một sóng hình sin truyền theo hướng trục  $x$ , và một cách chi tiết hơn là sự vận chuyển động năng theo hướng trục  $x$  qua một bề mặt thẳng đứng vuông góc với trục  $x$ . Quá trình vận chuyển này có thể được thực hiện nhờ áp suất của chất

lỏng ( $p$ ) cũng như thông qua quá trình bình lưu (cũng giống như vận chuyển năng lượng). Tốc độ vận chuyển động năng theo phương trục  $x$  qua một diện tích vô cùng bé  $\delta y \delta z$  tại một vị trí  $x$  cho trước do áp suất chất lỏng gây ra là  $p \delta y \delta z$ , và do đối lưu là tích của thành phần động năng theo phương trục  $x$  chứa trong một đơn vị thể tích ( $\rho u$ ) và tốc độ chảy thể tích ( $u \delta y \delta z$ ). Như vậy, tốc độ vận chuyển động năng tổng cộng trở thành  $(p + \rho u^2) \delta y \delta z$ . Tích phân đại lượng này từ đáy tới mặt, ta có

$$\int_{-h}^{\zeta} (p + \rho u^2) dz \delta y$$

Đây là tốc độ vận chuyển tổng cộng tức thời của thành phần động năng theo phương trục  $x$  qua một diện tích có chiều rộng  $\delta y$ , chiều cao từ mặt tới đáy biển và vuông góc với trục  $x$ . Nó bằng thành phần theo trục  $x$  của một lực tác động lên bề mặt đó. Đơn vị của nó trong hệ đơn vị SI là  $\text{kgms}^{-2}$  hay N (Newton). Vì rằng ứng suất bức xạ là lực, nói chung nó có các thành phần theo hướng các trục. Trong trường hợp xem xét ở trên, thành phần theo phương trục  $x$  của ứng suất bức xạ, ký hiệu là  $S_{xx}$ , được định nghĩa như sau:

$$S_{xx} = \overline{\int_{-h}^{\zeta} (p + \rho u^2) dz} - \int_{-h}^0 p_0 dz \quad (8.1)$$

trong đó  $p_0$  là áp suất thủy tĩnh, có giá trị như sau:

$$\int_{-h}^0 p_0 dz = \int_{-h}^0 \rho g z = \frac{1}{2} \rho g h^2 \quad (8.2)$$

Trong ký hiệu của  $S_{xx}$ , chỉ số thứ nhất ( $x$ ) ký hiệu hướng vận chuyển động năng (qua một mặt vuông góc với trục  $x$ ) và chỉ số thứ hai ký hiệu thành phần của động năng được vận chuyển ( $x$ ).

Về mặt nguyên tắc, giá trị của  $S_{xx}$  định nghĩa theo (8.1) có thể được tính toán dựa theo bất cứ một lý thuyết sóng nào. Với các sóng trọng lực bề mặt tiến, có thể xác định được phần đóng góp vào  $S_{xx}$  của áp suất và của thành phần vận tốc theo phương nằm ngang với độ chính xác bậc 2 như sau:

$$\overline{\int_{-h}^{\zeta} p dz} - \frac{1}{2} \rho g h^2 = (n-1)E \quad (8.3)$$

và:

$$\overline{\int_{-h}^{\zeta} \rho u^2 dz} = nE \quad (8.4)$$

vậy:

$$S_{xx} = (2n - 1)E \quad (8.5)$$

Chú ý rằng cho dù  $S_{xx}$  tỷ lệ với mật độ năng lượng  $E$ , không nên nghĩ rằng  $S_{xx}$  biểu thị năng lượng sóng trên một đơn vị diện tích. Ý nghĩa vật lý của  $S_{xx}$  là tốc độ vận chuyển động năng qua một đơn vị chiều dài, hay là lực tác động lên một đơn vị chiều dài (trong hệ SI, đơn vị của nó là N/m).

### 8.3 Nước dâng do sóng: trường hợp 1 chiều

Phần này sẽ xem xét sự thay đổi của mực nước gây ra do sóng tiến vào bờ theo hướng vuông góc và chỉ chịu ảnh hưởng thuần túy của hiệu ứng nước nông. Các định nghĩa cơ bản được trình bày trên hình 8.1.

Sự thay đổi của mực nước trung bình do sóng gây ra trên mực chuẩn ( $z = 0$  trong điều kiện nước tĩnh SWL) được ký hiệu là  $\bar{\zeta}$ . Nói chung nó thay đổi theo  $x$ . Độ sâu trung bình địa phương ( $h$ ) là tổng của  $\bar{\zeta}$  và độ sâu đáy ( $h_b$ ) đối với mực chuẩn:

$$h = h_b + \bar{\zeta} \quad (8.6)$$

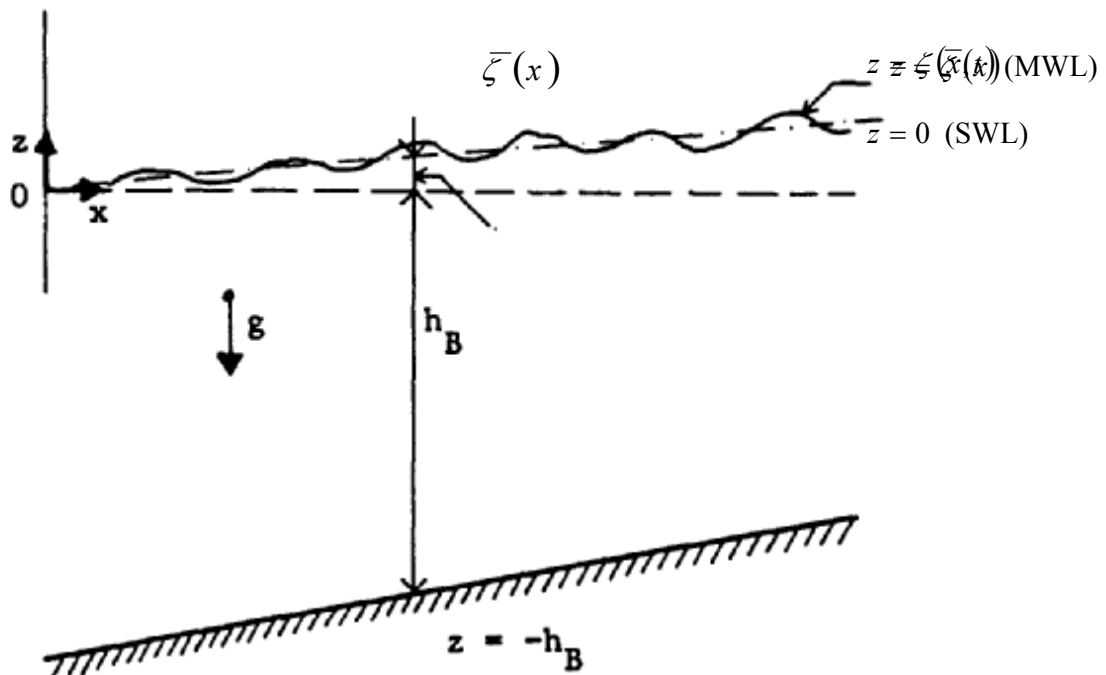
Khi xác định giá trị của  $S_{xx}$  trong hệ tọa độ này, cần phải chú ý rằng  $\zeta$  hiện tại khác 0 tại mọi vị trí. Vì vậy:

$$S_{xx} = \overline{\int_{-h_b}^{\zeta} (p + \rho u^2) dz} - \int_{-h_b}^{\bar{\zeta}} p_0 dz \quad (8.7)$$

Trong đó đóng góp của áp suất thủy tĩnh được xác định như sau

$$\int_{-h_b}^{\bar{\zeta}} p_0 dz = \int_{-h_b}^{\bar{\zeta}} \rho g (\bar{\zeta} - z) dz = \frac{1}{2} \rho g (\bar{\zeta} + h_b)^2 = \frac{1}{2} \rho g h^2 \quad (8.8)$$

Cũng không cần phải nhắc lại rằng giá trị của  $S_{xx}$  vẫn được cho bởi (8.5) vì rằng các đại lượng trong công thức đó không phụ thuộc vào hệ tọa độ.

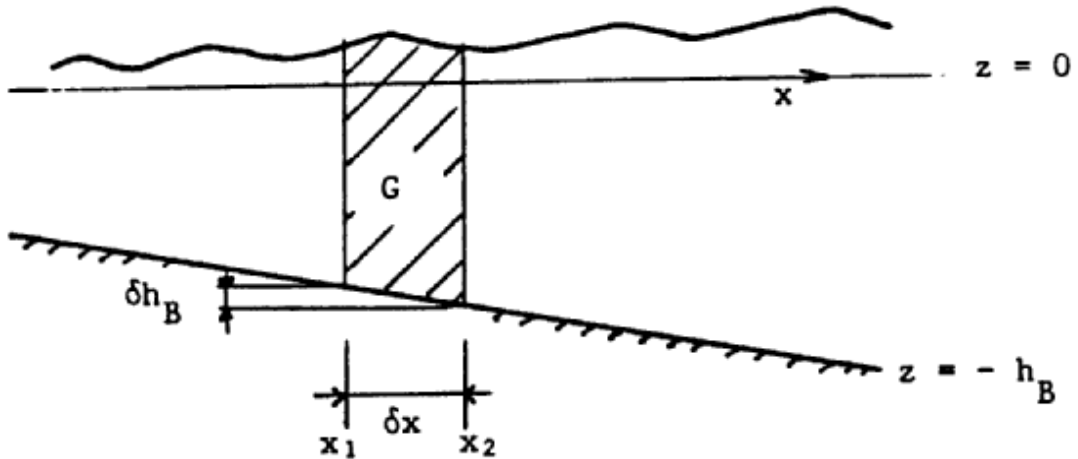


Hình 8.1 Hệ tọa độ và các ký hiệu

Để tính  $\bar{\zeta}$  như là một hàm của  $x$ , chúng ta hãy xem giá trị trung bình thời gian của cân bằng động năng theo phương  $x$  trong một thể tích kiểm tra  $G$  có một mặt cắt thiết diện hình chữ nhật với các cạnh có chiều dài vô cùng bé ( $\delta x \delta y$ ) và có chiều cao từ đáy tới mặt nước như trên hình 8.2.

Trong trường hợp thuận tuý chỉ có hiệu ứng nước nông của một sóng điều hoà lan truyền vào bờ trên một đáy không thấm, giá trị trung bình thời gian của thành phần vận tốc theo hướng vào bờ, được lấy trung bình theo phương thẳng đứng, nhất định phải bằng 0. Vì lý do này, có thể bỏ qua giá trị trung bình thời gian của ứng suất cắt tác động lên đáy. Vì vậy giá trị trung bình thời gian của cân bằng động lượng theo phương trục  $x$  trở thành:

$$\int_{-h_B}^{\zeta} (p + \rho u^2) dz \Big|_{x=x_1} + \bar{p}_b \delta h_B = \int_{-h_B}^{\zeta} (p + \rho u^2) dz \Big|_{x=x_2} \quad (8.9)$$



Hình 8.2 Thể tích kiểm tra

Thế (8.7), (8.8) và  $\delta h_B = (dh_B / dx)\delta x$  vào phương trình trên, ta có:

$$\frac{1}{2}\rho gh_1^2 + S_{xx1} + \bar{p}_B \frac{dh_B}{dx} \delta x = \frac{1}{2}\rho gh_2^2 + S_{xx2} \quad (8.10)$$

Ký hiệu sự thay đổi  $S_{xx2} - S_{xx1}$  bằng  $\delta S_{xx}$ . Cũng làm tương tự như thế với

$(1/2)\rho gh^2$ , (8.10) có thể được viết như sau:

$$\delta S_{xx} + \delta\left(\frac{1}{2}\rho gh^2\right) - \bar{p}_B \frac{dh_B}{dx} \delta x = 0 \quad (8.11)$$

Chia (8.11) cho  $\delta x$  và lấy giới hạn khi  $\delta x \rightarrow 0$ , và thế  $\bar{p}_B = \rho gh$  và  $h = h_B + \bar{\zeta}$  cho:

$$\frac{dS_{xx}}{dx} + \rho gh \frac{d\bar{\zeta}}{dx} = 0 \quad (8.12)$$

Biểu thức này cho ta thấy một cách rõ ràng mối cân bằng giữa gradient của  $S_{xx}$  và gradient của áp suất trung bình tích phân theo phương thẳng đứng.

Trong miền bên ngoài đối sóng nhào, có thể bỏ qua sự tiêu tán năng lượng sóng. Trong trường hợp này, cân bằng năng lượng trở thành  $Enc = \text{constant} = E_0 n_0 c_0$ . Nhờ đó mà có thể tính được sự biến đổi của  $E$  theo  $x$  và có thể tích phân được (8.12). Dùng điều kiện ban đầu  $\bar{\zeta} = 0$  tại nước sâu, kết quả là:

$$\bar{\zeta} = -\frac{1}{8} \frac{kH^2}{\sinh 2kh} \quad (8.13)$$

Trong đó  $H$  là độ cao sóng địa phương có tính đến yếu tố nước nông  $K_s$  xác định theo lý thuyết tuyến tính ( $H = K_s H_0$ ). Phương trình này cho ta sự hạ của mực nước khi vào gần bờ ("nước hạ"). Giá trị tính theo công thức (8.13) phù hợp rất tốt với các số liệu đo đạc, trừ gần điểm sóng vỡ.

Tại nước rất nông, (8.13) có thể được xấp xỉ bởi:

$$\bar{\zeta} = -\frac{1}{16} \frac{H^2}{h} \quad \text{cho} \quad kh \ll 1 \quad (8.14)$$

Tại điểm sóng vỡ mà ở đó  $H = H_B = \gamma h_B$ , (8.14) cho  $\bar{\zeta} = -\frac{1}{16} \gamma H_B = -\frac{1}{16} \gamma^2 h_B$ .

Với  $\gamma \cong 0.8$ , điều này tương ứng với  $\bar{\zeta} \cong -\frac{1}{20} H_B = -\frac{1}{25} h_B$ . Giá trị quan trắc của nước hạ tại điểm sóng vỡ nhỏ hơn giá trị này. Điều này là do những khiếm khuyết của lý thuyết sóng tuyến tính áp dụng cho các sóng gần vỡ.

Có thể tìm được một xấp xỉ đầu tiên của sự biến đổi của  $E$  và  $S_{xx}$  trong đới sóng vỡ bằng cách giả thiết rằng tỷ số  $H/h$  với các sóng vỡ là không đổi:

$$H(x) = \gamma h(x) \quad (8.15)$$

Kết hợp với xấp xỉ nước nông của (8.5), ta có:

$$S_{xx} = (2n-1)E = \frac{3}{2} \left( \frac{1}{8} \rho g H^2 \right) = \frac{3}{16} \gamma^2 \rho g h^2 \quad (8.16)$$

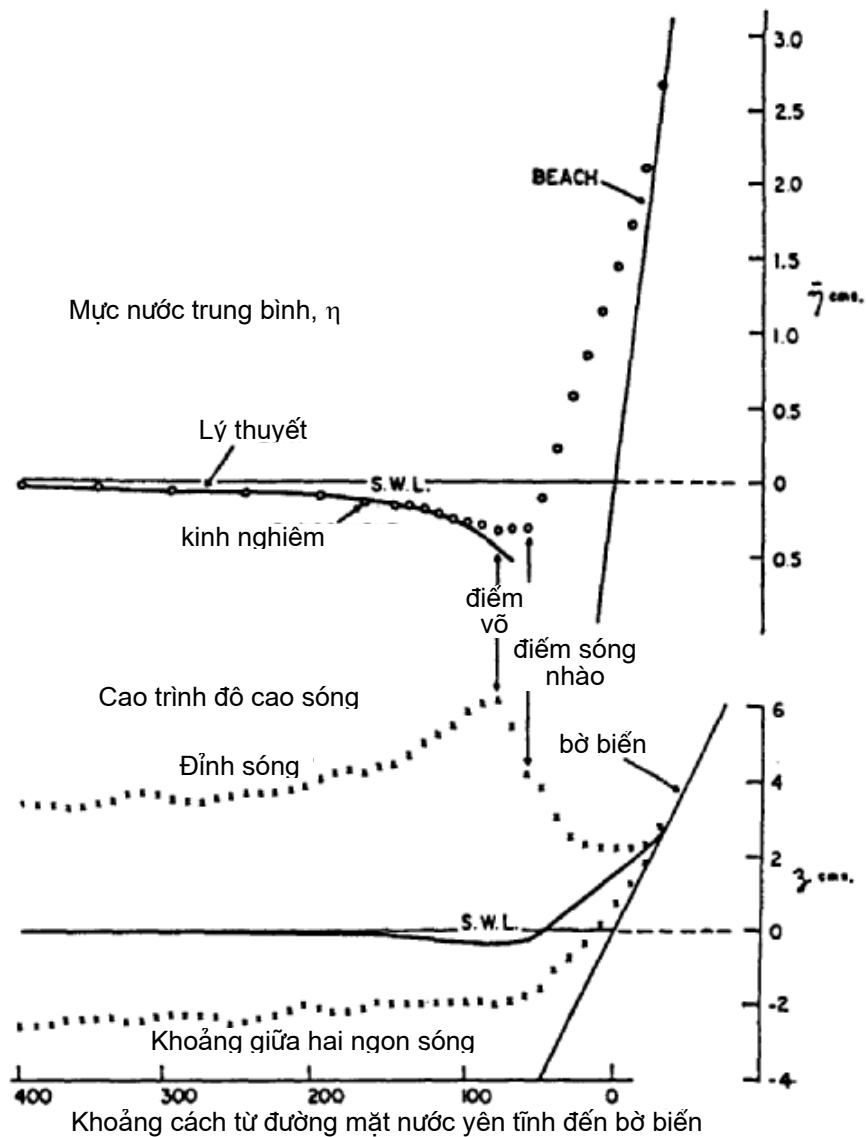
Thế biểu thức này vào (8.12) cho:

$$\frac{d\bar{\zeta}}{dx} = -\frac{3}{8} \gamma^2 \frac{dh}{dx} \quad (8.17)$$

Hay là biểu thị qua độ dốc đáy:

$$\frac{d\bar{\zeta}}{dx} = -\frac{\frac{3}{8} \gamma^2 \frac{dh_B}{dx}}{1 + \frac{3}{8} \gamma^2} \quad (8.18)$$





Hình 8.3 Các giá trị của  $\bar{\zeta}$  đo đạc trong phòng thí nghiệm (các số liệu với các ký hiệu là các vòng tròn rỗng) trên một mặt dốc 1:12;  $T = 1.14$  s;  $H = 6.45$  cm;  $H_b = 8.55$  cm. Đường cong lý thuyết tính theo công thức 8.13. (Đường liền với ký hiệu “bãi biển” biểu thị một bề mặt có độ dốc 1:12, nguồn số liệu: Bowen và cộng sự (1968).

Công thức trên cho giá trị dâng của mực nước trung bình khi gần tới bờ (là kết quả của sự suy giảm của  $S_{xx}$  khi mà sóng tiêu tán năng lượng). Lượng tăng tổng cộng của mực nước trong đới sóng vỡ tính theo công thức (8.17) là  $\frac{3}{8}\gamma^2 h_b$ . Độ cao này vượt xa giá trị nước hạ tại điểm sóng vỡ.

## 8.4 Ứng suất bức xạ: trường hợp hai chiều

Mục trước giải quyết vấn đề về ứng suất bức xạ của sóng trong trường hợp sóng một chiều. Trong mục này, vấn đề về ứng suất bức xạ do sóng điều hoà lan truyền trong một mặt nằm ngang sẽ được tính đến. Kiến thức thu được sẽ giúp cho việc tiếp cận vấn đề về ứng suất bức xạ trong trường hợp sóng lan truyền trên một bề mặt hai chiều theo phương nằm ngang có địa hình đáy biển đổi chậm được dễ dàng hơn.

Một hệ toạ độ Đề các hai chiều sẽ được dùng ở đây. Trong hệ toạ độ này, vận tốc quỹ đạo của hạt nước theo các hướng  $x$  và  $y$  sẽ được ký hiệu là  $u$  and  $v$ ; hướng truyền sóng tính từ hướng trục  $x$  được ký hiệu là  $\theta$ .

Hãy xem xét một mặt phẳng có chiều rộng đơn vị vuông góc với trục  $x$  tại  $x$  như cho thấy trên hình 8.2. Các hạt nước khi đi qua mặt này với vận tốc theo hướng vuông góc  $u$  giờ đây không chỉ vận chuyển động năng theo hướng trục  $x$  (có giá trị  $\rho u$  trên một đơn vị thể tích) với vận tốc  $u(\rho u) = \rho u^2$  qua một đơn vị diện tích mặt phẳng mà còn vận chuyển động năng theo hướng trục  $y$  (có giá trị  $\rho v$  trên một đơn vị thể tích) với vận tốc  $u(\rho v) = \rho uv$  qua một đơn vị diện tích mặt phẳng. Quá trình này không chỉ tạo ra thành phần  $xx$  của ứng suất bức xạ định nghĩa trong các phương trình 8.7 và 8.8 (như trước đây) mà còn tạo ra thành phần  $xy$  của ứng suất bức xạ, định nghĩa như sau:

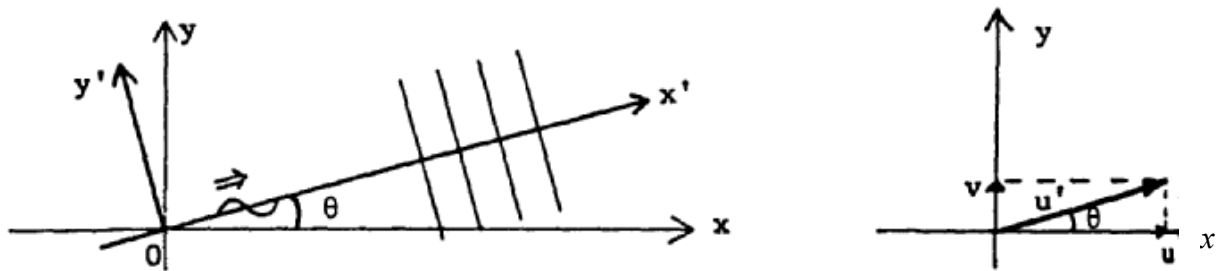
$$S_{xy} = \overline{\int_{-h_b}^{\zeta} u(\rho v) dz} \quad (8.19)$$

Tương tự, việc xem xét sự vận chuyển của các thành phần động năng theo hướng các trục  $x$  và  $y$  qua một mặt phẳng có chiều rộng đơn vị vuông góc với trục  $y$  tại  $y$  cho các thành phần  $yx$  và  $yy$  của ứng suất bức xạ, định nghĩa như sau:

$$S_{yx} = \overline{\int_{-h_b}^{\zeta} v(\rho u) dz} \quad (8.20)$$

và:

$$S_{yy} = \overline{\int_{-h_b}^{\zeta} (p + \rho v^2) dz} - \frac{1}{2} \rho gh^2 \quad (8.21)$$



Hình 8.4 Định nghĩa ứng suất bức xạ của một sóng hình sin

Cần phải nhận thấy rằng ứng suất bức xạ biểu thị sự vận chuyển động năng qua một bề mặt, vì thế nó là lực mật. Chỉ số đầu tiên trong ký hiệu của ứng suất bức xạ trong các phương trình từ (8.19) tới (8.21) biểu thị trục mà bề mặt được xem xét vuông góc với và chỉ số thứ hai chỉ hướng chiếu của thành phần ứng suất. Rõ ràng là  $S_{xx}$  và  $S_{yy}$  tương ứng biểu thị lực tác dụng vuông góc với các bề mặt vuông góc với các trục  $x$  và  $y$  trong khi  $S_{xy}$  và  $S_{yx}$  lần lượt biểu thị các lực tác dụng theo các phương tiếp tuyến với bề mặt.

Căn cứ vào các định nghĩa như trong các phương trình (8.1), (8.19) tới (8.21), có thể dễ dàng thấy rằng tensor ứng suất bức xạ là một tensor đối xứng, và vì vậy  $S_{xy} = S_{yx}$ .

Bây giờ hãy xem xét một sóng hình sin lan truyền theo hướng  $Ox'$  tạo một góc  $\theta$  với trục  $x$ , như chỉ ra trên hình 8.4.

Hãy xem xét tốc độ vận chuyển động năng do bình lưu trong chuyển động sóng qua một bề mặt vuông góc với hướng  $x'$ . Khi đó, thành phần của ứng suất bức xạ  $S_{x'x'}$  biểu thị sự vận chuyển của thành phần động năng theo phương  $x'$  qua một bề mặt vuông góc với  $x'$ . Cần phải nhận thấy rằng ứng suất này không chứa áp suất sóng, được xem là đẳng hướng. Hình chiếu của ứng suất này trên trục  $x$  là thành phần theo trục  $x$  của động năng được vận chuyển bằng bình lưu qua một mặt phẳng có chiều rộng đơn vị vuông góc với trục  $x'$  và bằng  $S_{x'x'} \cos \theta$ . Vì vậy, thông lượng động năng bình lưu qua một mặt phẳng có chiều rộng đơn vị vuông góc với trục  $x$  là  $S_{x'x'} \cos \theta \cos \theta = S_{x'x'} \cos^2 \theta$ . Kết quả là nếu như kể tới cả áp suất sóng thì các thành phần của ứng suất bức xạ theo các hướng  $x$  và  $y$  là:

$$S_{xx} = \left( n \cos^2 \theta + n - \frac{1}{2} \right) E \quad (8.22)$$

Một cách tương tự:

$$S_{xy} = S_{yx} = (n \cos \theta \sin \theta) E \quad (8.23)$$

$$S_{yy} = \left( n \sin^2 \theta + n - \frac{1}{2} \right) E \quad (8.24)$$

Các biểu thức này với ứng suất bức xạ sẽ được dùng để tính dòng do sóng gây ra cũng như thay đổi của mực nước trung bình trong trường hợp có địa hình đáy cho trước. Trong mục sau, ta sẽ xem xét một trường hợp mà về mặt nguyên tắc là hai chiều, nhưng trong thực tế có thể bỏ qua mối liên hệ vào một tọa độ.

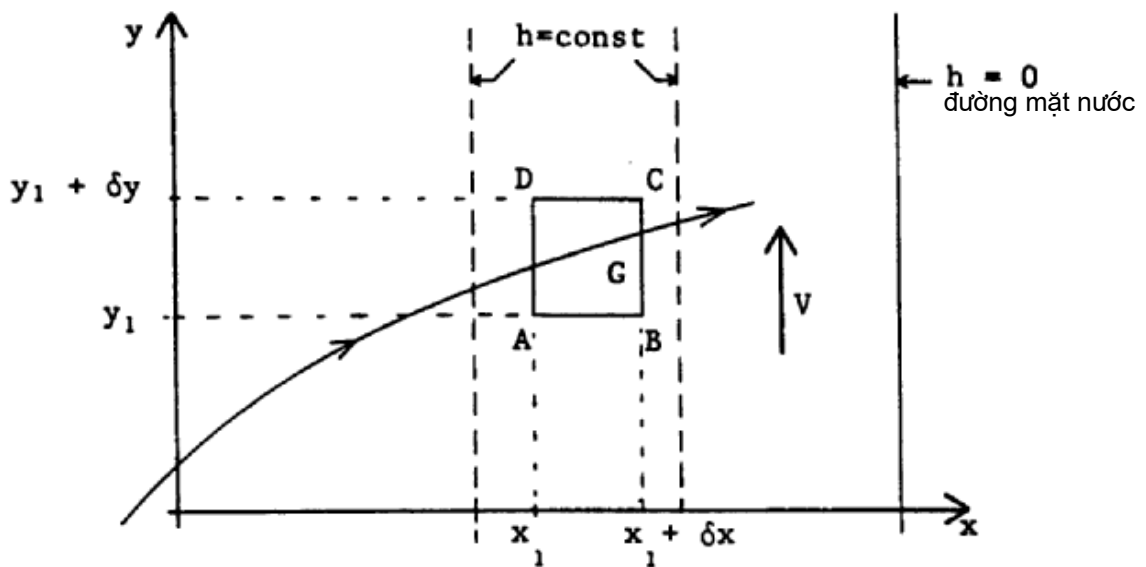
### 8.5 Dòng ven do sóng tạo ra

Từ các quan trắc người ta đã biết rằng các sóng tới bờ theo một góc xiên sẽ tạo ra một dòng trung bình dọc theo bờ. Trong mục này, ta sẽ xem xét lực mà trường sóng tạo ra để tạo ra dòng chảy đó. Quá trình xem xét sẽ giới hạn cho trường hợp đáy có những đường đẳng sâu thẳng, song song. Ta cũng sẽ giả thiết là các quá trình động lực không thay đổi dọc theo các đường đẳng sâu (đồng nhất dọc theo bờ).

Chúng ta chọn trục  $x$  vuông góc với bờ và trục  $y$  song song với nó, như chỉ ra trên hình 8.5.

Các thành phần vận tốc dòng chảy trung bình theo thời gian và độ sâu theo các hướng  $(x,y)$  sẽ được ký hiệu là  $(U,V)$ . Thành phần vuông góc với bờ ( $U$ ) là bằng 0 vì giả thiết đồng nhất dọc theo bờ và giả thiết đáy không thấm. Ta hãy xem xét sự biến đổi của thành phần vận tốc song song với bờ ( $V$ ) theo khoảng cách từ bờ.

Để tính lực mà sóng tạo ra trên một đơn vị bề mặt, ký hiệu là  $R_y$ , ta hãy xem xét cân bằng của lượng động năng vận tải vào ra một thể tích kiểm tra  $G$  như chỉ trên hình 8.5.



Hình 8.5 Dòng chảy do sóng tạo ra trên một bãi biển đồng nhất.

Lượng động năng do sóng tạo ra theo phương trục  $y$  đi vào  $G$  qua cạnh  $AB$  (vuông góc với trục  $y$ ) là  $S_{yy1}\delta x$ , trong đó chỉ số 1 có nghĩa là  $y = y_1$ . Lượng động năng đi ra khỏi  $G$  qua  $CD$ , sẽ được ký hiệu là  $S_{yy2}$ . Do giả thiết đồng nhất theo hướng đường bờ,  $S_{yy1} = S_{yy2}$ , và đóng góp qua các cạnh  $AB$  và  $CD$  khử lẫn nhau.

Lượng động năng do sóng tạo ra theo phương trục  $y$  đi vào  $G$  qua cạnh  $AD$  (vuông góc với trục  $x$ ) là  $S_{xy1}\delta y$ , với chỉ số 1 có nghĩa là  $x = x_1$ . Lượng động năng đi ra qua  $BC$  là  $S_{xy2}\delta y$ . Lượng động năng dư được đưa vào trong  $G$  (tức là lực do sóng tạo ra theo phương trục  $y$  tác động lên nước ở trong  $G$ ) do đó bằng với  $(S_{xy1} - S_{xy2})\delta y$ . Giá trị này có thể được xấp xỉ là  $-(\partial S_{xy} / \partial x)\delta x \delta y$ , và do vậy lực do sóng tạo ra trên một đơn vị diện tích ( $R_y$ ) là:

$$R_y = -\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} = -\frac{\partial}{\partial x}(En \cos \theta \sin \theta) \quad (8.25)$$

Để đánh giá độ lớn của lực này phụ thuộc vào khoảng cách từ bờ, ta sử dụng khái niệm cân bằng năng lượng sóng có tính đến hiệu ứng nước nông, khúc xạ và tiêu tán. Cân bằng năng lượng trong trường hợp được xem xét cho ta:

$$\frac{\partial P_x}{\partial x} + D = 0 \quad (8.26)$$

trong đó  $P_x$  là thành phần vận chuyển vào bờ của thông lượng năng lượng, và  $D$  là tốc độ tiêu tán năng lượng trên một đơn vị diện tích. Giá trị của  $P_x$  được cho bởi:

$$P_x = P \cos \theta = Enc \cos \theta \quad (8.27)$$

trong đó  $\theta$  được xác định theo định luật Snell về khúc xạ như sau:

$$\frac{\sin \theta}{c} = \text{constant} \quad (8.28)$$

Thế (8.27) và (8.28) vào (8.25) cho ta:

$$R_y = -\frac{\sin \theta}{c} \frac{\partial P_x}{\partial x} \quad (8.29)$$

Biểu thức này theo (8.26) có thể được viết là

$$R_y = \frac{\sin \theta}{c} D \quad (8.30)$$

Vì vậy có thể thấy rằng lực tạo dòng chảy do sóng tỷ lệ với vận tốc tiêu tán năng lượng. Điều này giải thích tại sao dòng chảy sóng chỉ tập trung trong đới sóng nhào.

Bỏ qua sự tiêu tán năng lượng bên ngoài đới sóng nhào cho ta:

$$R_y = 0 \quad \text{ngoài đới sóng nhào} \quad (8.31)$$

Để có thể tìm được một biểu thức hiện cho  $R_y$  bên trong đới sóng nhào phụ thuộc vào các thông số sóng và bãi, cần phải xác định rõ ràng tốc độ tiêu tán năng lượng do sóng vỡ. Một phương pháp giống như trong mục 8.3 được dùng để đánh giá bậc đại lượng. Dùng (8.15) thế vào (8.27) và (8.29) cũng như xấp xỉ nước nông  $n \cong 1$ ,  $c \cong (gh)^{1/2}$  và  $\cos \theta \cong 1$  cho ta:

$$R_y = -\frac{5}{16} \gamma^2 \frac{\sin \theta_0}{c_0} \rho gh (gh)^{1/2} \frac{dh}{dx} \quad (8.32)$$

trong đới sóng vỡ.

Trong trường hợp được xem xét ở đây, gia tốc của dòng chảy theo hướng dọc bờ bằng

0 (vận tốc dòng chảy ổn định và đồng nhất) và do vậy có sự cân bằng giữa lực gây dòng chảy và lực cản. Lực ứng suất cắt tại đáy là lực cản quan trọng nhất. Ký hiệu thành phần theo phương trục  $y$  của ứng suất cắt tác dụng lên nước tại đáy  $\bar{\tau}_y$ . Bỏ qua ứng suất cắt theo phương  $x$ , cân bằng trung bình của thành phần động năng  $y$  trở thành:

$$R_y = \bar{\tau}_y \quad (8.33)$$

Để tính vận tốc dòng chảy  $V$  theo hướng dọc bờ từ công thức này, cần biết mối liên hệ của  $\bar{\tau}_y$  và  $V$  (và các tham số khác). Có thể tìm được một mô hình đơn giản bằng cách giả thiết một lực cản tương tự trong dòng chảy ổn định khi không có sóng:

$$\bar{\tau}_y = \lambda \rho V^2 \quad (8.34)$$

Trong dòng chảy đều và ổn định, nhân tố cản  $\lambda$  phụ thuộc vào số Reynolds và độ gồ gề tương đối, cả hai đại lượng này phụ thuộc vào độ sâu. Trong trường hợp đang xem xét,  $\lambda$  bị ảnh hưởng bởi sóng. Một mô hình trước đây có tính đến ảnh hưởng này là mô hình Bijker (1967).

Longuet-Higgins (1970) cho một công thức hiện với giả thiết là  $\sin \theta \ll 1$  (trong đới sóng vỡ) và  $V \ll \hat{u}_b$ , trong đó  $\hat{u}_b$  là biên độ của dao động sóng gần đáy ( $\hat{u}_b = u_{z=-h} = \omega a / \sinh kh$ ). Kết quả của ông cho:

$$\bar{\tau}_y = \frac{2}{\pi} C_r \rho \hat{u}_b V \quad (8.35)$$

trong đó  $C_r$  là nhân tố lực cản không thứ nguyên, được đưa vào trong (7.2). Kết hợp (8.32), (8.33) và (8.35), và thế xấp xỉ nước nông của  $\hat{u}_b$  vào (8.35), ta có:

$$V = -\frac{5\pi}{16} \gamma C_r^{-1} \frac{\sin \theta_0}{c_0} gh \frac{dh}{dx} \quad (8.36)$$

cho dòng chảy trong đới sóng vỡ. Ngoài đới sóng vỡ,  $V = 0$ .

Dường như ở trong phép xấp xỉ ở trên thì  $V$  biến đổi đột ngột từ một giá trị 0 ngoài đới sóng vỡ thành một giá trị khác 0 ngay trong đới sóng vỡ và sau đó giảm dần tới 0 tại đường bờ. Sự biến đổi đột ngột này là không thực tế, do hai phép đơn giản hoá trong mô hình:

(a) Giả thiết thay đổi đột ngột của tốc độ tiêu tán năng lượng tại đường sóng vỡ.

(b) Bỏ qua trao đổi động năng theo hướng dọc bờ (do ứng suất rối ngang trên một mặt đứng).

Giả thiết (a) là phổ biến cho các sóng chu kỳ. Mô hình sử dụng giả thiết này có thể cho một profile dòng chảy liên tục và mềm mại chỉ trong trường hợp có tính đến ứng suất cắt rối ngang (Bowen, 1969; Longuet-Higgins, 1970). Phần lớn những nghiên cứu này sử dụng một số giả thiết cho trước không cho mối liên hệ giữa rối và sóng vỡ. Battjes (1975) đã xây dựng một lý thuyết trong đó cường độ rối liên hệ với tốc độ tiêu tán năng lượng địa phương do sóng vỡ. Lý thuyết này được Visser (1984) áp dụng để tính profile vận tốc dòng ven.

### 8.6 Nước dâng sóng gây ra do sóng vỡ

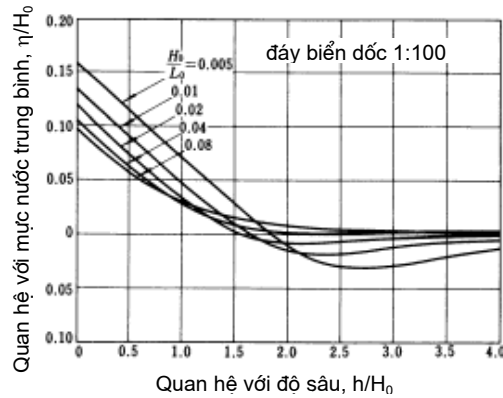
Có thể tính nước dâng sóng tại đường bờ gây ra do sóng ngẫu nhiên vỡ theo phương pháp của Goda (2000). Trong mô hình này, mực nước trung bình  $\bar{\zeta}$  trên một bãi biển đồng nhất theo hướng dọc bờ có thể được xác định bằng cách tích phân số trị phương trình vi phân sau từ nước sâu tới bờ:

$$\frac{d\bar{\zeta}}{dx} = -\frac{1}{(\bar{\zeta} + h)} \frac{d}{dx} \left[ \frac{1}{8} \overline{H^2} \left( \frac{1}{2} + \frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right) \right] \quad (8.37)$$

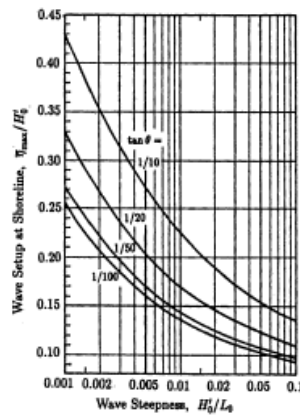
với  $\overline{H^2}$  ký hiệu trung bình bình phương của độ cao sóng ngẫu nhiên. Bản thân độ cao sóng bị ảnh hưởng bởi sự dâng mực nước trung bình gây ra do quá trình sóng vỡ, và do vậy những biến đổi của phân bố mực nước trung bình và độ cao sóng phải được xem xét đồng thời. Lượng nước dâng tại một vùng bờ biển có độ dốc đồng nhất đã được Goda (1975) tính toán bằng cách sử dụng một mô hình sóng ngẫu nhiên vỡ. Kết quả tính toán được trình bày trên Hình 8.6. Hình này cho kết quả tính lượng nước dâng do sóng tại một vùng bờ có độ dốc đồng nhất bằng 1/100. Lượng nước dâng tăng lên khi mà bãi dốc hơn và độ dốc sóng nhỏ hơn. Sóng có độ dốc nhỏ có thể tạo ra sự hạ thấp mực nước (nước hạ) trong khoảng  $h/H_0' = 2$  tới 4.

Như đã chỉ ra trên Hình 8.6, độ cao nước dâng tại bờ có bậc  $0.1H_0'$ . Có thể được phát hiện lượng nước dâng này nhờ các marigrams. Cục xây dựng cảng địa phương I, Nhật bản (NID, 1971) đã kiểm chứng sự về độ cao nước dâng có giá trị  $0.1H_0'$  bằng cách so sánh đường mực nước ghi được nhờ triều ký với số liệu sóng. Các vùng bờ có độ dốc lớn thường cho giá trị độ cao nước dâng lớn.





Hình 8.6 Biến đổi của mực nước trung bình do ảnh hưởng của nước nông và sự vỡ của sóng ngẫu nhiên



Hình 8.7 Độ cao nước dâng tại một vùng bờ có độ dốc đáy đồng nhất (Goda, 1975)

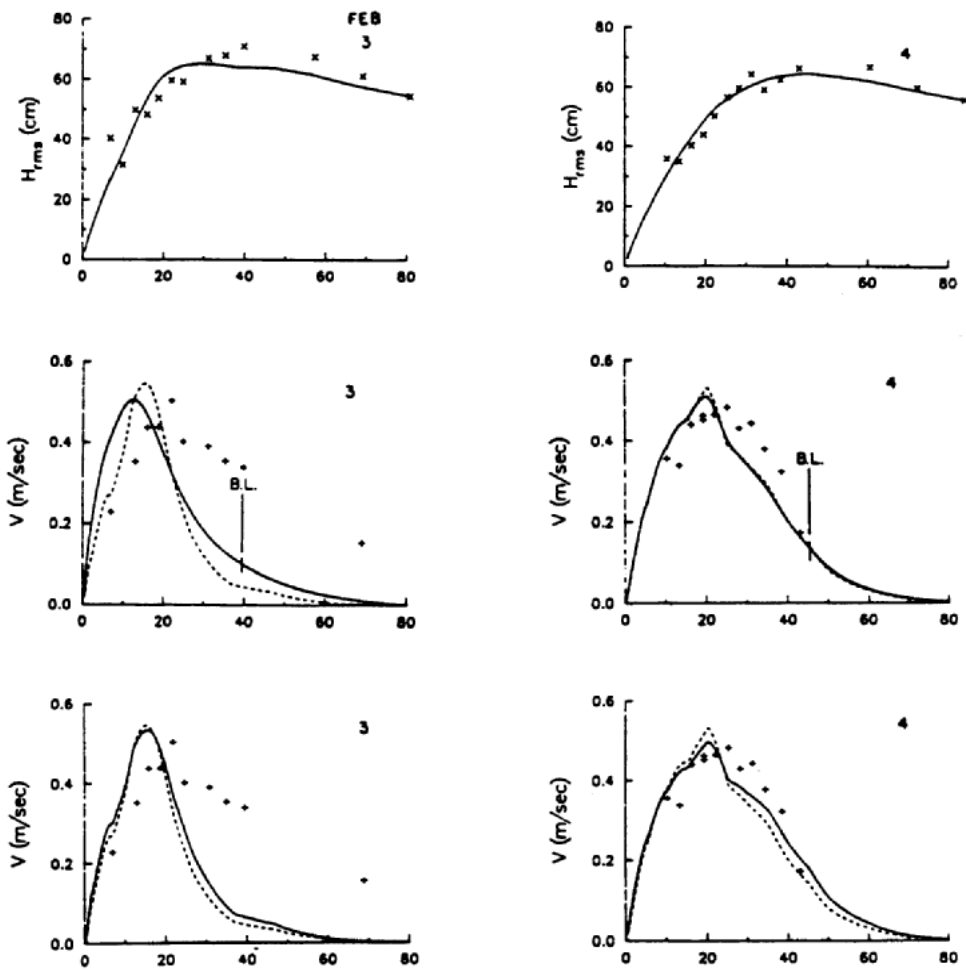
Hình 8.7 giải thích kết quả tính toán nước dâng sóng được Goda (1975) tiến hành có dùng một mô hình sóng vỡ của sóng ngẫu nhiên. Độ chính xác của các giản đồ trên hình 8.7 đã được khẳng định bằng các kết quả đo đạc của Yanagishima và Katoh (1990). Họ phân tích các số liệu mực nước trung bình 1 năm đo tại một cầu quan trắc tại Hazaki, Ibaraki, Nhật Bản. Mực nước thủy triều thiên văn cũng như những biến đổi mực nước do thay đổi áp suất không khí và nước dâng do gió được khử. Mối liên hệ giữa độ cao nước dâng còn lại với độ cao và chu kỳ sóng có nghĩa tại một trạm ngoài khơi còn lại được thiết lập. Độ dốc đáy biển trung bình tại điểm quan trắc là 1/60, và độ dốc sóng tại nước sâu thay đổi từ 0.01 tới 0.04. Trong giới hạn các số liệu này, độ cao nước dâng do sóng đã được chuẩn hoá  $\bar{\zeta} / H'_0$  ( $H'_0$  là độ cao sóng tại nước sâu tương đương) tỷ lệ một cách gần đúng với  $(H'_0 / L_0)^{-2}$  và độ cao nước dâng quan trắc được phù hợp tốt với giá trị tìm được từ hình 8.7. Độ cao nước dâng do sóng bão cũng được quan trắc tại trạm quan trắc Cảng Kashima, cách Hazaki khoảng 15 km về phía bắc. Tuy nhiên, độ cao nước dâng ở đây chỉ vào khoảng nửa độ cao nước dâng tại Hazaki. Sự dâng của mực nước trong cảng dường như

chịu ảnh hưởng của địa hình xung quanh, đập chắn sóng v.v.

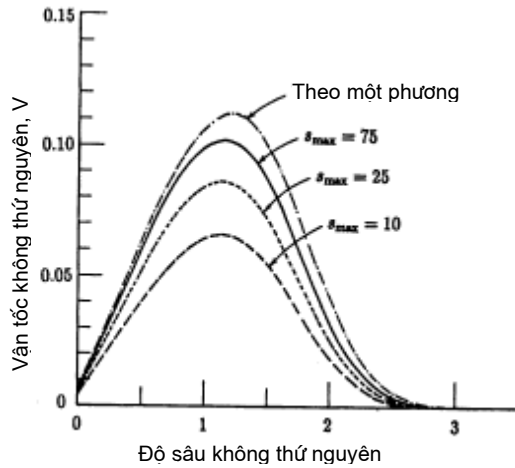
### **8.7 Dòng ven do sóng ngẫu nhiên gây ra trên một bãi phẳng**

Dự báo lý thuyết về sự thay đổi đột ngột của vận tốc dòng chảy dọc bờ xuất phát từ việc các sóng điều hoà vỡ tại một vị trí cố định và tạo nên sự thay đổi đột ngột của gradient ứng suất bức xạ. Trong một chuỗi sóng phi điều hoà, các sóng đơn vỡ trong một khoảng rộng trong đới sóng vỡ. Độ lớn của ứng suất bức xạ vì vậy mà thay đổi từ từ, và vận tốc dòng chảy dọc bờ thay đổi đều đặn trong đới sóng vỡ. Battjes (1974) là người đầu tiên tính vận tốc dòng chảy trong đới sóng vỡ do sóng ngẫu nhiên tạo ra. Ông tìm được một profile của vận tốc dòng chảy theo hướng bờ thay đổi một cách đều đặn mà không cần tới xáo trộn nhân tạo. Trong các mô hình này, tốc độ tiêu tán năng lượng sóng thay đổi đều đặn từ nước sâu tới bờ và tỷ lệ với phần sóng bị vỡ (Battjes, 1972, 1974; Battjes và Janssen, 1978; Battjes and Stive, 1985; Thornton và Guza, 1983). Các mô hình như thế tạo ra các profile dòng ven đều đặn và phù hợp với thực tế cho dù bỏ qua hoàn toàn ứng suất rối bên. Một so sánh với quan trắc hiện trường được cho trên Hình 8.8.

So với sóng ngẫu nhiên đơn hướng, các sóng ngẫu nhiên đa hướng tạo ra dòng ven yếu hơn. Đối với sóng ngẫu nhiên đa hướng, năng lượng sóng trải đều xung quanh hướng sóng chính. Năng lượng này tạo ra sự giảm của thành phần ứng suất bức xạ theo phương vuông góc với phương truyền sóng  $S_{xy}$  mà gradient của nó là lực tạo ra dòng ven, như Longuet-Higgins đã đề xuất

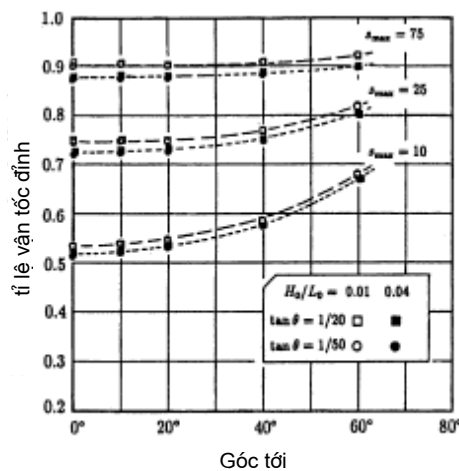


Hình 8.8 Trên: độ cao sóng trung bình bình phương ( $H_{rms}$ ) phụ thuộc vào khoảng cách theo hướng vuông góc với bờ; tính toán (đường liền) và đo đạc (điểm).  
 Trung tâm: vận tốc dòng ven ( $v$ ) phụ thuộc vào khoảng cách theo hướng vuông góc với bờ; tính toán với ứng suất cắt tại đáy tuyến tính có xáo trộn (đường liền) và không xáo trộn (đường đứt) và đo đạc (điểm).  
 Dưới: vận tốc dòng ven ( $v$ ) phụ thuộc vào khoảng cách theo hướng vuông góc với bờ; tính toán với ứng suất cắt tại đáy phi tuyến (đường liền) và tuyến tính (đường đứt) và đo đạc (điểm). (Theo Thornton và Guza, 1985).



Hình 8.9 Hiệu ứng của thông số phân bố hướng đối với profile vận tốc dòng ven trên một bãi biển phẳng với độ dốc  $\tan \theta = 1/50$  với sóng tới có  $H_0/L_0 = 0.01$  và hướng sóng tới chính tại nước sâu  $\alpha_0 = 40^\circ$ .

Lượng suy giảm trong vận tốc dòng ven gây ra do phân bố hướng bị ảnh hưởng bởi góc sóng tới. Hình 8.10 cho ta mức độ suy giảm của vận tốc gây ra do sự trải rộng hướng sóng. Tung độ là tỷ số giữa vận tốc cực đại gây bởi sóng ngẫu nhiên đa hướng và sóng ngẫu nhiên đơn hướng và hoành độ là góc sóng tới tại nước sâu. Tỷ số vận tốc  $(V_{\max})_{dir} / (V_{\max})_{ini}$  giảm khi mà hướng sóng tới nhỏ hơn và thông số phân tán hướng  $s_{\max}$  giảm. Mức độ suy giảm vận tốc còn bị ảnh hưởng một chút bởi dạng của phổ tần số: đỉnh phổ càng nhọn thì mức độ suy giảm vận tốc dòng ven do phân tán hướng càng ít.



Hình 8.10 Tỷ số giữa vận tốc dòng ven cực đại gây ra do sóng ngẫu nhiên đa hướng và

# Chương 9 LỰC SÓNG LÊN CÁC CÔNG TRÌNH

## 9.1 Giới thiệu chung

Chương này giải quyết các vấn đề liên quan tới áp lực của sóng lên các công trình.

Việc xác định áp lực của sóng lên các công trình ngoài khơi và ven bờ là một trong những nhiệm vụ quan trọng nhất trong thiết kế công trình. Có rất nhiều loại công trình ngoài khơi như sân bay, cầu cảng, nhà nổi v.v... có dạng chân cắm xuống cát, nổi, có trụ hình vuông, hình tròn. Những dạng công trình ven bờ đặc trưng là kè, đê và đập chắn sóng.

Sự phức tạp của quá trình tương tác giữa sóng và công trình làm cho việc tính toán áp lực sóng rất khó khăn. Hơn nữa, vì tính phi tuyến của sóng đại dương, không tồn tại một lý thuyết toán học phi tuyến thích hợp để dự báo áp lực của sóng lên công trình. Do vậy, có ba phương pháp sau để tính áp lực sóng lên công trình: (a) Phương trình Morison, (b) Lý thuyết Froude-Krylov (c) Lý thuyết nhiễu xạ. Sự phân biệt giữa các phương pháp này sẽ được mô tả dưới đây.

Phương trình Morison có thể được áp dụng nếu như dòng chảy tới một công trình nào đó bị tách khỏi công trình và tạo ra một miền xoáy lẫn lộn tại phía trước và phía sau công trình. Như vậy, khi kích thước của công trình nhỏ so với bước sóng, phương trình Morison là thích hợp để đánh giá lực sóng lên công trình. Phương trình Morison bao gồm hai lực: lực quán tính và lực cản được cộng vào với nhau. Các hệ số của hai lực này là quán tính (hay khối lượng) và hệ số cản (do nhớt). Các hệ số này cần được xác định từ thí nghiệm.

Có thể áp dụng lý thuyết Froude-Krylov khi mà lực cản nhỏ so với lực quán tính nhưng kích thước của công trình vẫn còn là tương đối nhỏ. Trong trường hợp này, lực được tính bằng cách sử dụng áp suất sóng tới và phương pháp bề mặt áp suất. Phương pháp này có ưu điểm là đối với các công trình đối xứng, các lực này có thể được tìm dưới dạng khép kín và có thể dễ dàng xác định được các hệ số lực.

Khi mà kích thước công trình lớn, tức là khi mà công trình có chiều rộng bằng một phần đáng kể của bước sóng, sóng tới sau khi xô vào công trình sẽ bị phân tán hay nhiễu xạ. Trong trường hợp này, cần phải tính đến sự nhiễu xạ sóng khi tính áp lực sóng. Lý thuyết này thường được gọi là lý thuyết nhiễu xạ. Bằng phương pháp này, có thể tìm được lời giải giải tích trong một số trường hợp; tuy nhiên, lời giải thường cần một kỹ thuật tính toán nào đó, thí dụ phương pháp hàm Green, phương pháp phần tử hữu hạn hay phương pháp phần tử biên để giải phương trình Laplace với các điều kiện biên. Ta sẽ trình bày các phương pháp

số trị trong mục 9.6.

Ba số không thứ nguyên là số Reynolds,  $R_e = U_m l / \nu$ , thông số Keulegan-Carpenter,  $KC = U_m T / l$ , và thông số nhiễu xạ  $\pi l / L$  có vai trò rất quan trọng trong việc xác định xem lý thuyết nào là thích hợp cho một vấn đề cụ thể. Ở đây  $U_m$  = vận tốc cực đại của hạt nước theo phương nằm ngang,  $l$  = kích thước dài (như bán kính) của công trình,  $\nu$  = độ nhớt động học,  $T$  = chu kỳ sóng, và  $L$  = bước sóng.

Thông số  $KC$  đo mức độ quan trọng của lực cản và bằng tỷ số giữa khoảng cách dịch chuyển cực đại của hạt lỏng theo phương ngang và đường kính công trình. Thông số nhiễu xạ bằng tỷ số của chiều dài đặc trưng của hạt lỏng theo phương vuông góc với dòng chảy (như đường kính công trình) và bước sóng. Mức độ quan trọng tương đối của hai thông số này sẽ được thảo luận sau.

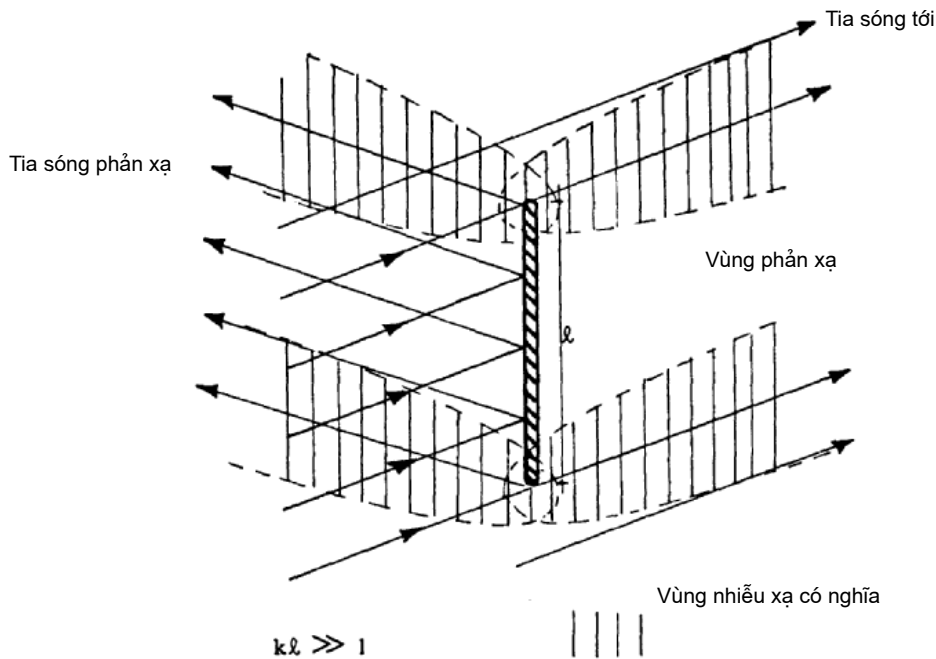
Đối với rất nhiều công trình ven bờ như kè, đê và đập phá sóng, sự tương tác giữa công trình và sóng tới thường có thể được xem là một vấn đề hai chiều (trong mặt phẳng thẳng đứng) về sóng tác động lên công trình, và do vậy có thể được nghiên cứu trên một mặt cắt (như trong một máng sóng trong phòng thí nghiệm). Điều này là đúng vì công trình đó thường là dài hơn bước sóng. Nếu công trình có một đầu tự do, thí dụ như đập phá sóng thì cần phải xử lý vấn đề ba chiều.

## 9.2 Các thông số và chế độ dòng chảy

Tương tự như trong mục 9.1, ký hiệu  $l$  là một độ dài đặc trưng của công trình theo phương vuông góc với dòng chảy hay là một kích thước dài tương đương nào đó (thí dụ như bán kính  $r$  của hình trụ tròn thẳng đứng). Xáo trộn mà công trình gây ra cho trường sóng tới, hay nói cách khác là sự phân tán sóng do công trình gây ra, được xác định bởi một thông số  $kl$ , với  $k$  là số sóng trước khi bị nhiễu động.

Như đã trình bày trong mục 9.1, kích thước tương đối của công trình so với bước sóng là rất quan trọng trong việc xác định chế độ chảy xung quanh công trình và lực tác động lên công trình. Do vậy, ta phân biệt ba trường hợp:  $kl \gg 1$ ,  $kl = O(1)$ , và  $kl \ll 1$ .

Trường hợp  $kl \gg 1$  được lý giải bằng một đập chắn sóng với  $l$  là chiều dài tổng cộng chỉ ra trên hình 9.1. Trong trường hợp này, sự nhiễu xạ xung quanh đầu đê và ảnh hưởng của nó lên chuyển động sóng gần đê bị giới hạn trong một khu vực có khoảng cách vài bước sóng từ đầu đê. Vậy, chuyển động sóng gần phần trung tâm đê còn lại có thể được xấp xỉ bằng lý thuyết tia (bỏ qua nhiễu xạ) có tính đến sóng phản xạ theo quy luật Snell.

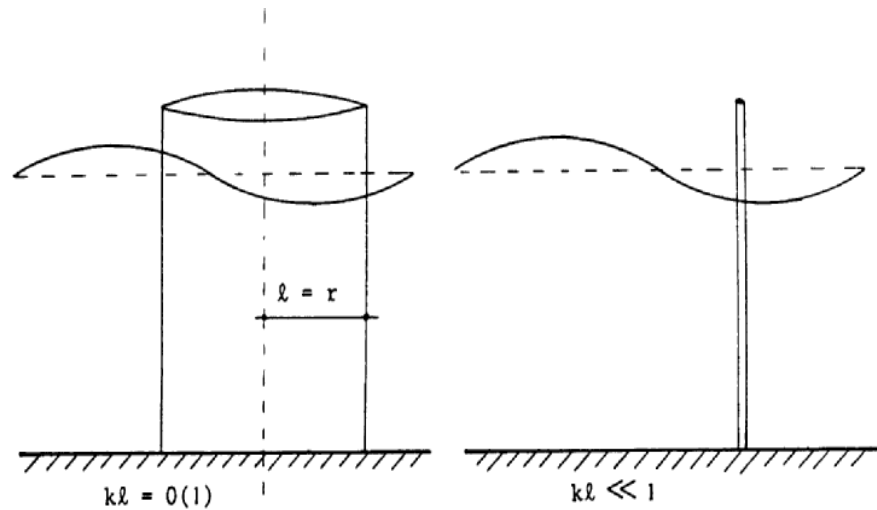


Hình 9.1 Trường sóng xung quanh một đập chắn sóng dài ngoài khơi

Như vậy, tại phần trung tâm của đập chắn sóng, có thể dùng hệ sóng đứng để xấp xỉ mặt lợ sóng và nước lặng để xấp xỉ mặt khuất sóng như là khi đập chắn sóng có chiều dài vô hạn. Trường hợp này sẽ được giải quyết sau trong mục 9.4.

Trường hợp  $kl = O(1)$  và  $kl \ll 1$  được giải thích như là một thí dụ về một hình trụ thẳng đứng (có bán kính  $r$ ), có chiều cao từ mặt nước tới đáy như chỉ ra trên hình 9.2.

Trong cả hai trường hợp trên, sóng bị nhiễu xạ xung quanh hình trụ. Tuy nhiên, khác với trường hợp  $kl \gg 1$ , không thể bỏ qua nhiễu xạ tại bất cứ vị trí nào. Nói cách khác, nếu  $kl = O(1)$  và  $kl \ll 1$ , quá trình nhiễu xạ trở nên quan trọng và đóng một vai trò đáng kể trong việc tạo thành lực sóng tác động lên công trình. Nếu  $kl = O(1)$ , sự nhiễu xạ sóng do công trình và các dạng nhiễu xạ phải được tính toán phục vụ đánh giá áp lực sóng. Nếu  $kl \ll 1$ , có thể bỏ qua sự tán xạ và sóng gần như là nhiễu xạ hoàn toàn xung quanh công trình (với hệ số nhiễu xạ tiệm cận 1). Vì vậy, trong trường hợp này không cần tính nhiễu xạ. Nói một cách khác, trường sóng trong trường hợp có một công trình mỏng cũng gần như trường sóng khi không có công trình (ngoại trừ ngay tại công trình, chỉ cách công trình một phần nhỏ của bước sóng  $kl \ll 1$ , chuyển động của nước mất tính chất của sóng và có thể coi là dòng chảy chuẩn đều phụ thuộc thời gian).



Hình 9.2 Các trường hợp có kích thước công trình gần bằng hay nhỏ hơn nhiều lần bước sóng

Cần phải tính sóng nhiễu xạ và tán xạ khi mà  $kl = O(1)$ . Tính toán này thông thường là dựa trên lý thuyết dòng chảy thế. Trong thực tế, chất lỏng nhớt chảy xung quanh mặt cứng và một lớp biên phát triển ngay tại bề mặt này. Trong lớp biên này, chuyển động là có xoáy. Tuy nhiên, với các giá trị số Reynolds lớn, như hầu hết các trường hợp thực tế, thì bề dày của lớp biên rất mỏng so với kích thước của công trình. Trong những trường hợp như thế thì phân bố áp suất tại bề mặt công trình có thể được xấp xỉ rất tốt bằng phương pháp dòng chảy thế trong trường hợp không có sự rời lớp biên.

Sự rời lớp biên có thể xảy ra do lực cản tại bề mặt rắn (do nhớt). Với các chuyển động bắt đầu từ trạng thái nghỉ, quá trình rời lớp biên chỉ xảy ra sau một khoảng thời gian nào đó từ thời điểm bắt đầu để đảm bảo đủ thời gian cho hiệu ứng của lớp biên tích tụ lại. Với các chuyển động dao động, khoảng thời gian giữa các thời điểm có dòng chảy ngược liên tiếp nhau có thể không đủ để tích tụ hiệu ứng lớp biên, và do vậy không có sự rời lớp biên. Thí dụ như với trường hợp dòng chảy xung quanh một hình trụ khi mà biên độ dịch chuyển của hạt nước (ký hiệu là  $\hat{\chi}$ ) đối với hình trụ theo phương vuông góc với trục hình trụ không vượt quá bán kính hình trụ ( $r$ ); hay nói một cách khác, nếu dịch chuyển của hạt nước từ cực điểm này tới cực điểm khác (ký hiệu là  $A$ ,  $A = 2\hat{\chi}$ ) không lớn hơn bán kính của hình trụ ( $D$ ).

Nếu xảy ra sự rời lớp biên thì nó sẽ ảnh hưởng rất mạnh tới áp lực sóng lên công trình và phương pháp tiếp cận dòng chảy thế không thể áp dụng được nữa. Do đó, giá trị của tỷ số  $\hat{\chi}/r$  (hay  $A/D$ ) xác định liệu có thể dùng dòng chảy thế để tính toán lực sóng lên công trình không. Vì tỷ số này là rất quan trọng nên ta cho nó một ký hiệu riêng



$$\kappa = \frac{\hat{\lambda}}{r} = \frac{A}{D} \quad (9.1)$$

Với chuyển động hình sin, với biên độ vận tốc  $\hat{U}$  (trong mặt phẳng vuông góc với trục hình trụ) và tần số  $\omega$ , tương đối với hình trụ, có thể biểu thị  $\kappa$  bằng công thức sau

$$\kappa = \frac{\hat{U}}{\omega r} \quad (9.2)$$

Có thể cho một diễn giải động lực học của  $\kappa$  như sau. Trong dòng chảy dao động với biên độ vận tốc  $\hat{U}$  và tần số  $\omega$ , gia tốc địa phương ( $\partial u / \partial t$ ) có bậc  $\omega \hat{U}$ , trong khi đó gia tốc bình lưu của dòng chảy xung quanh hình trụ có bán kính  $r$  có bậc  $\hat{U}^2 / r$ . Tỷ số của gia tốc bình lưu và gia tốc địa phương là bằng  $\kappa$  (xem phương trình 9.2). Vì vậy, với các giá trị  $\kappa$  nhỏ, sự không dừng của dòng chảy là thống trị và gradient áp suất xung quanh hình trụ có bậc  $\rho \omega \hat{U}$ . Với các giá trị  $\kappa$  lớn, dòng chảy trở nên chuẩn dừng, và gradient áp suất có bậc  $\rho \hat{U}^2 / r$ .

Một thông số về bản chất là bằng  $\kappa$  được dùng lần đầu bởi Keulegan và Carpenter (1958). Thông số này sau đó được đặt tên bằng tên của họ và được ký hiệu bằng các ký hiệu  $K$  hay  $KC$ . Nó được định nghĩa như sau

$$K \equiv \frac{\hat{U}T}{D} \quad (9.3)$$

trong đó  $T = 2\pi / \omega$ . Với các chuyển động hình sin, mối liên hệ giữa  $\kappa$  và  $K$  như sau

$$\kappa = \pi K \quad (9.4)$$

Các thông số  $kl$  và  $\kappa$  có tính chất rất khác nhau. Thông số thứ nhất cho tỷ số giữa bước sóng và đường kính hình trụ trong khi thông số thứ hai cho tỷ số giữa khoảng cách dịch chuyển của hạt nước và đường kính hình trụ. Do vậy, thông số thứ nhất xác định dạng nhiễu xạ của sóng quanh công trình (một hiện tượng của chất lỏng lý tưởng), trong lúc thông số thứ hai xác định liệu sự rời lớp biên có xảy ra không (một hiệu ứng của chất lỏng nhớt thực), và do vậy cho ta đánh giá xem liệu xấp xỉ chất lỏng lý tưởng có giá trị không.

Khoảng giá trị có thể có của  $\kappa$  phụ thuộc vào  $kl$  vì rằng sóng có một tỷ số giới hạn giữa dịch chuyển của hạt nước và bước sóng do sóng bị vỡ. Nói chung, người ta giả thiết rằng quá trình sóng vỡ xảy ra khi  $\hat{U}_{\max} = c$ . Thế công thức này và  $c = \omega / k$  vào (9.2) cho ta

$$\kappa_{\max} = \frac{c}{\omega r} = \frac{1}{kr} \quad (9.5)$$

Vì vậy,  $\kappa$  and  $kl$  không thể đồng thời lớn hơn 1 rất nhiều. Điều này là một điều may

mắn vì rằng sóng tán xạ và sự rời lớp biên của dòng chảy là không quan trọng đối với các lực sóng tác động lên công trình một cách đồng thời. Vì vậy, khi tính áp lực sóng lên công trình, cần phải dùng hoặc là lý thuyết thế với sóng tán xạ và bỏ qua hiện tượng rời lớp biên, hoặc là chỉ tính đến hiệu ứng rời lớp biên (bằng các công thức thực nghiệm) và bỏ qua ảnh hưởng của sóng tán xạ. Hai trường hợp được phân biệt rõ ràng này sẽ lần lượt được giải quyết trong các mục 9.4 và 9.5. Các thảo luận tiếp theo về mối liên hệ giữa hai cách tiếp cận và giới hạn của chúng sẽ được trình bày trong mục 9.6. Trước hết, chúng ta sẽ trình bày tóm tắt trường hợp  $kl \gg 1$ .

### 9.3 Lực sóng lên một bức tường

Như đã nói trong các mục trước, trường hợp  $kl \gg 1$  có thể được đặc trưng như là các trường hợp sóng tác động lên công trình. Các khía cạnh khác nhau của sóng trên một công trình có mặt dốc đã được xem xét trong chương 7. Mục này sẽ giải quyết vấn đề về áp lực sóng tác động lên một tường đứng khi mà sóng tới theo phương vuông góc với công trình.

Có thể dễ dàng mô tả chuyển động bằng phương pháp xấp xỉ tuyến tính. Phương pháp này cho phép chồng chất các lời giải biểu thị sóng tới và sóng phản xạ.

Ta giả thiết rằng một chuỗi sóng với bề mặt nước được cho bởi

$$\zeta_l = a \sin(\omega t - kx) \quad (9.5)$$

Các biểu thức tương ứng cho vận tốc hạt lỏng và áp suất được trình bày trong chương 3.

Chúng ta hãy xem xét một bức tường thẳng đứng không thấm. Ta có các điều kiện biên

$$v_x = 0 \quad \text{tại} \quad x = 0 \quad (9.6)$$

Điều kiện biên này được thỏa mãn bằng cách chồng chất sóng phản xạ lên sóng tới sao cho vận tốc nằm ngang của hạt nước ( $v_x$ ) tại mặt tường tại tất cả các thời điểm là có độ lớn bằng và hướng ngược với vận tốc gây ra bởi sóng tới. Điều này yêu cầu mực nước do sóng phản xạ được mô tả dưới dạng

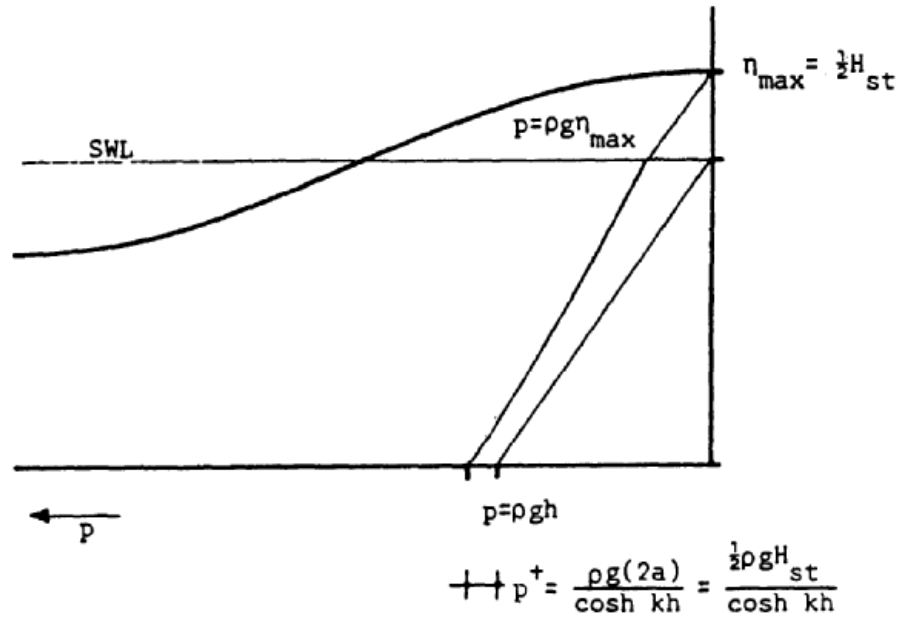
$$\zeta_r = a \sin(\omega t + kx) \quad (9.7)$$

Cộng (9.5) và (9.7) cho ta

$$\zeta = \zeta_l + \zeta_r = 2a \sin \omega t \cos kx \quad (9.8)$$

Đây là phương trình mô tả một sóng đứng. Biên độ của nó là  $2a$  tại tất cả các điểm có  $\cos kx = \pm 1$  (i.e.  $x = n \times (1/2)L$ , với  $n = 0, 1, 2, \dots$  v.v.), còn được gọi là các điểm bụng, và bằng 0 tại tất cả các điểm có  $\cos kx = 0$  (tức là  $x = n \times (1/2)L - (1/4)L$ , với  $n = 0, 1, 2, \dots$ ), còn gọi là các điểm nút.

Vận tốc nằm ngang tổng cộng không những chỉ bằng 0 tại tường ( $x = 0$ ), mà tại tất cả các mặt thẳng đứng qua tất cả các điểm bụng. Vận tốc này đạt giá trị cực đại tại tất cả các điểm nút.



Hình 9.3 – Xấp xỉ tuyến tính áp suất trên một bức tường thẳng đứng

Áp suất được cho bởi

$$p = -\rho g z + \rho g \zeta \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \quad \text{với } z \leq 0 \quad (9.9)$$

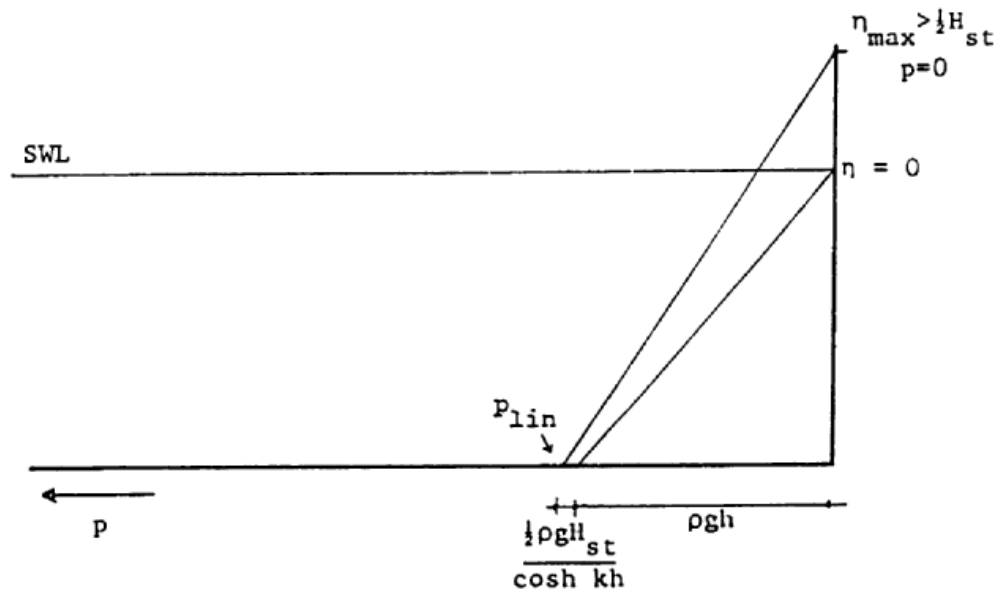
Có thể áp dụng xấp xỉ thủy tĩnh tại các điểm chìm nằm bên trên MWL:

$$p = \rho g(\zeta - z) \quad \text{if } 0 < z < \zeta \quad (9.10)$$

Phân bố vận tốc thẳng đứng tại tường (và tại tất cả các điểm bụng khác) tại thời điểm độ cao mặt nước đạt cực đại ( $\zeta = 2a$ ) theo (9.9) và (9.10) được biểu thị trên hình 9.3.

Các phương trình trên được rút ra từ lý thuyết tuyến tính, mà ở đó  $\zeta_{\max} = |\zeta_{\min}| = (1/2)H_{st}$ , với  $H_{st}$  là độ cao của sóng đứng tại tường ( $H_{st} = 2H$ , với  $H$  là độ cao sóng tới). Trong thực tế,  $\zeta_{\max} > (1/2)H_{st}$ , tạo nên áp suất lớn hơn trên tường. Hiệu ứng này có thể là quan trọng tại vùng nước nông. Người ta thường tính đến nó bằng cách dùng một xấp xỉ bậc cao hơn cho  $\zeta_{\max}$ . Số hạng bậc 2 trong khai triển dạng Stokes là

$$\zeta_{\max} = \frac{1}{2}H_{st} + \frac{1}{8}kH_{st}^2 \coth kh \left( 1 + \frac{3 - \tanh^2 kh}{4 \sinh^2 kh} \right) \quad (9.11)$$



Hình 9.4 Áp suất lên tường đứng (xấp xỉ Sainflou)

Biểu thức này chỉ phân kỳ tại vùng nước nông (cũng giống như khai triển Stokes cho sóng tiến). Biểu thức này được đề nghị dùng chỉ khi mà vế phải của (9.11) không vượt quá  $0.8H_{st}$ , hay lấy  $\zeta_{\max} \approx 0.8H_{st}$ .

Phép xấp xỉ sau đây về phân bố áp suất do Sainflou đề xuất thường được dùng với mục đích áp dụng:

- Một xấp xỉ tuyến tính cho  $\zeta_{\max}$  giống như (9.11). (Sainflou dùng một phiên bản khác với (9.11) và không chứa số hạng sau cùng trong ngoặc của (9.11).)
- xấp xỉ lý thuyết tuyến tính cho áp suất tại đáy ( $p_{lin}$ )
- nội suy tuyến tính giữa  $p = 0$  tại  $z = \zeta_{\max}$  và  $p_{lin}$  tại  $z = h$ .

Áp suất tính toán được vẽ trên hình 9.4.

Một xấp xỉ tiếp theo được đưa ra cho những trường hợp mà đỉnh sóng tại tường vượt quá đỉnh tường, và do vậy có sóng tràn. Trong trường hợp này, áp suất được tính giống như trong trường hợp không có sóng tràn, nhưng khi tính lực và moment lên tường thì áp suất được tích phân theo độ cao sóng thực.

Cần phải chú ý rằng xấp xỉ nói trên là áp dụng cho sóng không vỡ. Độ cao cực đại của một sóng đứng tại một vùng nước có độ sâu không đổi được xấp xỉ bởi một biểu thức tương tự như tiêu chuẩn của Miche cho sóng tiến (Phương trình 4.10), ngoại trừ giá trị của hằng số tỷ lệ:

$$\left(\frac{H_{st}}{L}\right)_{\max} \cong 0.20 \tanh \frac{2\pi h}{L} \quad (9.12)$$

Nếu tường được xây dựng trên một mặt nghiêng, sóng có thể vỡ tại mặt tường và tạo ra một xung áp suất được đặc trưng bởi một giá trị áp suất lớn tồn tại trong một khoảng thời gian ngắn (vài phần ngàn giây). Một số công thức đã được đề nghị để mô tả các xung áp suất này, nhưng không đáng tin lắm. Vì vậy các công thức này không được thảo luận tại đây.

#### 9.4 Lực sóng lên một công trình có thể tích lớn

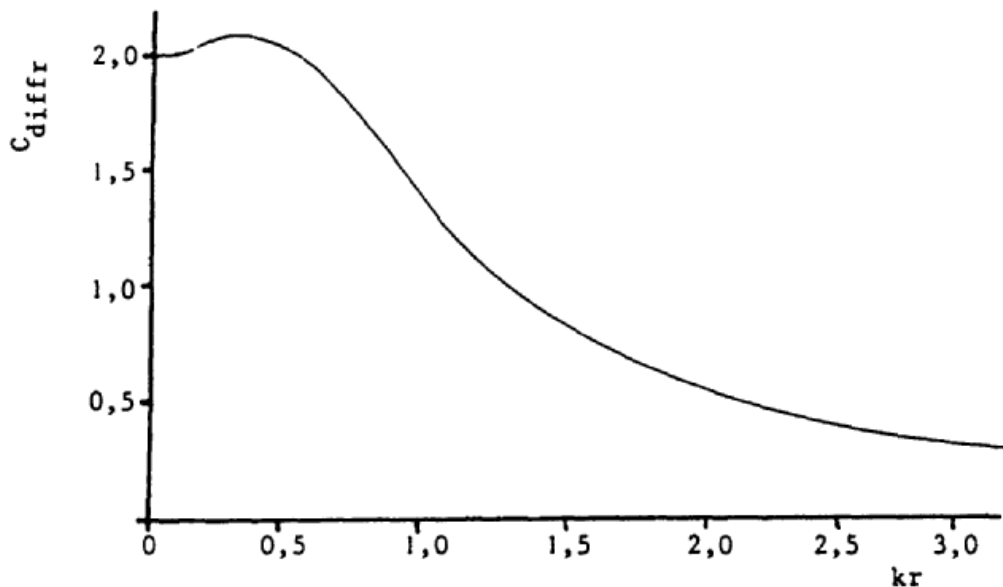
Phần này giải quyết vấn đề áp lực sóng lên các công trình có  $kl \cong O(1)$ , và do vậy sự tán xạ sóng tới và sự nhiễu xạ sóng do công trình gây ra cần được tính đến để đánh giá áp lực sóng. Các công trình trọng lực thường được xây dựng ngoài khơi, và do đó cần áp dụng phương pháp tính toán này cho các công trình đó.

Phương pháp chung để tính sóng nhiễu xạ xung quanh công trình là dựa trên xấp xỉ tuyến tính của lý thuyết thế. Về mặt toán học, cần phải tìm lời giải của phương trình Laplace với điều kiện biên là  $v_n = 0$  tại bề mặt công trình. Công trình được giả thiết là rắn, không thấm và không chuyển động được. Có rất nhiều kỹ thuật số trị được áp dụng để tìm lời giải của bài toán này cho một công trình có hình dạng bất kỳ (thí dụ như Garrison, 1978). Chúng ta sẽ không xem xét những phương pháp này. Thay thế vào đó, ta sẽ chỉ mô tả một cách định tính nguyên lý của một trong những phương pháp này, được gọi là phương pháp phân bố nguồn.

Phương pháp phân bố nguồn giả thiết rằng các nguồn sóng sơ cấp phân bố trên bề mặt chìm dưới nước của công trình. Trong phương pháp tiếp cận số trị, bề mặt đó được chia thành rất nhiều phần tử nhỏ có diện tích và hướng cho trước. Mỗi phần tử được giả thiết là hoạt động như một nguồn phát xạ sóng. Biên độ và pha của thế vận tốc của các nguồn được xác định với điều kiện là hiệu ứng tổng hợp của chúng sẽ làm cho vận tốc theo phương

pháp tuyến với mặt công trình  $v_n = 0$  tại bề mặt công trình.

Theo lý thuyết dòng chảy thế cổ điển thì có thể xác định được sự ảnh hưởng của một điểm nguồn tới chuyển động tại các điểm khác. Bằng cách dùng các hàm ảnh hưởng và điều kiện  $v_n = 0$ , ta có thể rút ra được một phương trình biểu thị thế vận tốc ẩn tại một phần tử dưới dạng thế vận tốc tại tất cả các phần tử khác. Tập hợp của tất cả các phương trình này cho tất cả các phần tử cho một số lượng các phương trình bằng số lượng các ẩn. Các phương trình này là tuyến tính và có thể được giải bằng phương pháp nghịch đảo ma trận. Sau khi đã xác định được thế vận tốc, áp suất động  $p_+$  được xác định bằng cách áp dụng xấp xỉ tuyến tính của phương trình Bernoulli:  $p_+ = -\rho(\partial\phi / \partial t)$ . Tích phân  $p_+$  trên toàn bộ bề mặt chọn ta các lực và các moment.



Hình 9.5 Biến đổi của  $C_{diff}$  với  $kr$  cho hình trụ tròn

Trong trường hợp hình thái tương đối đơn giản, có thể tìm được nghiệm giải tích cho bài toán nhiễu xạ sóng tuyến tính. Một thí dụ rất nổi tiếng là thí dụ về một hình trụ từ mặt đến đáy, như các công trình cọc. Bài toán tính áp lực sóng lên các công trình dạng này được MacCamy và Fuchs (1954), giải lần đầu tiên, và thường được lấy tên họ. Tuy nhiên, lời giải cho bài toán nhiễu xạ tuyến tính cơ bản đã được tìm thấy sớm hơn nhiều (Lamb, 1932).

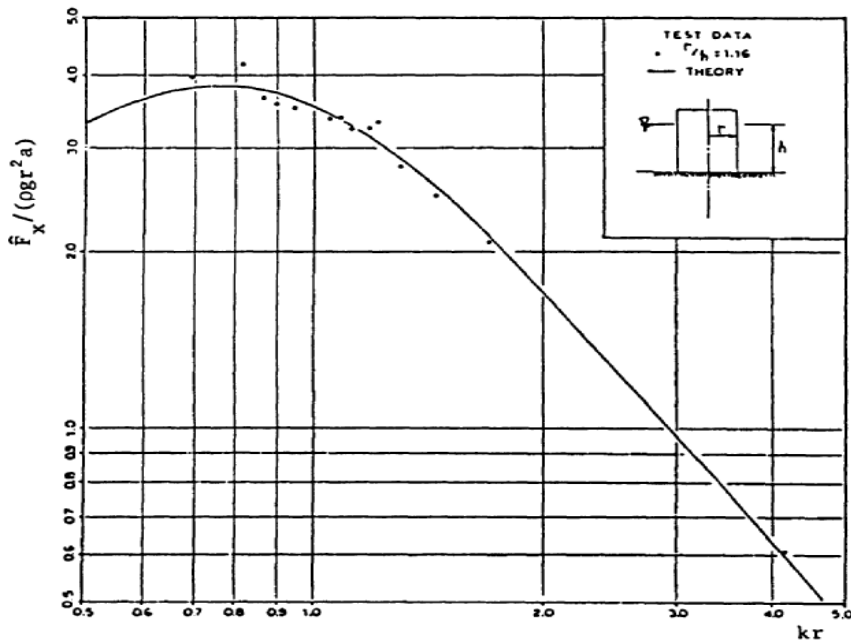
Chúng ta hãy xem xét lực tác dụng lên một đơn vị dài của hình trụ  $f_x(z, t)$ , do sóng tới với bề mặt nước mô tả theo phương trình 9.5 gây ra. Lực này biến đổi theo thời gian dưới dạng hình sin. Biên độ của nó  $\hat{f}_x(z)$  tỷ lệ với dịch chuyển thế tích trên một đơn vị

dài (tức là diện tích mặt cắt  $\pi r^2$ ) và biên độ của gradient áp suất ngang của sóng tới (không nhiễu động :  $\partial \hat{p}_i / \partial x$  với một hệ số tỷ lệ ( $C_{diff}$ ) là hàm chỉ của  $kr$ . Như vậy:

$$\hat{f}_x(z) = C_{diff}(kr) \pi r^2 \frac{\partial \hat{p}_i}{\partial x} \quad (9.13)$$

Một biểu thức khác cho  $\hat{f}_x$  phụ thuộc vào lượng vật chất dịch chuyển ( $\rho \pi r^2$  trên một đơn vị dài) và một gia tốc nằm ngang không chịu ảnh hưởng của công trình:

$$\hat{f}_x = C_{diff}(kr) \rho \pi r^2 \frac{\partial v_{xi}}{\partial t} \quad (9.14)$$



Hình 9.6 Lực nằm ngang cực đại trên bề mặt hình trụ tròn (Chakrabati and Tam, 1973)

Sự biến đổi lý thuyết của  $C_{diff}$  theo  $kr$  được cho trên hình 9.5, và phép so sánh biên độ lực nằm ngang tổng cộng không thứ nguyên lý thuyết  $\hat{f}_x / (\rho g r^2 a) = \pi C_{diff}$  với các số liệu thực nghiệm được cho trên hình 9.6

Thí dụ trên hình 9.6, và rất nhiều thí dụ khác cho thấy rằng lý thuyết nhiễu xạ thế tuyến tính là một công cụ đáng tin cậy để tính lực sóng lên các công trình lớn. Cũng cần phải chú ý rằng trái với trường hợp mà sự rời lớp biên là quan trọng, nó không chứa các hệ

số thực nghiệm. Như chỉ ra trong hình 9.2, điều này xảy ra chỉ khi mà giá trị của  $\kappa$  là đủ lớn. Về phần mình, điều này chỉ xảy ra với các giá trị rất nhỏ của  $kr$ . Do vậy, các kết quả dòng chảy thế liên quan với  $C_{diff}(kr)$  là không đủ tin cậy với các giá trị nhỏ của  $kr$ . Các trường hợp này sẽ được xem xét trong phần tiếp theo.

## 9.5 Lực sóng lên các công trình nhỏ gọn

### 9.5.1 Giới thiệu chung

Các thí dụ về các công trình nhỏ gọn ở ven bờ và ngoài khơi là các công trình xây trên cọc hay chỉ là các phân dạng ống của các công trình.

Như đã chỉ ra, lân cận tại một điểm nào đó, các đặc trưng của sóng là biến mất nếu  $kl \ll 1$ . Chuyển động trong trường hợp này có thể được xem là chuẩn một chiều. Có nghĩa là gradient không gian trong chuyển động bị nhiễu động nhỏ tới mức có thể bỏ qua chúng, và do vậy chuyển động tức thời tại lân cận một yếu tố công trình xảy ra giống hệt như không có công trình.

Để đơn giản hoá các ký hiệu, ta hãy ký hiệu vận tốc dòng chảy không bị nhiễu động (khi không có công trình) là  $U$ . Trong ba phần sau đây, ta sẽ xem xét ba trường hợp về sự biến đổi của  $U$  có độ phức tạp tăng lên: dừng và đều (mục 9.5.2), không dừng và đều (mục 9.5.3) và không dừng, không đều (mục 9.5.4).

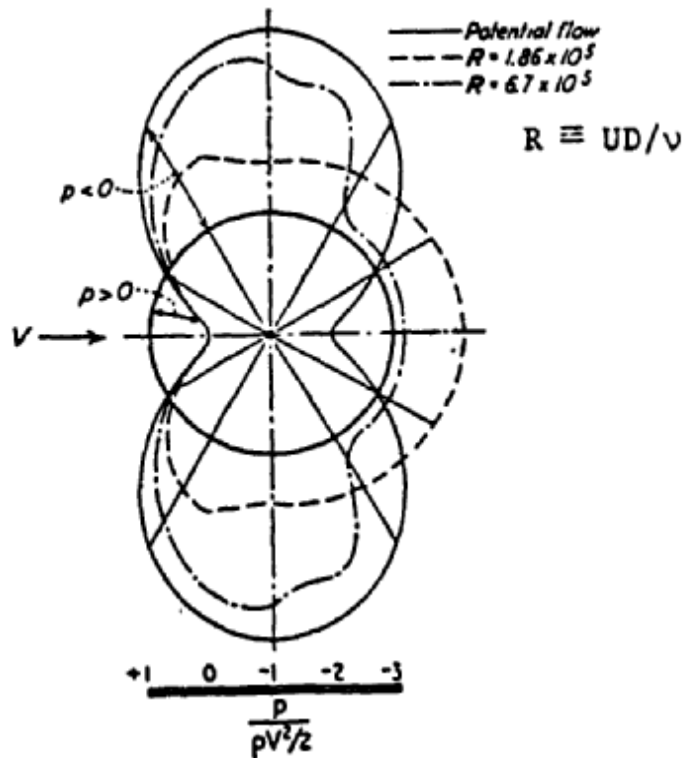
### 9.5.2 Lực của chất lỏng tác dụng lên các vật thể trong một dòng chảy đều và dừng

Chúng ta hãy xem xét trước hết trường hợp dòng chảy đều không bị nhiễu động (tức là  $U = \text{const}$  theo thời gian và không gian). Sự hiện diện của một chướng ngại vật cố định sẽ làm giảm vận tốc dòng chảy tới giá trị không tại điểm chết, và tương ứng là tăng áp suất  $\Delta p = (1/2)\rho U^2$ . Từ điểm chết, vận tốc tăng dần theo vật thể cho tới giá trị lớn hơn  $U$  trong miền có mặt cắt lớn nhất mà tại đó áp suất nhỏ hơn giá trị không bị nhiễu động. Tại hạ lưu của mặt cắt này, vận tốc lại giảm và áp suất tăng lên.

Trong xấp xỉ chất lỏng lý tưởng (không nhớt, dòng chảy thế), các đường dòng vẫn nối với vật thể tại điểm chết ở mặt sau mà ở đó lại có  $\Delta p = (1/2)\rho U^2$ . Tích phân áp suất xung quanh công trình, ta sẽ có lực chất lỏng bằng 0 trên vật thể. Đây là nghịch lý d'Alembert.

Áp suất lên một hình trụ tròn trong một dòng chảy dừng tính theo lý thuyết thế được cho bằng đường liền trên hình 9.7.





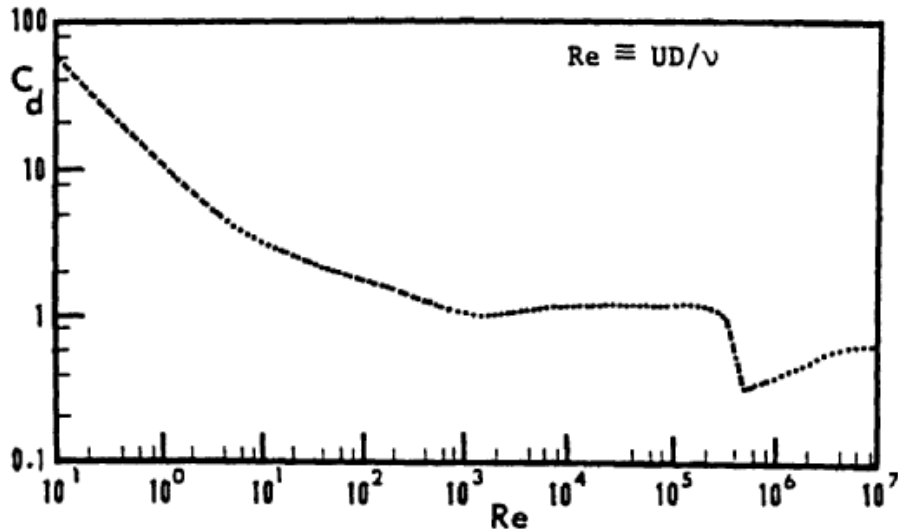
Hình 9.7 Phân bố áp suất xung quanh một hình trụ tròn (Rouse, 1938)

Trong một chất lỏng nhớt thực, các đường dòng rời bề mặt vật thể trong miền tăng áp suất do có sự mất mát động năng do lực cản dọc theo bề mặt và sự phát triển của lớp biên tại bề mặt vật thể rắn. Do có sự rời lớp biên, một vùng xoáy tồn tại tại hạ lưu của vật thể, giữa các đường dòng bị rời ra. Áp suất động bên trong miền xoáy là gần như bằng hằng số và bằng với giá trị của nó tại điểm rời lớp biên. Các giá trị này nhỏ hơn giá trị áp suất không bị nhiễu động (xem hình 9.7).

Kết quả là áp suất trên mặt trước và mặt sau của vật thể không khử lẫn nhau nữa (như trường hợp chất lỏng không nhớt). Vì vậy, chất lỏng tác động một lực lên vật thể. Hình chiếu của lực này lên phương dòng chảy không bị nhiễu động được gọi là lực cản. Lực cản này tỷ lệ với hiệu số áp suất tại mặt trước và mặt sau của vật thể rắn  $\Delta p$  và diện tích bề mặt chiếu trên một mặt phẳng vuông góc với hướng dòng chảy không nhiễu động ( $A$ ). Nó có thể được xấp xỉ như sau:

$$F_d = C_d A \frac{1}{2} \rho U^2 \quad (9.15)$$

Hệ số cản  $C_d$  là một hàm của số Reynolds ( $R_e$ ) và hình dạng và hướng của vật thể (xem hình 9.8 cho trường hợp một hình trụ tròn có  $R_e = UD/\nu$ )



Hình 9.8 Hệ số cản với một hình trụ tròn như là hàm của số Reynolds (Schlichting, 1968).

Với các vật thể có góc cạnh, như là các bản phẳng vuông góc với hướng dòng chảy, các điểm rời là cố định cho tất cả các số Reynolds lớn hơn một giá trị khoảng chừng  $10^3$ . Kết quả là  $C_d$  là hằng số trong khoảng  $R_e$  đó. Ngược với điều này, điểm rời xung quanh các vật thể tròn (như là quả cầu hoặc hình trụ tròn) biến đổi theo số  $R_e$ . Một dịch chuyển khá mạnh mẽ của điểm rời về phía hạ lưu xảy ra nếu  $R_e$  tăng từ  $2 \cdot 10^5$  (Hình 9.7, đường đứt) tới khoảng  $5 \cdot 10^5$  (Hình 9.7, đường đoạn điểm), gây ra sự giảm trong kích thước của miền xoáy và tăng áp suất trong nó. Kết quả là  $C_d$  giảm đột ngột từ khoảng 1.2 tới 0.4 với hình trụ tròn (Hình 9.6). Dòng chảy với  $R_e$  nhỏ hay lớn hơn một khoảng tới hạn được gọi là dòng chảy êm hay dòng chảy xiết.

Sự tồn tại của mối phụ thuộc của  $C_d$  vào số Reynolds, thậm chí với các giá trị lớn của  $R_e$ , là một điều khó chịu vì nó làm cho kết quả xác định áp lực sóng bằng mô hình trong phòng thí nghiệm trở thành không đáng tin. Điều này là bởi vì các giá trị mô hình của  $R_e$  là nhỏ hơn nhiều so với giá trị tại vật thật vì rằng các mô hình vật lý về sóng đòi hỏi thoả mãn điều kiện tương tự số Froude.

### 9.5.3 Lực của chất lỏng tác dụng lên các vật thể trong một dòng chảy đều và không ổn định

Giờ chúng ta hãy xem xét trường hợp mà vận tốc dòng chảy không nhiều động  $U$  là đồng nhất (bằng hằng số trong không gian) nhưng không dừng (thay đổi theo thời gian),  $U = U(t)$ .

Trái với trường hợp dòng chảy dừng, lực lỏng trên một vật thể cố định là không bằng 0 trong trường hợp dòng không dừng thậm chí khi dòng xấp xỉ dòng chảy thế. Ta sẽ xem xét trường hợp này đầu tiên.

#### a) Xấp xỉ dòng chảy thế

Nếu không có vật thể thì chất lỏng được chuyển dời sẽ có một gia tốc đồng nhất  $dU/dt$ , ký hiệu là  $\dot{U}$ . Khi đó, các chất lỏng xung quanh sẽ tác động một lực lên chất lỏng bị dịch chuyển. Lực này bằng với  $\rho V \dot{U}$ , tức là tích của khối lượng dịch chuyển ( $\rho V$ , với  $V$  là thể tích dịch chuyển) và  $\dot{U}$ .

Vì có sự hiện diện của một vật thể cố định và không thấm, chuyển động thực trong khu vực gần với vật thể không giống với chuyển động không bị nhiễu động. Các đường dòng phải bao quanh vật thể. Sự thay đổi vận tốc gây ra bởi sự biến đổi của các đường dòng yêu cầu phải có các lực gia tăng. Tổng lực gia tăng cùng với dòng chảy không nhiễu động (cộng thêm vào  $\rho V \dot{U}$ ) có thể được viết là  $C_a \rho V \dot{U}$ , trong đó  $C_a$  được gọi là hệ số gia tăng khối lượng.

Từ lý luận trên, ta có được biểu thức cho tổng lực trong chất lỏng lý tưởng, xấp xỉ bằng lý thuyết thế:

$$F_{pot}(t) = (1 + C_a) \rho V \frac{dU}{dt} \quad (9.16)$$

Hay:

$$F_{pot}(t) = C_m \rho V \frac{dU}{dt} \quad (9.17)$$

trong đó hệ số quán tính  $C_m$  được định nghĩa như sau:

$$C_m = 1 + C_a \quad (9.18)$$

Lực tương ứng trên một đơn vị chiều dài trên một hình trụ tròn ( $f$ ) được cho bởi:

$$f_{pot}(t) = (1 + C_a) \rho \pi r^2 \frac{dU}{dt} = C_m \quad (9.19)$$

trong đó  $C_a = 1$  là giá trị dòng chảy thế đối với hình trụ.

Cần phải chỉ ra rằng với dòng chảy đều, lời giải lý thuyết thế cho ở đây đối với hình trụ tròn với  $C_m = 1 + C_a = 2$  phù hợp với lời giải nhiễu xạ (9.14) trong mục 9.4 với  $kr \rightarrow 0$  và  $C_{diff} \rightarrow 2$  (xem hình 9.3). Đó là kết quả phải có vì trong trường hợp giới hạn  $kr \rightarrow 0$ , tính chất sóng biến mất và dòng chảy trở thành chuẩn đồng nhất địa phương. Điều này có nghĩa là với bất cứ một vật thể nào  $C_{diff}(kl) \rightarrow 1 + C_a$ , vì rằng  $kl \rightarrow 0$ ; ở đây  $C_a$  là hệ số gia tăng khối lượng của vật thể trong dòng chảy đều dao động.

Các kết quả về dòng chảy thế cho ở trên cho ta một xấp xỉ rất tốt cho áp lực thực cho tới khi mà sự rời lớp biên không xảy ra hoặc là ảnh hưởng của nó là không quan trọng. Một tiêu chuẩn để đánh giá việc này, đúng cho dòng chảy biến đổi hình sin ( $U = \hat{U} \sin \omega t$ ), là  $\kappa \leq 1$ ; trong đó  $\kappa \equiv \hat{U}/(\omega r)$  (xem phần 9.2). Với các giá trị của  $\kappa$  lớn hơn giá trị này, sự rời lớp biên và các hiệu ứng chất lỏng thực trở nên quan trọng, như trình bày dưới đây.

#### b) Các hiệu ứng dòng chảy thực

Trong phần dòng chảy thế giải quyết ở trên, các giá trị của  $R_e$  và  $\kappa$  là phi vật chất, sao cho  $R_e$  là đủ lớn để lớp biên là tương đối mỏng và  $\kappa$  là đủ nhỏ để dòng chảy không bị rời khỏi lớp biên. Điều kiện đầu tiên luôn luôn được thoả mãn trong kỹ thuật bờ biển và ngoài khơi, nhưng điều kiện thứ hai là không thoả mãn.

Với các công trình (hay các yếu tố công trình) nhỏ gọn chịu tác động của sóng có độ dốc lớn,  $\kappa$  lớn đến nỗi xảy ra sự rời lớp biên. Lực tổng cộng khi đó được xem là tổng của lực quán tính có dạng (9.16) và lực cản có dạng (9.15), loại trừ với dòng chảy dao động  $U^2$  được thay thế bởi  $U|U|$ :

$$F(t) = (1 + C_a) \rho V \frac{dU}{dt} + C_d A \frac{1}{2} \rho U |U| \quad (9.20)$$

Các hệ số  $C_a$  (hay  $C_m = 1 + C_a$ ) và  $C_d$  giờ là hàm của  $R_e$  và  $\kappa$  cho một dạng công trình và một cách bố trí công trình cho trước (giả thiết là vận tốc  $U$  biến đổi theo thời

gian theo quy luật hình sin).

Áp lực lên một đơn vị chiều dài của một hình trụ tròn ( $f$ ) theo (9.20) là:

$$f(t) = (1 + C_a) \pi r^2 \rho \frac{dU}{dt} + C_d r \rho U |U| \quad (9.21a)$$

Hay:

$$f(t) = C_m \frac{1}{4} \pi D^2 \rho \frac{dU}{dt} + C_d D \frac{1}{2} \rho U |U| \quad (9.21b)$$

Đây chính là phương trình Morison.

Trong trường hợp thuận tuý biến đổi vận tốc hình sin ( $U = \hat{U} \sin \omega t$ ), (9.21a) trở thành:

$$f(t) = \hat{f}_i \cos \omega t + \hat{f}_d \sin \omega t |\sin \omega t| \quad (9.22)$$

trong đó:

$$\hat{f}_i = (1 + C_a) \pi r^2 \rho \omega \hat{U} = C_m \pi r^2 \rho \omega \hat{U} \quad (9.23)$$

và:

$$\hat{f}_d = C_d r \rho \hat{U}^2 \quad (9.24)$$

Biên độ tương đối của lực cản và lực quán tính trong trường hợp này được cho bởi:

$$\frac{\hat{f}_d}{\hat{f}_i} = \frac{1}{\pi} \frac{C_d}{C_m} \frac{\hat{U}}{\omega r} = \frac{1}{\pi} \frac{C_d}{C_m} \kappa \quad (9.25)$$

Vậy, các giá trị nhỏ hay lớn của  $\kappa$  tương ứng với sự thống trị của lực quán tính hay lực cản. Điều này phù hợp với diễn giải động lực học của  $\kappa$  cho trong phần 9.2, với  $\kappa$  được diễn giải như là tỷ số giữa gia tốc đối lưu và gia tốc địa phương, với gradient áp suất có bậc  $\rho \hat{U}^2 / r$  và  $\rho \omega \hat{U}$ .

Bằng cách đặt đạo hàm bậc nhất của  $f(t)$  cho bởi (9.22) bằng 0, có thể tính giá trị cực đại của  $f(t)$  trong một chu trình. Kết quả là:

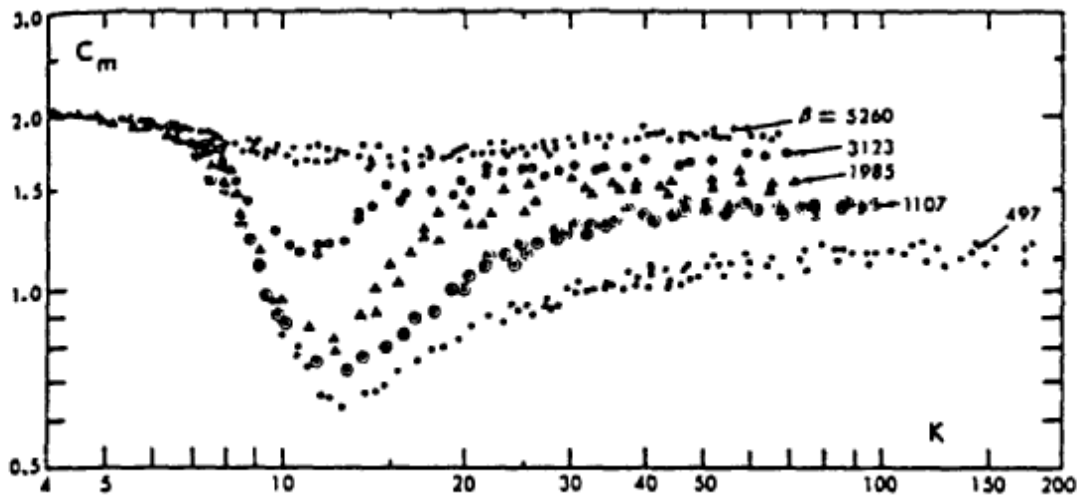
$$f_{\max} = \hat{f}_i \quad \text{nếu} \quad \hat{f}_i > 2\hat{f}_d \quad (9.26a)$$

$$f_{\max} = \hat{f}_d \left\{ 1 + \left( \frac{1}{2} \frac{\hat{f}_i}{\hat{f}_d} \right)^2 \right\} \quad \text{nếu} \quad \hat{f}_i < 2\hat{f}_d \quad (9.26b)$$

Sự chuyển đổi giữa (9.26a) và (9.26b) xảy ra với  $\hat{f}_i = 2\hat{f}_d$  hay (xem phương trình 9.25) với  $\kappa = (\pi/2)C_m/C_d$ , tương ứng với  $\kappa = 2$  tới 3. Với các giá trị nhỏ hơn các giá trị này, lực cản không ảnh hưởng tới áp lực cực đại. Ngược lại,  $f_{\max} = \hat{f}_d$  trong phạm vi nhỏ hơn 10% nếu  $\left[ (1/2)\hat{f}_i/\hat{f}_d \right]^2 \leq 0.1$ , tương ứng với  $\kappa > 10$  tới 15.

Các cố gắng đáng kể đã được tiến hành để xem xét tính đúng đắn của phương trình Morison và xác định các giá trị của  $C_a$  (hay  $C_m$ ) và  $C_d$ . Các kết quả đầy đủ nhất về  $C_m$  và  $C_d$  đã được Sarpkaya (1976) tìm ra. Ông đo áp lực lên một mô hình hình trụ trong một dòng chảy dao động không có mặt thoáng. Các giá trị của  $C_m$  và  $C_d$  được xác định cho mỗi điều kiện sao cho nó có thể cực tiểu hoá sai phương trung bình giữa vế phải của (9.21b) và biến đổi thời gian đo được của lực.

Các kết quả của Sarpkaya cho các hình trụ nhẵn nhụi được cho trên các hình 9.9 và 9.10. Các giá trị thực nghiệm của  $C_m$  và  $C_d$  được vẽ trên các hình này theo số Keulegan-Carpenter với các giá trị khác nhau của thông số  $\beta$  định nghĩa là  $\beta \equiv R_e / K = D^2 / \nu T$ .



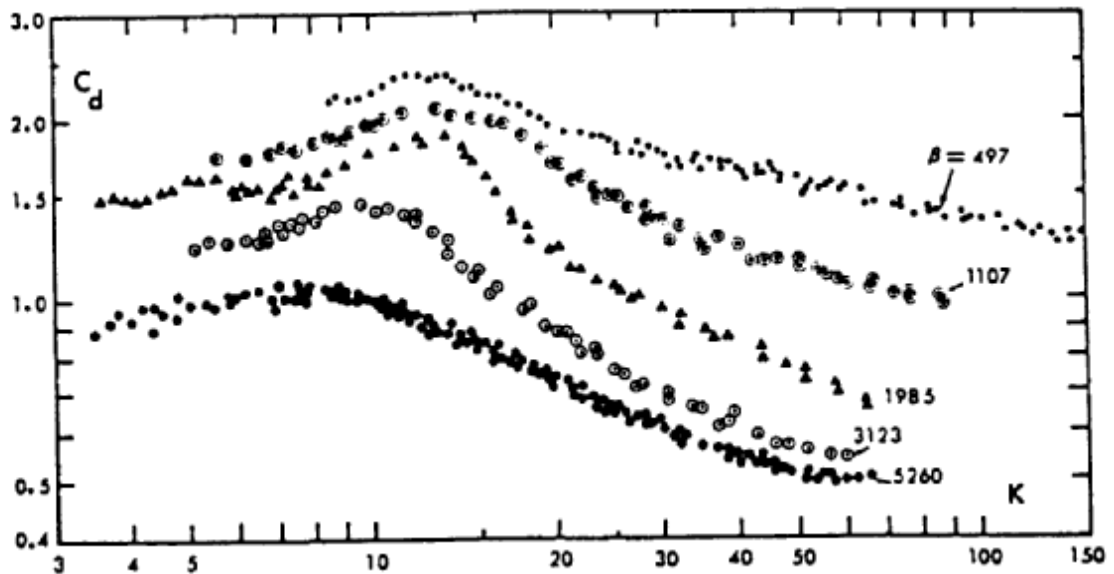
Hình 9.9 Sự phụ thuộc của  $C_m$  vào  $K$  với các giá trị khác nhau của  $\beta$  (Sarpkaya, 1976)

Sự biến đổi của  $C_m$  theo  $K$  và  $\beta$  trong hình 9.9 cho một cách rõ ràng ba khoảng:

- (I) khoảng lực quán tính thống trị  $K \leq 6$ , hay  $\kappa \leq 2$ , trong đó  $C_m$  không phụ thuộc vào  $\beta$  (và như vậy, không bị ảnh hưởng bởi độ nhớt). Trong khoảng này,  $C_m \cong 2$ , và phù hợp với lời giải của bài toán dòng chảy thế.
- (II) khoảng chuyển đổi  $50 \leq K \leq 6$ , hay  $2 \leq \kappa \leq 15$ . Trong khoảng này xuất hiện sự rời lớp biên và tạo xoáy, tạo nên một thay đổi rất nhanh của  $C_m$ , ít nhất là cho các giá trị nhỏ của  $\beta$ . Tuy nhiên, cần phải nhớ rằng những điều này tương ứng với các giá trị khá nhỏ của số Reynolds ( $R_e = \beta K$  nhỏ hơn  $10^5$ ) so với các giá trị điển hình cho vật thật ( $R_e > 10^6$  to  $10^7$ ).
- (III) khoảng lực cản thống trị  $K \geq 50$ , hay  $\kappa \geq 15$  tương ứng với dòng chảy chuẩn dừng mà ở đó  $C_m$  trở nên không phụ thuộc vào  $K$ .

Để thảo luận kỹ hơn về các kết quả này cho các hiện tượng cơ học chất lỏng như sự phát triển của lớp biên, sự biến đổi trong vị trí của điểm rời lớp biên, tạo xoáy v.v..., có thể tham khảo các kết quả của Sarpkaya và Isaacson (1981).

Việc khảo sát kỹ càng áp lực chất lỏng lên các hình trụ tròn có bề mặt gồ ghề cho thấy có ảnh hưởng mạnh của độ nhám tương đối ( $k/D$ , với  $k$  là độ nhám). Các kết quả về vấn đề này được tổng kết trong Sarpkaya và Isaacson (1981). Một thí dụ với  $K = 20$  và  $K = 100$  được cho trên hình 9.11, với  $C_m$  và  $C_d$  được vẽ theo số Reynolds nhám  $Uk/\nu$  với các giá trị khác nhau của  $k/D$ .



Hình 9.10  $C_d$  phụ thuộc và  $K$  với các giá trị  $\beta$  khác nhau (Sarpkaya, 1976)

Một khía cạnh nữa cần phải xem xét đến ở đây là việc tồn tại các lực dao động theo hướng vuông góc với hướng dòng chảy không nhiều động. Lực nâng gây ra do sự tạo thành liên tục của các xoáy tại hai bên của hình trụ, gây nên phân bố áp suất không đối xứng có dao động. Hiện tượng này không tồn tại với dòng chảy có giá trị  $\kappa$  thấp (như  $\kappa \leq 1$ ).

Hệ số nâng  $C_l$  được định nghĩa trong phương trình

$$f_{l,\max} = C_l A \frac{1}{2} \rho \hat{U}^2 \quad (9.27)$$

với  $f_{l,\max}$  là giá trị cực đại của lực nâng trên một chu kỳ dao động. Hệ số này có thể đạt giá trị khá cao (lớn hơn 3) trong các dòng chảy có số Reynolds nhỏ ( $R_e \leq 10^4$ ) và  $\kappa$  nằm trong khoảng từ 3 đến 5. Đây cũng là khoảng mà lực dư tương đối lớn. Với  $R_e \geq 10^5$ ,  $C_l \approx 0.2$  và độc lập với  $\kappa$ . Tần số của lực nâng dao động một cách xấp xỉ bằng  $0.22\hat{U}/D$ , nếu đại lượng này lớn hơn khoảng 3 lần tần số sóng ( $f = 1/T = \omega/2\pi$ ) (Sarpkaya and Isaacson, 1981).

Cho đến nay, công trình được giả thiết là rắn và không chuyển động. Đây không phải là một giả thiết tốt với các công trình compliant mà tại đó cần tính đến ảnh hưởng của chuyển động của công trình lên sự tương tác của nó với chất lỏng. Điều này có thể được thực hiện như sau.

Ký hiệu  $U(t)$  là thành phần vận tốc không nhiều động theo phương trục  $x$  và  $x(t)$  là dịch chuyển của công trình đối với một hệ tọa độ nào đó. Áp lực lỏng lên công trình do gradient áp suất không nhiều động gây ra được cho bởi  $\rho V \dot{U}$ . Hiệu ứng của khối lượng gia tăng và sự rời lớp biên phụ thuộc vào vận tốc tương đối  $U_r = U - \dot{x}$ , sao cho việc tổng quát hoá (9.20) cho trường hợp một vật thể chuyển động trong một dòng chảy đều bất dừng là

$$F(t) = \rho V \frac{dU}{dt} + C_a \rho V \frac{dU_r}{dt} + C_d A \frac{1}{2} U_r |U_r| \quad (9.28)$$

Ảnh hưởng của tính không đều trong dòng chảy không nhiều động sẽ được xem xét trong phần sau.

#### 9.5.4 Lực của chất lỏng tác dụng lên các vật thể nhỏ gọn khi có sóng

Dòng chảy xung quanh một công trình hay một yếu tố công trình trong trường sóng là phức tạp hơn nhiều so với trường hợp dòng chảy đều được giải quyết trong mục 9.5.3. Một



số khác biệt là

- có xảy ra tán xạ sóng
- đặc trưng ba chiều của trường vận tốc tại mỗi điểm
- sự biến đổi của vận tốc với vị trí (tức là sự không đồng nhất của dòng chảy không bị nhiễu động)
- độ sâu phần ngập nước thay đổi
- đặc tính không chu kỳ của dao động (trong sóng gió)
- sự hiện diện (có thể có) của dòng chảy

Ảnh hưởng của sóng tán xạ được xem xét đầu tiên.

Thực tế là chúng ta đang xem xét một vật thể nhỏ gọn ( $kl \ll 1$ ) có nghĩa là có thể bỏ qua sóng tán xạ và có thể xấp xỉ dòng chảy địa phương bằng một dòng chảy chuẩn đều. Nói một cách khác, có thể áp dụng các kết quả của dòng chảy dao động và đều xem xét trong mục (9.5.3) cho trường hợp vật thể nhỏ gọn khi có sóng. Thí dụ, phương trình Morison được dùng để tính lực với giá trị vận tốc không nhiễu động tại tâm của yếu tố công trình được sử dụng với vai trò là  $U$ . (Vật thể nhỏ so với bước sóng có nghĩa là giá trị vận tốc không nhiễu động trong phần không gian mà vật thể chiếm là gần như đồng nhất, và do vậy không cần một khái niệm “trung tâm” một cách quá chặt chẽ.)

Vấn đề hiện nay là kích thước tương đối của vật thể ( $kl$ ) lớn tới mức độ nào thì xấp xỉ này là chấp nhận được. Để trả lời câu hỏi này, cần dùng lời giải dòng chảy thế đã biết về sự nhiễu xạ của sóng quanh một hình trụ thẳng đứng (Mục 9.4). Như đã chỉ ra trong mục 9.5.3, lời giải này trở thành lời giải cho dòng đồng nhất nếu  $kr \rightarrow 0$ . (Với  $kr = 0$ ,  $C_{diff} = 2$ , giống như là kết quả dòng chảy đồng nhất cho  $C_m$ ).

Khảo sát hình 9.5 cho thấy rằng  $C_{diff}(kr) \cong 2$  trong khoảng 10% khi mà  $kr \leq 0.6$ , hay là  $D/L \leq 0.2$ . Điều này nói chung là chấp nhận được như là tiêu chuẩn để áp dụng được của xấp xỉ cho vật thể nhỏ trong đó tán xạ sóng bị bỏ qua và chuyển động được coi là chuẩn đồng nhất. Với các giá trị lớn hơn của  $kr$  (hay  $D/L$ ), không thể bỏ qua sự tán xạ sóng.

Điều kiện  $kr \leq 0.6$  không phải quá chặt chẽ như điều kiện  $kr \ll 1$  đã được phát biểu trước (Mục 9.2). Điều này là do ta đã cho phép một sai số tương đối khoảng 10%, khá là lớn. Một sai số tương đối cho phép nhỏ hơn, thí dụ 1%, sẽ tạo ra một khoảng cho phép của  $kr$  nhỏ hơn nhiều.

Giờ chúng ta hãy xem xét một cách tóm tắt những khác biệt giữa dòng chảy xung quanh một vật thể nhỏ gọn khi có sóng và xung quanh một vật thể trong một dòng chảy đều dao động.

Các đặc trưng ba chiều của trường vận tốc tại mỗi điểm có thể được cụ thể hoá như là một ống nằm trong một trường vận tốc với vận tốc vuông góc với trục của nó từ các hướng khác nhau, cũng như theo hướng trục của nó. Các hình trụ nằm ngang theo hướng đỉnh sóng sẽ chịu tác động của một vector vận tốc quay quanh trục của nó.

Hiệu ứng của các hiện tượng này và các hiệu ứng khác sinh ra do có những khác biệt với trường hợp dòng chảy đều chưa được nghiên cứu kỹ. Trong thực tế, các giả thiết đơn giản sau đây được đưa ra: áp lực của chất lỏng theo hướng vuông góc với trục được giả thiết là phụ thuộc vào vận tốc tức thời của dòng chảy không nhiễu động và gia tốc theo hướng của lực như trong các phương trình ở trên. Tuy nhiên, việc xác định một cách chính xác các hệ số dùng trong các phương trình trở nên không rõ ràng với các trường hợp kể trên. Các giá trị không thay đổi thường được giả thiết. Trong các phương pháp thiết kế ngẫu nhiên hiện đại hơn, có thể có tính đến ảnh hưởng của những điều không rõ ràng trong các giá trị của các hệ số lực. Đó là một thủ tục khá tốt để giải quyết những vấn đề mà chúng ta chưa biết về hiện tượng thực tế, nhưng hiện tại không được dùng rộng rãi.

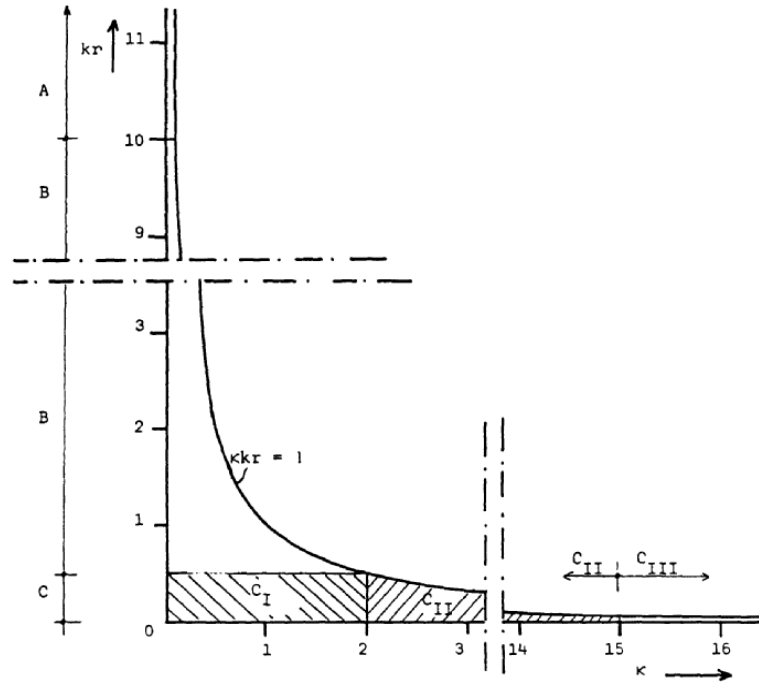
Một vấn đề phức tạp khác là tính toán áp lực sóng lên một công trình có độ sâu phần ngâm nước thay đổi. Điều này về mặt nguyên tắc không gây ra khó khăn gì đối với các trường hợp công trình có mặt nghiêng hay mặt có bậc. Vấn đề phức tạp duy nhất trong trường hợp này là sự thay đổi trong giới hạn tích phân khi tính tổng lực. Tuy nhiên, các công trình nằm ngang trong miền giữa bụng sóng và đỉnh sóng phải chịu một tải nổi dao động khá lớn, và có thể là sốc vận tốc gây ra bởi slamming. Tuy nhiên việc giải quyết tất cả các vấn đề này nằm ngoài phạm vi của giáo trình này.

## 9.6 Tổng kết về các chế độ chảy

Trong phần này chúng ta sẽ tổng kết tóm tắt về các chế độ chảy cho xác định về lực sóng lên công trình. Các giá trị thông số số trị ở đây chỉ áp dụng được cho các hình trụ tròn khi có sóng hình sin, nhưng lý luận chung có thể áp dụng một cách định tính cho tất cả các

trường hợp. Ba thông số cơ bản để xác định dòng chảy  $R_e$ ,  $kr$  và  $\kappa$ .

Trong thực tế, số Reynolds ( $R_e$ ) là rất lớn, nhưng ta sẽ không xem xét giá trị thực của nó tại đây. Các thông số  $kr$  và  $\kappa$  chỉ xảy ra trong khoảng  $\kappa kr < 1$ . Điều này được chỉ ra trên hình 9.10. Miền có những phối hợp có thể có của  $kr$  và  $\kappa$  được chia thành 5 miền nhỏ phù hợp với lý luận trong đoạn trên. Một tóm tắt ngắn về các đặc tính của các miền nhỏ này và các giá trị xấp xỉ của các thông số dùng để phân biệt chúng được cho như sau.



Hình 9.12 Những khoảng áp dụng gần đúng của các phương pháp tính toán

(A)  $kr \geq 10$

- nhiễu xạ là nhỏ đến mức có thể bỏ qua
- Lý thuyết tia (bao gồm cả phản xạ)

(Tiêu chuẩn này không phù hợp cho công trình ngoài khơi).

(B)  $0.5 \leq kr \leq 10$

- Nhiễu xạ là quan trọng
- áp dụng dòng chảy thế để nghiên cứu nhiễu xạ

-  $C_{diff}(kr)$

(C)  $kr \leq 0.5$

- có thể bỏ qua tán xạ sóng (nhiễu xạ  $R:100\%$ )
- dòng chảy chuẩn đồng nhất
- phương trình Morison

Miền (C) được chia thành các miền sau:

- (C<sub>I</sub>) -  $\kappa \leq 2$ 
  - rất không dừng
  - lực quán tính là thống trị ( $f_{\max} = \hat{f}_i$ )
  - $C_m \approx 2$  ( $\approx C_{diff}$  for  $kr \leq 0.5$ )
  - $C_d$  không quan trọng
- (C<sub>II</sub>) -  $2 \leq \kappa \leq 15$ 
  - chế độ quán tính / cản
  - ( $C_m, C_d$ ) thay đổi theo ( $R_e, \kappa$ )
- (C<sub>I</sub>) -  $\kappa \geq 15$ 
  - dòng chảy chuẩn dừng
  - lực cản thống trị ( $f_{\max} \cong \hat{f}_i$ )
  - $C_d$  thay đổi theo ( $R_e, \kappa$ )
  - $C_m$  không quan trọng

## 9.7 Thí dụ

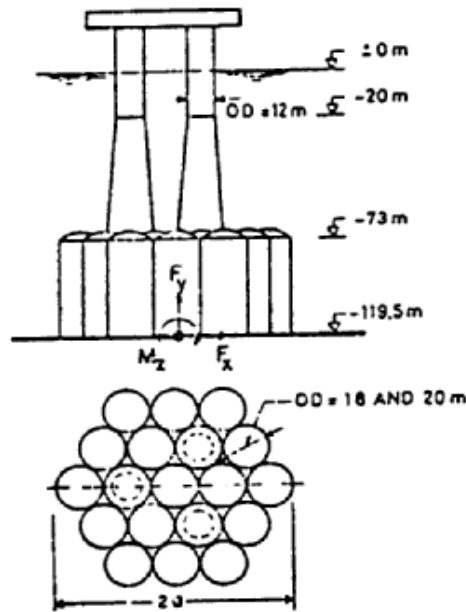
Phần này cho một thí dụ về tính toán áp lực sóng và so sánh giữa kết quả tính toán và kết quả thí nghiệm. Một thí dụ được lấy từ Garrison và cộng sự (1974) (xem cả Garrison, 1978 với các tính toán chi tiết hơn).

Công trình xây dựng (được gọi là CONDEEP) được xây tại độ sâu 120 m nước. Nó bao gồm một chân đế bê tông mà trên đó có ba cột có độ cao trên mặt nước. Chân đế có hình gần lục giác với đường kính (bằng 2a như trong hình 9.13) 100 m. Các cột có đường kính ngoài 12 m gần mặt nước (xem hình 9.13).

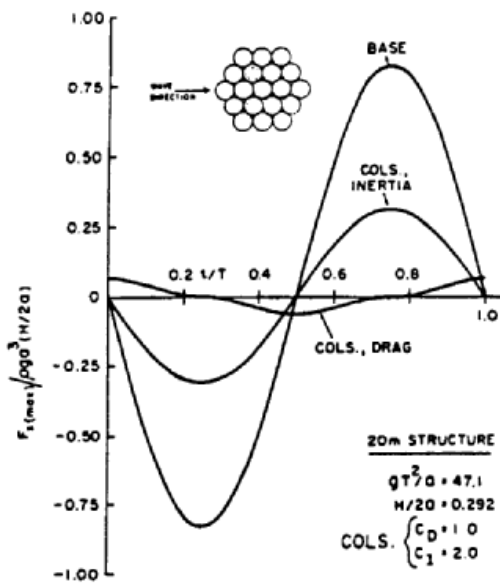
Việc tính toán và xác định quy mô kích thước công trình được dựa vào chu kỳ sóng với chu kỳ từ 14 s đến 17 s và với độ cao từ 21 m đến 29 m. Dưới đây là các giá trị thông số mẫu được sử dụng cho sóng có  $T = 15$  s và  $H = 25$  m

Lý thuyết sóng tuyến tính cho  $L_0 = gT^2 / 2\pi = 351$  m, và do vậy  $h / L_0 = 0.34$  (gần như là nước sâu). Việc tính toán có sử dụng mối liên hệ phân tán cho  $L = 350$  m. Kích thước đáy (100 m) có vẻ như là khá lớn hơn  $0.2 L$  vì vậy cần phải tính đến nhiễu động của trường sóng gây ra do nền móng công trình. Quá trình này được tiến hành một cách số trị nhờ phương pháp phân bố nguồn. Mặt khác, đường kính của cột là nhỏ hơn  $0.2 L$  rất nhiều và do đó cần phải tính lực tác động lên nó theo phương pháp chuẩn đồng nhất, tức là dùng

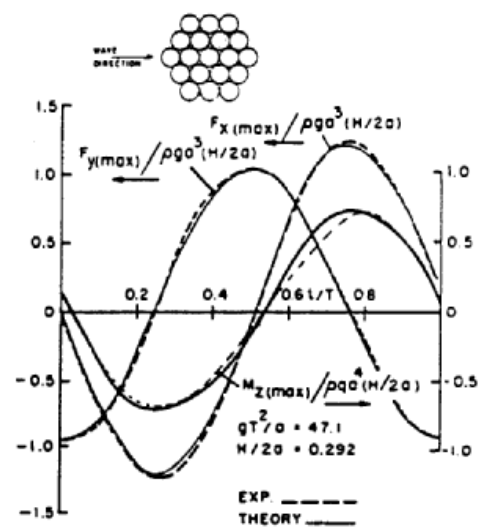
phương trình Morison. Hơn nữa, có thể bỏ qua sự có mặt của các cột (nhỏ gọn) khi tính tán xạ sóng bởi nền móng. Điều này làm đơn giản hoá các tính toán và giảm giá thành.



Hình 9.13 Hình dạng của công trình CONDEEP (Garrison và cộng sự, 1974)



Hình 9.14 Hệ số lực ngang



Hình 9.15 Áp lực và hệ số moment cho toàn công trình

Để áp dụng phương trình Morison, cần biết giá trị của  $\kappa$ . Vì ta giải quyết vấn đề sóng nước sâu, dịch chuyển tổng cộng của hạt nước theo phương ngang ( $A$ ) gần mặt nước là gần như bằng độ cao sóng ( $H$ ), sao cho  $\kappa \cong H/D \cong 2$ . Điều này cho thấy rằng lực quán tính có ưu thế lớn, và  $C_m \cong 2$ ; Garrison và cộng sự đã dùng những giá trị này với  $C_d = 1$ .

Sự hiện diện của nền móng đã làm tăng vận tốc hạt nước theo phương nằm ngang bên trên nó. Lượng tăng này đã được tính toán từ thế tán xạ của sóng. Tải trọng sóng lên các cột đã được tính toán bằng cách áp dụng phương trình Morison.

Các lực nằm ngang tác động vào nền móng và các cột được cho trên hình 9.14. Kết quả so sánh giữa các giá trị tính toán về các lực nằm ngang  $F_x$  và thẳng đứng ( $F_z$ ) và moment đối với đường nằm giữa ( $M$ ) và các giá trị đo đạc được với một mô hình có tỷ lệ 1:120 được cho trong hình 9.15. Sự phù hợp giữa các kết quả này là rất tốt.

## Chương 10 ĐO ĐẠC VÀ DỰ BÁO SÓNG ĐẠI DƯƠNG

### 10.1 Các kỹ thuật đo đạc sóng đại dương

Những hiểu biết về sóng mặt là kết quả của những quan trắc sóng ngoài hiện trường và trong phòng thí nghiệm. Ở đây, chỉ những kỹ thuật đo đạc hiện trường được trình bày một cách tóm tắt. Các kỹ thuật đo đạc trong phòng thí nghiệm có thể được tìm trong các sách chuyên khảo, thí dụ như sách của Dean và Dalrymple (1991).

Các quan trắc sóng bằng mắt từ ngày xưa là nguồn thông tin đầu tiên về các tính chất thống kê của sóng. Cho dù hiện nay đã có rất nhiều phương tiện giúp cho quan trắc sóng, các quan trắc sóng bằng mắt vẫn là nguồn số liệu cho hầu hết diện tích đại dương. Ban đầu, trạng thái mặt biển được biểu thị bằng thang cấp Beaufort. Trong thực tế, thang cấp Beaufort với các cấp độ từ 0 đến 12 cho ta thang tốc độ gió liên quan với một số mô tả trạng thái mặt biển. Tuy nhiên, đó không phải là mối liên hệ trực tiếp giữa tốc độ gió và độ cao sóng. Chỉ vào năm 1947 Tổ chức Khí tượng Thế giới (WMO) mới đưa ra một tiêu chuẩn quốc tế cho quan trắc sóng và gió.

Có hai nguồn số liệu sóng quan trắc bằng mắt chính là nguồn số liệu sóng quan trắc được tự nguyện từ các tàu buôn (VOS) và từ các tàu thời tiết (trạm khí tượng đại dương OWS). Các tàu buôn thường tránh thời tiết xấu, do vậy chúng ít quan trắc được sóng trong các điều kiện thời tiết nguy hiểm như các tàu thời tiết. Các trạm khí tượng đại dương OWS phủ hầu hết các luồng tàu giữa Châu Âu và Bắc Mỹ. Thái Bình Dương chưa được đo đạc kỹ và chỉ có một số ít trạm hiện đang hoạt động ở bắc Thái Bình Dương. Các nguồn số liệu quan trắc bằng mắt chính là các tập số liệu của Hogben và Lumb (1967), Hogben và cộng sự (1986), và Hogben (1988). Cuốn sách “Các đặc trưng sóng toàn cầu” do Hogben và cộng sự (1986) viết chứa các số liệu toàn cầu về sóng ở 104 khu vực biển. Cuốn sách này cung cấp một số lượng rất lớn các quan trắc bằng mắt cả về sóng và gió do các tàu hoạt động trên toàn bộ đại dương thế giới cung cấp.

Các tàu tự nguyện thu thập các số liệu dọc theo các lộ trình buôn bán của các tàu buôn mà ở đó các thông tin này là quan trọng nhất. Vì các số liệu này do các tàu có loại tàu và kích thước khác nhau thu thập nên có những biến động rất lớn. Biến động này dẫn tới sai số ngẫu nhiên và kết quả là sai lệch về giá trị trung bình. Vì vậy, những cố gắng đã được sử dụng để xác lập một mối liên hệ giữ độ cao sóng đo bằng mắt tại các tàu thời tiết và các quan trắc sóng tự nguyện (Soares, 1986).

Để tránh những sai sót của quan trắc bằng mắt, người ta thường thích dùng các đo đạc bằng thiết bị. Các thiết bị này ít nhất là khách quan và không bị sai lệch chủ quan. Điều này nói chung là đúng nhưng các thiết bị cũng có những nhược điểm riêng của chúng. Hai nhược điểm quan trọng nhất là những giới hạn của nguyên lý làm việc của cảm biến (thí dụ như các phao hình cầu không ghi được những sóng có độ dốc lớn) và quá nhạy cảm với môi trường biến động của biển (như các ảnh hưởng cơ học do sóng lắc, bào mòn do nước biển). Hai kỹ thuật quan trắc đối với sóng biển là đo đạc tại chỗ và viễn thám.

### 10.1.1 Các kỹ thuật đo đạc tại chỗ

Kỹ thuật đo đạc bằng các thiết bị đặt trong nước được gọi là kỹ thuật đo đạc tại chỗ. Các kỹ thuật đo đạc tại chỗ với sóng là đo đạc sóng bằng các trạm phao và các dàn đo sóng.

#### a) Các trạm phao

Một trong số các thiết bị phổ biến nhất sử dụng để đo đạc sóng là các trạm phao nâng có thể theo dõi chuyển động thẳng đứng của mặt nước. Phao này đo gia tốc chuyển động thẳng đứng của chính nó. Bằng cách tích phân gia tốc này hai lần, có thể biết được chuyển động của bề mặt biển nếu như phao chỉ tham gia chuyển động thẳng đứng và nằm nguyên tại một vị trí theo phương nằm ngang như sau:

$$\zeta(t) = \iint \ddot{\zeta} dt^2 \equiv \iint \ddot{z} dt^2 \quad (10.1)$$

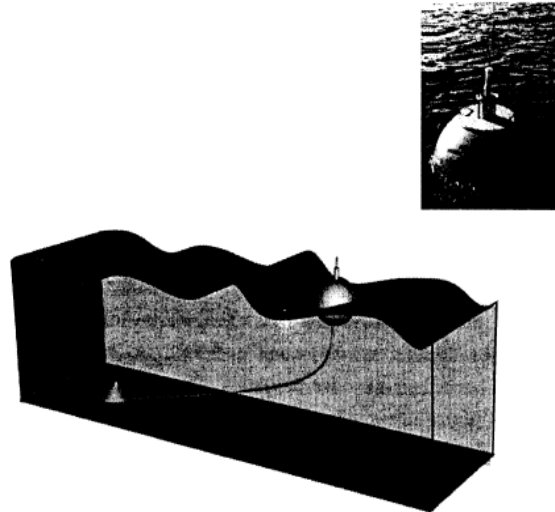
với  $\zeta(t)$  và  $\ddot{\zeta}$  lần lượt là mực mặt biển và gia tốc của nó, và  $\ddot{z}$  là gia tốc của phao.

Một cái phao có một kích thước và khối lượng hữu hạn, vì vậy thường là các đo đạc cho các đánh giá thấp về sóng ngắn. Tuy nhiên, đánh giá thấp này là một yếu tố đã biết và trong một giới hạn nào đó có thể bù đắp được trong khi phân tích chuỗi số liệu ghi được. Đường kính phao có thể thay đổi trong khoảng 10 m (các phao NDBC1 ở Mỹ) tới khoảng 1 m (phao WAVERIDER của Datawell ở Hà Lan là phao được dùng phổ biến nhất, hình 10.1).

Các phao thường có máy phát vô tuyến để gửi số liệu tới một trạm nhận tín hiệu trên bờ hay trên một trạm cố định. Trước đây, các thiết bị truyền thông tin thường là thiết bị vô tuyến UHF (với khoảng cách trong tầm nhìn thấy được), nhưng gần đây chúng thường được truyền qua vệ tinh và định vị bằng hệ thống định vị toàn cầu GPS. GPS đã trở nên đủ chính xác (với một điểm gốc gần đó) và do vậy nó có thể được dùng để đo chuyển động thẳng



đứng của phao. Điều này cho phép xây dựng một kỹ thuật đo sóng mới. Kỹ thuật này đang được sử dụng hiện nay ở một số trạm phao hiện đại (trạm phao SMART của OCEANOR, Na Uy).



Hình 10.1 Trạm phao WAVERIDER trên mặt biển.

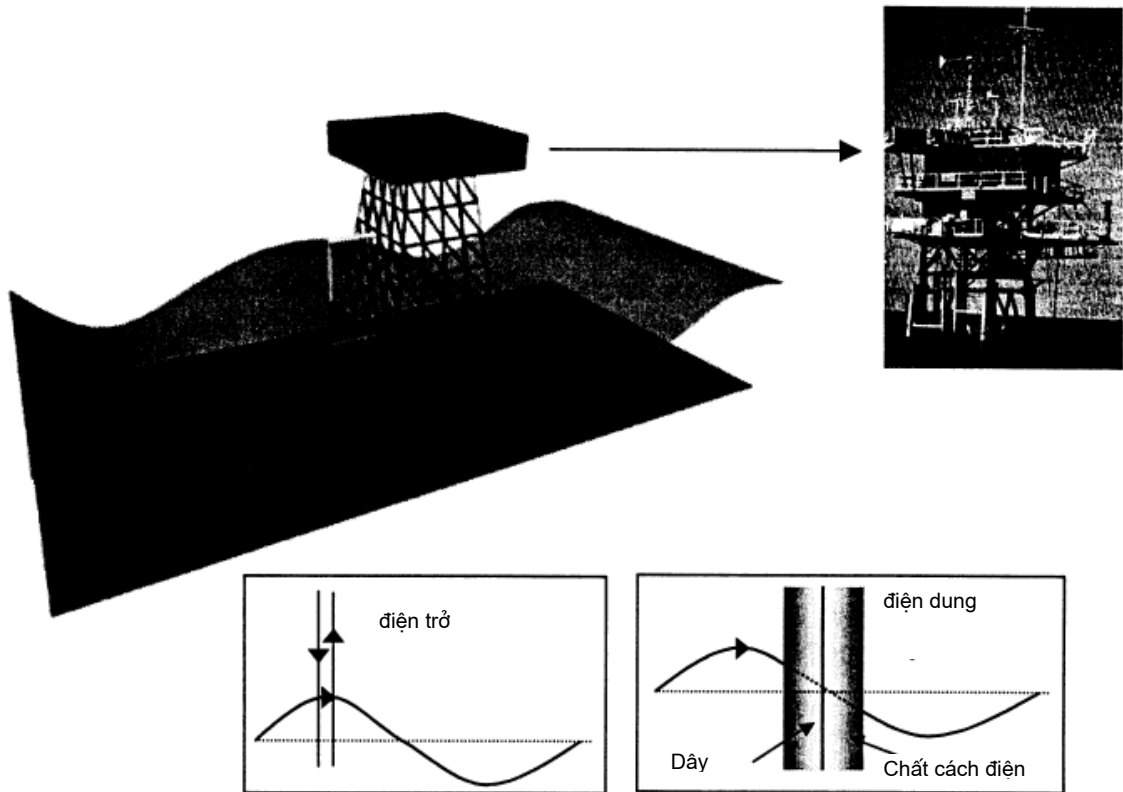
Một trong những nhược điểm của kỹ thuật này là phao có xu hướng đi theo quỹ đạo chuyển động của mặt nước tại bề mặt chứ không phải là chuyển động thẳng đứng tại một điểm cố định theo phương nằm ngang. Điều này làm ảnh hưởng các quan trắc về các tính chất phi tuyến của sóng (mối liên hệ pha giữa các thành phần khác nhau trong phổ sóng). Hơn nữa, các phao có xu hướng tránh những phần rất dốc của sóng (chúng dao động xung quanh đỉnh sóng và do vậy tránh phần cao nhất của đỉnh sóng).

Một phao nâng không cho ta thông tin về hướng sóng. Hai dạng phao khác được sáng chế với mục đích đo hướng sóng. Dạng phao thứ nhất đo độ dốc mặt nước, tức là độ dốc and độ xoay của một phao dạng chiếc bánh doughnut (phao này cũng đo độ nâng của nó). Điều này yêu cầu là phải có một cảm biến nữa để đo góc nghiêng của phao theo hai hướng vuông góc (máy đo góc nghiêng) và một cảm biến để xác định hướng Bắc. The độ dốc của phao biểu thị hướng sóng chính trong khi độ xoay cho biết mức độ ba chiều của sóng (độ ngắn của đỉnh sóng). Một cách khác để đo được hướng sóng là dùng phao đo được chuyển động ngang (chuyển động về phía trước và chuyển động ngang). Tương tự như độ nâng, sự chuyển động về phía trước của phao cho biết hướng sóng trung bình trong khi chuyển động ngang cho biết độ ngắn của đỉnh sóng. Ở đây, GPS là đủ chính xác để đo được chuyển động ngang của phao và do vậy phao SMART có thể đo được hướng sóng.

Các phao khác có thể đo hướng sóng như phao WAVETRACK (USA), WAVEC (Hà

Lan), WADIBUOY (Pháp), NORWAVE (Na Uy), MAREX (Anh).

b) Dàn đo sóng



Hình 10.2 Hai kỹ thuật đo đạc tại dàn đo sóng.

Khi một công trình được xây dựng cố định tại một vị trí nào đó, một dây dẫn điện có thể được treo từ công trình tới một độ sâu nào đó dưới mặt nước (Hình 10.2). Có thể đo được vị trí của mặt nước khi nó chuyển động dọc theo dây dẫn trong điều kiện sóng. Một phương pháp dễ dàng để thực hiện việc này là đo độ dài của dây dẫn trên mặt nước bằng cách đo điện trở của nó (trong thực tế là hai dây điện bị chập mạch tại mặt nước như trong hình 10.2). Một kỹ thuật khác là đo dung trở của dây. Để làm việc này, một dây đơn được dùng. Dây này được phủ bằng một lớp cách điện và do vậy tạo ra một dung trở với hai điện môi được phân chia bằng một môi trường cách điện (Hình 10.2). Cũng có thể gửi một tín hiệu điện có tần số cao qua dây dẫn. Tín hiệu điện này sẽ bị phản xạ tại bề mặt nước và do vậy xác định được vị trí của bề mặt nước dọc theo dây dẫn. Để làm rõ các nhược điểm riêng của mỗi kỹ thuật, cần phải nhận thấy rằng khi mặt nước rút xuống, nó thường để lại một lớp nước mỏng với một vùng chuyển tiếp có dạng đỉnh gần mặt nước. Điều này làm ảnh hưởng tới kết quả đo đạc. Thông thường là có thể bỏ qua sai số đo đạc này. Tuy nhiên, với những đo đạc rất chi tiết (như nghiên cứu sóng mao dẫn) thì cần phải cẩn thận.

Các dây dẫn điện trên không cho thông tin về hướng truyền sóng. Có thể dùng một nhóm các dây để tìm hướng truyền sóng. Thí dụ như ba dây cách nhau một khoảng rất nhỏ (trên các đỉnh của một tam giác rất nhỏ so với bước sóng) có thể dùng để đánh giá độ dốc của mặt nước. Kết quả rất gần với kết quả đo được bằng phao nghiêng - xoay. Một nhóm các dây ở khoảng cách lớn hơn (có bậc độ lớn của bước sóng) có thể được dùng để phát hiện sự khác biệt về pha của các bước sóng khác nhau khi mà các sóng đi qua nhóm dây. Thí dụ, với một sóng thành phần (một phối hợp của tần số và hướng sóng) sự khác biệt về pha giữa hai dây là bằng 0 nếu đỉnh của sóng thành phần đồng thời đi qua hai dây. Bất cứ một sự khác biệt nào về pha cũng cho thông tin về hướng sóng. Thông tin này có thể được tăng cường bằng cách đưa thêm dây vào hệ thống (và do vậy cung cấp thông tin chi tiết hơn về tính ngắn của đỉnh sóng).

### *c) Các kỹ thuật đo đạc tại chỗ khác*

Các phao và dàn đo sóng ở trên là các phương tiện được dùng phổ biến nhất để đo đạc sóng. Tuy nhiên, do nhiều yếu tố (như khả năng vận hành, tài chính v.v...) nên trong một số điều kiện nào đó người ta có thể dùng những phương pháp thích hợp hơn. Các phương pháp này là sóng âm, áp suất và dòng chảy. Máy đo sóng bằng âm là một thiết bị đo sóng đặt tại một độ sâu nào đó dưới mặt nước, hướng lên phía trên và đo vị trí của bề mặt nước bằng một tia âm hẹp. Thiết bị này được đặt tại nhiều vị trí gần bờ biển Nhật bản. Một máy đo sóng bằng áp suất được đặt tại một độ sâu nào đó dưới mặt nước và có thể đo được dao động áp suất do sóng gây ra. Không thể dùng trực tiếp các dao động áp suất này để xây dựng lại chuyển động của bề mặt nước, nhưng với một phép chuyển hợp lý có thể đánh giá phổ của sóng. Khi được đặt theo một phân bố không gian nào đó, các tập hợp (ít nhất là ba) tia âm hay máy đo áp suất có thể cho biết hướng truyền sóng. Một máy đo vận tốc dòng chảy được đặt tại một độ sâu nào đó có thể đo được chuyển động quỹ đạo. Chuyển động này có thể được dùng để đánh giá phổ sóng, và vì rằng chuyển động quỹ đạo được đo như là một vector (theo phương ngang) nên thông tin về hướng cũng được chứa đựng trong đó.

### *10.1.2 Các kỹ thuật viễn thám*

Các dụng cụ đặt phía bên trên mặt nước trên một dàn cố định (như một tháp quan trắc ngoài biển hay trên bờ) hay một dàn di động (tức là một con tàu, một máy bay hay một vệ tinh) được định nghĩa là các thiết bị viễn thám. Nguyên lý hoạt động của các thiết bị này là tiếp nhận một tia sáng nhìn thấy được hay năng lượng ra-đa phản xạ từ mặt biển. Sự khác biệt quan trọng nhất so với kỹ thuật đo đạc tại chỗ là các thiết bị viễn thám thường phủ được một diện tích rộng trong một khoảng thời gian ngắn, nhất là khi đo từ vệ tinh. Nhưng mặt khác, kỹ thuật viễn thám thường chỉ dùng trong thí nghiệm và đắt hơn đo trực tiếp

(phần lớn là do giá thành của giàn đo). Tuy nhiên, phương pháp đo viễn thám thường được chính phủ hay các tổ chức quốc tế tài trợ. Hơn nữa, chi phí có thể do nhiều người có nhu cầu sử dụng thông tin góp vào nên phương pháp đo viễn thám trong nhiều trường hợp vẫn khả thi.

#### *a) Ảnh lập thể*

Chụp ảnh là một phương pháp được dùng để quan trắc sóng và với ảnh lập thể, có thể chụp được mực mặt nước như là hàm của tọa độ ngang tại một thời điểm. Kỹ thuật này đã được sử dụng rất tốt để chụp ảnh trên cạn. Một máy ảnh có chất lượng cao thường hướng từ trên xuống dưới từ một máy bay và chụp các ảnh cách quãng nhau vài giây một phần mặt đất. Một bề mặt được chụp từ các góc khác nhau nên các hình chụp được là hơi khác nhau. Những sự khác nhau này (parallax) có thể được chuyển thành cao độ và do vậy tạo ra một bức ảnh ba chiều bề mặt. Khi mà kỹ thuật này được áp dụng cho mặt biển, một máy ảnh là không đủ vì rằng mặt biển sẽ thay đổi từ ảnh này tới ảnh khác. Thay vào đó, hai máy ảnh chụp đồng thời được sử dụng. Điều này yêu cầu hai vị trí chụp ảnh (mỗi vị trí cho một máy ảnh như là hai máy bay).

Kỹ thuật này đã được sử dụng trong một số thí nghiệm nhưng do nó quá phiền toái trong thao tác và phân tích (cần máy bay, phụ thuộc vào điều kiện thời tiết, phân tích ảnh) nên cho đến nay chỉ được dùng trong các thí nghiệm. Ảnh lập thể là không đủ chính xác khi chụp nó từ vệ tinh (chưa kể đến điều kiện thời tiết và điều kiện đêm không thích hợp cho việc chụp ảnh).

#### *b) Đo độ cao bằng laser*

Một kỹ thuật khác là dùng ánh sáng nhìn thấy được bằng ánh sáng laser để đo độ cao. Thực ra, đó là một máy đo khoảng cách để đo khoảng cách từ thiết bị tới bề mặt biển bên dưới giàn đặt thiết bị phụ thuộc vào thời gian. Kỹ thuật này được áp dụng từ thiết bị đặt trên dàn cố định (như giàn khoan dầu khí) hay dàn chuyển động (như máy bay). Việc đo từ máy bay có khó khăn vì mặt biển không phải là được đo tại một điểm mà theo một đường (đường bay của máy bay). Kỹ thuật này đỡ phiền toái hơn kỹ thuật ảnh lập thể nhưng cũng có nhiều vấn đề phiền toái. Kỹ thuật đo độ cao bằng tia laser dường như là đủ chính xác để có thể đo từ vệ tinh nhưng cũng bị ảnh hưởng rất mạnh bởi điều kiện thời tiết.

#### *c) Đo độ cao bằng radar*

Thay cho tia laser, có thể dùng tia radar để đo khoảng cách từ thiết bị tới bề mặt bên dưới. Nếu như radar được bố trí gần mặt nước (trên một dàn cố định hay trên một máy bay)

thì radar là đủ chính xác để đo mực mặt biển giống như tia laser. Từ một khoảng cách lớn hơn, đặc biệt là từ một vệ tinh, phương pháp thao tác có khác. Với các áp dụng như thế, mặt cắt của tia radar tại bề mặt (vết chân) là quá rộng để có thể đo được các sóng riêng rẽ. Tuy nhiên, tín hiệu radar phản xạ từ bề mặt sẽ bị méo do sóng. Sự méo tín hiệu có thể được dùng để đánh giá độ nhám của bề mặt, và do đó là độ cao sóng đặc trưng. Radar phát ra một bó sóng điện từ tới mặt nước theo mặt phẳng. Nếu mặt nước là mặt phẳng thì vệ tinh sẽ nhận được một sự phản xạ đồng nhất từ bề mặt. Sự tồn tại của sóng sẽ tạo ra sự bất đồng nhất của tín hiệu phản xạ từ bề mặt, và dựa trên sự bất đồng nhất này, độ cao sóng được tính toán.

#### *d) Radar hình ảnh*

Các radar trên tàu thường được dùng để phát hiện các vật thể xung quanh tàu, tức là những vật thể rắn có khả năng gây hại cho con tàu. Do vậy các radar này thường được thiết kế để tìm được phản xạ từ các vật rắn đó. Tuy nhiên, nó cũng có thể được đặt sao cho nó cho sóng phản xạ từ các bề mặt mềm hơn như là mặt bãi cát hay sóng (thường được xem là đám “bụi”). Cơ chế của sóng radar phản xạ từ bề mặt là sự tán xạ của sóng radar từ sóng biển có chiều dài bằng hai lần sóng radar. (trong thực tế là trong khoảng cm). Do đó, radar chỉ nhìn thấy các sóng mao dẫn. Dạng của các hình nổi bề mặt cho hình ảnh của các sóng dài hơn (trong khoảng m hay dài hơn) trên mặt của radar. Các hình ảnh này có thể được số hoá và phân tích để xác định phổ sóng, bao gồm cả hướng truyền sóng.

Các radar tương tự đã được đặt trên các vệ tinh. Chúng quan trắc sóng trên quy mô đại dương. Tuy nhiên, cần một ăng ten rất lớn để quan trắc các sóng đơn từ độ cao của vệ tinh. Để giải quyết vấn đề này, người ta dùng một antenna nhỏ với một thiết bị phát tín hiệu đã được chương trình hoá để có thể phát và thu các tín hiệu đã được chương trình hoá một cách chuẩn mực từ một antenna chuyển động dọc theo một đường thẳng và do vậy có thể mô phỏng một antenna lớn hơn nhiều. Một radar có tín hiệu được chương trình hoá như vậy được gọi là một synthetic aperture radar (SAR). Lý thuyết về việc sử dụng các hình ảnh SAR có vẻ đáng thuyết phục nhưng các phương pháp để phân tích các hình ảnh này vẫn chưa được xây dựng hoàn chỉnh. Hơn nữa, chuỗi số liệu do SAR tạo ra là rất lớn do vậy thiết bị không thể vận hành liên tục trong lúc vệ tinh quay quanh trái đất.

#### *e) Các radar khác*

Các kỹ thuật radar khác dựa trên việc phản xạ không hình ảnh các tín hiệu radar từ bề mặt đại dương. Các tín hiệu này có thể được khai thác trong các dải tần số radar khác nhau mà mỗi dải này cung cấp các hệ thống vận hành (trên mặt đất hay trong khí quyển) khác nhau. Một dạng radar tần số thấp có thể quan trắc được sóng từ một khoảng cách lớn (phản

xạ từ tầng ionosphere trong khoảng cự ly vài ngàn km; radar sóng không gian, Georges và Harlan, 1994) trong khi radar tần số cao quan trắc được sóng đại dương tại các cự ly nhỏ hơn (chỉ trong vòng giới hạn của đường chân trời; radar sóng mặt đất, e.g. Wyatt, 1997). Tất cả các radar này yêu cầu phải có phân tích về sự méo sóng ra đa phản hồi để từ đó đánh giá phổ sóng (kể cả hướng sóng).

## 10.2 Các phương pháp dự báo sóng cho điều kiện biển phát triển hoàn toàn (FAS)

Việc dự báo sóng chỉ được phát triển khi có yêu cầu đổ bộ trên bãi biển trong chiến tranh thế giới lần thứ II. Hai nhóm nghiên cứu dự báo sóng chính khi đó là nhóm ở Mỹ do Sverdrup và Munk (1947) lãnh đạo. Họ quan trắc sóng bằng mắt và xây dựng mối liên hệ giữa gió và các sóng lớn mà trên cơ sở đó các khái niệm “độ cao sóng có nghĩa” và “chu kỳ sóng có nghĩa” xuất hiện. Rất may mắn là sau đó, bằng cách nghiên cứu thống kê dao động của mực nước, người ta đã áp dụng các giá trị “có nghĩa” cho giá trị trung bình của một phần ba sóng cao nhất ( $H_{1/3}$ ).

Nhóm nghiên cứu thứ hai là nhóm nghiên cứu tại Anh do Longuet-Higgins (1952, 1963) dẫn đầu. Họ phân tích các chuỗi quan trắc sóng bằng phương pháp phân tích điều hoà và trên cơ sở đó đã rút ra các lý thuyết bằng cách áp dụng lý thuyết sóng âm của Rayleigh (1880) và tiếng ồn mạch điện của Rice (1944-1945) và Eckart (1953). Darbyshire (1952) đã áp dụng các số liệu của Anh để dự báo.

Sau khi Longuet-Higgins (1952) rút ra được các đặc trưng thống kê của một phổ hẹp, Neumann (1953) ở New York đã rút ra bằng lý thuyết một phương trình biểu thị phổ sóng, dùng độ cao và chu kỳ sóng có nghĩa như trước đây đã dùng. Pierson và cộng sự (1955) đã áp dụng phổ này để rút ra những bảng và đồ thị mà chúng đã trở thành xương sống cho công tác dự báo sóng mấy thập kỷ sau đó. Nhiều so sánh các công thức khác nhau cho thấy những công thức khác nhau cho những khác nhau rất khó giải thích về các kết quả tính. Các điều tra kỹ càng đã cho thấy rằng nguyên nhân chính là do các nhà nghiên cứu sử dụng tốc độ gió tại các độ cao khác nhau trên mực biển. Pierson (1964) bằng cách hiệu chỉnh các công thức cho gió đo được ở các độ cao tương tự nhau và đã giảm được sự khác biệt của kết quả tính với các công thức khác nhau.

Đồng thời, Moskowitz (1964) đã tiến hành một phân tích phổ một cách kỹ càng các số liệu thu được từ các các sóng ký trên tàu (Tucker 1956). Kết quả đã làm thay đổi phổ do Pierson và cộng sự (1955) đề nghị. Đối với điều kiện biển phát triển hoàn toàn (FAS), kết quả tính phù hợp hơn với kết quả tính dùng các công thức khác. Pierson và Moskowitz (1964) đã kết hợp các profiles gió của Pierson (1964) và dạng phổ không thứ nguyên do Kitaigorodskii (1961) đề nghị. Kết quả là tạo được phổ PM cho FAS, được thừa nhận là

phổ tốt nhất cho điều kiện này.

Khi mà đà sóng hay thời gian tác dụng của gió là chưa đủ để tạo ra sóng lớn nhất với một vận tốc cho trước, ta có một biển đang phát triển. Cần phải biết được các đặc trưng sóng trong các điều kiện giới hạn vì rằng một khu vực biển hay hồ có thể là không đủ lớn để có điều kiện FAS, nhất là với các vận tốc gió lớn. Các đặc trưng sóng trong các điều kiện này có thể dễ dàng được liên hệ với các đặc trưng sóng trong điều kiện FAS với một khoảng của đà FAS ( $F_{FAS}$ ) hay khoảng thời gian tác dụng FAS ( $t_{FAS}$ ) được dùng để xác định các điều kiện này. Điều này yêu cầu là  $F_{FAS}$  hay  $t_{FAS}$  phải được biết trước cho bất cứ một đà không thứ nguyên nào đó có một giá trị FAS cho trước. Giá trị  $t_{FAS}$  rút ra được từ thời gian mà sóng cực đại dọc theo các phần của đà tới được điểm mà các điều kiện FAS tồn tại. Điều kiện này thường là liên quan tới  $F_{FAS}$  mà sau đó nó sẽ được dùng để tiếp tục phân chia các độ cao và chu kỳ sóng.

Một nghiên cứu quan trọng về sóng đang phát triển là do Hasselmann và cộng sự (1973) tiến hành. Họ đã ghi sóng dọc theo đà tại bờ biển Đan Mạch khi mà gió thổi từ bờ ra. Họ tìm ra rằng phổ đạt cực đại tại tần số thích hợp cho đà. Độ cực đại giảm đi khi tiến tới điều kiện FAS sao cho tại điều kiện này nó sẽ chuyển thành phổ PM. Trong cùng năm đó, Toba (1973), dựa trên các đo đạc cả trong phòng thí nghiệm và ngoài hiện trường, đã đưa ra một phổ mới. Một số nhà nghiên cứu đã so sánh hai công thức này. Một nhà nghiên cứu trong lĩnh vực này là Mitsuyasu (1973, 1975a, 1975b), người đã viết một số bài báo về điều kiện sóng với đà giới hạn. Ông đã phát triển các công thức dự báo sóng hơi khác với các công thức thảo luận ở trên.

Rất nhiều công thức lập trên cơ sở phổ tần số. Nó cho một tần số ( $f_m$ ) mà tại đó năng lượng cực đại tập trung. Khi mà các công thức được chuyển thành chu kỳ (nghịch với tần số) thì  $T_m$  được rút ra không phải chính xác là nghịch đảo của  $f_m$  vì rằng đạo hàm của đường cong phổ bằng 0 tại các giá trị cực đại  $f_m$  và  $T_m$ . Để đơn giản hoá, hầu như các công thức vẫn giữ nguyên là tần số.

### 10.2.1 Các đặc trưng thống kê ngoài hiện trường

Các phổ của sóng đang phát triển chứa các hằng số cho các giá trị cực đại và chiều rộng của phổ. Vấn đề là tìm các hằng số phù hợp nhất với số liệu sóng ghi được ngoài hiện trường. Trên cơ sở đó lựa chọn dạng phổ phù hợp nhất, nó có thể đơn giản hoá thành một hình tam giác tăng từ chu kỳ thấp ( $T_L$ ) tới điểm có năng lượng cao nhất tại  $T_{max}$  và giảm tới giá trị chu kỳ trên  $T_U$ . Các giá trị của  $T_L/T_{max}$  và  $T_U/T_{max}$  định nghĩa phổ.

Việc xác định các điều kiện sóng thiết kế trong các điều kiện nước sâu và nước nông

là rất quan trọng. Các sóng tới một điểm nào đó có thể từ hai nguồn: sóng tạo ra ở nước sâu và truyền vào gần bờ cũng như sóng tạo ra tại chỗ.

Các điều kiện sóng thiết kế cho một dự án nào đó, ngoài khơi hay trên bờ, có thể được xác định từ các số liệu sóng hay dự báo sóng. Cách tiếp cận đầu tiên yêu cầu các ghi chép sóng tại địa phương phải được phân tích bằng lý thuyết thống kê hay bằng phổ năng lượng sóng; trong khi cách tiếp cận sau yêu cầu sử dụng các mối liên hệ thực nghiệm đã được phát triển, liên hệ giữa các điều kiện gió và sóng. Thông tin khí tượng, như là các bản đồ synoptic, được dùng để đánh giá điều kiện gió phục vụ cho tính sóng. Sóng tạo ra trong các cơn bão cũng được xem xét đến.

Cách tiếp cận dự báo sóng dựa trên các kết quả quan trắc sóng trước đó và phân tích thứ nguyên thường được biểu thị bằng dạng đồ thị để đánh giá trực tiếp độ cao và chu kỳ sóng có nghĩa trong một điều kiện gió thích hợp (tốc độ gió, đà gió, thời gian tác dụng). Có ba loại mô hình khác nhau để dự báo sóng là 1) mô hình sóng phát triển tại nước sâu trong điều kiện đà giới hạn, 2) sóng phát triển hoàn toàn tại nước sâu, và 3) sóng phát triển trong điều kiện đà giới hạn tại nước nông. Tuy rằng những mô hình này đang được sử dụng rộng rãi hiện nay, Vincent và Resio (1990) và Hurdle và Stive (1989) tìm ra rằng chúng không thống nhất và họ đã đề xuất ra một mô hình thay thế. Mặt khác, tuy rằng thuật ngữ độ cao sóng có nghĩa được dùng cả trong các cách tiếp cận thống kê và phổ, Thompson và Vincent (1985) đã nhận xét về sự sai lệch trong các kết quả thu được từ ba mô hình trên và đã đề nghị phương pháp kỹ thuật dùng trong thực tế ở vùng nước nông bằng phổ năng lượng sóng.

Trong các phần sau, các đặc trưng thống kê sóng và các phương pháp dự báo thực nghiệm được xem xét. Sau đó sẽ xét đến các phổ sóng trong các điều kiện FAS ở nước sâu. Phổ TMA, được tuyên bố là dùng được cho tất cả các độ sâu, kể cả đới sóng vỡ (Hughes 1984) sẽ được kiểm tra. Sóng phát sinh trong các cơn áp thấp nhiệt đới cũng như trong miền phân tán sẽ được xem xét.

Vì rằng các sóng tự nhiên là sóng ngẫu nhiên, để có được thông tin đáng tin cậy cần phân tích các chuỗi số liệu đo sóng có độ dài tối thiểu, thường là 20 tới 25 phút. Khi mà sóng tạo thành, không thể có được điều kiện gió dùng trong một khoảng thời gian vô hạn vì rằng các điều kiện khí tượng thay đổi liên tục theo thời gian. Tuy nhiên, ta phải giả thiết rằng các đo đạc ngắn hạn về sóng sẽ cho kết quả thống kê giống như các kết quả thống kê có được khi mà điều kiện khí tượng là giống hệt.

Sverdrup và Munk (1947) ở Mỹ đã quan trắc sóng bằng mắt, nhận các sóng cao nhất và gọi chúng là sóng có nghĩa. May mắn là các độ cao sóng này ( $H_s$ ) liên quan chặt chẽ với



các giá trị thống kê của độ cao sóng 1/3 ( $H_{1/3}$ ). Đồng thời, chu kỳ trung bình của mực nước vượt quá SWL ( $T_s$  = độ dài ghi chép sóng/số lần mực nước vượt qua mực trung bình) xấp xỉ với chu kỳ sóng có nghĩa ( $T_s$ ). Độ cao đo tốc độ gió không được xác định. Mười năm sau, Munk (1957) phát biểu: "Tôi nghĩ rằng phương pháp SMB, ít nhất là phiên bản SM trước đây xứng đáng được nghỉ hưu. Nó được dùng lần đầu tiên vào năm 1942 khi đổ bộ vào Bắc Phi và được công bố vào năm 1947. Thật là kỳ diệu vì nó đã tồn tại lâu đến thế".

Cố gắng thứ hai về sử dụng phân tích thống kê là Longuet-Higgins (1952). Họ đã dùng phương pháp phân tích điều hoà để phân tích chuỗi số liệu đo sóng trên tàu, Vì rằng độ cao từ đỉnh tới bụng sóng không thể được sử dụng để xử lý toán học, các đo đạc đã được thực hiện từ mặt nước trung bình (SWL) tới mặt nước tự do. Điều này được thực hiện tại các điểm có khoảng cách bằng nhau dọc theo một ghi chép sóng có  $N$  số. Một giá trị trung bình bình phương ( $a_{rms}$ ) sau đó được tính toán như sau:

$$a_{rms} = \left( \sum a^2 / N \right)^{1/2} \quad (10.2)$$

Giả thiết một phân bố xác suất Rayleigh, nói một cách chặt chẽ thì chỉ áp dụng được cho sóng lừng, các giá trị của  $H_{1/3}$ ,  $H_{1/10}$ , và  $H_{ave}$  đều liên quan với  $a_{rms}$ .

Cartwright và Longuet-Higgins (1956) sau đó đã kiểm tra các phân bố thống kê của độ cao đỉnh trên hay dưới SWL. Họ tìm ra rằng chúng phụ thuộc vào  $a_{rms}$  và  $\varepsilon$ , một số đo của chiều rộng phổ được cho bởi:

$$\varepsilon^2 = 1 - (N_z / N_c)^{1/2} \quad (10.3)$$

với  $N_z$  là số lần mực nước dâng cao hơn SWL, và  $N_c$  là số đỉnh sóng trong một khoảng ghi chép có giới hạn. Với một sóng lừng đơn,  $N_z = N_c$  và do vậy  $\varepsilon = 0$ . Nếu trên một sóng đơn lớn có rất nhiều sóng ngắn thì  $N_c / N_z \rightarrow \infty$  và  $\varepsilon \rightarrow 1.0$ . Đây là một điều kiện giả thiết sao cho giá trị  $\varepsilon$  với FAS là 0.8.

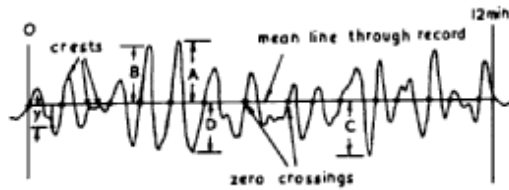
Như Longuet-Higgins (1952) đã chỉ ra, có thể xác định các tỷ số  $H_{1/n} / a_{rms}$  theo bảng 10.1. Theo đó thì  $H_{1/3} / a_{rms}$  đạt giá trị 4.17 tại FAS. Một giá trị bằng 4 thường được chấp nhận sao cho:

$$\text{Sai phương} = a_{rms}^2 = \sum a^2 / N = (H_{1/3} / 4)^2 \quad (10.4)$$

Cũng có thể thấy trong bảng 10.1 rằng  $H_{ave}$  giảm từ điều kiện sóng lừng tới FAS. Trong điều kiện FAS, tuy rằng có các sóng lớn, nhưng cũng có các sóng nhỏ và các sóng này làm giảm giá trị trung bình. Vì vậy  $H_{ave}$  có tầm quan trọng không đáng kể về mặt kỹ thuật.

Bảng 10.1 Các thông số độ cao sóng từ chiều rộng phổ ( $\varepsilon$ )

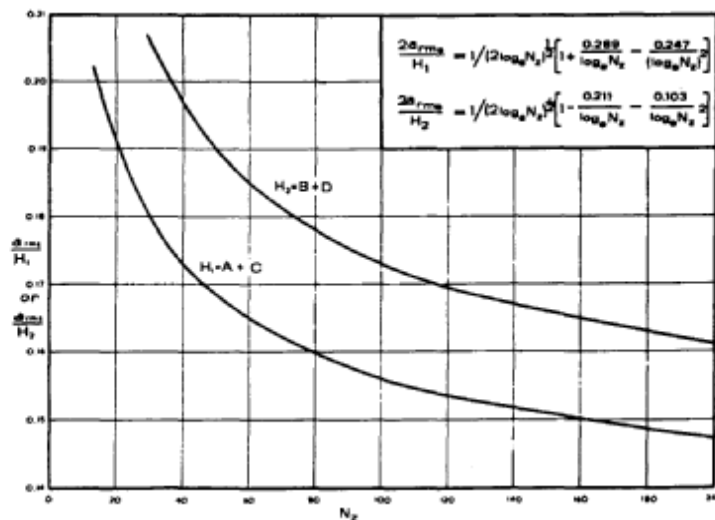
$\varepsilon$	0	0.2	0.4	0.6	0.8
$H_{1/3} / a_{rms}$	4.00	4.03	4.10	4.17	4.17
$H_{1/10} / a_{rms}$	5.09	5.09	5.24	5.45	5.73
$H_{ave} / a_{rms}$	2.51	2.51	2.45	2.26	1.63



Hình 10.4 Một chú giải trong ghi chép sóng

Tucker (1957, 1961) đã tìm ra các mối liên hệ để xác định  $a_{rms}$  từ một ghi chép sóng chỉ ra trong hình 10.3, mà ở đó  $A$  = độ cao lớn nhất của đỉnh sóng trên mực nước biển SWL,  $B$  = độ cao lớn thứ hai của đỉnh sóng,  $C$  = độ hạ mực nước tại bụng sóng thấp nhất, và  $D$  = độ hạ mực nước tại bụng sóng thấp thứ 2. Bằng cách đặt  $H_1 = A + C$ , và  $H_2 = B + D$ , các đường cong như trong hình 10.4 có thể được dùng nếu biết  $N_z$ . Cả hai đường cong cần phải cho một giá trị của  $a_{rms}$ . Kết quả này tương đương với việc đo  $H_{1/3}$  trong một ghi chép sóng bằng cách dùng phương trình (10.4).

### 10.2.2 Dự báo sóng cho điều kiện FAS



Hình 10.4 Độ lệch của  $a_{rms}$  từ  $H_1, H_2$ , và  $N_z$ , định nghĩa bởi Tucker (1957, 1961)

Các mối liên hệ chấp nhận được đầu tiên để dự báo sóng là phương pháp SMB do Sverdrup và Munk (1947) và Bretschneider (1958) đề xuất. Neumann (1953) rút ra một phổ năng lượng từ các quan trắc sóng bằng mắt mà từ đó lần đầu tiên đã nhận biết điều kiện FAS. Từ các kết quả này, phương pháp PNJ được đề xuất (Pierson và cộng sự, 1955). Sau đó, Pierson (1964) nhận ra nhu cầu xác định độ cao đo gió. Đồng thời, Moskowitz và cộng sự (1962) và Moskowitz (1964) phân tích 460 ghi chép sóng trên tàu và tìm ra rằng chỉ 52 là áp dụng được cho FAS. Từ hai tiếp cận này, một dạng phổ đã được đề xuất cho FAS (Pierson và Moskowitz 1964). Sau đó, phổ này được chấp nhận rộng rãi là phương pháp PM để dự báo. Hasselmann và cộng sự (1973) đo sóng trong một biển có giới hạn đà để chỉ ra năng lượng cực đại trước khi đạt được FAS.

Phổ PM cho các sóng nước sâu (phương trình 6.78), biểu diễn theo tần số, được viết theo công thức sau:

$$S_{H^2}(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp \left[ -\beta \left( \frac{g}{2\pi U_{19.5} f} \right)^4 \right] \quad (10.5)$$

Đồ thị vẽ cho phương trình (10.5) được trình bày trên hình Fig. 10.5 với  $U_{19.5}$  từ 20 tới 45 knots (tức là khoảng từ 10 tới 23 m/s). Cần phải nhận thấy sự thay đổi tần số của giá trị cực đại cũng như sự tăng đáng kể của diện tích bên dưới đường cong ( $= (H_{1/3}/4)^2$ ) khi mà vận tốc gió tăng lên. Phân bố này có thể được viết dưới dạng chu kỳ với phương trình sau

$$S_{H^2}(T) = \frac{\alpha g^2 T^3}{(2\pi)^4} \exp \left[ -\beta \left( \frac{gT}{2\pi U_{19.5}} \right)^4 \right] \quad (10.6)$$

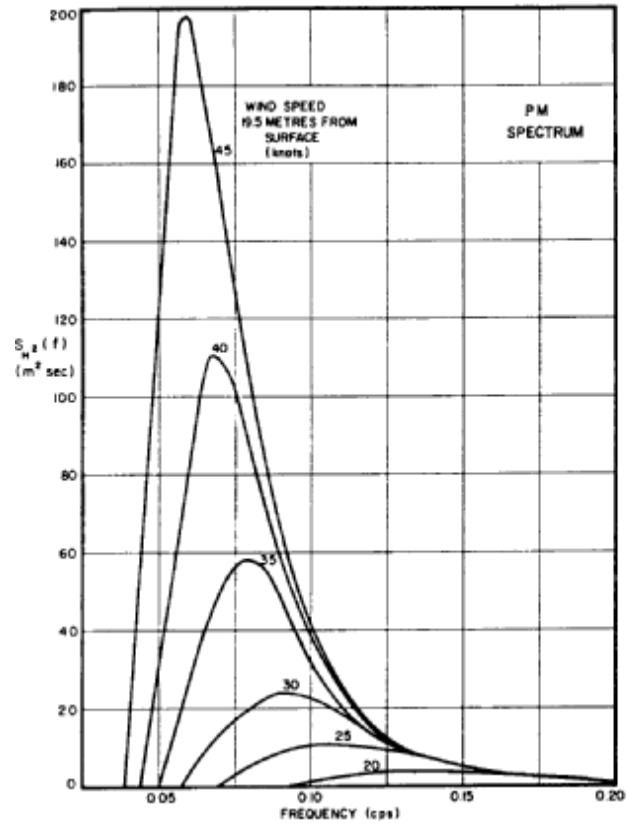
Hình (10.6) được vẽ với cùng điều kiện như hình 10.5 với tung độ là  $m^2/sec$  hay  $ft^2/sec$ . Tuy nhiên, hình như là phổ chu kỳ có dạng gần với hình tam giác và không có cái đuôi dài ở khu vực tần số cao.

Có thể tìm được các giá trị  $f_{max}$  hay  $T_{max}$  tại đỉnh của các phổ này bằng cách lấy đạo hàm các phương trình (10.5) và (10.6), và sau đó cho chúng bằng 0. Kết quả là

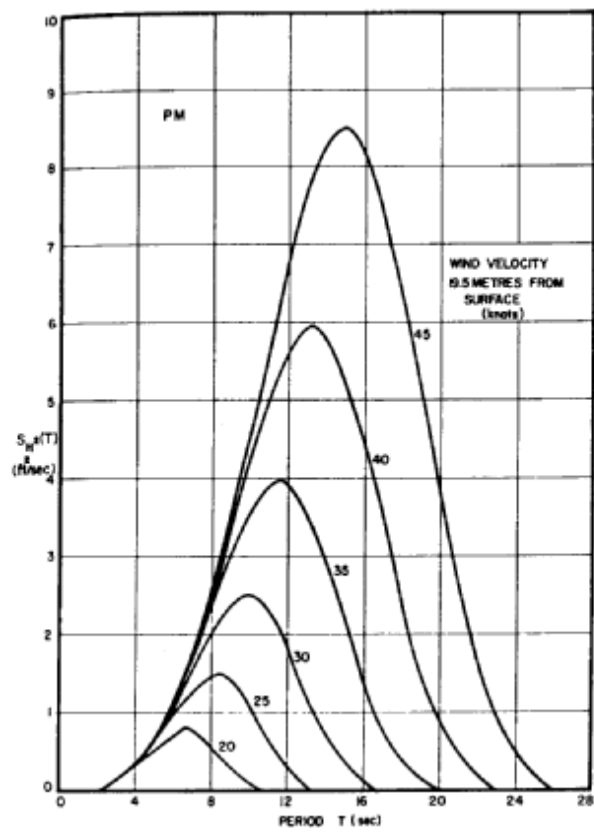
$$g / (2\pi U_{19.5} f_{max}) = (5/4\beta)^{1/4} = 1.14 \quad (10.7)$$

và:

$$gT_{max} / (2\pi U_{19.5}) = (3/4\beta)^{1/4} = 1.00 \quad (10.8)$$



Hình 10.5 Phổ tần số Pierson-Moskowitz (PM) cho các tốc độ gió khác nhau



Hình 10.6 Phổ chu kỳ Pierson-Moskowitz (PM) cho các tốc độ gió khác nhau

Số làm tròn 1.00 trong phương trình (10.8) không có tầm quan trọng vì nó chỉ xảy ra khi  $U_{19.5}$  tính bằng knots. Silvester và Hsu (1997) thu được mối liên hệ giữa  $f_{\max}$  và  $T_{\max}$  bằng cách chia phương trình (10.8) cho (10.7) và đạt được:

$$f_{\max} T_{\max} = 0.88 \quad (10.9)$$

Sử dụng mối liên hệ trong phương trình (10.8) ta có:

$$T_{\max} = 2\pi U_{19.5} / g = (U_{19.5} / 3) \quad (10.10)$$

với  $T_{\max}$  tính bằng giây và  $U_{19.5}$  bằng knots trong biểu thức trong ngoặc. Với tốc độ gió bằng 30 knots,  $T_{\max} = 10s$ .

Bằng cách tích phân phương trình (10.6) từ 0 tới  $\infty$ , diện tích phía dưới đường phổ sóng cho ta:

$$\text{Diện tích} = (H_{1/3} / 4)^2 = \alpha(U_{19.5})^2 / 4\beta g^2 \quad (10.11)$$

Từ đó:

$$H_{1/3} = 2(\alpha / \beta)^{1/2} (U_{19.5})^2 / g = 0.00564(U_{19.5})^2 \quad (10.12)$$

với  $H_{1/3}$  đo bằng m và  $U_{19.5}$  bằng knots. Thế phương trình (10.10) vào Eq. (10.12) cho:

$$T_{\max} = 4.4(H_{1/3})^{1/2} \quad (10.13)$$

với  $H_{1/3}$  tính bằng m. Như đã thấy, phương trình (10.13) không chứa vận tốc gió và chỉ phụ thuộc vào điều kiện FAS. Hệ số tỷ lệ thường là nhỏ hơn giá trị 4.4 một chút.

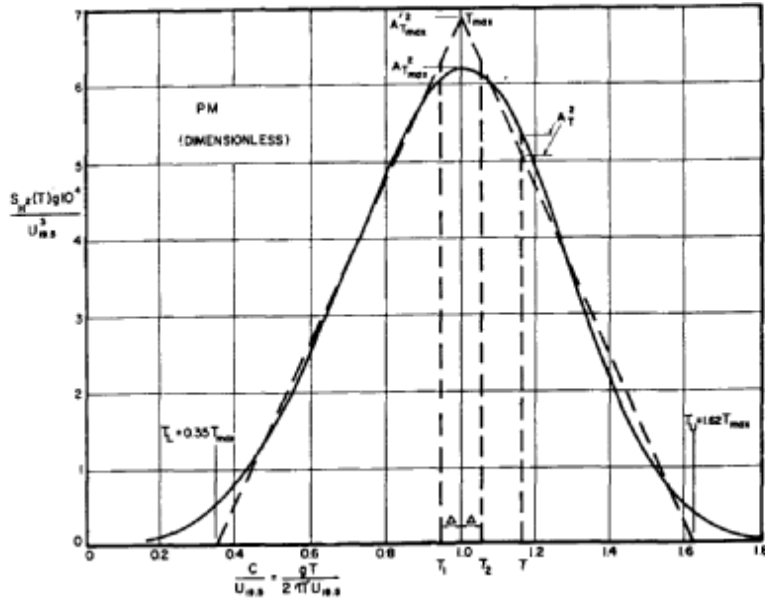
Các biến trong phương trình (10.6) có thể được chuyển thành phi thứ nguyên bằng cách đưa vào “tuổi sóng” ( $c/U_{19.5}$ ) như sau:

$$S_{H^2}(T)g / U_{19.5}^3 = (\alpha / 2\pi)(c / U_{19.5})^3 \exp[-\beta(c / U_{19.5})^4] \quad (10.14)$$

Phương trình này được vẽ thành đồ thị trên hình 10.7 với một hình tam giác có

diện tích bằng diện tích bên dưới đường cong, hay bằng  $H_{1/3}$ . apexes của đường cong nguyên thủy và hình tam giác ở vị trí  $c/U_{19.5} = 1.00$ . Từ hình vẽ, có thể thấy các giới hạn trên ( $T_U$ ) và giới hạn dưới ( $T_L$ ) của tam giác là rõ ràng với các tỷ số sau:

$$T_U / T_{\max} = 1.62; \quad T_L / T_{\max} = 0.35; \quad (T_U - T_L) / T_{\max} = 1.27 \quad (10.15)$$



Hình 10.7 Phổ chu kỳ PM với một phân bố tam giác tương đương

Vậy, có thể xác định các giới hạn của chu kỳ trong phổ tương đương trong điều kiện FAS với năng lượng ngoài nó không đáng kể. Cùng với  $T_{\max}$ ,  $T_U$  và  $T_L$  cũng như chiều rộng  $T_U - T_L$ , tăng lên cùng vận tốc gió, .

Biên độ ( $A_T$ ) của dải sóng bất kỳ có chu kỳ nào đó là rất cần thiết để tính độ cao sóng trong miền phân tán như trong mục 10.2.6. Biên độ đỉnh bình phương  $(A_T)_{\max}^2$  tại  $T_{\max}$  đã được chứng minh bởi Silvester (1974a) là:

$$(A_T)_{\max} = 0.0155(T_{\max})^{3/2} \quad \text{hay} \quad (H_T)_{\max} = 0.031(T_{\max})^{3/2} \quad (10.16)$$

với  $(H_T)_{\max}$  tính bằng  $m/s^{1/2}$ . Biết rằng  $T_{\max} = U_{19.5}/3$ , ta có:

$$(H_T)_{\max} = 0.0059(U_{19.5})^{3/2} \quad (10.17)$$

với  $H_{1/3}$  tính bằng m và  $U_{19.5}$  bằng knots. Tam giác tương đương có đỉnh với giá trị

$$(A'_T)_{\max} = 0.0163(T_{\max})^{3/2} \quad \text{hoặc} \quad (H'_T)_{\max} = 0.0325(T_{\max})^{3/2} \quad (10.18)$$

có thể chuyển thành:

$$(H'_T)_{\max} = 0.00616(U_{19.5})^{3/2} \quad (10.19)$$

với  $H'_{T_{\max}}$  tính bằng m và  $U_{19.5}$  bằng knots. Tất cả chúng là nhỏ hơn các đại lượng trong các phương trình (10.15) và (10.16) một chút. Các giá trị đối với các chu kỳ trung gian  $T$  được cho bởi:

$$(A_T / (A'_T)_{\max})^2 = (T_U - T)(T_U - T_{\max}) \quad \text{for} \quad T > T_{\max} \quad (10.20)$$

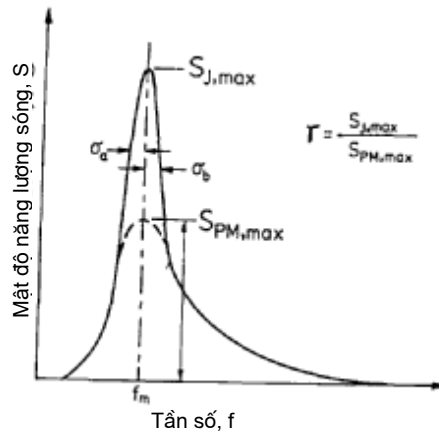
và:

$$(A_T / (A'_T)_{\max})^2 = (T - T_L)(T_{\max} - T_L) \quad \text{for} \quad T < T_{\max} \quad (10.21)$$

Cần phải biết đà của FAS để biết rằng đã đủ điều kiện cho sóng bão hoà chưa. Việc này đã được Silvester và Vongvisessomjai (1978) thực hiện bằng cách xem xét phổ JONSWAP (Hasselmann và cộng sự 1973) và phổ PM cho FAS (Pierson và Moskowitz 1964). Sự khác biệt là phổ JONSWAP cho thấy một nhân tố tăng cường được thêm vào vế phải của phương trình (10.5) như sau

$$\gamma \exp\left[-(f - f_m)^2 / (2\sigma^2 f_m^2)\right] \quad (10.22)$$

với  $\gamma$  được giải thích trên hình 10.8, và giá trị của  $\sigma$  thay đổi trong khoảng  $\sigma_a$  và  $\sigma_b$  ở hai bên của tần số đỉnh  $f_{\max}$ . Như chỉ ra trên hình, nhân tố  $\gamma$  là tỷ số của năng lượng đỉnh của các phổ JONSWAP ( $S_j$ ) và PM ( $S_{PM}$ ) xảy ra tại một đà nào đó xác định bởi  $\alpha$ . Chiều rộng ( $\sigma$ ) của tam giác là nằm ở trung điểm của chiều cao sao cho phần diện tích phổ thêm vào là  $S_{PM}(\gamma - 1)(\sigma_a + \sigma_b)$ .



Hình 10.8 Định nghĩa phổ JONSWAP

Các biến của các phổ này có thể được cho dưới dạng ba mối liên hệ phi thứ nguyên:

$$f_{\max} U_{10} / g = 3.5 (gF / U_{10}^2)^{-0.33} (= \nu) \quad (10.23)$$

$$gH_{1/3} / U_{10}^2 = 0.0016 (gF / U_{10}^2)^{0.5} (= 4\varepsilon^{1/2}) \quad (10.24)$$

và:

$$\alpha = 0.076 (gF / U_{10}^2)^{-0.22} \quad (10.25)$$

Công thức này chuyển từ  $U_{19.5}$  tới  $U_{10}$  bằng mối liên hệ  $U_{19.5} = 1.07U_{10}$ . Các số hạng thêm  $\nu$  và  $\varepsilon$  sẽ được xem xét sau đây. Không nên nhầm lẫn  $\nu$  với chiều rộng phổ trong phương trình (6.73) và không nên nhầm  $\varepsilon$  với thông số xác định chiều rộng phổ dùng trong (10.3).

Silvester và Vongvisessomjai (1970, 1971) dùng tỷ lệ  $F/F_{FAS}$  cho các điều kiện khác với FAS, nhưng bất cứ một so sánh nào với phổ JONSWAP phải dựa trên tỷ lệ không thứ nguyên  $gF/U_{10}^2$  cho FAS. Điều này có nghĩa là ngoài giới hạn  $F_{FAS}$ , sự phát triển của sóng là rất yếu. Bretschneider (1959) cho rằng  $gF_{FAS}/U_{10}^2 = 6 \times 10^5$  vì  $gF_{FAS}/U_{10}^2$  tăng rất chậm từ  $10^4$  tới  $6 \times 10^5$ . Theo các tác giả này thì một giá trị gần với  $10^4$  có vẻ là chấp nhận được. Mitsuyasu (1975a, 1975b) thông báo một giá trị FAS là  $1.33 \times 10^4$ .



Số mũ trong các phương trình (10.23), (10.24) và (10.25) được Hasselmann và cộng sự (1973) đề nghị. Các công thức khác do Mitsuyasu (1975a, 1975b) và Liu (1971) đề nghị sẽ không được thảo luận ở đây. Chọn  $f_{\max}$  với giá trị số mũ 0.33 được chấp nhận bởi hầu hết các nhà nghiên cứu, giá trị của  $f_{\max} U_{10} / g$  tìm được theo phương trình (10.7) trong điều kiện FAS với phổ PM là 0.13. Giá trị này yêu cầu  $gF_{FAS} / U_{10}^2$  trong phương trình (10.12) là  $1.95 \times 10^4$ . Thế tất cả các giá trị này vào phương trình (10.24), ta có được  $gH_{1/3} / U_{10}^2$  bằng 0.223. Giá trị này xấp xỉ với giá trị 0.24 thu được từ phương trình (10.12). Thế vào phương trình (10.25) sẽ cho  $\alpha = 0.0086$ , gần với giá trị đã được thừa nhận cho FAS là 0.0081. Vậy, có thể dùng giá trị của  $gF_{FAS} / U_{10}^2$  vào khoảng 20,000 với độ tin tưởng cao.

Việc so sánh với các công thức của Hurdle và Stive (1989) trong điều kiện nước sâu đã được thực hiện từ giá trị giới hạn thời gian  $t_{\text{lim}}$  thay thế và mối liên hệ đã. Với  $U_{10} = 15$  m/s, giá trị của họ là  $F_{FAS} = 531$  km, so với giá trị đạt được theo công thức trên là 447 km thì có một sai khác khoảng 10%. Dùng  $U_{10} = 17.5$  m/s hay là vào khoảng 35 knots, ta có đã tương ứng là 584 và 609 km, sai khác nhau khoảng 4%.

Dạng của phổ, đặc biệt là các phổ dựa trên chu kỳ về cơ bản là như nhau trong toàn bộ quá trình sóng phát triển. Hasselmann và cộng sự (1976) rút ra một thông số dạng  $\lambda = \varepsilon \nu^4 / \alpha$ , theo các biến trong các phương trình (10.23) và (10.24). Họ nhận thấy rằng biến này biến đổi phụ thuộc vào thông số đã theo quy luật số mũ 1/10. Nếu trong phương trình (10.23)  $f_{\max} U_{10} / g^2$  thay đổi theo  $\nu$ , thì từ phương trình (10.7), có thể thấy rằng nó thay đổi theo  $(\beta)^{1/4}$ , và với  $gH_{1/3} / U_{10}^2$  thay đổi theo  $4\varepsilon^{1/2}$ , phương trình (10.12) chỉ ra rằng nó thay đổi theo  $(\alpha / \beta)^{1/2}$ . Nhân tố hình dạng  $\lambda$  vì vậy thay đổi theo  $(\alpha / \beta)(\beta^{1/4})^4 / \alpha$ , hay là độc lập với tất cả các biến. Do vậy, dạng phổ của sóng đang phát triển phải giống hệt dạng phổ trong điều kiện FAS.

### 10.3 Phổ trung bình của sóng gió

Các giá trị của  $H_{1/3}$  và  $T_{\max}$  có thể là rất lớn nếu tốc độ gió khoảng 25 m/s tạo ra FAS. May mắn là đây không phải là trường hợp phổ biến vì rằng thường là sóng phát triển trong điều kiện giới hạn đã, giới hạn thời gian tác dụng hay giới hạn cả hai. Moskowitz (1964) trong khi lựa chọn các ghi chép sóng liên quan tới đã đã phát biểu: “Đà yêu cầu cho gió

nhẹ (khoảng 30 knots) tạo ra sóng phát triển hoàn toàn thường xảy ra tại mọi nơi. Gió mạnh hơn 30 knots thường hiếm khi liên quan với đà đủ lớn để tạo ra sóng phát triển hoàn toàn”.

Dùng các mối liên hệ không thứ nguyên của các phương trình (10.23) và (10.24), và thừa nhận rằng  $gF_{FAS}/U_{10}^2 = 20,000$ , có thể rút ra các giá trị của  $H_{1/3}$  và  $T_{max} (= 0.88/f_{max})$  với những giới hạn chấp nhận được về đà trong điều kiện các vận tốc gió lớn hơn như trong bảng 10.2. Có thể thấy rằng các đà này giảm với bước 50 kms khi mà  $U_{10}$  tăng từ 15 tới 30 m/s từ 550 km tại  $U_{10} = 15\text{m/s}$ . Giá trị tối ưu của  $H_{1/3}$  với  $U_{10} = 30\text{m/s}$  được thấy là 9.7 m chứ không phải là 20.7m như với FAS. Cũng như vậy,  $T_{max}$  là 12.6 s chứ không phải là 20.6 s. Trong thực tế,  $T_{max}$  dường như là đã đạt giới hạn khoảng 12 s với sóng trong bất cứ điều kiện bão nào. Silvester (1974a) ban đầu đã giả thiết các giới hạn của  $H_{1/3} = 10$  m và  $T_{max} = 13$  s dùng các giá trị  $F_{FAS}$  khác nhau.

Scott (1968) đã phân tích các số liệu sóng từ nhiều nguồn trong biển Irish và Đại Tây Dương. Ông cho rằng một mối liên hệ có thể chuyển đổi thành:

$$H_{1/3} = 0.073(U_{10})^{3/2} + 1.52 \quad (10.26)$$

với  $H_{1/3}$  tính bằng m và  $U_{10}$  tính bằng m/s. Các giá trị này được cho trong bảng 10.2. Silvester (1974a) đã giả thiết rằng:

$$H_{1/3} = 0.384U_{10} \quad (10.27)$$

cho các thứ nguyên tương tự như trong phương trình (10.26), cho các kết quả như trong Bảng 10.2. Có thể thấy rằng các lựa chọn đà thực nghiệm phù hợp với các số liệu quan trắc của Scott (1968) khá tốt. Bằng cách rút ra  $T_{max}$  từ phổ đã được Scott (1968) kiểm tra, Silvester (1974a) vẽ đồ thị biến đổi của  $T_{max}$  theo  $H_{1/3}$  với các điều kiện từ FAS tới đà giới hạn có sử dụng nhiều nguồn số liệu.

Bảng 2.3 Độ cao và chu kỳ sóng trong điều kiện đà lớn nhất có thể có

$U_{10}$ m/s	15	20	25	30
$F_{FAS}$ kms	459	816	1275	1835
$F_{act}$ kms	550	500	450	400
$F_{act}/F_{FAS}$ %	100	61	35	22
$(H_{FAS})_{1/3}$ (m)	5.2	9.2	14.4	20.7
$H/H_{1/3}$ %	100	78	59	47

$H_{1/3}$ m	5.2	7.2	8.5	9.7
$(T_{FAS})_{\max}$ s	10.3	13.8	17.2	20.6
$T/T_{FAS}$ %	100	85	71	61
$T_{\max}$ s	10.3	11.7	12.2	12.6
$H_{1/3}$ (Scott)	5.5	7.6	10.0	12.7
$H_{1/3}$ (Silvester)	5.8	7.6	9.6	11.4

Mayegon (1969) phân tích các ghi chép sóng bằng mắt từ 500 tàu ở Bắc Đại Tây Dương trong khoảng thời gian từ 1953 tới 1961. Diện tích đại dương chính được chia thành 11 vùng, nhưng với các mục đích hiện tại thì nó có thể được kết hợp thành 4 dải vĩ độ. Từ các đường cong xác suất phủ mỗi dải, các giá trị năm của độ cao sóng được cho như sau:

Vĩ độ (độ)	20-30	30-40	40-50	50-60
$H_{1/3}$ (m)	7.9	10.7	12.2	13.7

Thom (1971) đã áp dụng phân bố cực trị với độ cao sóng đo được với cách nhau 3 h và 1 h trên 12 tàu hoạt động trong khoảng vĩ độ 30° tới 50° trong vùng Bắc Đại Tây Dương và Thái Bình Dương trong khoảng 7 đến 10 năm. Giá trị trung bình  $H_{1/3}$  cho 12 trạm với khoảng thời gian lặp lại 2 năm là 10 m. Với khoảng thời gian lặp lại 10, 25, và 50 các giá trị trung bình lần lượt là 13, 15, and 17 m.

#### 10. 4 Các phương pháp đơn giản dự báo sóng cho độ sâu giới hạn

Với sóng gió tạo thành trong nước nông, sự phát triển sóng được giới hạn bởi độ sâu. Có một số công thức đã được xây dựng để phục vụ cho mục đích dự báo sóng trong những điều kiện này như các phương pháp Pierson-Newmann-James (PNJ, Pierson và cộng sự, 1955), và phương pháp SverdrupMunk-Bretschneider (SMB, Bretschneider 1958, 1977). Toba (1973) và Mitsuyasu (1973, 1975) cũng đề ra một số công thức thực nghiệm.

Dựa trên cách tiếp cận năng lượng với sự trợ giúp của nhiều số liệu thực nghiệm, *Shore Protection Manual* (SPM 1984) đã đề ra một phương pháp đơn giản để tính các điều kiện sóng nước sâu ( $H_{m0}$ ,  $T_m$ ) cũng như nước nông với một giá trị vận tốc gió và đà hay thời gian tác dụng với  $H_{m0}$  là độ cao sóng có nghĩa tính theo năng lượng (IAHR-PIANC 1986), và  $T_m$  là chu kỳ sóng tại đỉnh phổ (với  $T_{1/3} = 0.95 T_m$ ). Người ta đã giả thiết rằng các công thức này là áp dụng được nếu điều kiện tài chính và thời gian là có hạn. Cùng với yêu cầu nước có độ sâu giới hạn, ba tập hợp các công thức dự báo và một số biểu diễn đồ thị đã

được đề ra dưới dạng các thông số thứ nguyên áp dụng được ngay. Tổng cộng là 10 hình đã được cho trong SPM (1984), với mỗi hình áp dụng cho một độ sâu trong giới hạn từ 1.5 m tới 15 m với bước tăng là 1.5 m. Tuy nhiên, cần phải nhận thấy rằng sóng được giả thiết là không vỡ tại các độ sâu này, thậm chí tại 1.5 m. Nhận xét về điều này, Vincent và Resio (1990) phát biểu rằng: "Đường cong có thể được sử dụng để thu được một đánh giá nhanh nhưng dùng phương trình sẽ là hay hơn." Các mối liên hệ ở trên không áp dụng được cho sóng vỡ hay sóng trong đới sóng vỡ.

Các công thức dự báo sóng do SPM (1984) đề ra cho trường hợp đã giới hạn với vận tốc gió gần như không đổi  $U_A$  và tại độ sâu xem xét được biểu thị theo một hệ số đã không thứ nguyên  $gF/U_A^2$  dùng để tính thông số độ cao sóng  $gH_{m0}/U_A^2$  và thông số chu kỳ  $gT_m/U_A$  cùng với thông số thời gian tác dụng giới hạn  $gT_{lim}/U_A$ . Tốc độ gió chuẩn  $U_A$  là tốc độ gió đã được hiệu chỉnh (dùng các thủ tục trong SPM 1984) được cho bởi:

$$U_A = 0.71(R_T U_{10})^{1.23} \quad (10.28)$$

Dựa trên  $U_{10}$  tính bằng m/s là tốc độ gió ghi được tại độ cao 10 m với hệ số  $R_T$  là một thông số dùng hiệu chỉnh sự khác nhau giữa nhiệt độ mặt biển và nhiệt độ không khí (với giá trị bao đầu là 1.1). Nếu thời gian tác dụng của gió  $t$  là nhỏ hơn  $t_{lim}$ , cần tính đã đã hiệu chỉnh  $F'$  và thế vào vị trí của  $F$  trong thông số ban đầu  $gF/U_A^2$ . Mặt khác, nếu thời gian tác dụng của gió  $t$  là lớn hơn  $t_{lim}$ , cần áp dụng phương trình dùng cho FAS.

Tuy rằng các mối liên hệ thông số trong SPM (1984) vẫn được dùng rộng rãi hiện nay, Hurdle và Stive (1989) nhận xét rằng: "Bản hướng dẫn trình bày ba phương trình cho ba trường hợp, sóng đang phát triển tại nước sâu, sóng đã phát triển hoàn toàn tại nước sâu và nước nông. Không may là những phương trình đó không tiệm cận tại các vùng chuyển tiếp. Hơn nữa trong vùng nước rất nông, mối liên hệ giữa thời gian tác dụng giới hạn và  $d$  là đáng nghi." Họ cũng tìm ra rằng có sự thay đổi lớn trong các kết quả tính khi có thay đổi nhỏ trong các thông số đầu vào. Một tập hợp các phương trình thay thế do (Hurdle và Stive 1989) trình bày để thay thế các phương trình trong SPM (1984) như sau

$$gH_s/U_A^2 = 0.25 \tanh \left[ 0.6 (gd/U_A^2)^{0.75} \right] \tanh^{1/2} \left\{ 4.3 \times 10^{-5} (gF/U_A^2) \tanh^{-2} \left[ 0.6 (gd/U_A^2)^{0.75} \right] \right\} \quad (10.29)$$

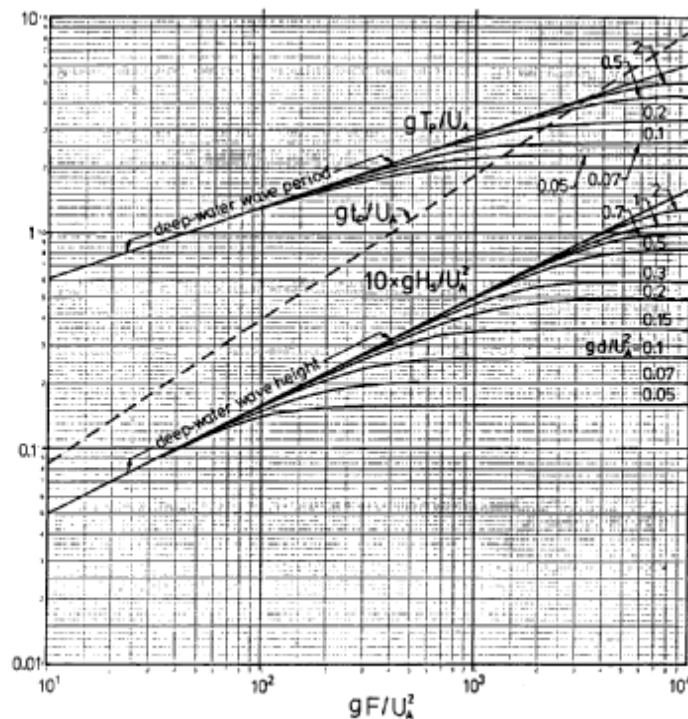
$$gT_p/U = 8.3 \tanh \left[ 0.76 (gd/U_A^2)^{0.375} \right] \tanh^{1/3} \left\{ 4.1 \times 10^{-5} (gF/U_A^2) \tanh^{-3} \left[ 0.76 (gd/U_A^2)^{0.375} \right] \right\} \quad (10.30)$$

và

$$gt_{lim}/U_A = 65.9(gF/U_A^2)^{0.667} \quad (10.31)$$

Các phương trình trên dùng được cả cho nước sâu và nước nông.

Phương trình (10.29) cho độ cao sóng có nghĩa trong khi phương trình (10.30) cho chu kỳ sóng tại đỉnh năng lượng phổ. Việc dự báo độ cao và chu kỳ sóng từ các phương trình sửa đổi không chỉ cho các kết quả tiệm cận với các kết quả tính bằng phương pháp SPM (1984) mà còn cho một sự chuyển tiếp trơn tru giữa các điều kiện sóng nước sâu và nước nông. Các phương trình (10.29)-(10.31) được biểu diễn bằng đồ thị trên hình 10.9 để dễ áp dụng. Trong các đồ thị này,  $t_e$  là đồng nhất với  $t_{lim}$  trong phương trình (10.31) và chỉ thời gian tác dụng hiệu dụng.



Hình 10.9 Các mối liên hệ dự báo sóng dùng cho nước có độ sâu hữu hạn dựa trên đại lượng không thứ nguyên  $gF/U_A^2$  (Hurdle và Stive 1989)

Để dự báo sóng trong vùng nước có độ sâu hữu hạn, từ các giá trị cho trước của vận tốc gió đồng nhất  $U_A$  (m/s), đà  $F$  (m), thời gian tác dụng  $t$  (s), trước hết cần áp dụng phương trình (10.31) để tính thời gian tác dụng giới hạn ( $t_{lim}$ ) xác định bởi vận tốc gió và đà cho trước. Nếu khoảng thời gian tác dụng cho trước ( $t$ ) là đủ dài so với khoảng thời gian tác dụng giới hạn tính được ( $t_{lim}$ ) thì có thể tính độ cao và chu kỳ sóng theo các phương trình (10.29) và (10.30). Nếu  $t < t_{lim}$ , cần tính một đà hiệu dụng ( $F_e$ ) theo phương trình (10.31) dựa trên khoảng thời gian tác dụng cho trước ( $t$ ), và thế giá trị này vào các phương trình

(10.29) và (10.30) để tính độ cao và chu kỳ sóng.

Những kết quả nghiên cứu gần đây về phổ sóng đã cho những phổ tần số có thể được áp dụng từ nước sâu tới nước nông, thậm chí cả trong đới sóng vỡ (Vincent 1984). Dạng mới của phổ sóng nước nông này được gọi là phổ TMA (Bouws và cộng sự, 1985), được phát triển dựa trên các nguyên lý tương tự nước sâu do Kitaigorodskii và cộng sự (1975) đề nghị. Phổ này chứa tất cả lịch sử phát triển của phổ sóng, bao gồm Phillips (1958), Pierson và Moskowitz (1964), Hasselmann và cộng sự (1973), và Kitaigorodskii và cộng sự (1975). Phổ TMA do Bouws và cộng sự (1985) đặt tên bằng cách lấy chữ cái đầu của các tập số liệu dùng để kiểm tra (Texel, MARSEN, and ARSLOE)."

Phổ TMA có dạng hoàn chỉnh như sau:

$$S_{TMA}(f, d) = S_p(f) \phi_{PM}(f, f_m) \phi_J(f, f_m, \gamma, \sigma_a, \sigma_b) \phi_K(2\pi f, d) \quad (10.32)$$

Nó là tích của một hàm cân bằng [ $S_p(f)$ ] (Phillips, 1958) và một hàm hình thái [ $\phi_{PM}$ ] của phổ PM (Pierson và Moskowitz 1964) trong các điều kiện FAS tại nước sâu, là phổ tần số PM cho trong phương trình (\*\*\*\*). Nhân hai phần của vế phải của phương trình (10.32) với hàm hình thái JONSWAP [ $\phi_J$ ], do Hasselmann và cộng sự (1973) đề xuất, ta có phổ JONSWAP cho sóng đang phát triển trong nước sâu. Cuối cùng là nhân với hàm hình thái [ $\phi_K$ ] của Kitaigorodskii và cộng sự (1975) sẽ cho phổ TMA cho sóng đang phát triển trong vùng nước có độ sâu giới hạn (Vincent 1982, 1984, 1985; Hughes 1984; Vincent và Hughes 1985; Bouws và cộng sự 1985; Hughes và Miller 1987). Như vậy, dạng hoàn chỉnh của phổ TMA có thể được biểu thị như sau:

$$S_{TMA}(f) = \alpha g^2 (2\pi)^{-4} f^{-5} \exp\left[-5/4(f/f_m)^{-4}\right] \times \exp\left\{\ln(\gamma) \exp\left[-(f-f_m)^2 / 2\sigma^2 f_m^2\right]\right\} \times \phi_K(2\pi f, d) \quad (10.33)$$

Hughes (1984) chỉ ra rằng bước sóng trong nước có độ sâu giới hạn có thể được tính với độ chính xác đầy đủ bằng lý thuyết sóng tuyến tính. Một giới hạn nước nông của vận tốc pha sóng  $c = (gd)^{1/2}$  cũng được đưa và để rút ra phổ TMA với các thông số không đổi  $\alpha$  và  $\gamma$  được sử dụng để hiệu chỉnh cho tất cả các độ sâu bằng các mối liên hệ sau:

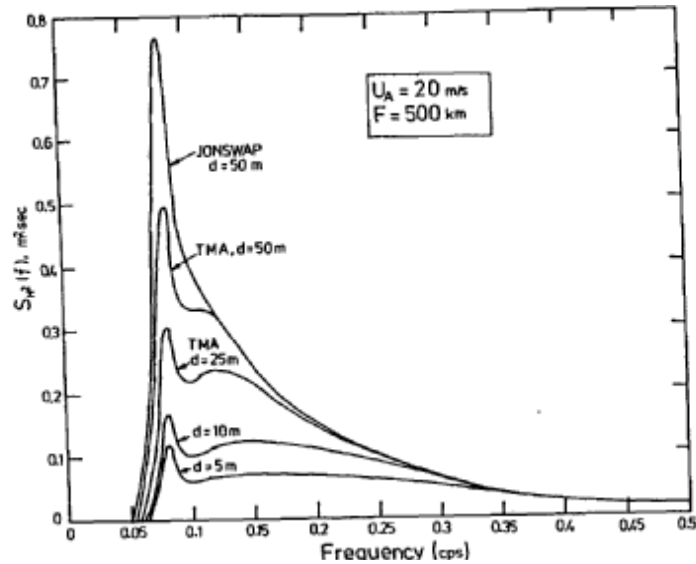
$$\alpha = 0.0078\kappa^{0.49} \quad (10.34)$$

$$\gamma = 2.47\kappa^{0.39} \quad (10.35)$$

Với:

$$\kappa = (U_{10}^2 / g) k_m = (U_{10}^2 / g) (2\pi / L_m) \quad (10.36)$$

trong đó  $k_m = 2\pi / L_m$  là số sóng tại tần số đỉnh phổ  $f_m$  và  $L_m$  là bước sóng tuyến tính tại độ sâu  $d$ .



Hình 10.10 Phổ tần số TMA với độ sâu thay đổi

Tuy rằng TMA được Hughes (1984) tuyên bố là thích hợp cho sóng đang phát triển tại tất cả các độ sâu, từ nước sâu tới nước nông, thậm chí là đối sóng vỡ, Goda (1990) đã nhận xét rằng: “mô hình phổ TMA có mục đích là được áp dụng để tính toán phục hồi và dự báo sóng cho vùng nước có độ sâu hữu hạn. Rất nhiều cơ chế sóng suy giảm do ma sát đáy, thấm đáy, sóng vỡ được cho là đã được tính đến trong hàm  $\phi$ . Cần phải thận trọng trong việc sử dụng mô hình TMA trong các bài toán biến đổi sóng tại nước nông vì rằng mô hình về thực chất là được rút ra cho sóng gió ở giai đoạn phát triển”.

Một thí dụ bằng đồ thị của phổ TMA tại độ sâu thay đổi được các tác giả vẽ trên hình 10.10, dùng phương trình (10.33) cho gió đồng nhất  $U_A = 20$  m/s với đà 500-km tại vùng nước có độ sâu chỉ ra trên hình. Phép so sánh được tiến hành với phổ JONSWAP tại  $d = 50$  m. Không giống như các phổ khác chỉ có một đỉnh, phổ TMA có khả năng cho hai đỉnh tại vùng nước nông như đã được quan trắc cả tại hiện trường và trong phòng thí nghiệm bởi (Mitsuyasu 1968, 1969; Kamronrithisorn 1978) cho sóng đang phát triển và thậm chí cả cho sóng lừng đã lan truyền một khoảng cách dài (Goda 1983, 1990). Hy vọng rằng khi phương pháp này hoàn thiện trong tương lai, nó có thể là một phương pháp tốt hơn để dự báo sóng gió tại nước nông.

## 10. 5 Sóng từ các cơn bão nhiệt đới

Cấu trúc trường gió trong các cơn bão nhiệt đới thường là hình tròn. Điều này làm cho rất khó xác định để áp dụng vào các công thức thông thường. Có rất nhiều biến liên quan tới việc dự báo sóng cực đại nhưng chúng chưa được kiểm chứng. Thí dụ như chỉ có thể đo được bán kính mắt bão với một độ chính xác nào đó nếu như nó đi qua một trạm đo đạc có người ở đó để ghi lại. Thậm chí áp suất tâm bão cũng chỉ được ngoại suy từ những giá trị đo được tại các bán kính khác nhau ở ngoài. Có thể xác định tốc độ của bão hàng giờ nhưng tốc độ này có thể thay đổi tại những thời điểm giữa những đo đạc.

Bretschneider (1957) lần đầu tiên tính toán tốc độ gió cực đại xung quanh mắt bão tại bán kính  $R$  bằng cách dùng mối liên hệ:

$$U_{\max} = 0.868 \left[ 73(\Delta p)^{1/2} - R(0.575f) \right] \quad (10.37)$$

với  $\Delta p$  là hiệu số áp suất bên ngoài ( $= 29.7$  in thuỷ ngân hay 1013 mbar, tức là, 1 in. Hg = 34 mbar) và tại tâm bão,  $R$  tính bằng hải lý, và  $f$  thông số Coriolis thay đổi trong khoảng 0.2 tới 0.3 cho các vĩ độ  $5^\circ$  tới  $30^\circ$ . Vì rằng thành phần thứ hai trong phương trình (10.37) chỉ bằng 5% của thành phần thứ nhất nên có thể bỏ qua nó và do vậy ta có:

$$U_{\max} = 60(\Delta p)^{1/2} \quad (10.38)$$

Trong số các số liệu do Holliday (1969) đưa ra, phương trình do Kraft (1961) đề xuất dường như là phù hợp nhất:

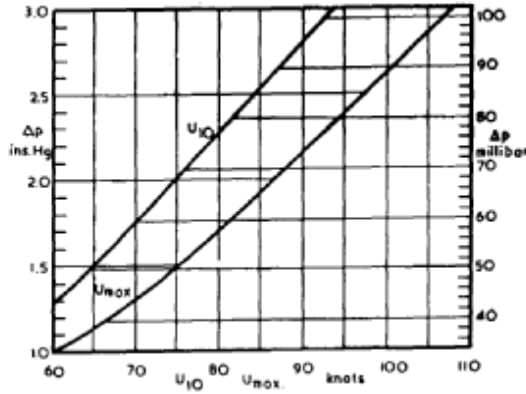
$$U_{\max} = 80(\Delta p)^{1/2} \quad (10.39)$$

với  $\Delta p$  tính bằng in thuỷ ngân. Phương trình này cho giá trị  $U_{\max}$  lớn hơn giá trị tính bằng phương trình (10.38) và là giá trị tốc độ gió cực đại có được tại mắt bão. Nếu như lấy một giá trị chấp nhận được về đà gió thì vận tốc gió tại đầu ngoài của đà sẽ vào khoảng một nửa của  $U_{\max}$  và giá trị trung bình của nó gần với giá trị tính bằng phương trình (10.38). Do vậy, phương trình (10.38) là thích hợp hơn để dùng. Giá trị tốc độ gió cực đại áp dụng cho độ cao 35 m trên mực biển và do vậy:

$$U_{10} = 0.865U_{\max} \quad (10.40)$$

Các phương trình (10.38) và (10.40) được vẽ bằng đồ thị trên hình 10.11.





Hình 10.11 Các giá trị của  $U_{\max}$  và  $U_{10}$  với  $\Delta p$  tính bằng in. Hg hay millibars

Young (1988a, 1988b) đã đề ra một mô hình thông số để dự báo sóng từ các cơn bão nhiệt đới. Mô hình này yêu cầu phải xác định một đà tương đương để dùng cho mối liên hệ JONSWAP (Hasselmann và cộng sự, 1973):

$$gH_s / U_{10}^2 = 0.0016(gF / U_{10}^2)^{0.5} \quad (10.41)$$

hay phiên bản mới của nó:

$$g(H_s)_{\max} / U_{\max}^2 = 0.0016(gF / U_{\max}^2)^{0.5} \quad (10.42)$$

Một bán kính hiệu dụng ( $R'$ ) được định nghĩa như sau:

$$R' = 22,500 \log_{10} R - 70,800 \quad (10.43)$$

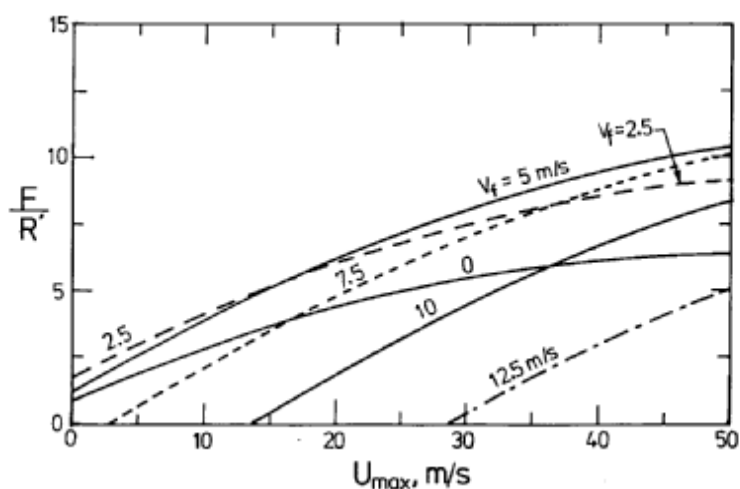
Với cả  $R'$  và  $R$  tính bằng m. Thế các đại lượng này cùng với  $U_{\max}$  và  $V_f$  vào phương trình sau:

$$F / R' = -0.002175U_{\max}^2 + 0.01506U_{\max}V_f - 0.1223V_f^2 + 0.219U_{\max} + 0.6737V_f + 0.7980 \quad (10.44)$$

với  $V_f$  là vận tốc di chuyển của tâm bão, tính bằng m/s. Phương trình (10.44) được đồ thị hoá trên hình 10.12 để tìm một đà tương đương  $F$ . Thế  $F$  vào phương trình (10.42) cho ta  $(H_s)_{\max}$ . Cần phải nhận thấy rằng  $V_f$  có thể là quá nhỏ hay quá lớn với một  $U_{\max}$  cho trước để tạo ra một  $F$  lớn hay  $(H_s)_{\max}$  lớn. Nếu như nó bằng vận tốc nhóm của các sóng lớn nhất, các sóng này sẽ nằm trong vùng có tốc độ gió lớn trong một thời gian dài hơn. Với  $U_{\max} \geq 20$  m/s, một giá trị  $V_f = 5$  m/s cho giá trị cao nhất của  $F/R'$  và do vậy  $H_s$  lớn nhất tính từ phương trình (10.42), tạo nên  $V_f / U_{\max} = 0.25$ .

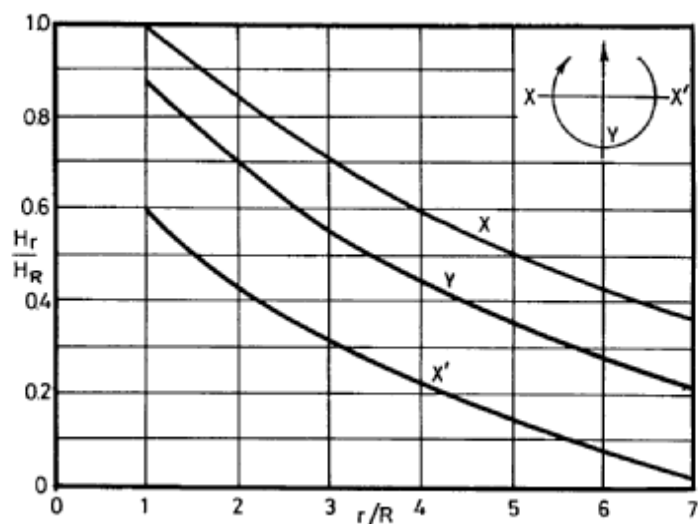
Có thể tính chu kỳ đỉnh phổ  $T_{\max}$  từ:

$$gT_{\max} / U_{\max} = 0.25(gF / U_{\max}^2)^{0.33} \quad (10.45)$$

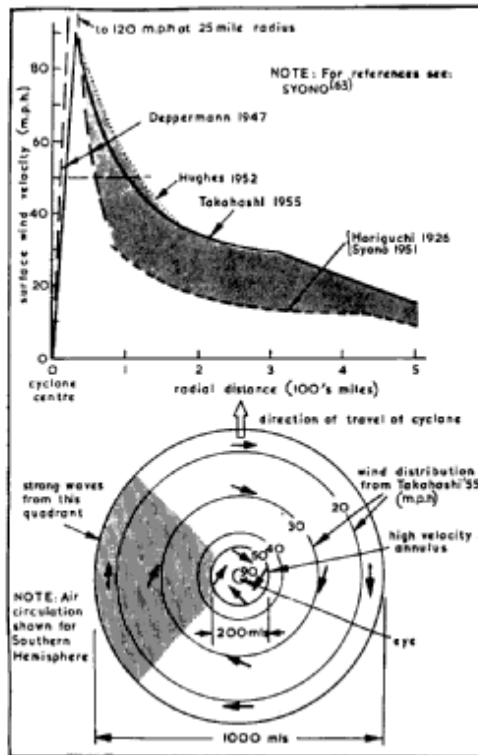


Hình 10.12 Các giá trị của  $F/R'$  phụ thuộc vào  $U_{\max}$  cho một khoảng các giá trị  $V_f$

Sóng tính toán theo phương pháp trên là sóng tạo ra quanh mắt bão, nhất là các sóng lan truyền theo hướng di chuyển của bão. Tại các bán kính lớn hơn, sóng giảm theo phương thức được cho trong cuốn *Shore Protection Manual* (1984), trình bày trên hình 10.13. Hình này cho phép tính tỷ số  $H_r/H_R$  theo một khoảng các giá trị của  $r/R$ . Young (1988a) cung cấp rất nhiều đồ thị để tính  $H_r/H_R$  từ các giá trị  $U_{\max}$  và  $V_f$  khác nhau, nhưng nói chung hình 10.13 dùng được cho phần lớn các trường hợp.



Hình 10.13 Tỷ số độ cao sóng tại bán kính  $r$  và tại bán kính mắt bão  $R$  cho các đường song song và vuông góc với vector vận tốc dịch chuyển của tâm bão.



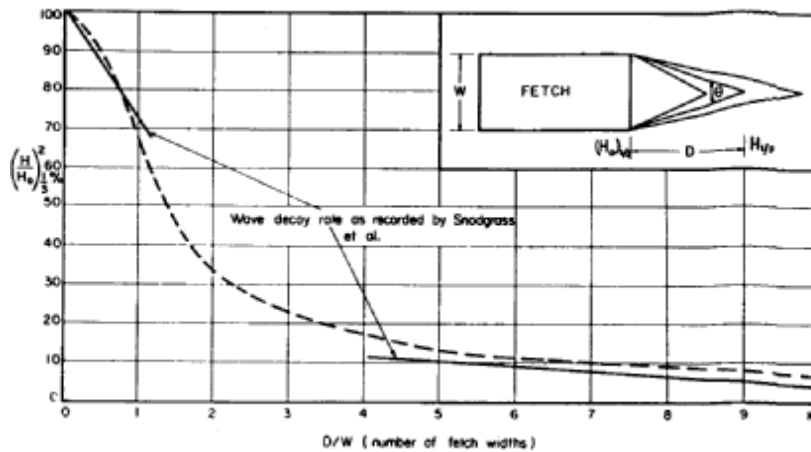
Hình 10.14 Đà với phân bố gió trong các cơn bão nhiệt đới (Syono 1963)

Một mặt cắt ngang và phân bố gió theo phương bán kính trong một cơn bão tại nam bán cầu được trình bày trên hình 10.14. Tại bắc bán cầu, xoáy xoay theo hướng ngược với hướng tại nam bán cầu.

### 10. 6 Sóng trong vùng phân tán

Như đã chỉ ra trong hình 5.8 và trong hình 10.15, sóng lừng tới một điểm nào đó tại đường tâm đà phải nằm trong một dải hình quạt có góc  $\theta$ . Tất cả các sóng khác sẽ đi qua mà không tới điểm này. Khoảng cách ( $D$ ) càng xa khỏi đà hay chiều rộng đà ( $W$ ) càng nhỏ thì góc này càng nhỏ và càng ít năng lượng sóng tới điểm được xem xét. Tỷ lệ giữa năng lượng dọc theo trục  $(H_{1/3})^2$  và năng lượng tại điểm cuối gió của đà phụ thuộc vào  $D/W$  được biểu thị bằng đường đứt trên hình 10.15.

Kết quả này là so sánh được với quan trắc của Snodgrass và cộng sự (1966) về mức độ suy giảm năng lượng của sóng lan truyền trên Thái Bình Dương biểu thị bằng đường liền trên hình.

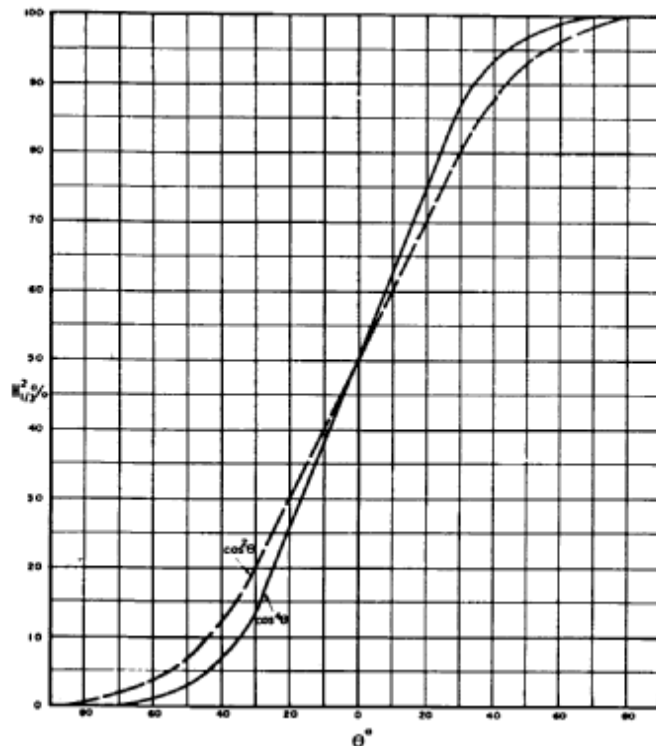


Hình 10.15 Sự suy giảm năng lượng theo khoảng cách từ điểm cuối gió của đầ

Đường cong trên hình 10.15 được tính theo phân bố năng lượng có dạng  $\cos^4 \theta$ , áp dụng cho sóng có  $c/U \geq 1.0$ . Các thành phần sóng có chu kỳ ngắn hơn có phân bố đỉnh phụ thuộc vào góc ít nhọn hơn dưới dạng  $\cos^2 \theta$ . Tích phân dọc theo phân bố này từ  $-90^\circ$  tới  $+90^\circ$  cho ta các kết quả biểu thị bằng đường cong trên hình 10.16. Bằng cách vẽ hai cung từ hai biên bên của đầ tới điểm được quan tâm như trên hình 10.15, đo nửa góc  $(\theta/2)$  về cả hai phía của trục, sau đó đánh dấu chúng trên hình 10.16 để tìm hai phần phần trăm năng lượng  $(H_{1/3})^2$ .

Sự khác nhau của hai phần phần trăm năng lượng này là phần trăm năng lượng tại cuối đầ. Nếu một điểm tạo một góc  $\alpha$  với đường tâm đầ, các góc từ mỗi điểm cuối của đầ sẽ khác đi như thấy trên hình 10.17. Các góc này được quyết định bởi  $\alpha$  và  $D/W$ . Khi mà  $\alpha$  trong hình 10.17 tăng lên, nó trở thành góc  $\theta$  trong hình 10.16 mà từ đó  $\theta_1$  và  $\theta_2$  được đo tại hai phía để cho hiệu số năng lượng. Với sự tăng lên của  $\alpha$ , năng lượng bị giảm đi và đạt cực tiểu tại giá trị  $\alpha = 30^\circ$ . Quy luật  $\cos^2 \theta$  nên được dùng từ  $T_L$  tới  $T_{\max}/2$  và  $\cos^4 \theta$  từ  $T_{\max}/2$  tới  $T_U$  (Silvester và Vongvisessomjai 1971).

Ngoài phân tán theo hướng, sóng còn bị phân tán theo hướng truyền. Các sóng có chu kỳ dài tới một điểm nào đó trước, theo sau là các sóng có chu kỳ thấp hơn. Để có được chiều rộng dải chu kỳ sóng tại mỗi thời điểm cần biết được thời gian ( $t_e$ ) dài hơn khoảng thời gian yêu cầu có FAS. Vì rằng 95% của các giá trị  $H_{1/3}$  và  $T_{\max}$  tại FAS được tạo ra trong khoảng 80% của  $t_{FAS}$  (Silvester và Vongvisessomjai 1970), sẽ là có lý hơn nếu giả thiết rằng  $t_e$  sau  $t_{95} = 0.80t_{FAS}$  cho dù rằng  $(H_{FAS})_{1/3}$  được dùng để tính toán độ cao.



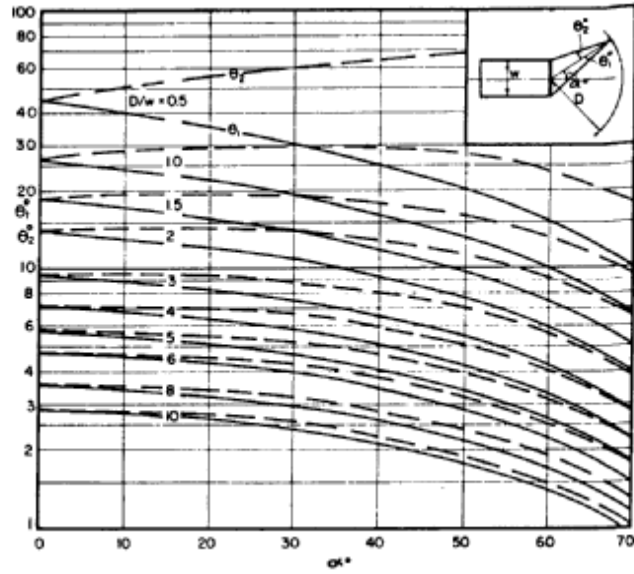
Hình 10.16 Phân bố góc của năng lượng sóng theo  $\cos^2 \theta$  và  $\cos^4 \theta$

Mỗi sóng thành phần lan truyền với vận tốc nhóm, tại nước sâu có giá trị  $c_0/2 = gT/4\pi$ . Tại một khoảng cách ( $S$ ) từ điểm cuối gió của đà và một thời điểm  $t$  nào đó sau  $t_{95}$ , chu kỳ  $T_1$  của nhóm sóng vừa tới được cho bởi

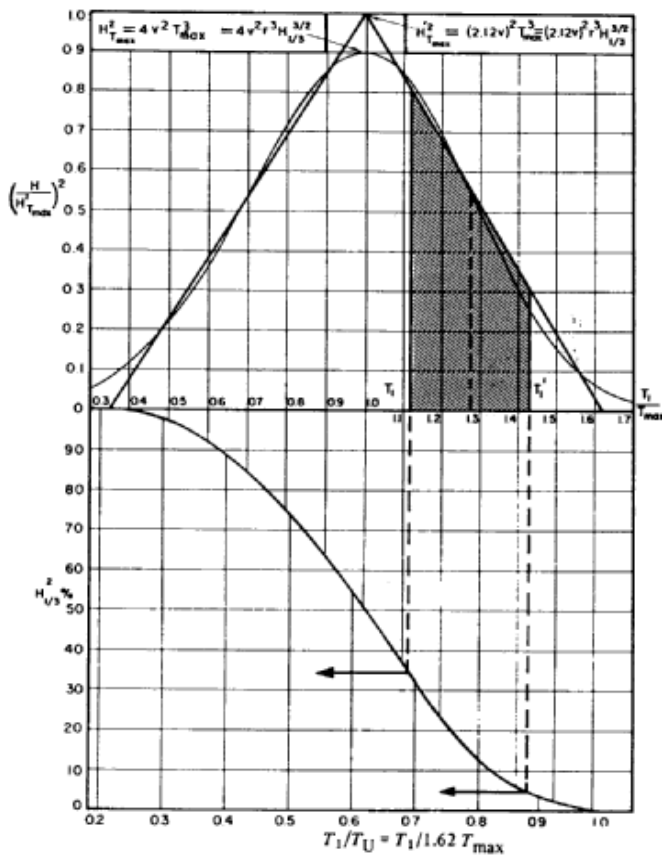
$$t = S/1.52T_1 \quad (10.46)$$

với  $t$  là thời gian tính bằng giờ;  $S$  là khoảng cách tính bằng hải lý (1 NM = 1854 m), và  $T_1$  là chu kỳ sóng tính bằng giây. Chu kỳ  $T_1'$  của nhóm sóng vừa đi khỏi, nhanh hơn nhóm sóng vừa tới một khoảng  $t - t_e$  được cho bởi

$$t - t_e = S/1.52T_1' \quad (10.47)$$



Hình 10.17 Góc hình quạt tới một điểm cuối gió của đà

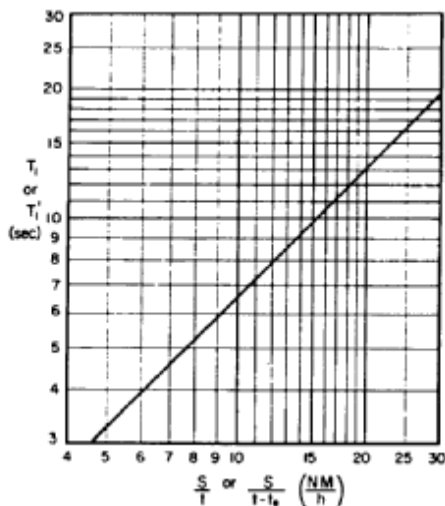


Hình 10.18 Phổ tần số không thứ nguyên và  $(H_{1/3})^2$  tính bằng phần trăm của giá trị ở cuối đà

Như vậy chiều rộng phổ  $T_1' - T_1$ , cho trên hình 10.18 bao gồm một phần năng lượng ở cuối đà. Sóng ở đây có thể là sóng ở trong điều kiện FAS hoặc là không ở trong điều kiện đó, như được mô tả bằng các phương trình cho  $(H_{T_{\max}})^2$  và  $(H'_{T_{\max}})^2$  trong hình. Để giúp

tính toán các phần này, đường cong diện tích tích lũy được chuẩn bị như trong hình 10.18. Việc sử dụng nó yêu cầu  $T_1$  và  $T_1'$  được biểu thị là một phần của hoặc là  $T_{\max}$  hoặc là  $T_U$ . Nếu  $T_1'$  vượt quá  $T_U (= 1.62T_{\max})$ , chỉ có phần tam giác của phổ tương đương với đáy là  $T_U - T_1$  là được dùng.

Phổ của hình 10.18 có tọa độ không thứ nguyên  $(H/H'_{T_{\max}})^2$  sao cho khi  $T_1' - T_1 \rightarrow 0$  do  $t_e/t \rightarrow 0$ , hay  $S$  là lớn (làm cho  $t$  lớn so với  $t_e$ ) thì độ cao của một sóng lừng có chu kỳ cho trước nào đó có thể được xác định. Các phương trình (10.45) và (10.46) đã được đồ thị hoá trên hình 10.19 để dễ dàng đánh giá  $T_1$  và  $T_1'$ . Nếu  $T_1$  lớn hơn  $T_U$  thì chưa có sóng nào tới điểm được quan tâm. Nếu  $T_1'$  nhỏ hơn  $T_L$  thì tất cả các sóng có ý nghĩa về mặt kỹ thuật đã đi qua.



Hình 10.19 Chu kỳ của các sóng tới điểm cách đà một khoảng  $S$  và  $t$  giờ sau khi 0.80  
 $t_{\text{FAS}}=t_{95}$ .

## 10.7 Các mô hình số trị để dự báo sóng

Các phần 10.2 tới 10.6 trình bày một loạt các phương trình thực nghiệm để dự báo cả phổ và các tính chất tích phân của sóng. Tuy rằng các phương pháp tiếp cận này là có ích nhưng chúng bị giới hạn bởi một dải áp dụng rất hẹp (sự phát triển sóng bị giới hạn bởi đà và thời gian tác dụng). Cho dù các tiếp cận này đã được mở rộng tới một mức độ nào đó để có thể áp dụng cho một số trường hợp với các điều kiện không dùng nhưng các giới hạn của các phương pháp này vẫn còn là đáng kể. Các ứng dụng thực tế dự báo sóng bao gồm một hỗn hợp sóng lừng và sóng do gió tạo thành tại chỗ, gió biến đổi theo không gian và thời gian và địa hình bờ và đáy phức tạp. Để dự báo sóng trong các trường hợp này cần phải dùng một mô hình diễn tả được các quá trình vật lý xảy ra trong tự nhiên.

Một mô hình đầy đủ có tính đến tất cả các hiểu biết của chúng ta về vật lý của sóng

gió và có thể áp dụng cho tất cả mọi trường hợp là quá đắt. Thay vào đó, một loạt các mô hình được đưa ra để áp dụng cho các trường hợp đặc biệt. Để chọn một mô hình thích hợp nhất cần phải hiểu tính quan trọng tương đối của các quá trình vật lý. Battjes (1994) đã phân loại các mô hình trong đó miền áp dụng được chia thành 4 như sau:

\* Nước sâu, ảnh hưởng của đáy là có thể bỏ qua.

\* Thêm lục địa – miền giữa nước sâu và nước nông.

\* Miền nước nông mà tại đó hiệu ứng nước nông là quan trọng

\* Cảng mà tại đó cần phải tính đến tương tác giữa sóng và một công trình nào đó (như đập phá sóng, dàn khoan dầu khí, đảo, dải đá ngầm v.v...).

Các mô hình có thể được chia thành hai loại mô hình: mô hình phân giải pha có tính đến biên độ và pha của các sóng thành phần và mô hình trung bình pha chỉ tính được các đại lượng trung bình như phổ hay các đặc trưng tích phân ( $H_s, f_p$ , v.v.). Nếu như các đặc trưng trung bình pha thay đổi nhanh (với bậc vài bước sóng) thì nói chung cần phải dùng một mô hình phân giải pha. Ngược lại, nếu các tính chất sóng thay đổi chậm, trên kích thước rất nhiều bước sóng thì nói chung là một mô hình trung bình pha là áp dụng được.

Không có loại mô hình nào là ưu việt hơn và thường là dải áp dụng của chúng là không trùng lặp. Tuy nhiên, Battjes (1994) kết luận rằng: “Các mô hình phân giải pha cần nhiều thời gian tính toán đến nỗi chỉ nên dùng chúng khi mà có yêu cầu nghiêm ngặt”. Trong số các quá trình sóng, chỉ có nhiễu xạ và tương tác phi tuyến triad yêu cầu được mô phỏng bằng mô hình phân giải pha. Do đó, miền áp dụng của các mô hình phân giải pha thường là chỉ giới hạn tại tương tác sóng và công trình (cảng v.v.) và miền gần bờ mà ở đó tương tác triad là quan trọng.

Chương này sẽ xem xét cả hai loại mô hình. Tuy nhiên, sẽ chú ý chủ yếu tới biểu diễn phổ và chỉ trình bày qua về các mô hình phân giải pha. Chương này cũng xem xét kỹ thuật đồng hoá số liệu đang phát triển rất mạnh hiện nay để cập nhật các số liệu quan trắc vào mô hình với mục đích tăng độ chính xác.

#### 10.7.1 Các mô hình phân giải pha

Các mô hình phân giải pha có thể được chia thành một loạt các dạng khác nhau phụ thuộc vào các giá trị của (Battjes, 1994):



\* Tính phi tuyến đo bằng  $ak$  hay  $a/d$ .

\* Thông số độ sâu tương đối  $kd$ .

\* Độ dốc đáy biển  $\alpha$ .

Trong đó  $a$  là biên độ sóng,  $k$  là số sóng và  $d$  là độ sâu. Các giá trị điển hình cho mỗi dạng mô hình phân giải pha được cho bởi Peregrine (1972), Whitham (1974) và Mei (1989).

Nếu không có các giả thiết về độ lớn của các đại lượng trên thì sẽ có các mô hình “chính xác”. Từ “chính xác” ở đây có nghĩa là không có giả thiết nào trong việc xây dựng mô hình. Vì cần lời giải số trị nên các mô hình trên không cho nghiệm chính xác. Các mô hình dạng này thường được giải bằng phương pháp tích phân biên.

Nếu như độ dốc đáy là nhỏ ( $\alpha \ll kd$ ) và sóng chỉ là phi tuyến yếu ( $ak \ll 1$ ), thế vận tốc có thể được khai triển thành chuỗi Taylor. Các giả thiết này cho các mô hình gọi là các mô hình với phương trình độ dốc thoải.

Nếu thông số độ sâu tương đối và độ dốc cùng là nhỏ ( $kd \ll 1$ ,  $\alpha \ll 1$ ) và tính phi tuyến là yếu ( $a/d \ll 1$ ) thì sẽ có các mô hình phương trình Boussinesq. Nếu như chỉ xem xét sóng truyền theo một hướng (không có phản xạ), các phương trình Boussinesq trở thành các phương trình Korteweg-de Vries.

#### *a) Các mô hình tích phân biên*

Các mô hình thuộc dạng này giải phương trình Laplace ba chiều:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0 \quad (10.48)$$

Với  $\Phi$  là thế vận tốc của sóng. Vì rằng cả cấu trúc nằm ngang và thẳng đứng của trường sóng cần được tính đồng thời, các mô hình này có giá thành tính toán rất cao. Tuy nhiên các mô hình này là phương tiện rất tốt để nghiên cứu các tính chất của sóng không xoáy (tức là các sóng chưa vỡ). Rất nhiều mô hình đã được đề xuất để làm việc này (Longuet Higgins và Cokelet, 1976; Dold và Peregrine, 1986; Crilli và cộng sự, 1989; Peregrine, 1990). Tuy rằng các mô hình này là các phương tiện nghiên cứu mạnh, chúng bị giới hạn bởi các giả thiết được sử dụng để rút ra phương trình Laplace (10.48). Do vậy, các

hiệu ứng của chất lỏng thực như độ nhớt bị bỏ qua. Bởi vậy, cho dù tính toán mất nhiều thời gian, sự tồn tại của lớp biên và ma sát đáy bị bỏ qua.

Battjes (1994) kết luận rằng các mô hình như thế này là không phù hợp để áp dụng cho các vấn đề sóng gió thực tế.

*b) Các mô hình phương trình độ dốc thoải*

Phương trình độ dốc thoải do (1972) tìm ra như sau:

$$\nabla(cc_g \nabla \Phi) + k^2 cc_g \Phi = 0 \quad (10.49)$$

Với  $c$  là vận tốc pha và  $c_g$  là vận tốc nhóm. Như viết ở trên, (10.49) diễn tả được các hiệu ứng như nước nông, khúc xạ, nhiễu xạ và phản xạ của các sóng trọng lực điều hoà khi không có dòng chảy. Phương trình (10.49) là một phương trình vi phân đạo hàm riêng dạng elliptic. Lời giải của nó yêu cầu các điều kiện biên trên toàn bộ miền tính và lời giải đồng thời tại tất cả các điểm trong miền tính. Vì rằng lưới tính yêu cầu độ phân giải không gian nhỏ hơn nhiều so với bước sóng, giá thành tính toán rất cao, cho dù là miền tính tương đối nhỏ.

Nếu sự phản xạ sóng theo hướng sóng chính là bỏ qua được thì phương pháp xấp xỉ parabolic có thể được áp dụng cho (10.49) (Radder, 1979):

$$\frac{\partial \Phi}{\partial x} = \left[ ik - \frac{1}{2kcc_g} \frac{\partial}{\partial x} (kcc_g) \right] \Phi + \frac{i}{2kcc_g} \frac{\partial}{\partial y} \left( cc_g \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) \quad (10.50)$$

Với trục  $x$  là hướng truyền sóng chính. Có rất nhiều cách phát triển dạng cơ bản trên của phương trình xấp xỉ parabolic để mở rộng dải áp dụng của phương trình (Battjes, 1994). Các phát triển này bao gồm:

- ảnh hưởng của dòng chảy (Booij, 1981; Kirby, 1984);
- góc xấp xỉ rộng hơn để tăng dải hướng sử dụng trong các sơ đồ sai phân tiến để giải các phương trình xấp xỉ parabolic của phương trình truyền sóng cho vùng biển có độ dốc nhỏ (Booij, 1981; Dalrymple and Kirby, 1988; Dalrymple et al, 1989);
- các tọa độ cong (Lozano và Liu, 1980; Isobe, 1986);
- tiêu tán do sóng vỡ và ma sát đáy (Booij, 1981; Kirby và Dalrymple, 1986a);
- phương trình phân tán phi tuyến (Booij, 1981; Kirby và Dalrymple, 1986b)

- ứng suất gió (Vogel và cộng sự, 1988)

Ứng suất gió và tiêu tán năng lượng do sóng vỡ và tương tác với đáy được đưa vào trong các mô hình dưới dạng những thừa số tăng giảm đơn giản. Vì rằng miền áp dụng của các mô hình loại này tương đối hẹp, các quá trình này thường là không quan trọng lắm.

Các phương trình cho độ dốc thoải đã được sử dụng rộng rãi để dự báo ảnh hưởng của khúc xạ - nhiễu xạ - phản xạ trong và xung quanh cảng, đảo và những vùng nước nông bị ngập.

### c) Các mô hình Boussinesq

Các mô hình Boussinesq áp dụng được cho các điều kiện nước nông với sóng phi tuyến yếu và phân tán tần số yếu. Các phương trình một chiều do Peregrine (1967) phát triển có dạng sau:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \nabla \cdot [(d + \zeta)\bar{u}] = 0 \quad (10.51)$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + (\bar{u} \cdot \nabla)\bar{u} + g\nabla\zeta = \frac{d}{2}\nabla\left[\nabla \cdot \left(d\frac{\partial \bar{u}}{\partial t}\right)\right] - \frac{d^2}{6}\nabla\left[\nabla \cdot \frac{\partial \bar{u}}{\partial t}\right] \quad (10.52)$$

Với  $\zeta$  là mực nước và  $\bar{u}$  là vận tốc dòng chảy trung bình theo phương ngang.

Các phương trình Boussinesq bao hàm các hiệu ứng nhiễu xạ, khúc xạ, phản xạ và tương tác sóng – dòng chảy. Tác động của gió và tiêu tán năng lượng có thể được đưa vào trong mô hình dưới dạng đơn giản giống như trong các mô hình giải phương trình cho độ dốc thoải. Tương tác triad (Young, 1999) được biểu thị bằng các thành phần bậc 4. Việc đưa các thành phần này vào là một sức mạnh đặc biệt của các mô hình loại này và đặc biệt là chúng đã dự báo thành công sự biến đổi của các thành phần điều hoà có tần số lớn trong quá trình nước nông (Beji và Battjes, 1994; Madsen và cộng sự, 1997).

### 10.7.2 Các mô hình trung bình pha cho sóng nước sâu

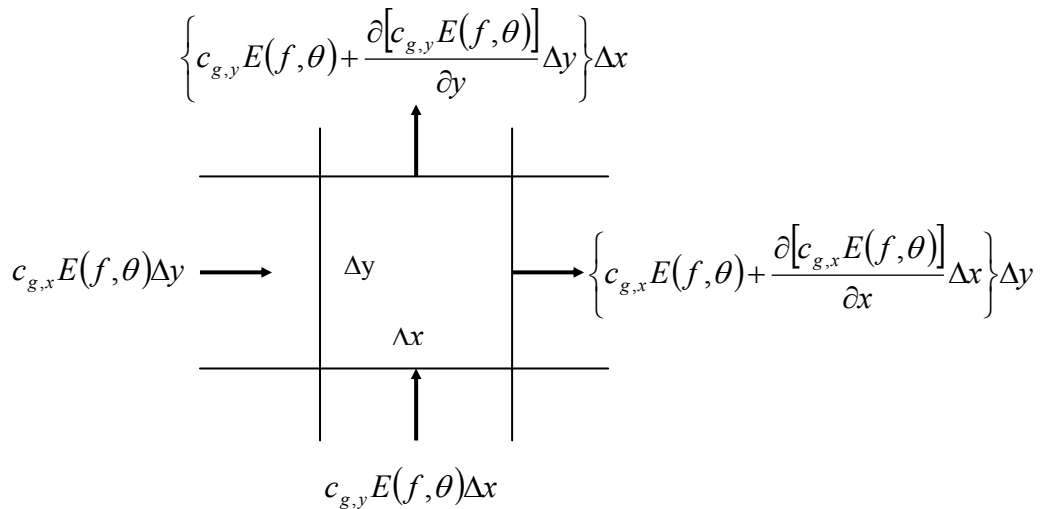
Các mô hình trung bình pha dự báo các tính chất trung bình hay tích phân của trường sóng. Dưới dạng đơn giản nhất, các đại lượng này có thể là độ cao sóng có nghĩa hay chu kỳ đỉnh. Tuy nhiên, một cách chung hơn, các mô hình trung bình pha hiện đại dự báo biến

đổi không gian và thời gian của phổ hướng  $S(f, \theta)$ .

Các mô hình trung bình pha mô tả trong bài giảng này giải phương trình cân bằng năng lượng phổ sóng. Trong phần này, đầu tiên là các phương trình cân bằng năng lượng phổ được rút ra. Sau đó sẽ mô tả tóm tắt một số mô hình số trị để giải các phương trình này.

a) Rút ra phương trình cân bằng năng lượng phổ

Hãy xem xét một biến đổi của năng lượng của một sóng thành phần của phổ sóng theo các phương nằm ngang. Năng lượng của một sóng thành phần như vậy phải là hàm của tần số sóng, hướng lan truyền, các tọa độ ngang và thời gian, hay nói cách khác, có thể được biểu thị bằng  $E(f, \theta, x, y, t)$ . Để rút ra phương trình cân bằng năng lượng phổ cho sóng này, hãy xem xét một thể tích kiểm tra vô cùng bé như chỉ ra trên hình 10.20.



Hình 10.20 Cân bằng năng lượng phổ của một thể tích kiểm tra vô cùng bé

Như chỉ ra trên hình 10.20, tốc độ biến đổi thời gian của năng lượng sóng trong thể tích kiểm tra là:

$$\frac{\partial E(f, \theta)}{\partial t} \Delta x \Delta y$$

Phần dư của năng lượng sóng đi vào và đi ra khỏi thể tích kiểm tra được biểu thị như sau:

$$-\left\{ \frac{\partial [c_{g,x} E(f, \theta)]}{\partial x} + \frac{\partial [c_{g,y} E(f, \theta)]}{\partial y} \right\} \Delta x \Delta y$$

với  $c_{g,x}$  và  $c_{g,y}$  lần lượt là các thành phần của vận tốc nhóm sóng theo các hướng  $x$  và  $y$ .

Ký hiệu tốc độ sản sinh năng lượng sóng trong thể tích kiểm tra là  $S_{tot}(f, \theta) \Delta x \Delta y$ , sự bảo toàn năng lượng sóng trong thể tích kiểm tra yêu cầu:

$$\frac{\partial E(f, \theta)}{\partial t} \Delta x \Delta y = -\frac{\partial [c_{g,x} E(f, \theta)]}{\partial x} \Delta x \Delta y - \frac{\partial [c_{g,y} E(f, \theta)]}{\partial y} \Delta x \Delta y + S_{tot}(f, \theta) \Delta x \Delta y \quad (10.53)$$

Vì rằng thể tích kiểm tra là tùy ý, có thể rút ra phương trình sau:

$$\frac{\partial E(f, \theta)}{\partial t} + \frac{\partial [c_{g,x} E(f, \theta)]}{\partial x} + \frac{\partial [c_{g,y} E(f, \theta)]}{\partial y} = S_{tot}(f, \theta) \quad (10.54)$$

Với  $S_{tot}(f, \theta)$  thường được gọi là thành phần nguồn. Thành phần nguồn  $S_{tot}(f, \theta)$  biểu thị tất cả các quá trình tạo và tiêu tán năng lượng và có thể được chia thành nhiều thành phần, tương ứng với các quá trình khác nhau. Thành phần đầu tiên biểu thị sự truyền năng lượng từ khí quyển (gió) cho sóng. Thành phần thứ hai biểu thị tương tác phi tuyến quadruplet giữa các thành phần phổ. Thành phần thứ ba biểu thị sự tiêu tán năng lượng bởi các quá trình rối như sóng vỡ (sóng bạc đầu). Ký hiệu các thành phần nói trên lần lượt là  $S_{in}(f, \theta)$ ,  $S_{nl}(f, \theta)$  và  $S_{ds}(f, \theta)$ , ta có:

$$S_{tot}(f, \theta) = S_{in}(f, \theta) + S_{nl}(f, \theta) + S_{ds}(f, \theta) \quad (10.55)$$

Vẫn còn rất nhiều vấn đề chưa thể hiểu được về bản chất vật lý của các quá trình tạo thành và tiêu tán năng lượng sóng nói trên. Trong các phần tiếp sau, các lý thuyết chính hiện có để biểu thị mỗi thành phần trên sẽ được trình bày.

#### a) Tiếp năng lượng từ khí quyển (nước sâu)

Như đã thảo luận trong chương 4, theo lý thuyết tạo sóng của Phillips (1957), trong pha đầu tiên của quá trình tạo sóng, trường nhiễu động áp suất (không bị ảnh hưởng bởi sóng) cộng hưởng với sóng tự do bề mặt. Phillips (1957) giả thiết rằng tốc độ truyền năng lượng từ gió cho sóng là không đổi theo thời gian và phụ thuộc vào tần số và hướng sóng.

Công thức biểu thị quá trình này như sau

$$S_{in,1}(f, \theta) = \alpha(f, \theta, P(f, \theta)) \quad (10.56)$$

với  $P(f, \theta)$  là phổ áp suất.

Miles (1957) dựa trên việc khảo sát phân bố áp suất xung quanh đỉnh sóng đã tìm ra rằng áp suất pháp tuyến tại mặt nước có một giá trị cực tiểu tại sườn khuất gió của đỉnh sóng và một giá trị cực đại tại sườn đón gió của đỉnh sóng. Điều này có nghĩa là gió đã đẩy mặt nước xuống tại vị trí mà mặt nước đi xuống và kéo mặt nước lên tại vị trí mà mặt nước đi lên. Việc kết hợp giữa áp suất và chuyển động của mặt nước đã truyền năng lượng cho sóng. Quá trình có khả năng tự tăng cường: sự truyền năng lượng là hiệu quả hơn khi mà sóng phát triển. Miles đã tìm ra công thức mô tả quá trình này như sau:

$$S_{in,2}(f, \theta) = \beta(f, \theta, \bar{U})E(f, \theta) \quad (10.57)$$

với hệ số  $\beta$  phụ thuộc vào tốc độ và hướng của gió và sóng thành phần. Với (10.56) và (10.57), thành phần nguồn tổng cộng của sự truyền năng lượng từ gió cho sóng được mô hình hoá như sau

$$S_{in}(f, \theta) = \alpha + \beta E(f, \theta) \quad (10.58)$$

#### *b) Tương tác phi tuyến của sóng*

Trong xấp xỉ bậc nhất, sóng đại dương có thể được xem là sự chồng chất của các thành phần phổ tự do. Trong xấp xỉ cao hơn, có sự tương tác giữa các thành phần phổ sinh ra bởi sự truyền năng lượng giữa các sóng thành phần (Phillips, 1960). Bậc thấp nhất mà các tương tác đó có thể xảy ra liên quan tới tương tác của ba sóng, hay là tương tác ba. Trong trường hợp này, hai sóng tương tác một cách phi tuyến và truyền năng lượng cho một sóng thành phần thứ ba. Các tương tác này là quan trọng tại các điều kiện độ sâu giới hạn nhưng không quan trọng tại nước sâu (Hasselmann, 1962). Một lý thuyết nhiễu động chung cho tương tác phi tuyến cộng hưởng của sóng ngẫu nhiên đã được phát triển bởi Hasselmann (1962, 1963a,b). Ông tìm ra rằng một tập hợp bốn sóng có thể trao đổi năng lượng khi mà các điều kiện cộng hưởng sau đây được thoả mãn:

$$\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 = \mathbf{k}_3 + \mathbf{k}_4 \quad (10.59)$$

$$\omega_1 + \omega_2 = \omega_3 + \omega_4 \quad (10.60)$$

với  $\omega_j$  là tần số góc và  $\mathbf{k}_j$  là vector số sóng ( $j=1, \dots, 4$ ). Tần số và số sóng liên hệ với nhau qua mối liên hệ phân tán. Bốn sóng thành phần tương tác với nhau mô tả bởi (10.59) và (10.60) tạo thành một bộ bốn và tương tác giữa chúng được gọi là tương tác bốn. Biểu thức đầy đủ của các tương tác này đã được cho bởi Hasselmann (1962, 1963a,b), Zakharov (1968), Herterich và Hasselmann (1980) và Van Vledder (1990). Chúng về mặt bản chất có dạng sau:

$$S_{n/4}(\mathbf{k}_4) = \iint T_1 E(\mathbf{k}_1) E(\mathbf{k}_2) E(\mathbf{k}_3 = \mathbf{k}_4 - \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2) d\mathbf{k}_1 d\mathbf{k}_2 - \iint T_2 E(\mathbf{k}_4) E(\mathbf{k}_1) E(\mathbf{k}_2) d\mathbf{k}_1 d\mathbf{k}_2 \quad (10.61)$$

với  $T_1$  và  $T_2$  là các hệ số vận chuyển phức tạp. Tích phân đầu tiên diễn tả phân thụ động của tương tác; nó độc lập với mật độ năng lượng của các sóng thành phần. Mật độ năng lượng của thành phần  $\mathbf{k}_4$  tăng lên do tương tác với các thành phần  $\mathbf{k}_1$ ,  $\mathbf{k}_2$  và  $\mathbf{k}_3$ . Tích phân thứ hai liên quan tới phần chủ động, tức là phụ thuộc vào mật độ năng lượng của sóng thành phần  $\mathbf{k}_4$ . Sự tương tác này làm giảm năng lượng của thành phần sóng. Các hệ số tương tác chứa mật độ năng lượng có bậc ba. Mật độ năng lượng cao (đỉnh phổ) vì vậy thống trị tương tác bốn trong phổ. Chú ý rằng các tương tác phi tuyến chỉ phân bố lại năng lượng trên phổ. Không có năng lượng được thêm vào hoặc lấy đi từ toàn phổ. Điều này được diễn tả như sau:

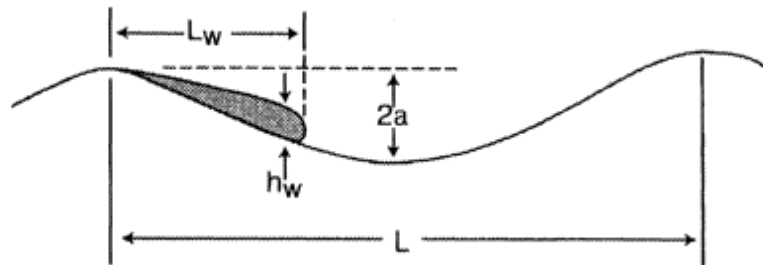
Tương tác bốn vận chuyển năng lượng từ phía tần số cao của đỉnh phổ tới các tần số cao hơn (mà năng lượng bị tiêu tán do sóng bạc đầu như sẽ trình bày sau đây) và tần số thấp hơn (mà năng lượng bị hấp thụ). Sự hấp thụ năng lượng tại các tần số thấp đã di chuyển đỉnh phổ tới các tần số thấp hơn và do vậy thống trị sự biến đổi của phổ. Một tính chất rất quan trọng của tương tác bốn là ảnh hưởng ổn định của dạng phổ. Nếu dạng phổ sai lệch nhiều so với dạng JONSWAP, tương tác bốn sẽ đưa nó về dạng JONSWAP. Các thực nghiệm số trị đã chỉ ra rằng ảnh hưởng này là khá mạnh nếu sóng được tạo bởi gió (sóng đủ dốc). Đó là lý do chính mà phổ JONSWAP thường được quan trắc trong các cơn dông, thậm chí không trong các điều kiện gần với các điều kiện lý tưởng mà phổ JONSWAP được quan sát thấy đầu tiên. Thậm chí ngay trong các cơn bão người ta cũng quan trắc thấy phổ JONSWAP (nhưng không phải tại tất cả các vị trí trong cơn bão).

Thực tế là sự cân bằng giữa sự tiếp năng lượng do gió, tương tác bốn và sóng bạc đầu đã quyết định mức độ sai lệch giữa phổ quan trắc được và phổ JONSWAP. Nếu gió là mạnh và thay đổi nhiều theo không gian (cả về tốc độ và hướng) thì sự tiếp năng lượng từ gió là lớn hơn nhiều tương tác bốn. Khi đó một phổ không giống với JONSWAP sẽ được tạo thành.

Nếu gió thay đổi chậm, tương tác bốn sẽ thắng và một phổ JONSWAP sẽ được tạo thành.

c) Sóng bạc đầu

Sự vận chuyển năng lượng từ gió cho sóng tạo nên sự tăng của biên độ sóng. Quá trình này tiếp tục cho đến khi sóng trở nên bất ổn định và vỡ. Dạng vỡ này thường được gọi là sóng bạc đầu. Do sóng bạc đầu, một phần năng lượng sóng bị mất, ký hiệu là  $S_{ds}$ . Một loạt các thí nghiệm đã được tiến hành để khảo sát động lực học của sự vỡ của một sóng đơn (Longuet-Higgins và Cokelet, 1978; Duncan, 1981; Longuet Higgins, 1988; Rapp và Melville, 1990). Trong giáo trình này sẽ trình bày biểu thị phổ của năng lượng bị mất mát.



Hình 10.21: Tương tự hình học của sóng bạc đầu và sóng nằm dưới (theo Donelan và Yuan, 1994)

Sóng bạc đầu biểu thị một quá trình phi tuyến mạnh không thể được xử lý bằng kỹ thuật nhiễu động thông thường áp dụng cho các tương tác yếu [thí dụ như  $S_{nl}$ ]. Hasselmann (1974) đã khắc phục khó khăn này bằng cách giả thiết rằng sóng bạc đầu là một quá trình yếu nếu tính trung bình. Quá trình này tạo ra một thay đổi nhỏ trong phổ sóng trên một đơn vị chiều dài hay chu kỳ, và do vậy có thể áp dụng tính chất Gaussian của trường sóng tuyến tính cho các bậc thấp nhất.

Với giả thiết yếu theo trung bình, Hasselmann (1974) xử lý sóng bạc đầu như là một phân bố ngẫu nhiên của nhiễu động áp suất trên mặt nước với quy mô nhỏ so với bước sóng. Tuy nhiên trong giáo trình này sẽ không trình bày suy luận của Hasselmann (1974) mà sẽ trình bày mô tả của Donelan và Yuan (1994). Trong thực tế, người ta đều biết rằng sóng bạc đầu tạo ra ở mặt trước, hay mặt khuất gió của sóng. Donelan và Yuan (1994) giả thiết rằng sóng bạc đầu là sóng nằm dưới là tương tự hình học (Duncan, 1981) như cho trên hình 10.21. Do vậy, họ đã rút ra được công thức sau đây cho  $S_{ds}$ :

$$S_{ds}(f, \theta) = -\gamma_{ds} \omega S(f, \theta) \tag{10.62}$$



Với  $\gamma_{ds}$  là hệ số suy giảm, là hàm của các tính chất phi địa phương của phổ sóng. Dấu âm trong (10.62) xảy ra vì sự khác pha giữa nhiễu động áp suất và sóng. Do vậy,  $S_{ds}$  phụ thuộc chuẩn tuyến tính vào  $S$ . Sự phụ thuộc phi tuyến được cho dưới dạng phụ thuộc của  $\gamma_{ds}$  vào các tính chất phi địa phương của phổ. Hasselmann (1974) chỉ ra rằng dạng chuẩn tuyến tính là tính chất của bất kỳ một quá trình yếu theo trung bình nào. Trong thực tế, trong các hội thảo của nhóm WAM (Komen, 1985) trong vòng 10 năm (1984~1994), Klaus Hasselmann phản đối một cách mạnh mẽ các mô hình với giả thiết rằng  $S_{ds}$  là phi tuyến một cách địa phương [tức là  $S_{ds} \sim S^n(f, \theta)$ ]. Một loạt các công thức thuộc dạng này đã được đề xuất, kể cả công thức của Phillips (1985).

Cùng với cơ chế nhiễu động áp suất mô tả trong (10.62), các quá trình khác cũng xảy ra trong quá trình sóng bạc đầu. Thí dụ, Banner và cộng sự (1989) đã chỉ ra rằng sự vỡ của sóng gần đỉnh phổ sẽ làm suy giảm các sóng có tần số cao trong miền sau vỡ. Cơ chế này có thể được giả thiết là hàm của tần số sóng đối với đỉnh phổ. Thêm vào đó, biên độ của hệ số tiêu tán cũng có thể được xem là phụ thuộc vào một số đo nào đó của độ dốc sóng.

Komen và cộng sự (1984) đã thử nghiệm đưa vào các hiệu ứng này bằng cách giả thiết một dạng của  $\gamma_{ds}$  sao cho:

$$S_{ds}(f, \theta) = -C_{ds} \left( \frac{\hat{\alpha}}{\hat{\alpha}_{PM}} \right)^m \left( \frac{\omega}{\bar{\omega}} \right)^n \omega S(f, \theta) \quad (10.63)$$

với  $\bar{\omega}$  là tần số trung bình:

$$\bar{\omega} = (\sigma^2)^{-1} \int S(f, \theta) \omega df d\theta \quad (10.64)$$

và  $\hat{\alpha}$  là thông số dốc tích phân:

$$\hat{\alpha} = \frac{\sigma^2 \bar{\omega}^4}{g^2} \quad (10.65)$$

Năng lượng tổng cộng hay phương sai, được biểu thị bởi  $\sigma^2 = \int S(f, \theta) df d\theta$  và  $\hat{\alpha}_{PM} = 4.57 \times 10^{-3}$ , là giá trị lý thuyết của  $d$  đối với phổ Pierson-Moskowitz.

Các cơ chế thay thế cho mô hình nhiễu động vận tốc đã được đề xuất để tính đến năng

lượng mất mát do sóng bạc đầu. Phillips (1985) và Donelan và Pierson (1987) đã xem xét quá trình sóng bạc đầu là một quá trình phụ thuộc phi tuyến mạnh vào độ dốc sóng. Trong mô hình này, sóng bạc đầu không có ảnh hưởng cho tới khi độ dốc sóng đạt tới một giới hạn nào đó mà sóng vỡ và mất một năng lượng đáng kể. Một mô hình như thế này có thể bao hàm cả những thay đổi địa phương của độ dốc sóng gây ra do nhóm sóng.

Các mô hình nhiễu động áp suất hay độ dốc sóng là các mô hình xác định. Tuy nhiên các quan trắc cho thấy rằng sóng bạc đầu thay đổi rất mạnh. Có thể có hai sóng, theo tất cả các tiêu chuẩn, có chiều cao, chu kỳ và độ dốc. Một sóng sẽ vỡ, sóng khác thì không. Như vậy, có thể biểu thị sóng bạc đầu là một quá trình ngẫu nhiên với mỗi sóng được gắn với một xác suất vỡ. Một hàm nguồn dưới dạng này đã được Yuan và cộng sự (1986) đề xuất.

Phân tích trên cho thấy rõ ràng tiêu tán năng lượng sóng bạc đầu là một quá trình còn được hiểu một cách ít ỏi. Không có một lý thuyết chặt chẽ nào áp dụng cho sóng bạc đầu hay sự mất mát năng lượng. Khi không có lý thuyết, phép tiếp cận thông thường là dựa vào đo đạc trực tiếp. Một vấn đề nảy sinh là làm thế nào đo đạc được năng lượng suy giảm do sóng bạc đầu trong một trạng thái sóng có gió. Vấn đề chính là các cơ chế tạo sóng không được phân biệt. Sóng bạc đầu chủ động chỉ tồn tại khi có sự tiếp năng lượng của gió. Đồng thời, khi mà một phổ sóng gió tồn tại, tương tác bốn sẽ hoạt động. Các phép đo phải tách được ảnh hưởng của  $S_{ds}$ . Hiện tại có hai thiết bị có hứa hẹn về vấn đề này. Thiết bị thứ nhất đo sự tiêu tán năng lượng trong một cột nước bên dưới sóng vỡ (Drennan và cộng sự, 1996; Terray và cộng sự, 1996). Tiếp cận thứ hai bao hàm phép đo đặc dấu hiệu âm của sóng vỡ dường như là liên hệ với tiêu tán năng lượng (Melville và cộng sự, 1991). Các tiếp cận này có nhiều hứa hẹn nhưng chưa cho các kết quả rõ ràng.

#### *d) Cân bằng phổ*

Trong thảo luận trên, mỗi thành phần nguồn được xem xét riêng rẽ. Tuy nhiên, tổng của các thành phần riêng rẽ biểu thị bởi  $S_{tot}$  (10.55) là yếu tố gây ra thay đổi phổ. Thành phần nguồn cân bằng cho cả sóng “trẻ” và sóng đã “phát triển”. Sự biến đổi phổ là hệ quả của sự cân bằng giữa nhiều thành phần nguồn và đạt được không cân một giới hạn nào về dạng phổ. Tại các tần số lớn, phổ có dạng đặc trưng  $f^{-n}$ . Trong miền này, tổng của ba thành phần nguồn  $S_{tot} = 0$ . Điều này là kết quả của  $S_{nl}$ . Banner và Young (1994) đã chỉ ra rằng sự thay đổi trong biên độ của cả  $S_{in}$  hay  $S_{ds}$  có ảnh hưởng nhỏ tới lượng năng lượng trong đuôi phổ, nhưng ảnh hưởng ít tới số mũ suy giảm  $n$ . Thành phần phi tuyến  $S_{nl}$  liên tục buộc phổ phải tuân theo dạng này. Nguyên nhân của sự đóng góp của  $S_{nl}$  vào quá trình này vẫn chưa được giải thích.

Khi mà phổ càng phát triển hơn, đỉnh phổ càng dần chuyển tới các tần số thấp hơn và

phổ trở nên rộng hơn. Kết quả là cân bằng đã đạt được ở các tần số cao mở rộng ra một dải tần số rộng hơn. Thêm vào đó,  $S_{in}$  và  $S_{nl}$  giảm về biên độ. Sự gia tăng năng lượng từ khí quyển  $S_{in}$  giảm đi vì rằng tỷ số  $U_{10}/c$  tiến tới 1. Thành phần phi tuyến  $S_{nl}$  giảm đi vì rằng tần số đỉnh  $f_p$  giảm đi và vì sự mở rộng của dạng phổ. Thêm vào đó, độ dốc dương của  $S_{nl}$  dịch chuyển từ các tần số nhỏ hơn  $f_p$  tới các tần số bằng với  $f_p$ . Kết quả là sự dịch chuyển của  $f_p$  tới các tần số nhỏ hơn chậm lại. Miền mà ở đó các thành phần nguồn hoàn toàn cân bằng,  $S_{tot} = 0$ , tăng lên và sự phát triển của sóng hầu như dừng lại tại tất cả các tần số. Trạng thái này thường được gọi là trạng thái phát triển hoàn toàn.

Nguồn tổng cộng,  $S_{tot}$ , thường là âm tại các tần số lớn hơn đỉnh một chút. Kết quả là năng lượng tại một tần số cố định giảm một chút khi mà đỉnh di chuyển qua tần số đó về phía tần số thấp. Đặc điểm này đã được quan trắc tại các số liệu ghi được và được Barnett và Sutherland (1968) gọi là hiệu ứng bán quá. Như Banner và Young (1994) đã chỉ ra, cân bằng thành phần nguồn cũng ảnh hưởng tới sự phân tán hướng.

Như đã thấy trong thảo luận ở trên, các thành phần nguồn dùng để tính toán cho các kết quả phù hợp rất tốt với các số liệu quan trắc. Tuy nhiên, cho dù các kết quả tốt như thế, còn rất nhiều vấn đề chưa được giải quyết. Thứ nhất là quá trình mà Komen và cộng sự (1984) dùng để xác định  $S_{ds}$  đã buộc thành phần này chứa đựng tất cả các ảnh hưởng cần thiết để cân bằng năng lượng bổ sung và vận chuyển phi tuyến. Tất cả các đóng góp cho sự cân bằng này đều được cho là do sóng bạc đầu. Có thể có cả các quá trình khác mà bây giờ chưa được biết cũng được đưa vào trong thành phần này. Banner và Young (1994) đã chỉ ra rằng nhiều đặc điểm chi tiết của quá trình phát triển phổ (như năng lượng tại đuôi phổ và phân tán hướng) không được mô hình hoá tốt bằng các thành phần nguồn như thế.

Tuy rằng kiến thức về các thành phần nguồn đã đã phát triển đáng kể trong 30 năm gần đây, còn nhiều câu hỏi chưa có lời giải đáp. Cung cấp một kiến thức đầy đủ về bản chất vật lý của quá trình tạo sóng vẫn là một nhiệm vụ của khoa học hiện đại.

### 10.7.3 Các mô hình trung bình pha cho sóng nước nông

Tại nước nông, cách tiếp cận cho dự báo sóng cũng tương tự như tại nước sâu. Sóng được coi là tổng hợp của một số lớn các sóng thành phần và cân bằng năng lượng của mỗi sóng được đánh giá bằng cách theo dõi chúng khi chúng lan truyền qua miền nghiên cứu. Sự khác biệt với nước sâu là các hiện tượng sóng nước sâu cần được hiệu chỉnh cho nước nông và cần thêm vào các hiệu ứng tại nước nông.

a) Lan truyền

Sự khúc xạ có thể được thêm vào trong phương trình cân bằng năng lượng nhờ một thành phần thêm vào. Khi khúc xạ, sóng lan truyền qua không gian địa lý và thay đổi hướng. Vì vậy, mật độ năng lượng của một sóng thành phần có thể xem là lan truyền đồng thời qua không gian địa lý và vòng tròn của miền phổ (tại tần số được xem xét). Vì mật độ năng lượng là một hàm phân bố liên tục xung quanh một vòng tròn, sự biến đổi theo hướng có thể được mô hình hoá như là một thành phần vận chuyển trong không gian  $\theta$ . Có thể rút ra nó theo phương pháp tương tự với các thành phần vận chuyển trong không gian địa lý. Điều này cho ta phương trình cân bằng năng lượng cho nước nông:

$$\frac{\partial}{\partial t} S(f, \theta) + \frac{\partial}{\partial x} c_{gx} S(f, \theta) + \frac{\partial}{\partial y} c_{gy} S(f, \theta) + \frac{\partial}{\partial \theta} c_{\theta} S(f, \theta) = S_{tot}(f, \theta) \quad (10.66)$$

Với  $c_{\theta}$  là tốc độ khúc xạ (tốc độ xoay hướng khi chuyển động cùng với thành phần sóng với vận tốc nhóm). Vận tốc này có thể dễ dàng được rút ra bằng cách áp dụng lý thuyết sóng tuyến tính cổ điển trong đó có tốc độ xoay theo không gian (trên một đơn vị chiều dài về phía trước dọc theo tia sóng). Tốc độ xoay theo không gian này là:

$$\frac{d\theta}{ds} = \frac{1}{c} \frac{\partial c}{\partial m}$$

với  $m$  là khoảng cách theo phương ngang (dọc theo đỉnh sóng). Với vận tốc nhóm  $c$ , một khoảng cách  $ds$  có thể được chuyển thành khoảng thời gian  $dt$ , và biểu thức trở thành:

$$c_{\theta} = \frac{d\theta}{dt} = \frac{c_g}{c} \frac{\partial c}{\partial m} \quad (10.67)$$

Mật độ năng lượng cũng là hàm của tần số  $f$  sao cho mật độ năng lượng cũng lan truyền qua không gian tần số. Vì vậy cần một thành phần thêm vào dưới dạng  $\partial(c_f E)/\partial f$ , tức là tần số của thành phần sóng điều hoà có thể thay đổi khi lan truyền qua nước sâu hoặc nước nông. Điều này xảy ra khi mà độ sâu hay dòng chảy xung quanh không phải là hằng số theo thời gian và không gian. Những sự thay đổi này sẽ được bỏ qua ở đây sao cho  $c_f = 0$  và thành phần này biến mất.

Hiệu ứng nước nông được tính đến bằng cách đưa vào mối phụ thuộc vào độ sâu của vận tốc nhóm trong các thành phần vận chuyển theo không gian.

Quá trình nhiễu xạ không được đưa vào trong phương trình cân bằng năng lượng vì rằng lý thuyết này không áp dụng được cho phổ liên tục.

### *b) Thành phần nguồn*

Các quá trình vật lý tạo và tiêu tán bị ảnh hưởng bởi độ sâu khi mà sóng lan truyền vào miền có độ sâu nhỏ hơn  $1/2$  bước sóng. Các sóng có tần số nhỏ sẽ “cảm thấy” đáy nhanh hơn các sóng có tần số lớn. Việc này sẽ làm ảnh hưởng tới tất cả các quá trình sóng. Thêm vào đó, một số quá trình không hoạt động ở nước sâu trở nên hoạt động. Sự biến đổi của các quá trình sóng nước sâu là:

#### *Sự tạo sóng do gió:*

Sự tạo sóng do gió tại nước nông vẫn chưa được nghiên cứu chi tiết. Tuy nhiên, thành phần nguồn do gió chứa tỷ số của vận tốc gió và vận tốc pha  $U_{10}/c$ . Vận tốc pha giảm tại nước nông do đó tỷ số này tăng lên, và do vậy tăng tốc độ truyền năng lượng cho sóng. Các tần số nhỏ hơn bị ảnh hưởng nhiều hơn các tần số lớn, do vậy dạng phổ có thể bị thay đổi. Nó cũng có nghĩa là phổ sẽ chuyển về hướng các tần số thấp nhanh hơn đối với nước sâu.

#### *Tương tác giữa các sóng*

Tương tác bốn sẽ bị biến đổi tại nước nông do có sự thay đổi trong cấu hình của bốn sóng (các thành phần thỏa mãn điều kiện cộng hưởng là khác nhau). Hiệu ứng của việc này là làm rộng các khoảng trong không gian tần số sao cho tương tác này trở nên đáng kể hơn. đồng thời giá trị của các hệ số liên kết tăng lên và chúng tăng cường quá trình tương tác. Tuy nhiên tại nước rất nông (độ sâu có bậc độ cao sóng có nghĩa hay bậc  $1/10$  bước sóng đặc trưng), lý thuyết về tương tác bốn trở nên đáng nghi vấn và lý thuyết thay thế vẫn chưa được xây dựng. Một cách chi tiết thì trong những tình huống như thế mối liên hệ phân tán cho phép các thành phần sóng đơn gần thỏa mãn với các điều kiện cộng hưởng cho tương tác ba sóng:

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 \quad (10.68)$$

và:

$$\mathbf{k} = \mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 \quad (10.69)$$

Dường như là cho dù các điều kiện cộng hưởng không được thỏa mãn hoàn toàn thì

các sóng cũng có thể trao đổi năng lượng. Kết quả của tương tác ba sóng là năng lượng dịch chuyển tới các sóng có tần số lớn hơn và nhỏ hơn. Điều đó tạo ra hai đỉnh phụ, một ở phía tần số cao, một ở phía tần số thấp. Tuy nhiên đỉnh tần số thấp thường bị xoá đi do sóng vỡ khi tới vùng nước nông.

### *Tiêu tán*

Như đã chỉ ra ở trên, hiện tượng sóng bạc đầu được hiểu rất hạn chế tại nước sâu và còn hạn chế hơn ở nước nông. Chúng ta chỉ có thể ngoại suy các công thức biểu thị sóng bạc đầu từ nước sâu về nước nông bằng cách nhận thấy rằng bước sóng trở nên ngắn hơn tại nước nông hơn và độ cao sóng cao hơn do hiệu ứng nước nông. Điều đó làm tăng độ dốc của sóng và do vậy tăng cường quá trình sóng bạc đầu. Sự tiêu tán năng lượng gần đáy có thể là do một số quá trình (thí dụ như sự thấm nước qua đáy rỗng) nhưng quá trình quan trọng nhất là ma sát đáy. Nó thường được mô hình hoá bằng tác động của ứng suất cắt  $\tau$  ngay phía trên lớp biên rớt tại đáy:

$$\tau = -C_f \rho \mathbf{u}_b |\mathbf{u}_b| \quad (10.70)$$

với  $C_f$  là hệ số ma sát,  $\rho$  là mật độ nước và  $u_b$  biểu thị vận tốc quỹ đạo do sóng tạo ra ngay trên biên.

Khi mà sóng đi vào vùng nước rất nông (độ sâu khoảng bằng độ cao sóng có nghĩa) thì sóng bị vỡ do tương tác với đáy và tạo ra đối sóng vỡ gần bờ. Có thể dự báo tốt tổng lượng năng lượng bị tiêu tán (tích phân theo toàn bộ phổ) bằng một mô hình mà trong đó sự tiêu tán trung bình của sóng được đánh giá với điều kiện là mỗi sóng bị vỡ (chỉ các sóng cao hơn tại đuôi của phân bố Rayleigh. Theo thước đo năng lượng thì dạng phổ đường như không bị ảnh hưởng bởi sóng vỡ.

# Chương 11 CÁC ĐẶC ĐIỂM CHUNG CỦA SÓNG VÙNG BIỂN VIỆT NAM

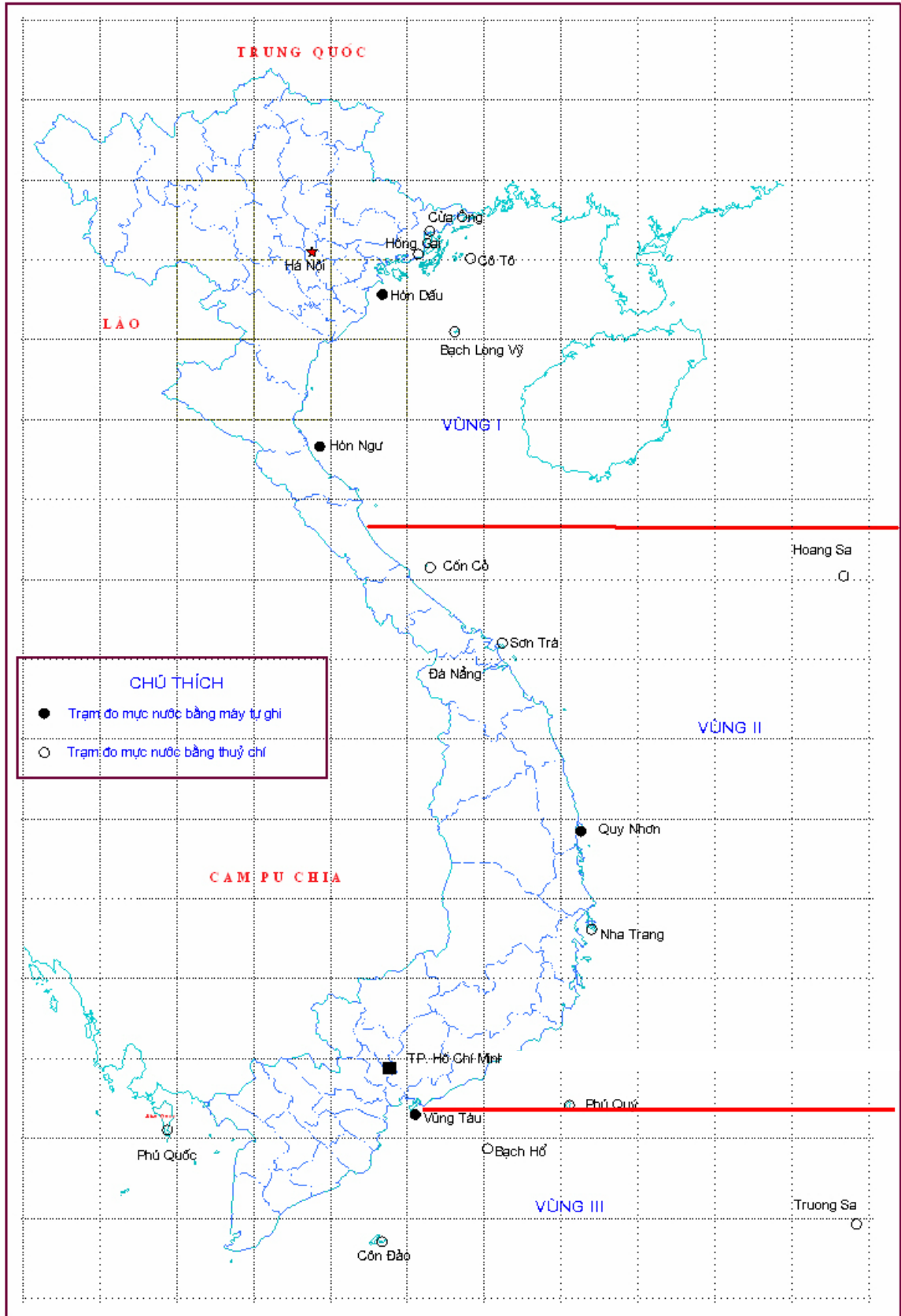
## 11.1 Chế độ gió vùng biển nước ta

### 11.1.1 Những nhận xét chung

Vì đối tượng nghiên cứu ở đây là sóng do gió tạo thành nên để có thể hiểu được các đặc điểm của sóng vùng biển nước ta cần phải có kiến thức về chế độ gió, nhất là gió mùa và gió bão. Do nước ta có chiều dài hơn 2000km từ bắc xuống nam nên khí hậu nước ta có những thay đổi rất rõ rệt khi đi từ bắc vào nam. Vì ở đây ta chỉ quan tâm tới ảnh hưởng của khí hậu biển tới chế độ sóng gió nên ta sẽ chỉ đưa ra những nhận xét cần thiết về chế độ khí hậu biển của nước ta. Căn cứ vào đặc điểm của chế độ gió và sóng, chúng tôi tạm chia vùng ven biển nước ta thành 3 vùng khí hậu: vùng khí hậu biển miền Bắc và Bắc Trung Bộ kéo dài từ Móng Cái đến Thừa Thiên – Huế, vùng khí hậu biển miền đông bằng Nam bộ kéo dài từ Vũng Tàu tới Kiên Giang và vùng khí hậu biển miền Trung và Nam Trung bộ nằm giữa hai vùng khí hậu trên. Các vùng khí hậu này được chỉ rõ trên hình 11.1.

Vì chế độ gió là yếu tố quyết định chế độ sóng của mỗi vùng nên các nhận xét về đặc điểm khí hậu của mỗi vùng về cơ bản sẽ tập trung vào mô tả chế độ gió. Các đặc trưng thống kê của chế độ gió của các vùng khí hậu chủ yếu tham khảo các kết quả của tác giả Nguyễn Doãn Toàn trong cuốn “*Sổ tay tra cứu các đặc trưng khí tượng thủy văn vùng thêm lục địa Việt nam*” do Trung tâm Khí tượng Thủy văn Biển, Tổng cục Khí tượng Thủy văn (nay thuộc Bộ Tài nguyên và Môi trường) phát hành dựa trên chuỗi số liệu quan trắc từ 1981 tới 1990. Cần chú ý rằng tốc độ gió tại các trạm khác nhau được quan trắc tại các độ cao khác nhau. Hơn nữa, địa hình tại nơi bố trí các trạm cũng rất khác nhau, có trạm ở ngay bãi biển, có trạm ở đỉnh núi trên đảo ngoài khơi. Vì những lý do trên, các đặc trưng thống kê về chế độ gió tại các trạm được đưa ra ở đây chỉ có giá trị tham khảo. Để có thể dùng các số liệu về chế độ gió tại các trạm để tính toán chế độ sóng phục vụ cho việc thiết kế, cần phải loại trừ tới mức tối đa ảnh hưởng của địa hình tại vị trí quan trắc tới tốc độ gió và hiệu chỉnh các số liệu tốc độ gió về độ cao 10m trên mặt biển.

Ngoài các đặc trưng thống kê về chế độ gió, nhiều thông tin khác được trích dẫn từ cuốn “*Khí hậu Việt nam*” của các tác giả Phạm Ngọc Toàn và Phan Tất Đắc do Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật phát hành năm 1978.



Hình 11.1 Các vùng khí hậu biển và vị trí các trạm quan trắc ven biển



### *11.1.2 Vùng khí hậu biển miền Bắc và Bắc Trung bộ*

Một cách sơ lược thì vùng khí hậu biển miền Bắc và Bắc Trung Bộ nước ta kéo dài từ vùng biển Móng Cái đến khu vực Thừa Thiên Huế. Vùng khí hậu này chịu ảnh hưởng luân phiên của cả khối không khí miền cực đới khô lạnh từ phía bắc tràn xuống vào mùa đông và không khí nóng ẩm từ phía nam di chuyển lên vào mùa hè. Bởi vậy, tại vùng này có bốn mùa rõ rệt: mùa đông lạnh với gió mùa đông bắc rất mạnh, mùa hè nóng với gió mùa tây nam và hai mùa chuyển tiếp là mùa xuân và mùa thu. Càng đi vào phía nam, mùa đông và hai mùa chuyển tiếp càng ngắn đi và mùa hè càng dài ra.

#### *a) Chế độ gió vùng ven biển*

Gió thịnh hành trong mùa đông tại vùng này là gió bắc và đông bắc. Theo cuốn Sổ tay tra cứu các đặc trưng khí tượng thủy văn vùng thềm lục địa Việt nam của Trung tâm Khí tượng Thủy văn Biển, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, dựa trên chuỗi số liệu quan trắc từ 1981 tới 1990 thì tần suất xuất hiện của gió hướng đông bắc tại trạm Cô Tô là 66,5% vào tháng I và 46,8% vào tháng X. Tần suất xuất hiện của gió hướng này tại trạm Bạch Long Vĩ vào các tháng tương ứng là 66,4% và 50,3%. Tại trạm Cửa Tùng, tần suất xuất hiện tổng hợp của gió theo các hướng tây bắc, bắc và đông bắc vào tháng I là 58,4%, vào tháng X là 47,3%. Gió vào mùa này tương đối mạnh và kéo dài. Tại trạm Cô Tô, tần suất xuất hiện của gió với tốc độ lớn hơn 8m/s vào tháng I là 9,5%, vào tháng X là 15,5%. Tại trạm Bạch Long Vĩ, các con số tương ứng là 50% và 37,5%. Gió tại trạm Cửa Tùng trong thời gian này yếu hơn so với hai trạm trên với tần suất xuất hiện tương ứng của gió với tốc độ lớn hơn 8m/s vào tháng I và tháng X là 5,1% và 3,5%.

Trong mùa hè, gió thịnh hành là gió đông nam, nam và tây nam. Tần suất xuất hiện tổng hợp của gió theo các hướng này vào tháng 7 của trạm Cô Tô là 64,6%, tại trạm Bạch Long Vĩ là 80,3%, tại trạm Cửa Tùng là 63%. Thời gian này là thời gian bắt đầu chịu ảnh hưởng của các cơn bão mạnh (sẽ nói chi tiết hơn ở phần sau) nên xác suất xuất hiện tốc độ gió lớn hơn 8m/s tại trạm Cô Tô là 8%. Cũng tại trạm này, xác suất xuất hiện tốc độ gió lớn hơn 29m/s trong tháng 7 là 0,19%. Tại trạm Bạch Long Vĩ, vào tháng 7, xác suất xuất hiện tốc độ gió lớn hơn 8m/s là 35%. Tại trạm Cửa Tùng, con số này là 4,5%.

#### *b) Chế độ gió ngoài khơi Biển Đông*

Vì có rất ít tư liệu về chế độ gió tại vùng này nên các nhận xét về chế độ gió ngoài khơi ở đây chủ yếu dựa vào cuốn “Khí hậu Việt nam” của tác giả Đỗ Đình Cương xuất bản tại Sài Gòn vào năm 1964 và cuốn “Khí hậu Việt nam” của các tác giả Phạm Ngọc Toàn và Phan

Tất Đắc xuất bản tại Hà Nội vào năm 1978. Các đặc trưng thống kê về chế độ gió tại vùng này dựa trên các kết quả phân tích của các tác giả trên từ chuỗi số liệu quan trắc trong thời gian 55 năm từ 1911 tới 1965 tại đảo Hoàng Sa.

Ở ngoài khơi, gió mạnh hơn ở đất liền rõ rệt và tần suất lặng gió rất nhỏ. Hướng gió trong từng mùa rất ổn định. Mùa đông hướng gió thịnh hành là đông bắc với tần suất xuất hiện vượt quá 50%, rồi đến hướng bắc với tần suất xuất hiện trên 25%. Mùa hạ, tần suất xuất hiện của gió theo các hướng nam và đông nam tương ứng là trên 50% và gần 30%. Vào thời kỳ chuyển tiếp từ đông sang hạ (tháng IV), hướng gió rất tản mạn, tần suất phân bố khá đều giữa các hướng đông bắc, đông, đông nam và nam. Vào thời kỳ chuyển tiếp từ hạ sang đông (tháng X), ưu thế thuộc về hướng gió đông bắc với tần suất xuất hiện gần 50%, tiếp đó là hướng bắc với tần suất xuất hiện gần 20%.

Tốc độ gió tại ngoài khơi Biển Đông khá lớn. Tốc độ gió trung bình năm khoảng 6.5m/s. Gió mùa đông mạnh hơn với tốc độ gió trung bình đạt tới 6,5 – 7 m/s; còn vào mùa hạ, tốc độ gió trung bình đạt vào khoảng 5,5 – 6 m/s. Vào các tháng giữa mùa gió, rất ít gặp những ngày lặng gió và gió yếu với tốc độ gió dưới 1,5 m/s (tần suất xuất hiện dưới 5%). Tần suất xuất hiện của gió với tốc độ dưới 1,5m/s trong mùa chuyển tiếp là 10 – 20%. Tốc độ gió mạnh nhất trong các cơn bão tại vùng này có thể lớn hơn 50m/s.

*c) Các đặc trưng của bão và áp thấp nhiệt đới tại vùng khí hậu biển miền Bắc và Bắc Trung bộ*

Các tư liệu về bão ở đây chủ yếu được trích dẫn từ cuốn “Sổ tay tra cứu các đặc trưng khí tượng thủy văn vùng thềm lục địa Việt nam” của Trung tâm Khí tượng Thủy văn Biển do Nhà xuất bản Nông nghiệp ấn hành năm 2000.

Vùng biển Việt nam nằm gần một trung tâm bão chính của thế giới – Trung tâm bão Tây Thái Bình Dương. Ở trên Biển Đông, một năm trung bình có khoảng 10 cơn bão và áp thấp nhiệt đới (ATNĐ) hoạt động. Trong thời gian 40 năm từ năm 1956 tới 1995, năm có nhiều bão nhất ở Biển Đông có 18 cơn, năm ít bão nhất có 3 cơn. Chỉ một phần trong số các cơn bão hoạt động tại Biển Đông đổ bộ vào bờ biển Việt nam. Trong khoảng thời gian 40 năm kể ở trên có tất cả 262 cơn bão đổ bộ vào vùng biển Việt nam; trong đó số cơn bão đổ bộ vào khu vực bờ biển từ Quảng Ninh đến Hải Phòng là 52 cơn, từ Thái Bình đến Ninh Bình là 13 cơn, từ Thanh Hóa đến Hà Tĩnh là 51 cơn và từ Quảng Bình đến Thừa Thiên – Huế là 47 cơn. Khoảng một nửa số cơn bão đổ bộ vào Việt nam này phát sinh từ tây Thái Bình Dương, vượt qua quãng đường rất dài và trong nhiều ngày để đến Việt nam. Một nửa còn lại các cơn bão được hình thành ngay trên Biển Đông.

Mùa bão và ATNĐ tại vùng biển và ven biển đồng bằng Bắc bộ tới Bắc Trung bộ kéo dài từ tháng VI tới tháng XII.. Khu vực từ Quảng Ninh đến Thanh Hoá, mùa bão thông thường từ tháng VI đến tháng IX, tháng VIII là tháng có nhiều bão nhất. Càng vào phía nam, mùa bão càng trở nên muộn hơn. Khu vực từ Nghệ An đến Thừa Thiên – Huế, bão và áp thấp nhiệt đới xuất hiện tập trung vào các tháng VIII, IX và X trong đó tháng IX là tháng có nhiều bão nhất. Thời gian tồn tại trung bình của một cơn bão và ATNĐ trong vùng biển nước ta khoảng từ 4 đến 5 ngày. Cũng có những cơn bão di chuyển theo đường xích đạo và có thời gian tồn tại tới hơn 10 ngày. Đặc biệt có cơn bão Wayne vào tháng IX/1986 có thời gian tồn tại là 22 ngày. Thời gian tồn tại ngắn nhất của một áp thấp nhiệt đới vào khoảng từ 2 đến 3 ngày.

Bão tại vùng biển nước ta thường có tốc độ gió rất lớn. Một số cơn bão mạnh có tốc độ gió mạnh cấp 12 hoặc trên cấp 12, gió giật có khi đạt đến cấp 13 – 15 hoặc mạnh hơn. Vùng có gió mạnh cấp 9 – 10 thường có bán kính rộng đến 50 đến 100km. Bão thường tạo ra sóng rất lớn, đôi khi có độ cao trên 10m và là nguyên nhân rất quan trọng ảnh hưởng tới độ ổn định của các công trình biển. Bão và ATNĐ thường kèm theo mưa to, sóng lớn và là một trong những nguyên nhân gây ra thiên tai quan trọng nhất của vùng ven biển.

### *11.1.3 Vùng khí hậu biển miền Trung và Nam Trung bộ*

Vùng khí hậu miền Trung và Nam Trung bộ nằm giữa vùng khí hậu miền Bắc và Bắc Trung bộ và vùng khí hậu miền Nam. Vùng khí hậu này vẫn chịu ảnh hưởng của gió mùa đông bắc nhưng ảnh hưởng này yếu dần khi đi từ bắc vào nam. Tại vùng khí hậu này có hai mùa gió rất rõ rệt: mùa gió đông bắc và đông bắt đầu vào khoảng tháng 10 hàng năm và kết thúc vào khoảng giữa tháng 3 năm sau và mùa gió mùa nam, đông nam và tây nam trong thời gian còn lại của năm.

#### *a) Chế độ gió vùng ven biển*

Theo các số liệu quan trắc tại trạm Quy Nhơn, gió thịnh hành vào tháng I là gió bắc với tần suất xuất hiện là 40,2%. Tiếp đến là gió tây bắc với tần suất xuất hiện là 20,8%. Các cơn số tương ứng vào tháng X tại trạm này là 29% và 19,7%. Chế độ gió thay đổi dần khi đi từ Quy Nhơn vào Nha Trang. Tại Nha Trang, vào tháng I hướng gió thịnh hành không còn là hướng bắc mà phân bố khá đều giữa các hướng tây bắc, bắc và đông bắc với tần suất xuất hiện tương ứng theo các hướng kể trên là 19,8%, 21,3% và 23,9%. Vào tháng X, hướng gió tương đối thịnh hành tại Nha Trang là hướng tây nam với tần suất xuất hiện là 25,3%. Ngoài ra, gió theo các hướng đông bắc và tây cũng khá thịnh hành với các tần suất xuất hiện tương ứng là 19,2% và 17,6%. Mùa này cũng là mùa gió mạnh với tần suất xuất hiện của gió có tốc độ lớn hơn 8m/s và 10m/s tương ứng là 4% và 1% vào tháng I tại trạm Nha Trang. Ngoài

ra, từ tháng X tới tháng XII cũng là mùa bão tại đây nên xác suất xuất hiện gió mạnh rất lớn. Vào tháng X, cũng tại Nha Trang, xác suất xuất hiện gió mạnh với tốc độ lớn hơn 8m/s và 10m/s tương ứng là 7,2% và 1,7%. Đặc biệt, vào tháng này còn quan trắc thấy gió có tốc độ lớn hơn 16m/s với xác suất xuất hiện là 0,3%.

Tần suất xuất hiện của gió theo hướng đông nam vào tháng IV và tháng VII tại trạm Quy Nhơn tương ứng là 35,3% và 25,3%. Vào tháng VII, tại Quy Nhơn còn chịu ảnh hưởng mạnh của gió tây với tần suất xuất hiện là 20%. Cũng vào tháng này, hướng gió thịnh hành tại trạm Nha Trang là gió đông nam với tần suất xuất hiện là 26%. Đây cũng là tháng lặng gió với tần suất xuất hiện của những ngày lặng gió tại các trạm Quy Nhơn và Nha Trang tương ứng là 30,6% và 37,1%.

#### *b) Chế độ gió ngoài khơi miền Trung và Nam Trung bộ*

Các quan trắc từ các tàu hoạt động trên vùng biển Quy Nhơn – Nha Trang cũng cho kết quả tương tự như ở trên bờ. Vào tháng I, gió thịnh hành tại vùng biển này là gió đông bắc với tần suất xuất hiện là 50%. Tiếp đến là gió bắc với tần suất xuất hiện là 31,3%. Vào tháng X, các con số tương ứng cho gió theo hai hướng này là 27,6% và 20,9%. Ngoài ra, vào tháng X gió đông cũng xuất hiện với tần suất khá lớn là 10,6%. Tại vùng biển này, vào tháng IV, các hướng gió thịnh hành là đông bắc, đông và đông nam với tần suất xuất hiện tổng cộng lớn hơn 76%. Tới tháng VII, các hướng gió thịnh hành chuyển thành tây nam và nam với tần suất xuất hiện tổng cộng gần 57%. Đặc biệt, cho dù các con tàu phải tránh bão nên không thể quan trắc được tốc độ gió trong điều kiện bão, gió mạnh và rất mạnh được quan trắc thấy tại vùng biển này trong khoảng thời gian từ tháng X tới tháng hết tháng II năm sau. Xác suất xuất hiện của tốc độ gió lớn hơn 8m/s vào các tháng I và tháng X tại vùng biển này tương ứng là 30% và 15,9%. Các con số tương ứng cho gió có tốc độ lớn hơn 21m/s là 0,27% và 0,18%.

#### *c) Các đặc trưng của bão và áp thấp nhiệt đới tại miền Trung và Nam Trung bộ*

Trong khoảng thời gian 40 năm từ 1956 tới 1995, có tất cả 81 cơn bão đổ bộ vào vùng ven biển Trung Trung bộ từ Quảng Nam - Đà Nẵng tới Bình Thuận. Mùa bão tại vùng biển này muộn hơn tại vùng biển phía Bắc và Bắc Trung bộ. Bão thường hay đổ bộ vào vùng biển từ Quảng Nam - Đà Nẵng đến Quảng Ngãi vào các tháng IX, X, vùng biển Bình Định đến Khánh Hòa vào các tháng X và XI, vùng biển Ninh Thuận, Bình Thuận vào các tháng XI và XII. Khu vực Ninh Thuận và Bình Thuận là các khu vực có bão muộn nhất của cả nước ta. Trong 40 năm có 4 cơn bão đổ bộ vào nước ta trong tháng XII thì cả 4 cơn đều xuất hiện ở khu vực này. Nói chung, tốc độ gió cực đại trong bão đổ bộ vào vùng biển này nhỏ hơn so với các cơn bão đổ bộ vào bờ biển khu vực miền Bắc và Bắc Trung bộ. Tuy vậy, cũng có một số cơn bão rất mạnh như cơn bão Agnes đổ bộ vào Bình Định – Phú Yên đêm 7/XI/1984 với

sức gió cấp 12, giật cấp 13 hay cơn bão Kyle đổ bộ vào Tuy Hoà ngày 23/XI/1993 với sức gió cấp 12, giật cấp 13.

#### *11.1.4 Vùng khí hậu biển miền đồng bằng Nam bộ*

Vùng khí hậu biển miền Nam kéo dài từ khu vực Đồng Nai, Bà Rịa - Vũng Tàu tới Hà Tiên. Vùng khí hậu này chịu ảnh hưởng rất yếu của khối không khí miền cực đới khô lạnh từ phía bắc tràn xuống vào mùa Đông nhưng lại chịu ảnh hưởng rất mạnh của khí hậu xích đạo nên thời tiết quanh năm nóng nực. Trong một năm, tại vùng này có hai mùa rất rõ rệt: mùa khô từ khoảng cuối tháng 10 tới giữa tháng 4 năm sau với gió mùa mùa đông và mùa mưa trong khoảng thời gian còn lại của năm với gió mùa mùa hạ.

##### *a) Chế độ gió vùng ven biển Nam bộ*

Vào mùa khô, hướng gió thịnh hành là hướng đông và đông bắc. Tại Vũng Tàu, tần suất xuất hiện của gió theo các hướng đông và đông bắc trong tháng I tương ứng là 58,4% và 12,9%, trong tháng IV tương ứng là 43,2% và 4,3%. Tại Cà Mau, các con số tương ứng cho tháng I và tháng IV lần lượt là 36,3%, 9,7% và 19,3%, 1,3%. Vì tháng IV là tháng chuyển tiếp giữa mùa khô và mùa mưa nên trong tháng này đã bắt đầu xuất hiện gió đông nam với tần suất xuất hiện tại Vũng Tàu và Cà Mau tương ứng là 19,5% và 10,8%. Gió trong mùa này tương đối yếu với tốc độ gió tại Vũng Tàu vào tháng I không quá 7m/s. Vào tháng IV là thời kỳ chuyển mùa có gió khá mạnh với tốc độ gió lớn hơn 12m/s và tần suất xuất hiện 0,17% tại trạm này. Số ngày lặng gió ở đây rất nhiều. Tại Cà Mau, tần suất lặng gió vào tháng I là 50%, tháng IV là 61,3% và tháng X là 72%. Vào mùa mưa, gió thịnh hành là gió tây nam và tây với tần suất xuất hiện của gió theo hai hướng này tại Vũng Tàu vào tháng VII tương ứng là 37,7% và 26,3%. Tại Cà Mau, các con số trên là 9% và 19%. Tần suất lặng gió tại Cà Mau trong tháng này cũng khá lớn, tới 65%. Gió vào mùa này cũng không mạnh lắm với tần suất xuất hiện của gió có tốc độ lớn hơn 12m/s tại Vũng Tàu vào tháng VII là 0,32%.

##### *b) Chế độ gió ngoài khơi Nam bộ*

Hướng gió trong hai mùa tại ngoài khơi Nam bộ cũng tương tự như hướng gió ở vùng ven biển. Vào mùa khô, các hướng gió thịnh hành là đông, đông bắc và bắc. Ngoài khơi Vũng Tàu – Côn Đảo, vào tháng I, tần suất xuất hiện của gió theo hướng đông bắc là 74,1%, bắc là 16,7% và đông là 7,4%. Tại Côn Đảo, tần suất xuất hiện của gió theo hướng đông bắc vào tháng này là 92,6%. Tiến dần về phía vịnh Thái Lan, hướng gió thịnh hành chuyển dần sang đông với tần suất xuất hiện của gió theo các hướng đông bắc, đông và đông nam tại Phú Quốc vào tháng I tương ứng là 23,4%, 37,2% và 4,3%. Một điểm đáng chú ý là ngay tại Phú Quốc, tần suất lặng gió vào tháng này cũng tới 22,6%. Tốc độ gió ngoài khơi cũng lớn

hơn tốc độ gió vùng ven bờ rất nhiều. Vào tháng I, gió với tốc độ lớn hơn 12m/s tại Côn Đảo có tần suất xuất hiện là 3,2%. Đặc biệt, vào tháng X, tốc độ gió lớn hơn 21m/s có tần suất xuất hiện là 0,16% tại Côn Đảo. Vào mùa mưa, hướng gió thịnh hành là tây nam và tây với tần suất xuất hiện của gió theo các hướng này tại Côn Đảo tương ứng là 30,8% và 50,7%. Tại Phú Quốc, các con số này tương ứng là 18,5% và 47,8%. Gió vào mùa này tương đối yếu với tốc độ gió tại Côn Đảo vào tháng VII không vượt quá 12m/s, tại Phú Quốc không vượt quá 14m/s.

### *c) Các đặc trưng của bão và áp thấp nhiệt đới tại Nam bộ*

Trong khoảng thời gian 40 năm từ 1956 tới 1995, có 18 cơn bão đổ bộ vào vùng biển từ Bà Rịa – Vũng Tàu tới Cà Mau. Bão tại khu vực này thường xảy ra vào các tháng XI và XII. Các cơn bão đổ bộ vào khu vực này thường có cường độ yếu và không gây ra thiệt hại lớn. Tuy nhiên, có những cơn bão rất mạnh như cơn bão Linda đi qua vùng biển Nam Trung bộ và Nam bộ từ 1 tới 3/XI năm 1997 với gió mạnh tới cấp .... gây ra sóng rất lớn những thiệt hại rất lớn về người và tài sản.

## **11.2 Chế độ sóng vùng biển nước ta**

Như đã trình bày trong các phần trước, các đặc trưng động lực và thủy thạch động lực của trường sóng ven bờ phụ thuộc rất nhiều vào độ dốc của sóng. Thông thường, sóng do gió địa phương tạo thành là các sóng có độ dốc sóng lớn với chu kỳ ngắn (ngay cả trong trường hợp gió mạnh, chu kỳ của sóng hữu hiệu cũng chỉ từ 6 đến 8 s). Sau khi lan truyền qua một khoảng cách lớn, sóng gió biến thành sóng lừng có độ dốc sóng nhỏ hơn với chu kỳ dài hơn nhiều (khoảng từ 13 đến 15 giây).

Vì biển Đông của nước ta là một vùng biển khá kín nên sóng tới bờ biển nước ta chủ yếu là sóng do gió tạo thành trong nội tại biển Đông. Với kích thước khá nhỏ của biển Đông, quãng đường lan truyền của sóng gió trước khi chuyển thành sóng lừng khá ngắn. Như vậy, sóng gió bị biến đổi rất ít khi lan truyền từ vùng tạo sóng tới bờ. Vì những lý do trên, chu kỳ của sóng tới bờ biển nước ta nói chung nhỏ hơn nhiều so với chu kỳ sóng tới các bờ biển đối diện với đại dương như bờ biển phía đông của Nhật bản, bờ biển nước Mỹ, Úc hay Ấn độ v.v.

Cũng tương tự như gió, dựa vào các đặc trưng của sóng có thể chia biển nước ta thành ba vùng riêng biệt: sóng tại biển miền Bắc và Bắc Trung bộ, sóng tại biển miền Trung và Nam Trung bộ và sóng tại biển Trung bộ. Ta sẽ lần lượt xem xét các đặc trưng của trường sóng tại mỗi vùng biển trên.

### *11.2.1 Sóng tại vùng biển miền Bắc và Bắc Trung bộ.*

Do đặc điểm địa lý, có thể chia vùng biển này thành hai vùng biển nhỏ hơn: vùng biển

trong vịnh Bắc bộ và vùng biển ngoài vịnh Bắc bộ. Sóng tại các vùng biển này biến đổi theo mùa rất rõ rệt. Về mùa đông, chủ yếu là sóng đông bắc do gió mùa đông bắc tạo ra; còn về mùa hè, chủ yếu là sóng đông nam do gió mùa nam và đông nam tạo ra. Tuy nhiên, các tính chất của sóng trong và ngoài vịnh Bắc Bộ rất khác nhau.

#### *a) Vùng biển trong vịnh Bắc bộ*

Cũng giống như tại vùng biển miền Bắc và Bắc Trung bộ, về mùa đông sóng trong vịnh Bắc Bộ chủ yếu do gió mùa đông bắc tạo ra và có hướng thịnh hành là hướng đông bắc và đông. Vịnh Bắc Bộ là một vùng biển khá kín được che chắn từ phía bắc và đông bắc bởi bán đảo Lôi Châu và đảo Hải Nam nên về mùa đông sóng do gió mùa đông bắc tạo ra ngoài khơi Biển Đông rất khó lan truyền vào trong vịnh. Bởi vậy, sóng trong vịnh về mùa này chủ yếu là sóng do gió tạo thành ngay tại trong vịnh. Tuy nhiên, càng gần tới cửa vịnh, ảnh hưởng của sóng lan truyền từ ngoài biển Đông vào vịnh càng lớn dần lên. Xác suất xuất hiện của sóng theo các hướng đông bắc và đông tại trạm Cô Tô trong khoảng thời gian từ tháng XI tới tháng I tương ứng là 24,1% và 45,4%. Các con số tương ứng cho khoảng thời gian từ tháng II tới tháng IV tại trạm này là 11,2% và 33,4%. Tại trạm Bạch Long Vĩ, các con số tương ứng cho khoảng thời gian từ tháng XI tới tháng I là 67,4% và 18,8%; cho khoảng thời gian từ tháng II tới tháng IV là 35,9% và 8,2%. Tuy nhiên, tại trạm này vào khoảng thời gian từ tháng I tới tháng IV sóng theo các hướng đông nam và nam có tần suất xuất hiện rất đáng kể với các giá trị tương ứng là 15,8% và 26%. Lưu ý rằng tần suất xuất hiện của gió theo hướng đông nam và nam vào tháng IV tại đây tương ứng là 15% và 20%. Như vậy, tần suất xuất hiện của sóng hướng nam vào thời gian này tại đây lớn hơn tần suất xuất hiện của gió theo cùng hướng. Điều này có thể giải thích được nếu lưu ý rằng trạm Bạch Long Vĩ nằm ngoài khơi Vịnh Bắc Bộ và chịu ảnh hưởng rất mạnh của sóng theo các hướng đông, đông nam và nam ngoài Biển Đông lan truyền vào. Sóng từ các hướng trên ở ngoài khơi Biển Đông khi lan truyền tới trạm Bạch Long Vĩ sẽ đổi hướng thành hướng nam. Bởi vậy, ta có thể thấy rằng tần suất xuất hiện của sóng theo hướng đông nam tại đây gần bằng tần suất xuất hiện của gió theo cùng hướng trong khi đó tần suất xuất hiện của sóng theo hướng nam lớn hơn tần suất xuất hiện của gió theo hướng này. Như đã nhận xét ở trên, càng gần cửa vịnh thì sóng càng chịu ảnh hưởng mạnh của sóng lan truyền từ ngoài Biển Đông vào. Điều này có nghĩa là hướng sóng tới càng gần với hướng sóng ngoài Biển Đông. Ta có thể thấy rõ điều này căn cứ vào tần suất xuất hiện của sóng theo các hướng tại trạm Hòn Ngư. Trạm này khá gần cửa vịnh nên sóng tới theo hướng đông nam có thể truyền trực tiếp từ ngoài khơi vào trạm nên có độ cao tương đối nhỏ và chu kỳ tương đối ngắn.

Vì rằng độ sâu biển trong vùng này khá nhỏ (nhỏ hơn 1/100), sóng vỡ cách bờ khá xa và suy giảm rất nhiều khi lan truyền tới bờ. Vì vậy, sóng mùa đông không gây ra xói lở nghiêm trọng tại bờ. Sự ảnh hưởng của sóng tới thay đổi địa hình chủ yếu là do sóng tạo ra dòng bùn cát vận chuyển dọc bờ. Cần nhận thấy rằng tại một số địa điểm, như là bờ biển từ

Tiền Hải tới Hải Hậu, hiện tại vấn đề xói lở bờ là rất nghiêm trọng. Tuy nhiên, vai trò của sóng trong vấn đề xói lở cần được nghiên cứu kỹ hơn.

Trong khu vực này, sóng lớn trong các trận bão kết hợp với triều cường và nước dâng bão có thể gây ra những thiên tai nghiêm trọng ở vùng ven biển.

#### b) Vùng biển bên ngoài vịnh Bắc Bộ

Đây là một vùng biển hở và bờ biển trong vùng này nhìn trực tiếp ra Biển Đông. Như vậy, sóng trong khu vực này chủ yếu là sóng lan truyền vào từ Biển Đông. Tương tự như chế độ gió, có hai mùa sóng trong một năm. Vào mùa Đông từ tháng 10 tới tháng 4 năm sau, hướng sóng chính là hướng đông bắc và bắc. Sóng trong giai đoạn này là tương đối mạnh và đôi khi gây ra xói lở bờ. Vào mùa hè từ tháng 5 đến tháng 9, hướng sóng chính là nam và đông nam. Đầu hè, từ tháng 5 tới tháng 7, do ảnh hưởng của gió tây thổi từ bờ ra biển mà biển khá lặng. Sóng chủ yếu là sóng lừng lan truyền từ ngoài khơi vào bờ ngược với hướng gió và do vậy năng lượng sóng bị tiêu tán đáng kể. Nói chung độ cao sóng không lớn hơn 0.5m. Cuối hè và thu, do có gió đông nam và bắt đầu mùa bão, sóng trở nên lớn hơn. Sóng lớn trong các cơn bão có độ cao tới 10m cùng với triều cường và nước dâng gây ra xói lở bờ, phá hoại các công trình ven biển và lũ lụt cho vùng đất ven biển. Nếu không có biện pháp phòng chống thích hợp, thiệt hại về người và của có thể là rất lớn.

#### 11.2.2 Các đặc trưng của sóng gió ngoài khơi và duyên hải miền Trung

Đặc điểm của sóng tại vùng duyên hải miền Trung là tương tự với miền Bắc. Độ dốc bãi cát ven bờ thường là rất lớn. Điều này cho phép sóng tấn công trực tiếp vào bờ mà không bị mất mát năng lượng một cách đáng kể. Vào mùa đông (mùa khô), hướng sóng chính là hướng bắc, đông bắc và đông. Sóng trong thời gian tháng Giêng và tháng 2 là rất mạnh, tạo ra nước dâng sóng rất đáng kể gần bờ. Nước dâng do sóng kết hợp với triều cường cho phép sóng tấn công trực tiếp vào bờ, gây xói lở bờ nghiêm trọng. Đặc biệt là trong thời gian gần đây, sự xây dựng của một loạt hồ chứa nước ở thượng nguồn các sông đã chặn dòng bùn cát chảy từ sông ra biển. Vì vậy, dòng cát vận chuyển dọc bờ bị giảm đi và vấn đề xói lở bờ dưới tác dụng của sóng vào mùa đông trở nên nghiêm trọng hơn. Nước dâng do sóng và gió cùng với triều cường cũng gây ngập lụt tại một số địa phương như TP Hồ Chí Minh. Sóng cũng gây bồi lấp tại các luồng tàu và thậm chí lấp một số cửa sông, gây ảnh hưởng rất nhiều tới giao thông vận tải.

Vào cuối mùa khô, vào tháng 4 và tháng 5, vì gió yếu nên biển rất lặng. Đầu hè, gió đổi hướng thành gió tây và tây nam, thổi từ bờ ra biển. Gió đã triệt tiêu sóng lừng truyền từ biển vào bờ và làm cho biển rất lặng. Cuối hè, mùa bão bắt đầu và sóng trở nên mạnh hơn. Đặc biệt là từ tháng 10, gió mùa đông bắc bắt đầu và gây ra biển động liên tục hầu như suốt mùa đông.



### 11.2.3 Các đặc trưng của sóng gió ngoài khơi và duyên hải Miền Nam

Cũng tương tự như các đặc trưng của sóng vùng bờ biển Miền Trung, sóng gió tại vùng biển Miền Nam có hai mùa rõ rệt. Vào mùa khô, sóng chủ yếu có hướng đông bắc và đông. Sóng hướng nam cũng được quan trắc. Sóng trong mùa này là khá mạnh. Tuy nhiên, vì rằng đáy biển trong vùng này là khá phẳng và tại nhiều vị trí bị che phủ bởi một lớp bùn rất dày và rừng ngập mặn nên sóng bị suy giảm rất nhiều khi lan truyền vào bờ. Do vậy, vấn đề xói lở bờ do sóng là không quá nghiêm trọng trong vùng này. Tuy nhiên, gần đây, do sự tàn phá của rừng ngập mặn mà sóng có thể lan truyền và bờ gây ra xói lở tại một số vùng biển như Gò Công. Vấn đề ngăn chặn xói lở do sóng ở đây cần được nghiên cứu kỹ càng để đề ra giải pháp thích hợp chống xói lở.

Vào cuối mùa khô và đầu mùa mưa, vì gió lạnh nên biển rất lặng. Vào tháng 6, độ cao sóng có nghĩa nói chung không vượt quá 0.5m. Cuối hè, cùng với gió mùa tây nam, sóng trở nên mạnh hơn. Cuối hè, sóng lớn từ ngoài khơi truyền vào có thể gây ra nước dâng sóng đáng kể. Nước dâng sóng cùng với triều cường có thể ngăn trở lũ thoát từ các sông trong vùng đồng bằng, gây nên ngập lụt nghiêm trọng hơn.

### **Tài liệu tham khảo**

Đỗ Đình Cường (1964) Khí hậu Việt nam. Xuất bản tại Sài gòn.

Nguyễn Doãn Toàn (1988) Các đặc trưng xác suất của tốc độ gió khu vực ngoài khơi Biển Đông. Khí tượng thủy văn. Tập san khoa học kỹ thuật Tổng cục Khí tượng Thủy văn. Số 12-336. Trang 12-16.

Nguyễn Doãn Toàn (2000) Tính toán các đặc trưng về chế độ sóng. Sổ tay tra cứu các đặc trưng khí tượng thủy văn vùng thêm lục địa Việt nam, Nhà xuất bản Nông nghiệp. Trang 31-66.

Nguyễn Doãn Toàn (2000) Các đặc trưng về chế độ gió vùng thêm lục địa Việt nam. Sổ tay tra cứu các đặc trưng khí tượng thủy văn vùng thêm lục địa Việt nam, Nhà xuất bản Nông nghiệp. Trang 189-231.

Nguyen Doan Toan, Tran Hong Lam, Nguyen Thi Hai and others. Report on wave characteristics. Vietnam coastal zone vulnerability assesment. Hanoi, 1995.

Nguyễn Thế Tường, Nguyễn Thành Vinh (2000) Bão và áp thấp nhiệt đới. Sổ tay tra cứu các đặc trưng khí tượng thủy văn vùng thêm lục địa Việt nam, Nhà xuất bản Nông nghiệp. Trang

189-231.

Phạm Ngọc Toàn, Phan Tất Đắc Khí hậu Việt nam. Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật. Hà nội, 1978. 320 trang.

Trung tâm Khí tượng Thủy văn Biển (2000) Sổ tay tra cứu các đặc trưng khí tượng thủy văn vùng thềm lục địa Việt nam. Nhà xuất bản Nông nghiệp. 277 trang.

1. AIRY, G.B. 1845. Tides and waves. *Encyclopedia Metropolitana*, V, Article 1992, 241-396.
2. BERKHOFF, J. C. W. 1972. Computation of combined refraction-diffraction. *Proc. 13<sup>th</sup> Inter. Conf. Coastal Eng., ASCE 1*: 471-90.
3. BLUE, F. L., and JOHNSON, J. W. 1949. Diffraction of water waves passing through a breakwater gap. *Trans. Am. Geophys. Un. 30*: 705-18.
4. BOOIJ, N. 1983. A note on the accuracy of the mild-slope equation. *Coastal Eng. 7*: 191-203.
5. BOUSINESQ, J. 1872. Theorie des ondes et des remous qui se propagent le long d'un canal rectangulaire horizontal, en communiquant au liquide contenu dans ce canal de vitesses sensiblement pareilles de la surface au fond. *Jour. Mathematiques Pures et Appliquees 17*: 55-108.
6. BOUWS, E., GÜNTHER, H., ROSENTHAL, W., and VINCENT, C. L. 1985. Similarity of the wind wave spectrum in finite depth water. 1. spectral form. *J. Geophys. Res. 90*: (C1): 975-86.
7. BRETHERTON, F. P., and GARRETT, C. J. 1969. Wave trains in inhomogeneous moving media. *Proc. Roy. Soc. London, Ser. A 302*: 529-54.
8. BRETSCHEIDER, C. L. 1957. Hurricane design wave practice. *Proc. Waterways, Harbor Div., ASCE 83 (WW2)*: paper 1238.
9. ----- . 1958. Revisions in wave forecasting: deep and shallow water. *Pro. 6<sup>th</sup> Inter. Conf. Coastal Eng., ASCE 1*:30-67.
10. ----- . 1959. Wave variability and wave spectra for wind generated gravity waves. *Beach Erosion Board, Tech. Rep.*, 7, no. 1, 1-23.
11. ----- . 1977. On the determination of the design ocean wave spectrum. Look Lab., Hawaii Univ., Tech. Rep., 7 no. 1, 1-23.
12. CARTWRIGHT, D. E., and LONGUET-HIGGINS, M. S. 1956. The statistical distribution of the maxima of a random function. *Proc. Roy. Soc. London, Ser. A237*: 212-232.
13. CHAPPELEAR, J. E. 1961a. Direct numerical calculation of wave properties. *J. Geophys. Res. 66*: 501-08.
14. ----- . 1961b. On the description of short – crested waves. U.S. Army Corps Engrs., Beach Erosion board, Tech. Menmo. No. 125.
15. ----- . 1962. Shallow water waves *J. Geophys. Res. 67*: 4693- 704.

16. COKELET, E. D. 1977. Steep gravity waves in water of arbitrary uniform depth. *Phi. Trans. Royal Soc., Ser. A 286: 183-260.*
17. DANIEL, P. 1952. On the limiting clapotis. *Gravity Waves, Natl. Bur. Stds., Circ. 521, 35-38.*
18. DARBYSHIRE, J. 1952. The generation of waves by wind. *Proc. Roy. Soc., Ser. A275: 299-328.*
19. DEAN, R. G. 1965. Stream function wave theory: validity and application. *Proc., ASCE Specialty Conf. Coastal Eng., 269-300.*
20. ----- . 1970. Relative validities of water wave theories. *J. Waterways and Harbors Div., ASCE 96 (WW1): 105-19.*
21. ----- . 1974. Evaluation and development of water wave theories for engineering applications, Vols. I & II. U.S. Corps of Engineers, Coastal Eng. Res. Center, Special Rep. No. 1.
22. ----- . 1990. Stream function wave theory and applications. *Handbook of Coastal and Ocean Engineering, Vol. 1, ed. J. B. Herbich. Houston, Texas: Gulf Publishing Co., 63-94.*
23. DEAN, R. G., and DALRYMPLE, R. A. 1984. *Water Waves Mechanics for Engineers and Scientists.* Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
24. DORE, B. D. 1974. The mass transport velocity due to interacting wave trains. *Meccanica 9: 172-78.*
25. FAN, S. H., CUMMING, J. E., and WIEGEL, R. L. 1967. Computed solutions of wave diffraction by semi-infinite breakwater. *Univ. Calif., Berkeley, Tech. Rep. HEL-1-8.*
26. FENTON, J. D. 1972. A ninth-order solution for the solitary wave. *J. Fluid Mech. 53: 257-71.*
27. ----- . 1985. A fifth-order Stokes theory for steady waves. *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE 111(2): 216-34.*
28. FUCHS, R. A. 1952. On the theory of short-crested oscillatory waves. *Gravity Waves, U. S. Natl. Bur. Stds., Circ. 521, 187-200.*
29. GODA, Y. 1967. The fourth order approximation to pressure of standing waves. *Coastal Eng. In Japan 10: 1-11.*
30. ----- . 1974. Wave forces on a vertical cylinder: Experiments and a proposed method of wave force computation. *Port and Harbour Res. Inst., Tech. Rep.8.*

- 31.----- . 1983. Analysis of waves and spectra of long-travelled swell. *Port and Harbour Res. Inst.*, Rep. 22, No.1, 3-41.
- 32.----- . 1985. *Random Seas and Design of Maritime Structures*. Tokyo: University of Tokyo Press.
- 33.----- . 1990. Random waves and spectra. *Handbook of Coastal and Ocean Engineering, Vol. 1*, ed. J. B. Herbich. Houston, Texas: Gulf Publishing Co., 175-212.
- 34.GRIMSHAW, R. 1971. The solitary wave in water of variable depth. *J. Fluid Mech.* 46: 644-52.
- 35.HAMADA, T. 1965. The secondary interactions of surface waves. *Port and Harbour Res. Inst., Japan, Rep. No. 10*.
- 36.HASHIMOTO, H. 1982 Numerical solution of the parabolic equation for wave refraction and diffraction. *Proc. 29<sup>th</sup> Japan Conf. Coastal Eng., JSCE*, 115-19. (In Japan)
- 37.HASSELMANN, K., et al. 1973. Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Deut. Hydrogr. Inst.*, Hamburg, rep. No. 12.
- 38.HASSELMANN, K., ROSS, D. B., MÜLLER, P., and SELL, W. 1976. A parametric wave prediction model. *J. Physical Ocean.* 6: 200-208.
- 39.HERBICH, J. B., ed. 1990. *Handbook of Coastal and Ocean Engineering, Vol. 1*. Houston, Texas: Gulf Publishing Co.
- 40.HINO, M. 1966. A theory on the fetch graph, the roughness of the sea and the energy transfer between wind and wave. *Coastal Eng. In Japan* 9: 1-26, 1966; also *Proc. 10<sup>th</sup> Inter. Conf. Coastal Eng., ASCE* 1: 18-37,1966
- 41.HOLLIDAY, C. 1969. On the maximum sustained winds occurring in Atlantic hurricanes. *U.S. Dept. Comm.*, Tech. Mem. WBTM-SR-45.
- 42.HORIKAWA, K. 1978. *Coastal Engineering: An Introduction to Ocean Engineering*. Tokyo: University of Tokyo Press.
- 43.HSU, J.R.C. 1979. Short-crested water waves. *Ph.D. thesis*, University of Western Australia.
- 44.----- . 1990. Short-crested waves. *Handbook of Coastal and Ocean Engineering, Vol. 1*, ed. J. B. Herbich. Houston, Texas: Gulf Publishing Co., 95-174.
- 45.HSU, J. R. C., and SILVESTER, R. 1989. Model test results of scour along breakwaters. *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE* 115(1): 66-85.

46. HSU, J. R. C., SILVESTER, R., and TSUCHIYA, Y. 1979. Third-order approximation to short-crested waves. *J. Fluid Mech.* 90: 179-96.
47. HSU, J. R. C., TSUCHIYA, Y., and SILVESTER, R., 1980. Boundary-layer velocities and mass transport in short-crested waves. *J. Fluid Mech.* 99:321-42.
48. Hughes, S. A. 1984. The TMA shallow-water spectrum description and applications. U.S. Army Corps of Engrs. *Coastal Eng. Res. Center*, Waterways Expt. Station, Vicksburg, Miss., Tech. Rep CERC-84-7.
49. Hughes, S. A., and MILLER, H. C. 1987. Transformation of significant wave heights. *J. Waterway, Port, Coastal and ocean Eng.*, ASCE 113(6): 588-605.
50. HURDLE, D. P., and STIVE, R. J.H. 1989. Revision of SPM 1984 wave hind-cast model to avoid inconsistencies in engineering applications. *Coastal Eng.* 12: 339-51.
51. IAHR-PIANC. 1986. List of sea state parameters. Joint publ. By IAHR Section on Maritime Hydraulics. And PIANC, Supplement to Bulletin No. 52.
52. IPPEN, A. T., ed. 1966. *Estuary and Coastline Hydrodynamics*. New York: McGraw-Hill, Inc.
53. IWAGAKI, Y., Sakai, T., TSUKIOKA, K., and SAWAI, N. 1974. Relationship between vertical distribution of water particle velocity and type of breakers on beaches. *Coastal Eng. In Japan* 17: 51-58.
54. JEFFREYS, H. 1925. On the formation of water waves by winds. *Proc. Royal Soc. London, Ser. A* 107:189-206.
55. KAMRONRITHISORN, P. 1978. Determination of JONSWAP spectral parameters. *Master Eng. Thesis*, Asian Inst. Of Tech., Bangkok.
56. KARLSSON, T. 1969. Refraction of continuous ocean wave spectra. *J. Waterways and Harbors Div.*, ASCE 95 (WW4): 437-48.
57. KELLER, J. B. 1948. The solitary wave and periodic waves in shallow water. *Comm. Appl. Math.* 1: 323-39.
58. KEULEGAN, GH., and PATTERSON, G. W. 1940. Mathematical theory of irrotational translation waves. *J. Res. National Bureau Standard*, U. S. Dept. Commerce, 24, Res. Paper RP-1272, 47-101.
59. KINSMAN, B. 1965. *Wind Waves*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall.
60. KIBBY, J. T., and DALRYMPLE, R. A. 1983. A parabolic equation for the combined refraction-diffraction of Stokes waves by mildly varying topography. *J. Fluid Mech.* 136: 453-66.

61. KISHI, T. 1957. Clapotis in shallow water. *J. Public Works Res. Inst., Japan*, 2, Paper 5, 1-10.
62. KITAIGORODSKII, S. A. 1961. Application of the theory of similarity to the analysis of wind-generated wave motion as a stochastic process. *Izv. Akad. Nauk., S. S. S. R. Ser Geofiz.* 1: 105-17. (English transl. 1: 73-80).
63. KITAIGORODSKII, S. A., KRASITSKII, V. P., and ZASLAVSKII, M. M. 1975. On Phillips' theory of equilibrium range in the spectra of wind-generated gravity waves. *J. Physical Ocean.* 5: 410-20.
64. KRAFT, R. H. 1961. The hurricane central pressure and highest winds. *Mariner's Weather Log.* 5.(5).
65. LACOMEBE, H. 1952. The diffraction of a swell. A practical approximate solution and its justification. *Gravity Waves*, U. S. Natl. Bur. Stds., Circ. 521, 129-40.
66. LAITONE, E V. 1959. Water waves, IV; shallow water waves. *Univ. of California, Berkeley, Inst. Eng. Res., Tech. Rep. No. 82-11.*
67. LAMB, SIR H. 1932. *Hydrodynamics.* New York: Dover Publications.
68. LARRAS, J. 1966. Diffraction de la houle par les obstacles rectilignes semi-indéfinis sous incidence oblique. *Cah. Océanogr.* 18:661-67.
69. LEBLOND, P. H., and MYSAK, L. A. 1978. *Waves in the Ocean.* Amsterdam: Elsevier.
70. LE MÉHAUTÉ, B. 1976. *An Introduction to Hydrodynamics and Water Waves.* New York: Springer-Verlag.
71. LE MÉHAUTÉ, B., and WANG, J. D. 1980. Transformation of monochromatic waves from deep to shallow water. U. S. Army Corp of Engrs., *Coastal Eng. Res. Center*, tech. Rep. 80-2.
72. LE MÉHAUTÉ, B., DIVOKY, D. M. and LIN, A. C. 1968. Shallow water waves: a comparison of theories and experiments. *Proc. 11<sup>th</sup> Inter. Conf. Coastal Eng., ASCE 1:* 86-107.
73. LIM, T. K. 1968. Wave diffraction. *Master Eng. Thesis, Asian Inst. of Tech., Bangkok.*
74. LIU, P. C. 1971. Normalized and equilibrium spectra of wind wave in Lake Michigan. *J. Phys. Ocean.* 1: 249-59.
75. LIU, P. L. -F. 1983. Wave-current interactions on a slowly varying topography. *J. Geophys. Res.* 88: 4421-26.

76. LIU, P. L. -F., and TSAI, T. K. 1984. Refraction-diffraction model for weakly nonlinear water waves. *J. Fluid Mech.* 141: 265-74.
77. LONGUET-HIGGINS, M. S. 1952. On the statistical distribution of the heights of sea waves. *J. Marine Res.* 11: 245-66.
78. ----- . 1953. Mass transport in water waves. *Phil. Trans. Roy. Soc., Ser. A* 245: 535-81.
79. ----- . 1957. On the transformation of a continuous spectrum by refraction. *Proc. Camb. Phil. Soc.* 53(I), 226-29.
80. ----- . 1963. The effect of non-linearities in statistical distributions in the theory of sea waves. *J. Fluid Mech.* 17: 459-80.
81. ----- . 1969. A non-linear mechanism for the generation of sea waves. *Proc. R. Soc., Ser A* 311: 371-89.
82. LONGUET-HIGGINS, M. S., and STEWART, R. W. 1960. Changes in form of short gravity waves on long waves and tidal currents. *J. Fluid Mech.* 8: 565-83.
83. LONGUET-HIGGINS, M. S., CARTWRIGHT, D. E., and SMITH, N. D. 1963. Observations of the directional spectrum of sea waves using the motions of a floating buoy. *Proc. Conf. Ocean Wave Spectra*, 111-31.
84. LOZANO, C. J., and LIU, P. L. -F. 1980. Refraction-diffraction model for linear surface water waves. *J. Fluid Mech.* 101: 705-20.
85. MASSEL, S.R. 1989. Hydrodynamics of Coastal Zones. Amsterdam: Elsevier.
86. MAYECON, R. 1969. Etude statistique des observations de vagues. *Cah. Oceanogr.* 21: 487-501.
87. MCCOWAN, J. 1891. On the solitary waves. *Phil. Magazine*, 5<sup>th</sup> ser. 32: 45-48.
88. MEI, C. C. 1983. The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves. New York: Wiley-Interscience.
89. MEI, C. C., LIU, P. L. -F., and CARTER, T. G. 1972. Mass transport in water waves. *Ralph M. Parsons Lab., M.I.T., Rep.* No. 146.
90. MICHÉ, R. 1944. Mouvements undulatoires des mers en profondeur constante ou décroissant 4. *Ann. Ponts Chaussées* 114, 25-78; 131-64; 270-92; 369--406.
91. NILES, J. W. 1957. On the generation of surface waves by shear flows. *J. Fluid Mech.*, 3: 185-204.
92. MISTUYASU, H. 1968. On the growth of the spectrum of wind-generated waves I. *Res. Inst. Applied Mechanics*, Kyushu Univ., Japan, Rep. 16, No. 55, 459-82.



93. ----- . 1969. On the growth of the spectrum of wind-generated waves 11. *Res. Inst. Applied Mechanics*, Kyushu Univ., Japan, Rep. 17, No. 59, 235-48.
94. MOBAREK, I. E. 1962. Effects of bottom slope on wave diffraction. *Univ. Calif. Berkeley*, Tech. Rep. HEL-1-1.
95. *Monthly Meteorological Charts*, H.M.S.O. London, or Atlas of Sea and Swell Charts, U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C. (data listed for various oceans).
96. MORSE, P. M. and RUBENSTEIN, P. J. 1938. The diffraction of waves by ribbons and slits. *Phys. Rev* 54: 895-98.
97. MOSKOWITZ, L. 1964. Estimates of power spectrum for fully developed seas for speeds of 20 to 40 knots. *J. Geophys. Res.* 69: 5161-79.
98. MOSKOWITZ, L., PIERSON, W. J., and MEHR, E. 1962. Wave spectra estimated from wave records obtained by O.W.S. Weather Explorer and O.W.S. Weather Reporter, 1, 2. New York Univ., Tech. Rep. 3.
99. MUNK, W. H., and ARTHUR, R. S. 1952. Wave intensity along a refracted ray. *Gravity Waves*, U.S. Nat. Bur. Stand., Circ. 521, 95-109.
100. NEUMANN, G. 1953. On ocean wave spectra and a new method of forecasting wind generated sea. U.S. Army Corps of Engrs., *Beach Erosion Board*, Tech. Mem. 43.
101. NODA, H. 1968. A study on mass transport in boundary layers in standing waves. *Proc. 11th Inter. Conf. Coastal Eng., ASCE* 1: 227-47.
102. PENNEY W. G., and PRICE A. T. 1952. The diffraction theory of sea waves and shelter afforded by breakwater. *Phil. Trans. Roy. Soc., Ser. A* 224: 236-53.
103. PHILLIPS. O, M. 1957. On the generation of waves of turbulent winds. *J. Fluid Mech.* 2, 417-45.
104. ----- . 1958. The equilibrium range in the spectrum of wind generated waves. *J. Fluid Mech.* 4: 426-34.
105. ----- . *The Dynamics of the Upper Ocean*. 2nd ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
106. PHILLIPS, O. M., and KATZ, E. J. 1961. The low frequency components of the spectrum of wind-generated waves. *J. Fluid Mech.* 19: 57-69.
107. PIERSON, W. J. 1964. The interpretation of wave spectrums in terms of the wind profile instead of the wind measured at a constant height. *J. Geophys. Res.* 69: 5191-5203.

108. PIERSON, W. J., NEUMANN, G., and JAMES, R. W. 1955. Practical methods for observing and forecasting ocean waves. *U.S. Hydrogr. Office, Publ.* 603.
109. PIERSON, W. J., and MOSKOWITZ, L. 1964. A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of S. A. Kitaigorodskii. *J. Geophys. Res.* 69: 5181-90.
110. PUTMAN, J. A., and ARTHUR, R. S. 1948. Diffraction of water waves by breakwaters. *Trans. Am. Geophys. Union* 29: 481-90.
111. RADDER, A. C. 1979. On the parabolic equation method for water-wave propagation. *J. Fluid Mech.* 95: 159-76.
112. RAYLEIGH, LORD. 1880. On the resultant of a large number of vibrations of the same pitch and of arbitrary phase. *Phil. Mag.* 10. 73-78.
113. READER'S DIGEST. 1983. *Guide to the Australian Coast*. Sydney, Australia: Reader's Digest Services Pty Ltd.
114. ROBERTS, A. J. 1983. Highly nonlinear short-crested waves. *J. Fluid Mech.* 135: 301-21.
115. SCHWARTZ, L. W. 1974. Computer extension and analytical continuation of Stokes expansion for gravity waves. *J. Fluid Mech.* 62: 553-78.
116. SCOTT, J. R. 1968. Some average sea spectra. *Q. Trans. R. Inst. Mar. Archit.* 110: 233-39.
117. SHEPPARD, P. A. 1958. Transfer across the earth's surface and through the air above. *Q. J. R. Meteorol.* 84: 205-24.
118. *Shore Protection Manual*. 1984. 4th ed., U.S. Army Corps Engrs., Coastal Eng. Res. Center, U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C.
119. SILVESTER, R. 1966. An aid to constructing wave-refraction diagram. *Trans. Inst. Engr. Aust. CE* 8, 123-27.
120. ----- . 1974a. Coastal Engineering, 1. Amsterdam: Elsevier.
121. ----- . 1974b. Water particle orbits in deep to Shallow water waves. *Proc. 5th Austral. Conf. Hyd. and Fluid Mech.*, 310-16.
122. ----- . 1978. Diffraction through a breakwater gap. *Proc. 4th Inter. Conf. Coastal Eng., ASCE*, 128-31.
123. ----- . 1981. Diffraction through a breakwater gap. *Trans. Instn. Engrs. Aust., CE23(2)*: 114-17.
124. ----- . 1985. Sediment by-passing across coastal inlets by natural means. *Coastal Eng.* 9: 327-46.

125. SILVESTER, R., and Lim, T. K. 1968. Application of wave diffraction data. *Proc. 11th Inter. Conf. Coastal Eng., ASCE 1*: 248-70.
126. SILVESTER, R., and VONGVISESSOMJAI, S. 1970. Energy distribution curves of developing and fully arisen seas. *J. Hydr. Res., IAHR 8*: 493-521.
127. ----- . 197 1. Computation of storm waves and swell. *Proc. Instn. Civil Engrs. 48*: 259-83.
128. ----- . 1978. Spectral growth of waves to the fully arisen sea. *Proc. Inter. Conf. on Water Res. Eng., A.I.T., Bangkok, 1*: 375-94.
129. SNODGRASS, F. E., GROVES, G. W., HASSELMAN, K. F., MILLER, G. R., MUNK, W. 14., and POWERS, W. H. 1966. Propagation of ocean swell across the Pacific. *Phil. Trans. Roy. Soc., Ser. A 259*: 431-97.
130. STANTON, T. 1937. The growth of waves on water due to the action of wind. *Proc. Roy. Soc., Ser. A 137*: 283-93.
131. STEWART, R. W. 1961. The wave drag of wind over water. *J. Fluid Mech. 10*: 189-94.
132. STIASSNIE, M., and PEREGRINE, D. H. 1980. Shoaling of finite-amplitude surface waves on water of slowly-varying depth. *J. Fluid Mech. 97*: 783-805.
133. STOKER, J. J. 1957. *Water Waves*. New York: Interscience.
134. STOCKER, G. G. 1847. On the theory of oscillatory waves. *Math. and Phys. Papers, London: Cambridge University Press, 1*: 314-26.
135. SVERDRUP, H. V., and MUNK, W. H. 1947. Wind sea and swell theory of relations for forecasting. *U.S. Hydrogr. Office, Publ. 601*.
136. TADJBAKHSI, I., and KELLER, J. B. 1960. Standing surface waves of finite amplitude. *J. Fluid Mech. 8*: 442-51.
137. TANAKA, N., IRIE, 1., and OZASA, H. 1972. A study on the velocity distribution and mass transport caused by diagonal, partial standing waves. *Rep., Port and Harbour Res. Inst. Japan 11(3)*: 112-40. (In Japanese)
138. THOM, H. C. S. 197 1. Asymptotic extreme value distributions of wave heights in the open ocean. *J. Mar. Res. 29*: 19-27.
139. THOMPSON, E. F., and VINCENT, C. L. 1985. Significant wave height for shallow water design. *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE, 111(5)*: 828-42.
140. TOBA, Y. 1913. Local balance in the air-sea boundary process. III: On the spectrum of wind waves. *J. Oceanogr. Soc. Japan 19*: 209-20.

141. TUCKER, M. J. 1956. A ship-borne wave recorder. *Trans. Inst. Nav. Archit.* 98: 236-50.
142. ----- . 1957. The analysis of finite length records of fluctuating signals. *Brit. J. Appl. Phys.* 137-42.
143. ----- . 1961. Simple measurement of wave records. *Proc. Conf. Wave Recording, Civil Eng., Natl. Inst. Oceanogr.*, 22-23.
144. INCENT, C. L. 1982. Depth-limited significant wave height: a spectral approach. U.S Army Corps of Engrs., *Coastal Eng. Res. Center, Waterways Expt. Station, Vicksburg, Miss.*, Tech. Rep. 82-3.
145. ----- . 1984. Shallow water waves: a spectral approach. *Proc. 19th Inter. Conf. Coastal Eng., ASCE 1*: 370-82.
146. ----- . 1985. Depth-controlled wave height. *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE 111(3)*: 459-75.
147. INCENT, C. L., and HUGHES, S. A. 1985. Wind wave growth in shallow water. *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE 111(4)*: 765-70.
148. INCENT, C. L., and RESIO, D. T. 1990. Wave forecasting and hind-casting in deep and shallow water. *Handbook of Coastal and Ocean Engineering*, Vol. 1, ed. J. B. Herbich., Houston, Texas: Gulf Publishing Co., 213-48.
149. WADA, A. 1965. On a method of solution of diffraction problems. *Coastal Eng. in Japan* 8: 1-19.
150. WALDEN, H. 1963. Comparison of one-dimensional wave spectra recorded in the German Bight with various theoretical spectra. *Proc. Conf. Ocean Wave Spectra 1963*, 67-91.
151. WALLET, A., and RUELLAN, F. 1950. Trajectories of particles within a partial clapotis. *La Houille Blanche* 5: 483-89.
152. WEHAUSEN, J. V., and LARRONE, E. V. 1960. Surface Waves. *Handbuch der Physik*, ed. W. Flügge, Berlin: Springer-Verlag, 9: 446-78.
153. WHITHAM, G. B. 1974. *Linear and Nonlinear Waves*. New York: Wiley-Interscience.
154. WIEGEL, R. L. 1962. Diffraction of waves by semi-infinite breakwaters. *Proc. ASCE 88(HYI)*: 27-44.
155. ----- . 1964. *Oceanographical Engineering*. Englewood Cliffs, N.J: Prentice Hall.

156. WILSON, B. W. 1960. Note on surface wind stress over water at low and high wind speeds. *J. Geophys. Res.* 65: 337742.
157. WILSON, W. S. 1966. A method for calculating and plotting surface wave rays. U.S. Army Corps of Engrs., *Coastal Eng. Res. Center*, Tech. Mem. No. 17.
158. WU, J. 1969. Wind stress and surface roughness at the sea interface. *J. Geophys. Res.* 74: 444-55.
159. ----- 1971. Observations on long waves sweeping through short waves. *Tellus* 23: 364-70.
160. YASUDA, T., GOTO, S., and TSUCHIYA, Y. 1982. On the relation between changes in integral quantities of shoaling waves and breaking inception. Proc. 18th Inter. Conf. Coastal Eng., ASCE 1: 22-37.
161. YOUNG, I. R. 1988a. A parametric model for tropical cyclone waves. *Uni. College, Aust. Defense Force Acad.*, Uni. of New South Wales, Res. Pap. 28.

# Tiến trình bờ biển

## Sóng

### *Khái niệm*

- Sóng được sinh ra bởi những cơn gió ngoài khơi
- Kích thước của sóng sinh ra phụ thuộc vào:
  - Vận tốc của gió.
  - Khoảng thời gian gió thổi.
  - Khoảng cách gió thổi xuyên qua bề mặt của nước.



# 2. Tiến trình bờ biển

## 2.1 Sóng

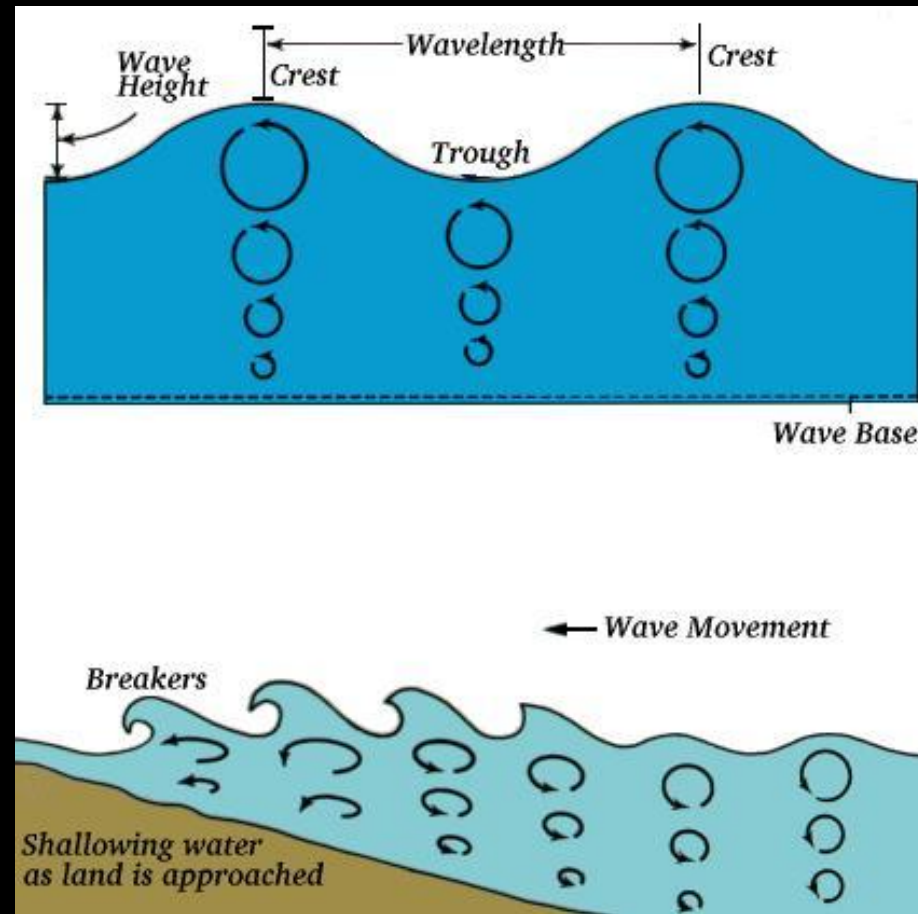
### *Hình dạng cơ bản của sóng*

Trong khu vực bão hoạt động, sóng biển sinh ra với hình dạng và kích thước rất khác nhau, nhưng vì chúng di chuyển liên tục từ nơi phát ra nên chúng được xếp vào những nhóm sóng giống nhau.

Những tham số quan trọng là:

- Chu kì sóng (wave period):
- Độ dài sóng hay bước sóng (wave length):
- Độ cao sóng (wave height):

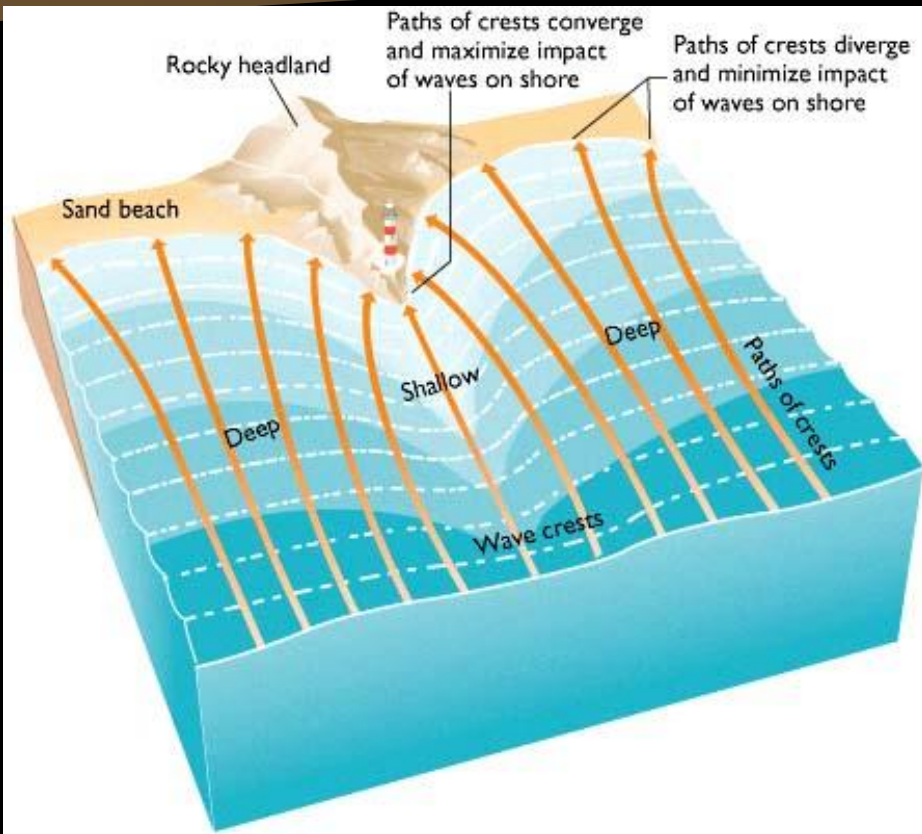
\*



hình dạng của sóng di chuyển qua các lớp nước



# 2. Tiến trình bờ biển



## 2.1 Sóng

### *Khúc xạ sóng*

- ☐ Sự khúc xạ sóng là hiện tượng khi sóng càng tiến vào gần bờ có xu thế đổi hướng sao cho khi đến bờ thì thẳng góc với bờ.
- ☐ Chiều dài sóng càng lớn thì tác dụng khúc xạ càng mạnh
- ☐ Sóng có thể phá hủy bờ hoặc tích tụ bùn cát vì vậy bờ biển có xu thế san bằng.



# *Khúc xạ sóng*



# Năng lượng sóng:

- Khi vào bờ sóng bị vỡ ra và năng lượng của nó bị mất trên đường bờ biển. Năng lượng bị mất này rất lớn.
- Năng lượng sóng tỉ lệ với bình phương độ cao sóng.
- Với điều kiện mực nước sâu, ta có thể dự đoán được năng lượng độ cao sóng, chu kỳ, vận tốc sóng dựa vào khoảng cách, tốc độ gió và thời gian gió thổi qua mặt nước.
- sóng vỡ ra có thể dâng lên đỉnh và đập mạnh vào bờ hoặc là tràn nhẹ nhàng lên bãi biển
- Tổng năng lượng trong suốt thời gian sóng đập vào bờ gần như là không đổi. Nhưng có thể xem là giá trị biến thiên của năng lượng mất đi khi sóng đập vào bờ. sóng vỡ ra có thể dâng lên đỉnh và đập mạnh vào bờ hoặc là tràn nhẹ nhàng lên bãi

# Năng lượng sóng

- còn hiện tượng sóng lớn vỡ bờ (plunging breaker) là nguyên nhân của nhiều hiện tượng xói lở bờ biển.
- Với hiện tượng sóng tràn (spilling breaker) thuận lợi cho sự lắng đọng cát trên biển





# 2. Tiến trình bờ biển

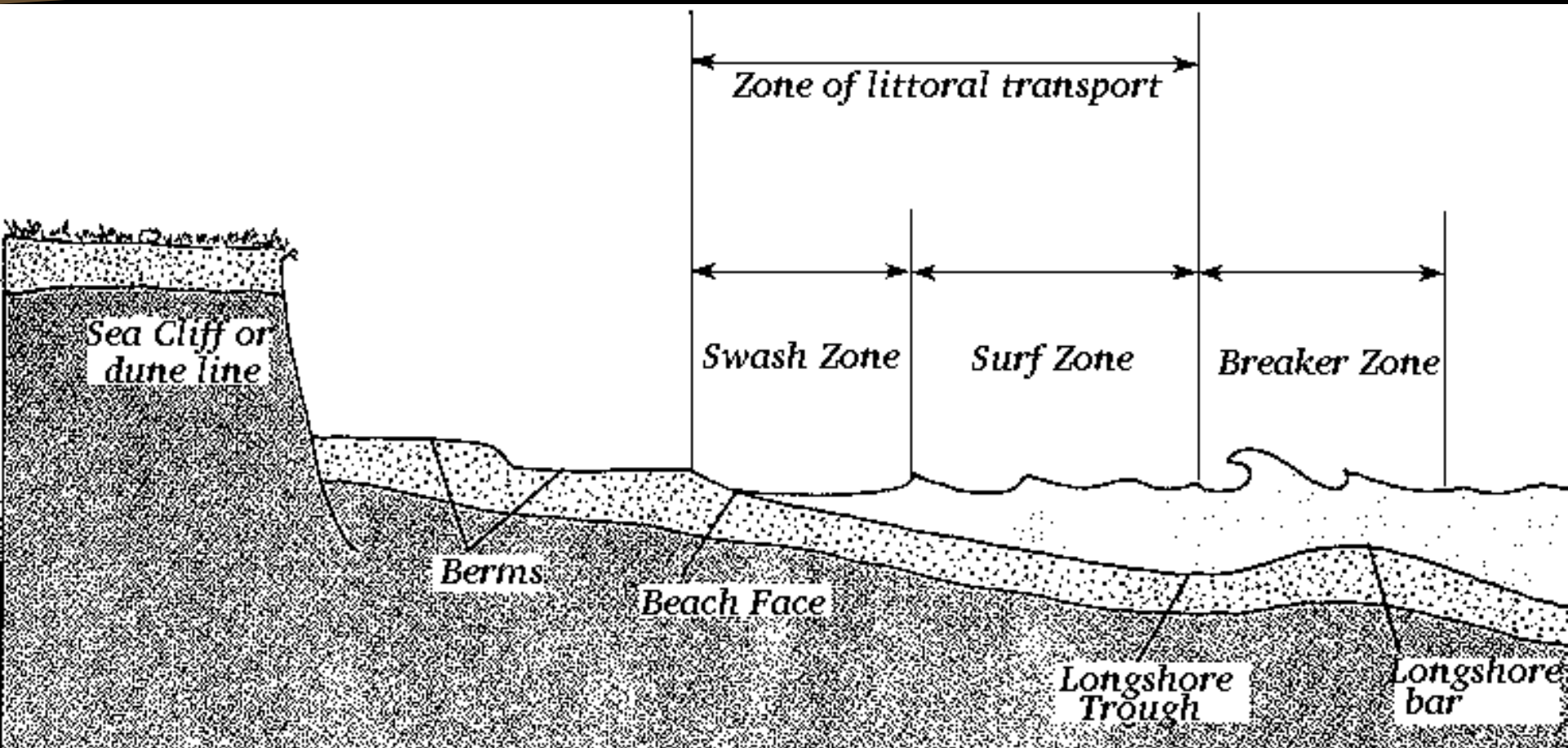
## 2.2 Tiến trình bãi biển

### Các khái niệm:

- Bãi biển (beach)
- Vách đứng bờ biển (seacliff or dune line)
- Bờ thềm ven biển (berm)
- Bề mặt của bãi biển (beach face)
- Đới sóng đập vào (swach zone)
- Đới sóng vỡ bờ (surf zone)
- Đới sóng vỡ (breaker zone)
- Vùng lõm ven bờ (longshore trough) và dải chắn cát dọc bờ (longshore bar )

# 2. Tiến trình bờ biển

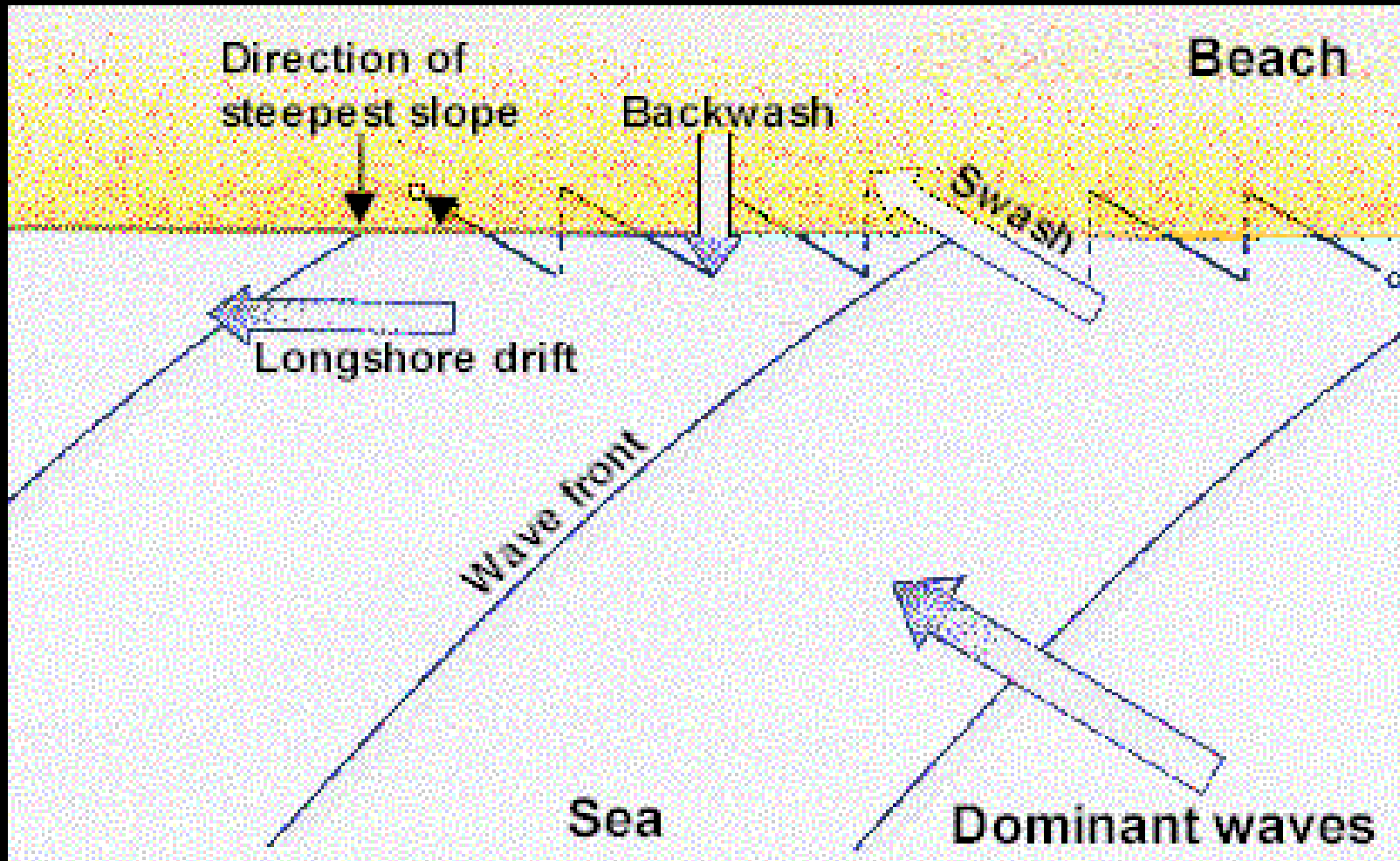
## 2.2 Tiến trình bãi biển



## 2. Tiến trình bờ biển

### 2.2 Tiến trình bãi biển

*Hoạt động vận chuyển và trầm đọng vật liệu:\**



## 2. Tiến trình bờ biển

### 2.3 Ô ven bờ, lượng trầm tích biển, sóng theo mùa

Đây là những khái niệm cơ bản để đánh giá xói lở bờ biển

- Ô ven bờ (littoral cell): là 1 phần của đường ven bờ biển bao gồm toàn bộ chu trình vận chuyển trầm tích đến bờ biển sự vận chuyển dọc theo bờ biển.
- Lượng trầm tích biển (beach budget): mỗi khu vực có một lượng trầm tích nhất định hằng năm, bao gồm quá trình vận chuyển đến và lấy đi hằng năm ở khu vực đó.
- Sóng theo mùa (wave climate): là đặc điểm thống kê hàng năm, bao gồm các yếu tố cơ bản như: độ cao của sóng, chu kỳ và phương hướng của sóng, phục vụ cho mục đích tính toán năng lượng sóng ở các khu vực nhất định.

## 3.2 Lụt thủy triều (tidal flood)

- Lụt thủy triều là sự kết hợp các cơn bão nhỏ với sóng triều cao





# Thiệt hại do lụt thủy triều

- Trận lụt ở Bangor, Maine vào 2/2/1976 đã bị ngập lụt với 3.7 m, lũ đã dâng lên rất nhanh đạt đến độ sâu tối đa trong vòng chưa đầy 15 phút.
- 3/10/2007, bão số 5 (Lêkima) đổ bộ vào Hà Tĩnh - Quảng Bình. Nước biển dâng cao do gió bão kết hợp với triều cường làm ảnh hưởng đến nhiều tuyến đê



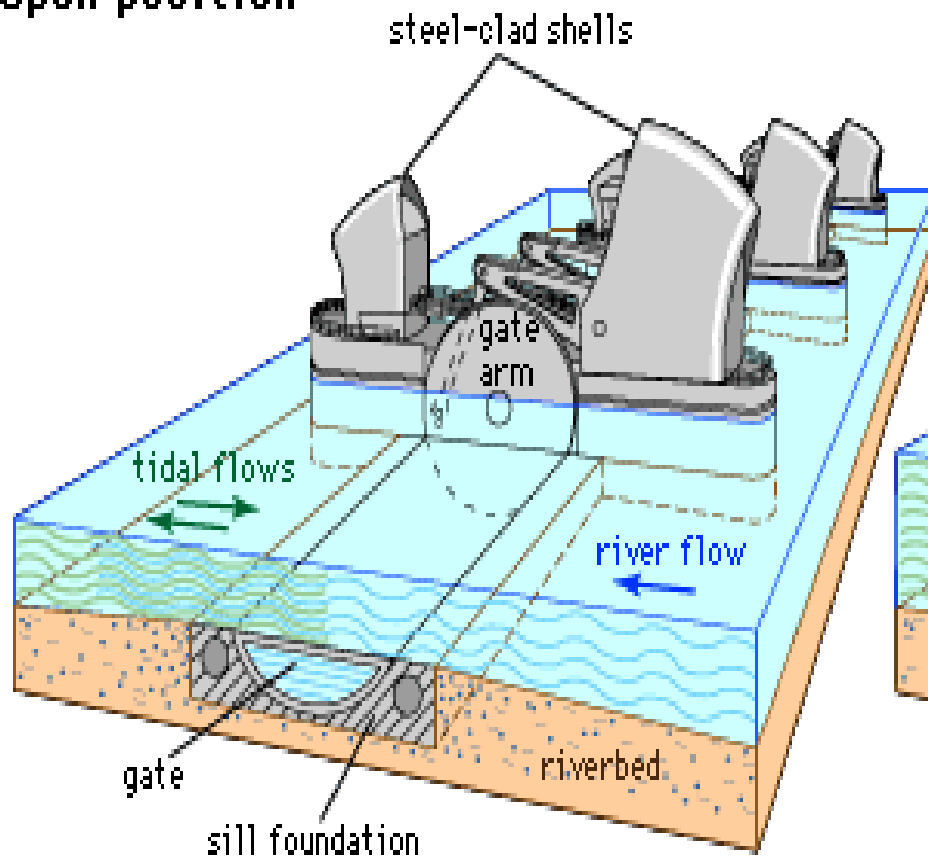
*Sóng biển kết hợp với triều cường dâng cao*

# Thames barrier

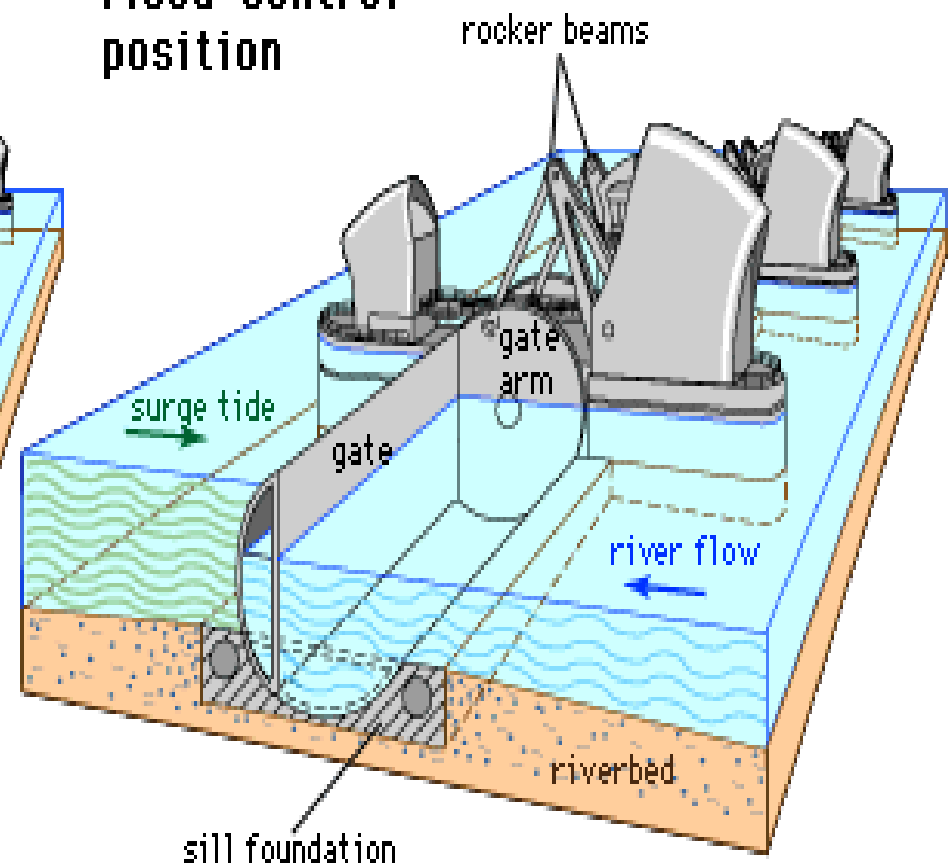


# Cơ chế hoạt động của Thames barrier

Open position



Flood-control position



## 3.3 Xói lở bờ biển

### Khái niệm

- Xói lở bờ biển là kết quả của việc tăng mực nước biển toàn cầu và sự phát triển không hợp lý ở khu vực bờ biển
- Xói lở bờ biển xảy ra liên tục hơn, có thể tiên đoán tiến trình





## 3.1 Các nhân tố gây xói lở bờ biển

- ❖ Xói lở bờ biển là kết quả của những cơn xoáy thuận nhiệt đới và cơn bão khủng khiếp, tăng mực nước biển, và tác động của con người lên những tiến trình tự nhiên của bờ biển
- ❖ Các công trình cải tạo vùng đất ngập nước ven biển như: đập, kè bờ, mỏ hàn,...
- ❖ Mực nước đại dương dâng cao do xu thế nóng lên toàn cầu và do bão

## 3.2.Xói mòn vách đứng ven biển.

- Vách đứng ở bãi biển xuất hiện dọc theo các bãi biển.Ở đây xuất hiện thêm vấn đề xói lở bởi vì vách đứng thì phơi ra ngoài mưa gió và bị xói mòn bởi cả tiến trình của biển và đất liền.
- Những quá trình này kết hợp với nhau để gây ra xói lở vách đá với tốc độ lớn hơn khi chịu tác động của từng tiến trình riêng lẻ.Vấn đề xói mòn trở nên nghiêm trọng hơn nữa khi mọi người tác động đến môi trường vách đá ở biển qua sự phát triển không thích hợp

## 3.2.Xói mòn vách đứng ven biển.

### Các quá trình gây xói mòn vách đứng:

- Hoạt động của sóng
- Hoạt động sinh vật
- Quá trình phong hóa
- Xói rửa do nước mưa
- Hoạt động của con người

# Xói lở bờ biển Việt Nam

- Việt Nam đang đứng trước nguy cơ phải đối diện với hiện tượng bờ biển đang bị xói lở với cường độ mạnh, mực nước biển ngày một dâng cao hơn mũi Cà Mau - nơi vẫn được xem là có tốc độ lấn ra biển nhanh nhất nước ta (có năm tới 100m) - đang có biểu hiện bị xói lở khá mạnh
- Đây không phải là hiện tượng cá biệt. Hầu hết bờ biển nước ta đang bị xói lở với cường độ từ vài mét tới hàng chục mét mỗi năm và có xu hướng gia tăng mạnh trong một thập niên gần đây.
- Tại khu du lịch Đồi Dương ở TP Phan Thiết, tỉnh Bình Thuận, nhiều năm nay cũng đã xảy ra tình trạng xói lở liên tục với tốc độ khoảng 10m/năm.
- Xu hướng dâng lên của mực nước biển trong những năm gần đây cũng góp phần gây ra sụt lở mạnh hơn. Tại trạm Vũng Tàu, các nhà khoa học tính toán rằng, trong khoảng 50 năm qua, mực nước biển đang dâng lên 160 mm. Đây là nguyên nhân quan trọng khiến nhiều nơi tại Thành phố Hồ Chí Minh bị ngập nước khi triều cường, vừa làm cho mức độ xói lở bờ biển mạnh hơn (trước năm 1990 hầu như không xảy ra hiện tượng này). Xu hướng này sẽ còn tiếp tục với phạm vi rộng hơn trong những năm tới.



## 4. Xói mòn bờ biển và công trình kiến trúc

Kè bờ (seawall)

Kè luồng (jetty)

Mỏ hàn (groins)

Rào cản sóng (breaker water)

Nuôi bờ (beach nourishment)

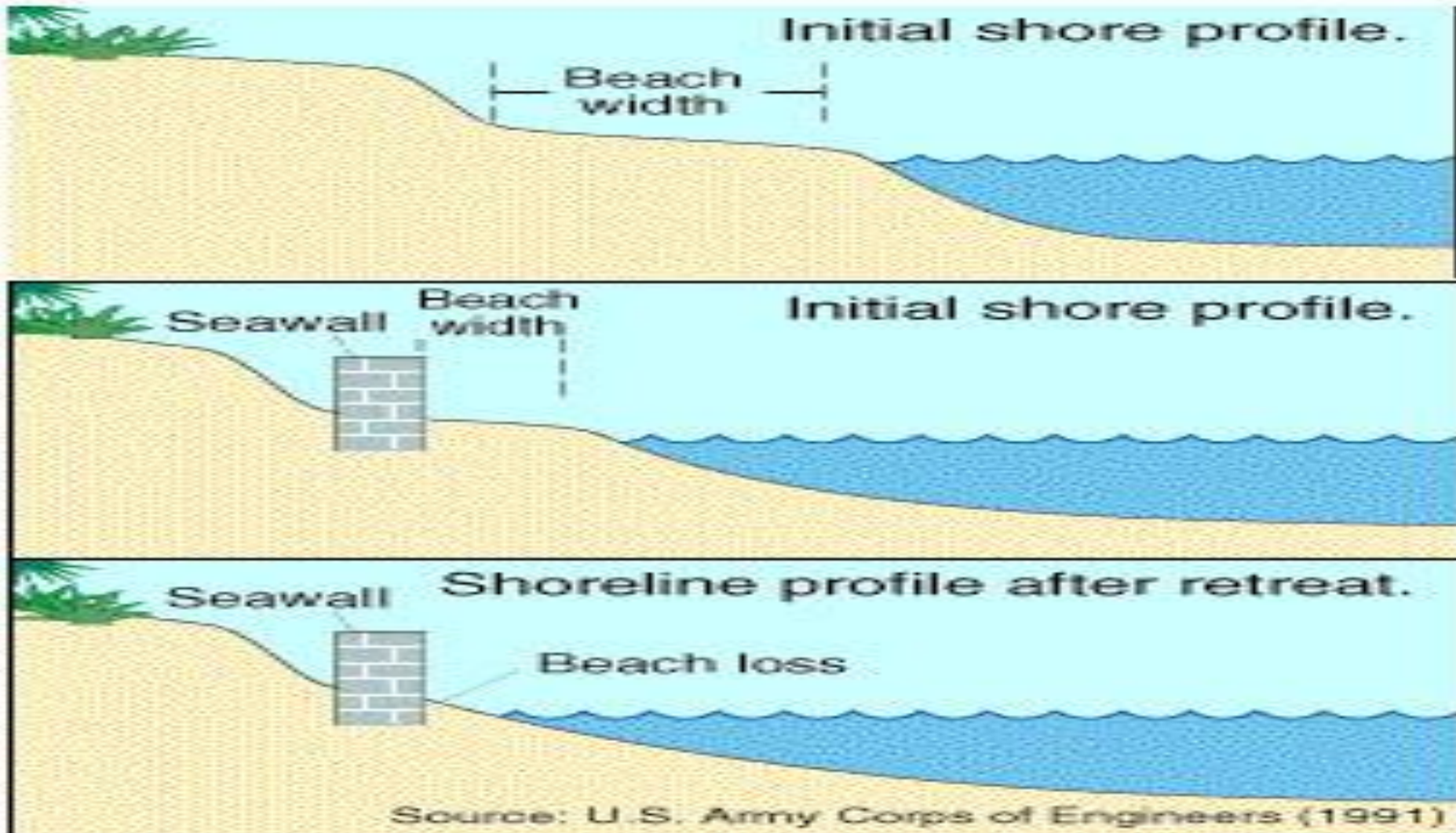
# Kè bờ (seawall)



*Kè bờ ở Galveston*

# Quá trình xói mòn do kè bờ

**Beach loss eventually occurs in front of a seawall for a beach experiencing net longterm retreat.**



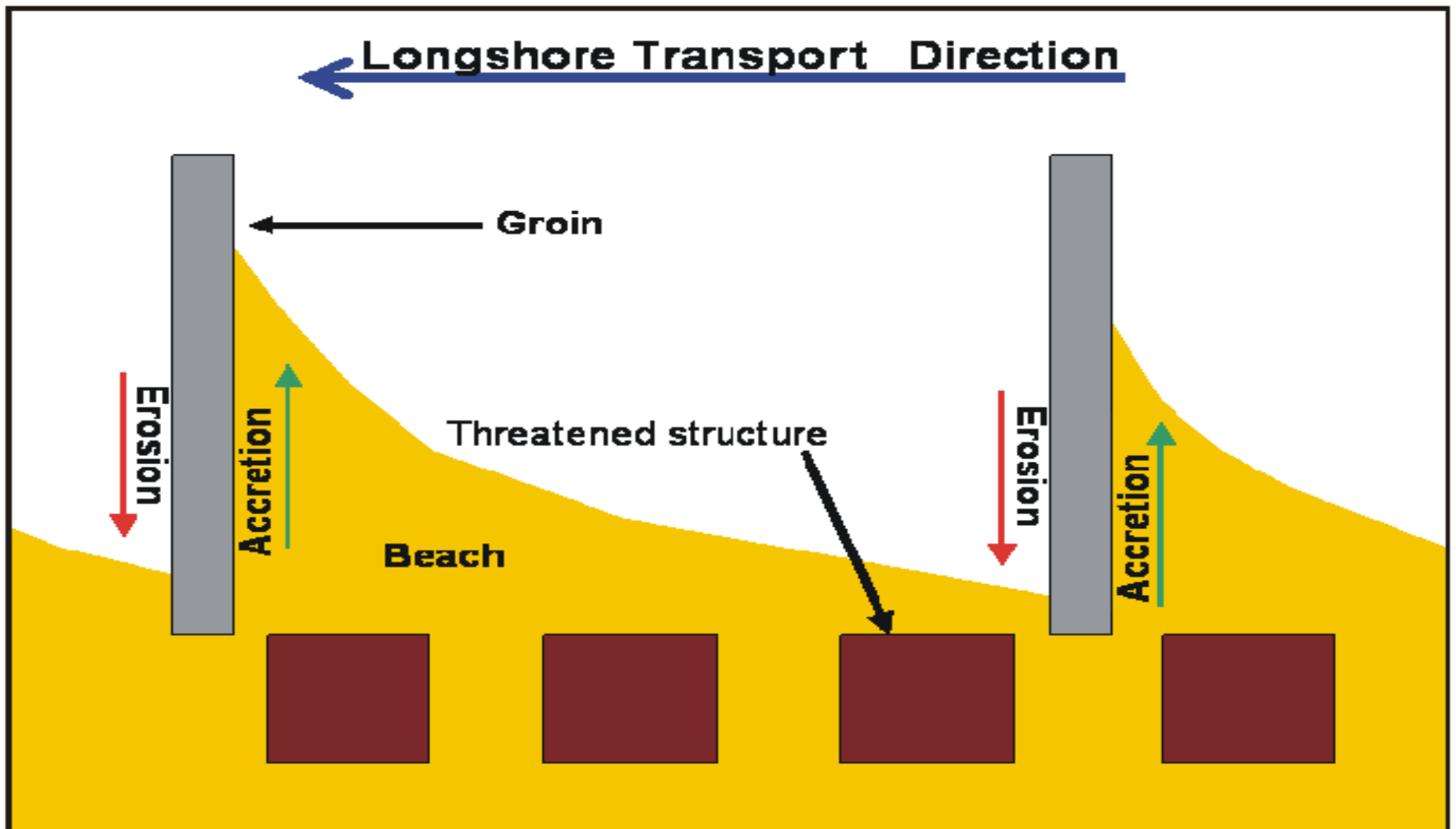


# Mỏ hàn (groins)



Groins

# Quà trình xói mòn do mỏ hàn



# Kè luồng (jetty)





# Kè luông



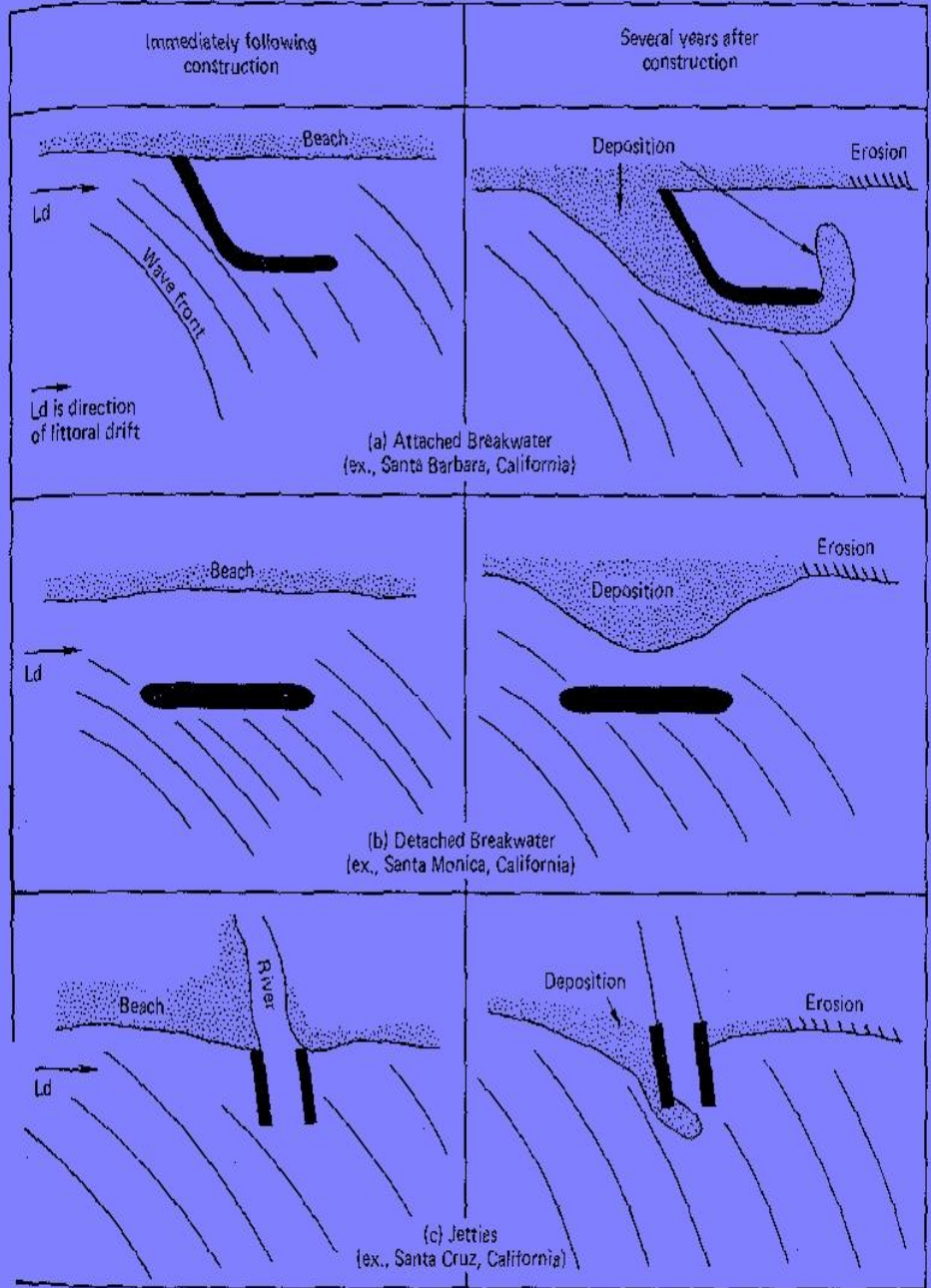
# Rào cản sóng







Đảo Alderney, Channel Islands (UK)



# Nuôi bãi (beach nourishment)



- Hoạt động nuôi bãi ở bờ biển Ocean



# 5. Ví dụ về hoạt động của con người và tai biến bờ biển

## Vùng bờ biển Atlantic

Nhiều hòn đảo chắn sóng đã biến đổi ít nhiều bởi sự sử dụng vì lợi ích của con người. Nhu cầu về đất ở thêm lục địa tại Atlantic cùng với sự phát triển khách sạn trên bề mặt khu bờ sông làm cho hệ thống những đụn cát tự nhiên của hòn đảo di chuyển đến nhiều vị trí khác nhau, dẫn đến những vấn đề xói lở bờ biển nghiêm trọng

## The Gulf Coast

Tác động của con người đã làm nảy sinh nguyên nhân của sự gia tăng tốc độ xói lở là do sự co rút của cơ cấu kỹ thuật bờ biển, sự lún đất là kết quả của khai thác nước ngầm và việc ngăn sông để cung cấp cát cho bãi biển

# 5. Ví dụ về hoạt động của con người và tai biến bờ biển

## The Great Lakes

Mức độ nghiêm trọng của trượt lở phụ thuộc vào các yếu tố như

- 🚧 Có hay không sự có mặt của hệ thống đụn cát (đụn cát-bảo vệ bờ dốc trượt lở với tốc độ thấp),
- 🚧 Sự định hướng của đường bờ biển (khu vực bị lộ ra dễ bị trượt lở hơn bởi tác động của gió bão)
- 🚧 Sự rò rỉ nước ngầm (sự rò rỉ phụ thuộc vào vật liệu gốc của đất do vậy độ dốc thay đổi dẫn việc tăng tốc độ trượt lở)
- 🚧 Sự tồn tại của những cấu trúc bảo vệ (những cấu trúc này giúp ích cho một khu vực nhưng thường làm gia tăng tốc độ trượt lở của các vùng lân cận)

# 6. Nhận thức và điều chỉnh tồn thất của tai biến bờ biển

## 6.1. Nhận thức

- Xói lở bờ biển là một dạng tai biến tự nhiên
- Những người sống gần biển có thể thấy các dấu hiệu cảnh báo sự xói lở trực tiếp và bị ảnh hưởng nghiêm trọng.
- Những người sống cách khu vực tai biến khoảng 100 dặm ít bị đe dọa, nhưng vẫn có thể nhận thấy đôi chút về các sự cố, sự khốc liệt, và các dấu hiệu cảnh báo.
- Ở khu vực sâu trong đất liền, mọi người có thể không chịu ảnh hưởng của xói lở bờ biển nhưng vẫn nhận biết đôi chút về tai biến này.

# 6. Nhận thức và điều chỉnh tổn thất của tai biến bờ biển

## 6.2. Điều chỉnh sự tổn thất

Xoáy thuận nhiệt đới: con người đứng trước những cơn bão thường không làm được gì, chỉ có thể xoay sở được đôi chút hoặc đưa ra vài hành động trong việc nhận ra sự xuất hiện của bão. Phương tiện điều chỉnh tổn thất ở các nước phát triển bao gồm: đánh giá khả năng xuất hiện, làm kiên cố hóa các cấu trúc, cơ sở hạ tầng, bảo vệ và giữ chặt đất tránh sạt lở, xói mòn, sử dụng quỹ đất một cách phù hợp, hiệu quả bằng cách khoanh vùng, và sơ tán, cảnh báo khi bão nhiệt đới xảy ra.

# 5. Nhận thức và điều chỉnh tổn thất của tai biến bờ biển

## 6.2. Điều chỉnh sự tổn thất

*Xói lở bờ biển*: điều chỉnh do xói lở bờ biển thì rơi vào một trong các loại sau:

- Nuôi bờ theo khuynh hướng giống như quá trình tự nhiên.
- Thiết kế, xây dựng các công trình có khả năng làm tiêu hao năng lượng sóng khi vào bờ.
- Làm ổn định đường bờ biển bằng những công trình như mỏ hàn, kè bờ...
- Thay đổi cách sử dụng đất để tránh những vấn đề trên



# 6. Nhận thức và điều chỉnh tổn thất của tai biến bờ biển

## 6.2. Điều chỉnh sự tổn thất

Ngày nay, chúng ta đang ở trên một giao lộ với khía cạnh điều chỉnh sự xói mòn bờ biển. Một đường dẫn tới sự bảo vệ bờ biển bằng cách cố gắng kiểm soát sự tiến triển của quá trình xói mòn, và con đường thứ hai liên quan đến việc tìm cách thích nghi để sống với sự xói mòn bờ biển qua kế hoạch môi trường linh động và sử dụng hợp lý đất đai trong đới duyên hải. Ở con đường hai, tất cả những cấu trúc của đới bờ biển được xem như tạm thời và có thể bị phá huỷ



## 6.2. Điều chỉnh tổn thất

Bất cứ sự phát triển nào trong đới ven bờ phải có sự thống nhất của cộng đồng hơn là ý kiến của một vài cá nhân. chấp nhận triết lý này đòi hỏi sự tôn trọng 5 nguyên tắc sau:

- Sự xói lở bờ biển là một quá trình tự nhiên hơn là một tai biến thiên nhiên; vấn đề xói lở xảy ra khi con người xây dựng những công trình trên đới ven biển.
- Môi trường biển thì năng động. Bất cứ sự can thiệp nào đến quá trình tự nhiên đều dẫn đến những biến đổi thứ cấp và tam cấp, và những biến đổi đó thường gây hậu quả bất lợi.
- Những kiến trúc dọc bờ biển thường có ý nghĩa trong việc bảo vệ tài sản. Với một vài ngoại lệ, như bờ biển dùng cho việc giải trí của hàng ngàn người suốt mùa du lịch, sự bảo vệ bờ biển có lợi cho tài sản của một số ít người. Điều này đang gây tranh cãi bởi vì người ta cho rằng nó chỉ có lợi cho số ít cá nhân mà không có lợi cho cả cộng đồng và nó không công bằng khi bỏ ra lượng tài sản lớn của cả cộng đồng để bảo vệ tài sản của một số cá nhân.
- Công trình kỹ thuật được thiết kế để bảo vệ bờ biển khỏi sự tàn phá đi khi lại có tác dụng ngược lại.
- Một công trình đường bờ đã được thiết kế khi đã phát triển thì thật khó có thể phục hồi. Các công trình thường làm bờ biển rộng ra thêm. Ở một vài nơi đã đưa ra những giới hạn để ổn định bờ biển, khi biển mở rộng mức độ xói lở diễn ra thì không có cấu trúc nào có thể đáp ứng được. Những cấu trúc đặc sắc của đới bờ cần được giữ nguyên trạng để lại cho thế hệ sau.

# 7. Tổng kết

- Môi trường bờ biển là một trong những khu vực năng động nhất trên trái đất, và sự thay đổi nhanh chóng xảy ra đều đặn.
- Tai biến bờ biển nguy hiểm nhất là bão nhiệt đới. Chúng lấy đi hàng ngàn sinh mạng và gây thiệt hại hàng tỉ đô la. Nó mang theo gió mạnh, và những cơn sóng do gió xoáy
- Sự kết hợp của triều cao và storm surge có thể gây ra trận lụt thủy triều nghiêm trọng ở các con sông. Những trận ngập lụt này xảy ra thường xuyên ở Luân Đôn dẫn đến việc người ta xây dựng đập xuyên qua sông Thames để chống lại những trận lụt này.
- Sóng biển được hình thành bởi những cơn bão ngoài khơi và truyền năng lượng đến bờ biển. Những sự bất thường ở bờ biển giải thích nguyên nhân dẫn đến xói lở khác nhau ở từng địa phương, nó đóng vai trò lớn trong việc quyết định dạng bờ biển. Bãi biển được hình thành do sự trầm lắng của cát và vỏ sò ở bờ biển do sóng và hình dạng bờ biển mang đến. Thông thường, bãi biển bao gồm những vật liệu bờ rời như những mảnh sò hoặc san hô, đá núi lửa..., nằm ở bờ biển. Sóng xô bờ ở một góc dẫn đến sự di chuyển đường bờ (sự kết hợp bãi trầm tích và dòng dọc bờ) của trầm tích bãi biển. Mỗi khu vực ven bờ là một đoạn đường bờ nhận trầm tích từ sông và mất nó trong sự chuyển vận ven bờ. Trầm tích bãi biển thông thường là sự thăng bằng của vật liệu trầm tích thêm vào hoặc mất đi; Trầm tích mất đi là phổ biến, phần nào bởi vì đập ngăn cản sự phân phát trầm tích đến bãi biển. Sóng theo mùa là đặc điểm thống kê nó bao gồm các yếu tố cơ bản hàng năm như: độ cao, chu kỳ, phương hướng của sóng. Biết lượng trầm tích, sóng theo mùa ở mỗi ô bờ biển là cần thiết để đánh giá xói mòn bờ biển ở nơi đó. Sử dụng littoral cell như một đơn vị làm việc trong kế hoạch bờ biển chắc chắn sẽ thành công hơn hiện tại chúng ta có.

# Tổng kết

- Mặc dù tai biến bờ biển gây ra một thiệt hại tương đối nhỏ so với những tai biến tự nhiên khác như lũ lụt, động đất, và bão nhiệt đới, đó là vấn đề nghiêm trọng dọc suốt bờ biển nước Mỹ can thiệp của con người tới các tiến trình bờ biển tự nhiên như việc xây dựng, kè bờ, mỏ hàn, rào cản sóng, cồn cát nhân tạo và những kiến trúc khác đôi khi thành công, nhưng trong nhiều trường hợp nó đã gây ra xói lở bờ biển đáng kể. Cát có khuynh hướng chất thành đống trên phần bồi của cấu trúc và bị xói lở ở phần lõ. Hầu hết những vấn đề xảy ra ở khu vực mật độ dân số cao, nhưng ở những khu vực dân cư thưa thớt dọc Outer Bank ở bắc California cũng có vấn đề với xói mòn bờ biển. Sự nuôi dưỡng bãi biển (cát lắng đọng nhân tạo) đã hạn chế thành công trong việc khôi phục và mở rộng bãi biển nhưng nó vẫn phải được xem xét trong thời gian dài.

- Sự am hiểu tai biến bờ biển phụ thuộc chính vào kinh nghiệm cá nhân và những tai biến gần kề.

- Sự điều chỉnh cá nhân phổ biến nhất đến tai biến bờ biển là không làm gì và giảm lo sợ. Sự điều chỉnh công đồng ở những nước phát triển là cố gắng làm nhẹ những vấn đề môi trường bằng cách xây dựng những công trình bảo vệ làm giảm sự thiệt hại tiềm tàng hoặc khuyến khích sự thay đổi trong cách cư xử của con người bằng sự chia vùng đất sử dụng, di tản và cảnh báo tốt hơn.

- Điều chỉnh xói lở bờ biển ở những khu vực phát triển thường là "tổng hợp các kỹ thuật": xây dựng bờ, kè, mỏ hàn, và những kiến trúc khác hoặc sự nuôi dưỡng bãi biển. Các phương pháp ổn định bãi biển có thành công và có thể dẫn đến những vấn đề phát sinh ở những khu vực sát đó. Giá của những công trình có thể vượt quá giá trị tài sản họ bảo vệ; những công trình như vậy có thể huỷ hoại bãi biển mà họ định bảo vệ.

- Cuối cùng quản lý xói lở bờ biển sẽ được lợi từ quy hoạch những vùng đất sử dụng cẩn thận nhận mạnh sự thiết lập cản trở và cho phép sự xây dựng trên cơ sở tiên đoán tốc độ xói lở bờ biển.

Cám ơn thầy và các bạn

# Thủy triều

Bởi:

PGS. TS. NGUYỄN Phạm Văn Huân

## 6.1. Mực nước đại dương và biến động của nó

Về trung bình nhiều năm, mực nước Đại dương Thế giới có thể coi xấp xỉ trùng với mặt geoid (mặt trung bình của Trái Đất). Nhưng mặt đại dương thực tế tại những thời điểm bị lệch khỏi vị trí trung bình này, và luôn luôn biến động do bị ảnh hưởng của nhiều lực, nhiều quá trình. Những nhóm lực và các quá trình cơ bản sau đây làm biến đổi mực nước đại dương:

a) Các lực tạo triều vũ trụ;

b) Các hiện tượng địa động lực và địa nhiệt ở vỏ Trái Đất (động đất, núi lửa, thăng giáng của lục địa và chuyển động kiến tạo hiện đại);

c) Những tác động cơ học và lý hóa gây bởi bức xạ Mặt Trời và khí quyển (các quá trình nhiệt trong đại dương, biến đổi áp suất khí quyển, gió, mưa, dòng bờ...).

Trong số những lực và quá trình đã nêu, các lực tạo triều vũ trụ gây nên những dao động liên tục nhất, tuần hoàn đều đặn nhất của mặt biển. Dạng dao động này đã được nghiên cứu kỹ và sẽ được trình bày trong những mục sau đây.

Tác động của các lực và các quá trình khác gây nên những dao động không có tính chất tuần hoàn như:

a) Những dao động dâng rút mực nước liên quan với hoàn lưu nước do gió trong biển ở những đới gần bờ;

b) Những dao động mực nước do sự biến đổi áp suất khí quyển (khi áp suất khí quyển tăng 1 mb mực nước giảm 10 mm và ngược lại);

c) Những dao động mực nước liên quan tới tính không đồng đều trong chu trình tuần hoàn nước (tức chênh lệch của các thành phần bốc hơi, giáng thủy, dòng bờ trong cân bằng nước);

d) Những dao động mực nước do sự biến đổi của mật độ nước gây nên. Khi mật độ tăng thì mực nước giảm, ngược lại khi mật độ giảm thì mực nước tăng. Mật độ nước biển phụ thuộc vào nhiệt độ và độ muối.

Vì tất cả các đặc trưng hình thái của đại dương và biển có liên quan với vị trí mực nước đại dương (mực đại dương) nên người ta phải tiến hành quan trắc một cách liên tục và

đầy đủ về chế độ dao động của nó tại những địa điểm có trang bị các máy ghi mực nước hoặc các cọc đo mực nước, gọi là những trạm mực nước. Dựa vào những số liệu đo đó người ta tính kực nước trung bình ngày – giá trị trung bình của tất cả các quan trắc trong ngày, trung bình tháng – giá trị trung bình của các mực trung bình ngày và trung bình nhiều năm, hay mực trung bình – giá trị trung bình của các mực trung bình năm. Mực trung bình được tính dựa trên những quan trắc nhiều năm đủ bao quát tất cả những cực trị của mực (những mực thấp nhất và cao nhất). Số lượng năm cần để tính mực trung bình phụ thuộc vào quy mô các dao động của mực và tỷ lệ thuận với độ lệch cực đại so với mực trung bình tại vùng biển.

Mực biển trung bình hiện nay được chấp nhận làm mặt mốc để tính các độ cao tuyệt đối trên lục địa và các độ sâu tuyệt đối ở các biển, các thủy vực, vì vậy nó được gọi là *số không tuyệt đối*. Mỗi quốc gia quy ước chấp nhận làm số không tuyệt đối mực biển trung bình ở một trạm mực nước nào đó. Trong các biển có thủy triều, một mặt mốc có ý nghĩa hàng hải, được gọi là *số không hải đồ* được chấp nhận. Đó là mực biển thấp nhất có thể có do những điều kiện thiên văn. Ở mỗi trạm mực nước, người ta quy ước lấy một mốc để đo độ cao mực nước sao cho các số đo nhận được là những số dương và mốc đó được gọi là *số không trạm*.

## 6.2. Dao động thủy triều của mực nước biển

Do tác động của các lực tạo triều có tính chất tuần hoàn mà trong biển và đại dương hình thành chế độ chuyển động tuần hoàn của nước gọi là hiện tượng thủy triều. Hiện tượng thủy triều thể hiện ở hai quá trình biểu lộ rất rõ ở biển là:

a) Dao động tuần hoàn của mực nước biển mà người ta quan sát thấy tại các trạm mực nước;

b) Dao động tuần hoàn của dòng chảy ngang quan trắc được bằng cách đo dòng chảy biển tại các trạm hải văn.

Dòng chảy tuần hoàn do các lực tạo triều gây nên gọi là dòng triều và được xem xét tới phần nào ở các mục sau và đặc biệt trong chương 7 về các hải lưu. Ở chương này chỉ chú trọng nghiên cứu dao động triều lên xuống của mực nước.

Một đặc điểm quan trọng trong chế độ dao động triều tuần hoàn của mực nước là chu kỳ dao động khác nhau tại những vùng biển khác nhau. Nếu trong một ngày, tại một vùng nào đó quan trắc thấy một lần nước dâng lên cao đến cực đại – *nước lớn* và một lần nước rút xuống thấp đến cực tiểu – *nước ròng*, thì người ta gọi thủy triều ở vùng đó là *thủy triều toàn nhật*, tức một ngày có một chu kỳ dao động và chu kỳ dao động bằng một ngày Mặt Trăng (24 h 50 ph). Nếu trong một ngày, tại vùng đó quan trắc thấy hai chu kỳ dao động triều, tức hai lần nước lớn và hai lần nước ròng, thì thủy triều ở vùng đó là *thủy triều bán nhật* và chu kỳ triều bằng nửa ngày Mặt Trăng (12 h 25 ph). Ở một số vùng biển người ta quan trắc thấy thủy triều hỗn hợp, tức trong một số ngày của tháng thì tồn tại chế độ thủy triều toàn nhật, trong số ngày còn lại thì tồn tại chế độ thủy triều bán nhật. Nếu trong một tháng mà số ngày với triều toàn nhật nhiều hơn số ngày với triều bán nhật, thì vùng nghiên cứu được gọi là vùng *nhật triều không đều*, trong trường hợp ngược lại – vùng *bán nhật triều không đều*.



Trong một chu kỳ triều, khoảng thời gian nước dâng từ nước ròng đến nước lớn gọi là *thời gian triều lên*, khoảng thời gian nước rút từ nước lớn đến nước ròng gọi là *thời gian triều rút*. Hiệu giữa độ cao của nước lớn hay nước ròng và mực triều trung bình gọi là *biên độ triều*.

Ngoài chu kỳ triều, để so sánh quy mô chuyển động dao động mực nước ở những vùng biển khác nhau, người ta còn dùng một đặc trưng gọi là *độ lớn thủy triều* tính bằng hiệu giữa độ cao nước lớn và độ cao nước ròng kế tiếp nhau.

Nếu liên tục quan trắc biến thiên mực nước triều trong khoảng thời gian dài, thì có thể dễ dàng thấy rằng thời gian triều lên, thời gian triều rút, thời gian xuất hiện nước lớn và nước ròng cũng như độ lớn thủy triều biến đổi từ ngày này sang ngày khác. Hiện tượng đó được gọi là *triều sai*; hiện tượng triều sai liên quan tới biến đổi thời gian của lực tạo triều mà về phần mình lại phụ thuộc vào vị trí tương hỗ của Mặt Trăng, Mặt Trời và Trái Đất.

Người ta phân biệt các loại triều sai sau đây:

*Triều sai ngày* được thể hiện ở sự sai khác về độ cao của hai nước lớn liền nhau và hai nước ròng liền nhau trong một ngày và ở sự sai khác về khoảng thời gian triều lên và triều rút trong ngày. Thành thử do ảnh hưởng của triều sai ngày, trong một ngày người ta thấy có *nước lớn cao* và *nước lớn thấp* cũng như *nước ròng cao* và *nước ròng thấp*. Triều sai ngày thể hiện mạnh nhất ở những vùng triều hỗn hợp, đặc biệt ở những vùng bán nhật triều không đều: khi độ xích vĩ Mặt Trăng đạt giá trị lớn nhất thì nước thấp và nước ròng cao có thể không còn quan trắc thấy nữa và bán nhật triều chuyển thành nhật triều.

*Triều sai nửa tháng do pha Mặt Trăng* đặc trưng cho những vùng bán nhật triều. Loại triều sai này thể hiện ở chỗ vào kỳ sóc vọng (những ngày trăng non, trăng tròn) thì thủy triều đạt độ lớn triều lớn nhất (gọi là triều sóc vọng), vào kỳ trực thệ - độ lớn triều nhỏ nhất (gọi là triều trực thệ). Tuy nhiên, do ảnh hưởng của điều kiện địa lý của trạm nghiên cứu, triều sóc vọng không xảy ra đúng vào kỳ sóc vọng mà muộn sau một số ngày gọi là *tuổi bán nhật triều*.

*Triều sai nửa tháng do độ xích vĩ Mặt Trăng* đặc trưng cho những vùng nhật triều, thể hiện ở chỗ khi độ xích vĩ Mặt Trăng lớn nhất, thì độ lớn thủy triều lớn nhất (triều chí tuyến), còn khi độ xích vĩ Mặt Trăng nhỏ nhất, thì độ lớn thủy triều nhỏ nhất (triều nhật phân), (hay triều xích đạo). Do ảnh hưởng của điều kiện địa lý, triều chí tuyến xảy ra muộn hơn thời điểm Mặt Trăng đạt độ xích vĩ cực đại một khoảng thời gian gọi là *tuổi nhật triều*.

*Triều sai tháng* (triều sai thị sai) biểu hiện ở sự biến đổi độ lớn triều với chu kỳ tháng tùy thuộc sự biến đổi khoảng cách từ Trái Đất đến Mặt Trăng (góc thị sai Mặt Trăng): khi khoảng cách nhỏ nhất thì thủy triều đạt độ lớn lớn nhất, khi khoảng cách lớn nhất – độ lớn triều nhỏ nhất. Triều sai tháng cũng còn biểu hiện cả ở sự biến đổi các *nguyệt khoảng*, tức là khoảng thời gian giữa thời điểm thượng đỉnh của Mặt Trăng trên kinh tuyến nơi quan trắc và thời điểm xuất hiện nước lớn gần nhất.

*Những triều sai chu kỳ dài* nửa năm, một năm trước hết là do những biến đổi của độ xích vĩ Mặt Trời và khoảng cách Trái Đất – Mặt Trời trong năm gây nên. Triều sai chu kỳ 18,6 năm do biến đổi chậm của độ xích vĩ Mặt Trăng do quỹ đạo Mặt Trăng lệch so với mặt phẳng hoàng đạo.

Hiện tượng thủy triều ở đại dương có nguyên nhân thiên văn, song những điều kiện địa lý của những vùng biển riêng biệt có ảnh hưởng lớn đến đặc điểm và độ lớn của dao động triều tại đó. Vì vậy ở những vùng biển khác nhau thì đặc điểm và độ lớn triều rất khác nhau.

Hiện nay, những số liệu quan trắc trực tiếp mực nước ở khắp các vùng bờ Đại dương Thế giới cho phép nhận xét về phân bố không gian của thủy triều ở các vùng bờ. Nhìn chung bán nhật triều chiếm ưu thế, nó được quan sát thấy ở hầu khắp các bờ Đại Tây Dương, Ấn Độ Dương và Bắc Băng Dương. Ở Thái Bình Dương thủy triều hỗn hợp chiếm ưu thế. Ở đây, nhiều nơi có thể tồn tại thủy triều toàn nhật trong đó biển Đông là một thí dụ điển hình.

Độ lớn triều rất khác nhau. Những biển nối với đại dương qua các eo hẹp thủy triều thường yếu, độ lớn triều chỉ đạt cỡ một vài đêximet, thậm chí có những biển được xếp vào loại biển không có thủy triều như Ban Tích, Hắc Hải. Ngược lại, những vịnh và vùng biển ăn thông với đại dương với những đặc trưng hình dạng đường bờ, địa hình đáy, kích thước thủy vực phù hợp điều kiện truyền triều, thủy triều có thể lớn hơn nhiều so với những dải bờ thoáng trước đại dương. Vịnh Phanđi ở bắc Canada là một thí dụ điển hình với độ lớn triều đạt tới 18 m. Vịnh Bắc Bộ cũng là nơi có thủy triều mạnh với độ lớn triều 4–5 m ở phía bắc.

Đặc biệt đáng chú ý là những vùng bờ nước nông, những vùng cửa sông (estuary), những sông lớn đổ vào những biển với chế độ triều mạnh. Nơi đây xảy ra những hiện tượng triều rất lý thú như thủy triều nước nông biến dạng, sinh con nước, borơ... trong chế độ dao động mực nước. Và cũng chính ở những nơi này càng biểu lộ mạnh sự ảnh hưởng của hiện tượng triều đến nhiều quá trình khác trong biển và hoạt động sinh sống, sản xuất của con người.

Để có khái niệm về phân bố thủy triều ở các vùng khơi đại dương và biển, người ta phải dùng những phương pháp tính toán kết hợp với một số những quan trắc chưa nhiều về mực và dòng chảy tại những nơi đó. Những bản đồ triều, trên đó thể hiện những đường đẳng độ lớn thủy triều và góc pha nhận được bằng các phương pháp đó, cho phép nhận xét bức tranh lan truyền sóng triều trong đại dương. Đặc điểm nổi bật là trên các đại dương đều tồn tại những điểm vô triều, tại đó độ lớn triều bằng không hoặc rất nhỏ, các sóng triều chạy vòng quanh những điểm vô triều chủ yếu theo chiều ngược với kim đồng hồ ở bắc bán cầu và theo chiều kim đồng hồ ở nam bán cầu.

### **6.3. Cơ sở lý thuyết thủy triều**

Để giải thích sự xuất hiện của lực tạo triều, chúng ta xét tác dụng của các lực lên mỗi phần tử của Trái Đất trong trường hợp Trái Đất tham gia chuyển động trong hệ thống Trái Đất – Mặt Trăng (trường hợp chuyển động của hệ thống Trái Đất – Mặt Trời cũng hoàn toàn tương tự).



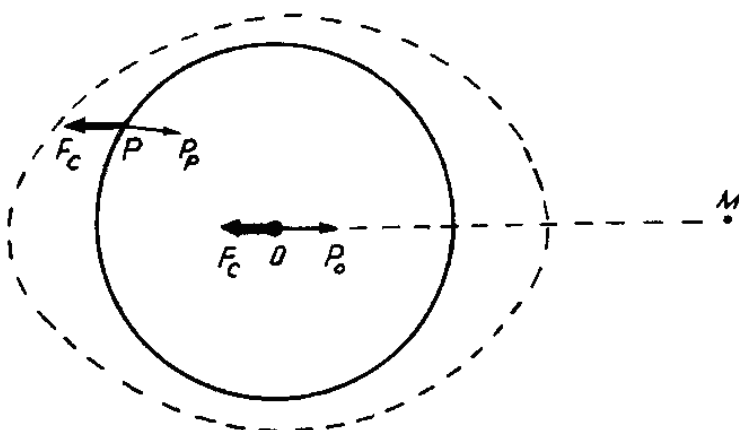
Tác động lên mỗi phần tử của Trái Đất gồm các lực: trọng trường của Trái Đất, hấp dẫn của Mặt Trăng, ly tâm xuất hiện khi hệ thống Trái Đất – Mặt Trăng quay xung quanh trọng tâm chung của chúng. Trọng lực đối với các điểm của Trái Đất là như nhau, không đổi, có thể bỏ qua. Các lực hấp dẫn tại những điểm riêng biệt của Trái Đất không bằng nhau, mà phụ thuộc vào khoảng cách từ mỗi điểm đến Mặt Trăng. Trong khi hệ thống Trái Đất – Mặt Trăng quay xung quanh trọng tâm chung của chúng ở khoảng cách 0,71 bán kính Trái Đất trên đường thẳng nối tâm Trái Đất với tâm Mặt Trăng, thì tại mọi thời điểm, các lực ly tâm ở mọi điểm của Trái Đất đều bằng nhau về độ lớn và hướng song song với đường nối tâm Trái Đất và tâm Mặt Trăng về phía ngược lại với chiều tới Mặt Trăng. Trên hình 25 điểm M size 12{M} {} là tâm Mặt Trăng, O size 12{O} {} là tâm Trái Đất và P size 12{P} {} là điểm bất kỳ trên bề mặt Trái Đất. Các lực hấp dẫn của Mặt Trăng lên các phần tử của Trái Đất ở O size 12{O} {} và P size 12{P} {} được biểu diễn bằng những mũi tên mạnh hướng về phía tâm Mặt Trăng. Các lực ly tâm tại các điểm được biểu diễn bằng những mũi tên đậm cùng hướng về phía xa Mặt Trăng có độ lớn bằng nhau và bằng lực hấp dẫn của Mặt Trăng lên điểm ở tâm Trái Đất. Tổng của lực hấp dẫn và lực ly tâm ở một điểm P size 12{P} {} bất kỳ sẽ là lực tạo triều:

$$\vec{F} \rightarrow = \vec{P} \rightarrow - \vec{P} \rightarrow + \vec{F} \rightarrow = \vec{C} \text{ size 12} \{ \{ \vec{F} \} = \{ \vec{P} \} \text{ rSub } \{ \text{size 8} \{ P \} \} + \{ \vec{F} \} \text{ rSub } \{ \text{size 8} \{ C \} \} \} \},$$

hay

$$\vec{F} \rightarrow = \vec{P} \rightarrow - \vec{P} \rightarrow = \vec{0} \text{ size 12} \{ \{ \vec{F} \} = \{ \vec{P} \} \text{ rSub } \{ \text{size 8} \{ P \} \} - \{ \vec{P} \} \text{ rSub } \{ \text{size 8} \{ O \} \} \} \}. \quad (73)$$

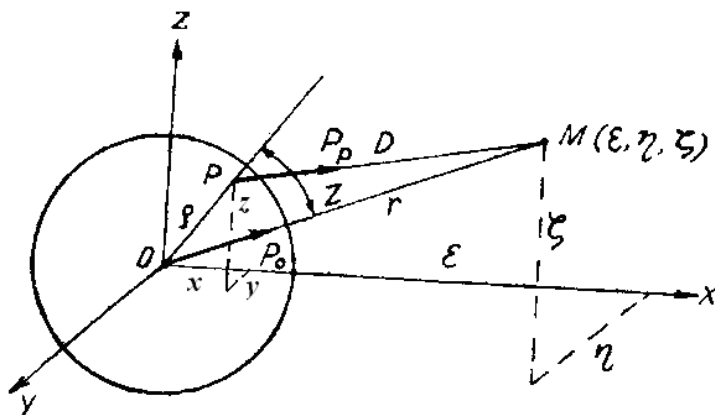
Như vậy lực tạo triều được biểu diễn bằng hiệu giữa lực hấp dẫn của Mặt Trăng lên điểm đang xét và lực hấp dẫn của Mặt Trăng lên tâm Trái Đất. Biểu thức cuối cùng cho phép dễ dàng tính được lực tạo triều cho mọi điểm trên mặt Trái Đất. Kết quả tính cho thấy, ở các điểm gần Mặt Trăng nhất và xa Mặt Trăng nhất trên đường thẳng nối Mặt Trăng – Trái Đất, các lực tạo triều xấp xỉ bằng nhau về độ lớn, hướng theo bán kính ra khỏi tâm Trái Đất, ở các điểm trên vòng sáng Trái Đất, các lực tạo triều có độ lớn nhỏ hơn và hướng vào phía tâm Trái Đất, còn ở những điểm trung gian thì các lực tạo triều có hướng và độ lớn chuyển tiếp từ hai trường hợp trên.



Các lực tác dụng lên những phần tử của Trái Đất trong chuyển động quay của hệ thống Trái Đất – Mặt Trăng và biến dạng của vỏ nước của Trái Đất dưới tác dụng của lực tạo triều

Nếu như mặt Trái Đất được bao phủ bởi một lớp nước dày đều, thì dưới tác dụng của các lực tạo triều như vậy, các hạt nước sẽ chuyển dịch từ nơi các điểm trên vòng sáng Trái Đất đến những điểm trên đường nối Trái Đất – Mặt Trăng để tạo thành một vỏ nước biến dạng có hình dáng một ellipxoit tròn xoay hướng trục lớn theo đường nối Trái Đất – Mặt Trăng.

Để tìm biểu thức toán học của lực tạo triều chúng ta dùng hệ tọa độ vuông góc XYZ với gốc ở tâm Trái Đất và mặt XOY trùng với mặt phẳng xích đạo (hình 26), trong đó  $x, y, z$  là tọa độ của điểm P;  $\epsilon, \eta, \zeta$  là tọa độ của Mặt Trăng. Hình chiếu của lực tạo triều lên trục OX sẽ bằng



Để tìm thế vị của lực tạo triều

$$F_X = P_{PX} - P_{OX} = KM D^2 \cos(D, x) - KM r^2 \cos(r, x) = KM D^2 \epsilon - x D - KM r^2 \epsilon r = KM \epsilon - x D^3 - \epsilon r^3, \quad F_{rSub\{8\{X\}\}} = P_{rSub\{8\{PX\}\}} - P_{rSub\{8\{OX\}\}} = \left\{ \frac{KM}{D^2} \cos(D, x) - \frac{KM}{r^2} \cos(r, x) \right\} = \left\{ \frac{KM}{D^2} (\epsilon - x) - \frac{KM}{r^2} \epsilon \right\} = KM \left( \frac{\epsilon - x}{D^2} - \frac{\epsilon}{r^2} \right)$$

trong đó  $K = gp^2 E -$  hằng số hấp dẫn của Trái Đất;  $E -$  khối lượng Trái Đất;  $g -$  gia tốc trọng trường Trái Đất;  $\rho -$  bán kính Trái Đất;  $M -$  khối lượng Mặt Trăng;  $r -$  khoảng cách từ Trái Đất tới Mặt Trăng; còn khoảng cách  $D$  bằng:

$$D = \sqrt{r^2 + \rho^2 - 2r\rho \cos Z} \approx r \left( 1 - 2 \frac{\rho}{r} \cos Z \right)^{1/2}$$

Nếu khai triển nhị thức của biểu thức của  $D$  thành chuỗi và giữ lại những thành phần đầu, ta có

$$D^{-3} = r^{-3} \left( 1 + 3 \frac{\rho}{r} \cos Z \right)^{3/2}$$

và  $F_X$  sẽ bằng:

$$F_X = gM\rho^2 E r^3 \frac{-x + 3\rho \cos Z}{r^3} = \left\{ \frac{gM\rho}{r^3} \left( -x + 3 \frac{\rho \cos Z}{r} \right) \right\}$$

Tương tự, các hình chiếu của lực tạo triều lên các trục OY và OZ tuần tự bằng:

$$F_Y = gM\rho^2 E r^3 \frac{-y + 3\rho \eta \cos Z}{r^3} = \left\{ \frac{gM\rho}{r^3} \left( -y + 3 \frac{\rho \eta \cos Z}{r} \right) \right\},$$

$$F_Z = gM\rho^2 E r^3 \frac{-z + 3\rho \zeta \cos Z}{r^3} = \left\{ \frac{gM\rho}{r^3} \left( -z + 3 \frac{\rho \zeta \cos Z}{r} \right) \right\}.$$

Hàm thế vị của lực tạo triều của Mặt Trăng sẽ bằng:

$$V_m = gM\rho^4 2r^3 E \frac{(3\cos^2 Z - 1)}{2r^3 E} \left( 3\cos^2 Z - 1 \right) \quad (74)$$

Tương tự, hàm thế vị của lực tạo triều của Mặt Trời:

$$3V_s = gM'\rho^4 2r^3 E \frac{(3\cos^2 Z' - 1)}{2 \left\{ \frac{r}{r'} \right\}^3 E} \left( 3\cos^2 Z' - 1 \right),$$

trong đó những ký hiệu có dấu phẩy bên trên chỉ các đại lượng tương tự, nhưng cho trường hợp Mặt Trời.

Newton là người đầu tiên tìm ra biểu thức thế vị như trên và xây dựng *thuyết tĩnh học thủy triều* (*thuyết thủy triều cân bằng*), trong đó giả thiết rằng nước đại dương bao phủ Trái Đất bằng một lớp vỏ dày đều và tại mỗi thời điểm, mực nước triều phải giữ một vị trí cân bằng sao cho thế của lực tạo triều bằng công nâng từng hạt nước khối lượng đơn vị từ mực trung bình (coi là mực không) lên độ cao mực triều trong trọng trường Trái Đất. Như vậy nếu  $\bar{\xi}$  là độ cao mực triều trên mực trung bình, thì

$$g\bar{\xi} = V_m + V_s$$

hay

$$3\bar{\xi} = M\rho^4 2r^3 E \frac{(3\cos^2 Z - 1)}{2r^3 E} \left( 3\cos^2 Z - 1 \right) + \left\{ \frac{M'}{\rho} \right\} \frac{(3\cos^2 Z' - 1)}{2 \left\{ \frac{r}{r'} \right\}^3 E} \left( 3\cos^2 Z' - 1 \right). \quad (76)$$

Nếu biểu diễn cosin của góc thiên đỉnh Z qua vĩ độ địa lý điểm quan trắc

$\phi$ , độ xích vĩ của Mặt Trăng  $\delta$  và của Mặt Trời  $\delta'$  và góc giờ của Mặt Trăng  $t$  và của Mặt Trời  $t'$  theo những công thức của lượng giác cầu đã biết:

$$\cos Z = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t,$$

$$\cos Z' = \sin \phi \sin \delta' + \cos \phi \cos \delta' \cos t'.$$

thì biểu thức độ cao triều tĩnh học của Mặt Trăng và Mặt Trời sẽ là:

$$\begin{aligned} \xi^- = & \frac{3}{2} M \rho^4 E r^3 \left[ (1 - 3 \sin^2 \delta) (1 - 3 \sin^2 \phi) + 6 \sin^2 \phi \sin^2 \delta \cos t \right. \\ & \left. + \frac{1}{2} \cos^2 \phi \cos^2 \delta \cos 2t \right] + \frac{3}{2} M' \rho^4 E r^3 \left[ (1 - 3 \sin^2 \delta') (1 - 3 \sin^2 \phi) \right. \\ & \left. + \frac{1}{2} \cos^2 \phi \cos^2 \delta' \cos 2t' \right] + \frac{1}{2} \cos^2 \phi \cos^2 \delta \cos 2t \\ & + \frac{1}{2} \cos^2 \phi \cos^2 \delta' \cos 2t'. \end{aligned} \quad (77)$$

Số hạng đầu trong dấu ngoặc vuông thứ nhất sẽ biến thiên phụ thuộc vào sự biến đổi với chu kỳ nửa tháng của độ xích vĩ Mặt Trăng  $\delta$ . Các số hạng thứ hai và thứ ba biến thiên nhanh hơn do góc giờ Mặt Trăng biến đổi với chu kỳ ngày. Tương tự như vậy chúng ta có thể nhận xét về các số hạng trong dấu ngoặc vuông thứ hai đặc trưng cho độ cao triều Mặt Trời.

Như vậy dao động của độ cao thủy triều sẽ bao gồm những dao động với chu kỳ ngày, nửa ngày và chu kỳ dài. Mỗi dao động ứng với một chu kỳ nhất định được gọi là một sóng thủy triều.

Biểu thức độ cao thủy triều trên đây cho thấy rằng nếu như Mặt Trăng hoặc Mặt Trời tác động độc lập, thì từng thiên thể sẽ tạo cho mặt đại dương có dạng ellipsoid tròn xoay với các trục lớn hướng về phía nó. Dưới tác động đồng thời của cả hai tinh tú, mặt nước đại dương sẽ là tổng hình học của các ellipsoid tròn xoay của triều Mặt Trăng và triều Mặt Trời.

Nếu phân tích vị trí tương hỗ của các ellipsoid thủy triều Mặt Trăng và Mặt Trời vào những kỳ sóc vọng và trực thệ, chúng ta sẽ giải thích được nguyên nhân của triều sai nửa tháng do pha Mặt Trăng. Nếu phân tích sự phụ thuộc của độ cao triều vào biến đổi của độ xích vĩ Mặt Trăng, chúng ta có thể giải thích được triều sai ngày và triều sai nửa tháng do độ xích vĩ Mặt Trăng. Triều sai tháng có nguồn gốc ở sự biến đổi của khoảng cách Trái Đất – Mặt Trăng trong công thức độ cao thủy triều tĩnh học.

Như vậy thuyết tĩnh học thủy triều cho phép giải thích một số đặc điểm thủy triều về

mặt định tính. Song những tính toán theo công thức thủy triều tĩnh học chỉ cho những giá trị gần đúng với giá trị quan trắc đối với những vùng khơi đại dương, còn đối với những vùng ven bờ các giá trị độ lớn thủy triều quan trắc được lớn hơn rất nhiều. Lý do của điều này là ở hai giả thiết cơ bản của thuyết thủy triều tĩnh học của Newton: giả thiết về sự tồn tại lớp vỏ nước bao phủ khắp Trái Đất không có lực địa không cho phép tính đến ảnh hưởng của điều kiện địa lý lên thủy triều; giả thiết về sự cân bằng tức thời của trọng lực và lực tạo triều không phù hợp với sự biến động nhanh với thời gian của lực tạo triều.

Trong *thuyết động lực học thủy triều* của mình Laplace luận chứng rằng sự biến động nhanh của lực tạo triều với thời gian sẽ dẫn tới phá hủy có tính chu kỳ sự cân bằng và kéo các khối nước vào dao động với vận tốc và gia tốc lớn. Các khối nước có quán tính lớn không thể trở nên cân bằng tức khắc với biến đổi của lực tạo triều. Do tác dụng của lực tạo triều tuần hoàn, các phần tử nước chuyển động đến những vị trí cân bằng mới, có xu hướng vượt quá vị trí cân bằng đó rồi dao động bên nó. Nếu lực tạo triều ngừng tác động, thì dao động của các phần tử nước sẽ tắt dần do ma sát. Vì lực tạo triều có chu kỳ xác định, nên dao động mực biển không tắt dần và cũng có chu kỳ bằng chu kỳ của lực cưỡng bức. Mực biển khi đó không còn đặc trưng bởi mực triều thủy tĩnh  $\bar{\xi}$  nữa mà bằng mực triều thực  $\xi$ , độ cao thực của mực nước trên mực trung bình.

Tóm lại, nếu xem xét hiện tượng thủy triều theo quan điểm động lực như vậy, thì phải kể đến các lực liên quan với bản chất động lực của hiện tượng, đó là các lực gradient áp suất ngang, các lực quán tính, lực Coriolis và các lực ma sát (đáy và bên).

Trong thủy triều, áp suất được coi là áp suất thủy tĩnh, nên lực gradient áp suất ngang được biểu diễn qua gradient của mực nước thực, tức bằng

$$g \cdot \text{grad} \xi$$

Ngoại lực ở đây là lực tạo triều được biểu diễn qua gradient của mực triều tĩnh với dấu ngược lại. Do đó, ngoại lực và lực gradient áp suất có thể được liên kết lại dưới dạng gradient áp suất hiệu dụng:

$$g \cdot \text{grad} (\xi - \bar{\xi})$$

nói nên cái phần của gradient áp suất thực không bị cân bằng bởi lực tạo triều.

Sự cân bằng động của các lực trên đối với từng trục tọa độ chính là những phương trình chuyển động, những phương trình này cùng với phương trình liên tục làm thành một hệ liên kết ba yếu tố của chuyển động thủy triều là  $\xi$  và các vận tốc  $u, v$  ( $u, v$  không phụ thuộc vào  $z$ ). Về tổng quát, hệ phương trình này có dạng:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} - f v = -g \frac{\partial}{\partial x} (\xi - \bar{\xi}) - r u, \frac{\partial v}{\partial t} + f u = -g \frac{\partial}{\partial y} (\xi - \bar{\xi}) - r v, \frac{\partial \xi}{\partial t} = -h \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}, \end{aligned}$$

$$\left( \bar{\xi} \right) - r \sup \{ \text{size } 8 \{ * \} \} v, \left\{ \# \text{ right rbrace left none } \left\{ \left\{ \frac{\partial \xi}{\partial t} \right\} \right\} = - h \left( \left\{ \left\{ \frac{\partial u}{\partial x} \right\} \right\} + \left\{ \left\{ \frac{\partial v}{\partial x} \right\} \right\} \right), \left\{ \# \text{ right rbra } \right\} \right\} \text{ (78)}$$

trong đó  $f=2\omega \sin \phi$  - tham số Coriolis;  $h$  - độ sâu đại dương;  $r$  - hệ số ma sát đáy; các thành phần vận tốc  $u, v$  là trung bình theo độ sâu.

Vào thời mình, Laplace đã xây dựng một hệ phương trình tương tự, trong đó chỉ có mặt các lực quán tính, lực Coriolis và lực gradien áp suất hiệu dụng và giải cho trường hợp đại dương là lớp vỏ nước không sâu lắm bao phủ xung quanh Trái Đất. Độ cao triều tĩnh học đặc trưng cho ngoại lực được Laplace xét theo từng dao động toàn nhật và bán nhật riêng biệt. Những kết quả giải hệ phương trình cho phép giải thích một số đặc điểm của hiện tượng thủy triều như sự ngự trị của triều bán nhật ở đa số các vùng đại dương, tuổi triều và nguyệt khoảng.

Thuyết động lực học thủy triều của Laplace tuy vẫn không cho được một phương pháp tính dao động mực nước áp dụng trong thực tế, song nó mở ra một hướng mới để nghiên cứu hiện tượng: chỉ có sử dụng các phương trình chuyển động mới có khả năng tính đến những yếu tố địa hình của thủy vực, mà như thực tế cho thấy, ảnh hưởng rất lớn đến hiện tượng thủy triều. Về sau này nhiều nhà khoa học khác như Airy, Taylor, Proudman, Lamb đã tiếp tục hướng nghiên cứu mà Laplace đã đề ra, họ giải các bài toán động lực thủy triều cho những trường hợp các kênh có những đặc trưng hình thái nhất định, tính đến những lực Coriolis, lực ma sát đáy hoặc bờ.

Chúng ta sẽ khảo sát thêm một vài bài toán theo hướng giải tích để làm rõ ảnh hưởng của những yếu tố như lực quay của Trái Đất và lực ma sát đáy lên hiện tượng thủy triều.

*Ảnh hưởng của lực Coriolis tới truyền sóng triều.* Như đã thấy, khi nghiên cứu thủy triều mà chỉ chú ý tới lực quán tính và gradien áp suất ngang, thì các kết quả nhận được chỉ mô tả các sóng phẳng dưới dạng sóng tiến hoặc sóng đứng.

Lực Coriolis tác động vuông góc với hướng chuyển động sẽ tạo nên sự quay phải (ở bắc bán cầu) hoặc quay trái (ở nam bán cầu) của dòng chảy triều.

Chúng ta sẽ xét ảnh hưởng của lực này trước hết trong trường hợp đơn giản: sự truyền sóng triều trong kênh hẹp, không có chuyển động ngang kênh, tức là nếu trục  $x$  hướng dọc theo trục kênh theo hướng truyền sóng, trục  $y$  hướng sang bên trái, thì các phương trình chuyển động sẽ là:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= -g \frac{\partial \xi}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial t} = -g \frac{\partial \xi}{\partial y} \end{aligned} \right\} = -g \left\{ \left\{ \frac{\partial \xi}{\partial x} \right\}, \left\{ \frac{\partial \xi}{\partial y} \right\} \right\} \text{ (79)}$$

Phương trình thứ nhất (79) cho thấy tính chất của chuyển động dọc kênh vẫn giống như trong trường hợp không có lực Coriolis, tức tương quan giữa dòng chảy dọc kênh và độ nghiêng mực dọc kênh vẫn như trong trường hợp sóng phẳng. Phương trình thứ hai (79) biểu thị sự cân bằng tĩnh giữa lực Coriolis và gradien áp suất do độ nghiêng ngang của

mực. Từ phương trình này có hệ thức địa chuyển:

$$\frac{\partial \xi}{\partial y} = -2\omega \sin \phi \cdot u \quad \left\{ \left\{ \frac{\partial \xi}{\partial y} \right\} = -2\omega \sin \phi \cdot u \right\} \quad (89)$$

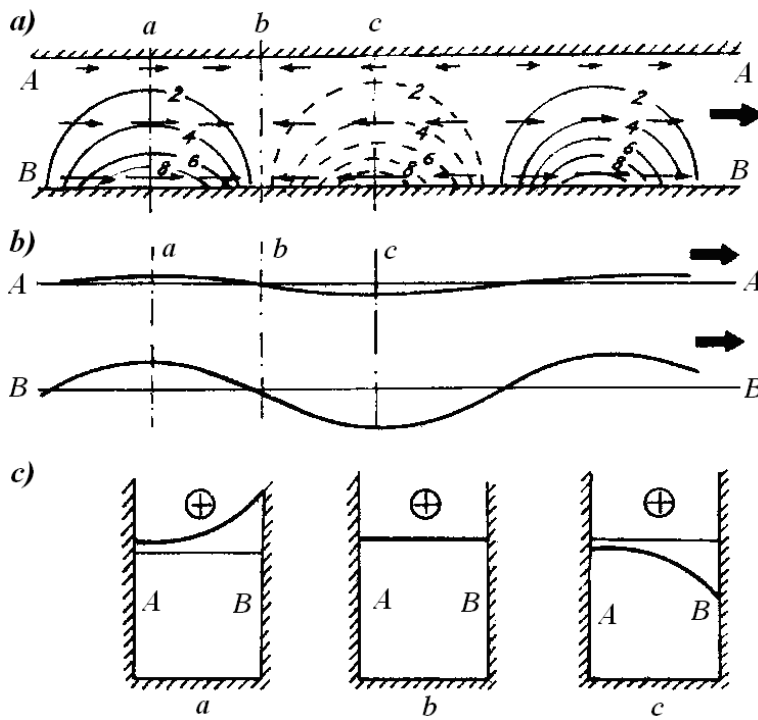
Như vậy sóng tiến trong kênh hẹp bây giờ không thể giữ nguyên là sóng phẳng, nó phải có độ chênh ngang để cân bằng lực Coriolis và độ chênh ngang này tỷ lệ thuận với vận tốc dòng chảy dọc. Nếu nhìn theo hướng truyền sóng tiến, thì ở bắc bán cầu mực nước ở đỉnh sóng phải nâng, còn ở đáy sóng – phải hạ thấp dần từ trái sang phải (quy tắc địa chuyển), làm tăng biên độ triều ở bờ phải và giảm biên độ triều ở bờ trái, mặc dù trên hướng trục  $x$  sóng vẫn là hình sin. Nhưng sự tỷ lệ giữa mực  $\xi$  và dòng  $u$  trong sóng tiến có nghĩa là dòng chảy dọc ở bờ phải cũng lớn hơn ở bờ trái, do đó độ dốc của chênh ngang  $\frac{\partial \xi}{\partial y}$  cũng tăng từ bờ trái sang bờ phải.

Tất cả những lập luận trên cũng thể hiện ở nghiệm giải tích của hệ được gọi là *sóng Kelvin*:

$$\xi = H e^{-m y} \cos(\sigma t - k x) \quad \left\{ \xi = H e^{-m y} \cos(\sigma t - k x) \right\},$$

$$u = \frac{g H}{C} e^{-m y} \cos(\sigma t - k x) \quad \left\{ u = \frac{g H}{C} e^{-m y} \cos(\sigma t - k x) \right\}, \quad (81)$$

trong đó  $m = f/C$ ,  $C = \sqrt{gh}$  vận tốc truyền sóng giống như trường hợp không có lực Coriolis;  $H$  biên độ mực nước;  $\sigma$  vận tốc góc của sóng;  $k$  số sóng. Hình 27 minh họa những đặc điểm của sóng Kelvin: a) địa hình mặt kênh được thể hiện bằng những đường đẳng độ cao (đường nét liền – cao hơn mực trung bình, đường nét đứt – thấp hơn mực trung bình); những mũi tên chỉ dòng chảy; b) các thiết diện mặt nước dọc các bờ trái và phải; c) các thiết diện mặt nước ngang kênh; các mũi tên đậm chỉ hướng truyền sóng, dấu  $\oplus$  chỉ sóng hướng vào phía trong mặt giấy.



Đặc điểm chuyển động trong

sóng Kelvin

Sự giao thoa của hai sóng Kelvin truyền ngược chiều nhau trong kênh sẽ tạo thành các điểm vô triều Taylor.

Nếu gốc tọa độ đặt tại một điểm trên trục kênh nơi hai sóng ngược pha nhau, thì mỗi sóng được viết dưới dạng:

$$\xi_+ = H e^{-m y} \cos(\sigma t - k x) \quad \xi_- = -n H e^{-m y} \cos(\sigma t + k x)$$

$$\xi_+ = H e^{-m y} \cos(\sigma t - k x) \quad \xi_- = -n H e^{-m y} \cos(\sigma t + k x)$$

trong đó  $n = \frac{H}{H_0}$  tỷ số biên độ của hai sóng ngược chiều nhau. Các biểu thức tương tự cũng có thể viết cho dòng chảy  $u_+$  và  $u_-$ . Chuyển động tổng cộng sẽ là  $\xi_+ + \xi_-$ ,  $u_+ + u_-$ .

Dòng chảy vẫn là thuận nghịch, hướng dọc theo x. Trên kênh xuất hiện một loạt các điểm vô triều, các đường đồng triều mực nước và dòng chảy có phương trình là:

$$\frac{\sigma}{NL} = \frac{e^{-m y} + n e^{-m y}}{e^{-m y} - n e^{-m y}} \tan k x, \quad \frac{\sigma}{D_{max}} = \frac{e^{-m y} - n e^{-m y}}{e^{-m y} + n e^{-m y}} \tan k x$$



$$t_{NL} = t_{Dmax} - t_{NL} \quad (82)$$

trong đó  $t_{NL}$  - thời gian nước lớn;  $t_{Dmax}$  - thời gian dòng chảy đạt cực đại.

Hoành độ của các điểm vô triều xa xác định từ điều kiện ngược pha của các sóng ngược nhau:

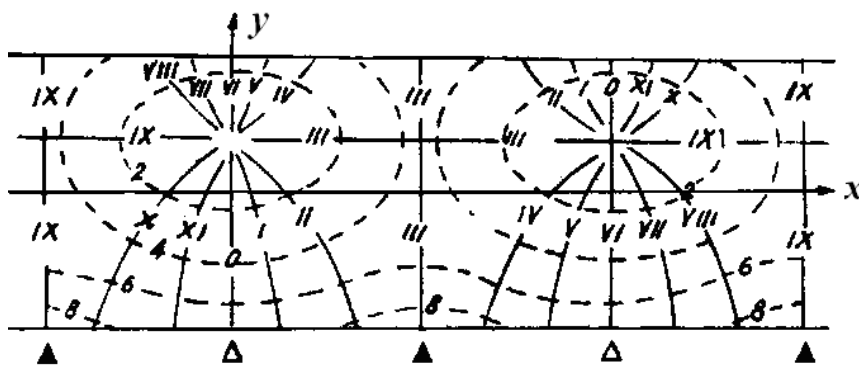
$$x = 0, \pm \lambda/2, \pm \lambda, \dots \quad (83)$$

với  $\lambda$  - bước sóng.

Tung độ  $y$  xác định từ điều kiện bằng nhau của các biên độ của các sóng ngược nhau gặp nhau ngược pha:

$$y = -\ln 2m = \frac{gh \ln 4 \omega \sin \phi}{\sqrt{gh} \ln n} \quad (84)$$

Trên hình 28 minh họa sự xuất hiện của loạt điểm vô triều với hệ thống đường đồng triều cùng quay ngược chiều kim đồng hồ. Biên độ dao động mực nước tăng dần từ điểm vô triều tới các cạnh kênh, đạt giá trị lớn nhất ở các góc kênh. Nếu nhìn theo hướng truyền sóng lớn hơn trong hai sóng, thì các điểm vô triều dịch khỏi trục kênh về bên trái. Nếu hai sóng bằng nhau, tức  $n=1$ , các điểm vô triều sẽ nằm ở trục giữa kênh (trường hợp Taylor tính cho Bắc Hải). Khi một sóng rất nhỏ, tức  $n \ll 1$ , các đường đồng triều tỏa tia quạt từ phía bờ trái báo hiệu sự tồn tại điểm vô triều tưởng tượng ở trên lục địa bờ trái.



Sự hình thành hệ thống

vô triều khi hai sóng Kelvin truyền ngược nhau trong kênh

Sverdrup khảo sát trường hợp sóng tiến truyền vào thủy vực phẳng rộng vô tận:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - fv = -g \frac{\partial \xi}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial t} + fu = 0 \quad (85)$$

Trong trường hợp này, lực Coriolis tác động lên sóng tiến truyền dọc trục  $x$  sẽ gây nên dòng chảy ngang không gặp bờ cản trở nên không tạo độ chênh mực ngang, các đỉnh sóng triều vẫn nằm ngang dọc trục  $y$ . Nghiệm nhận được, gọi là sóng Sverdrup, cho thấy  $u$  và  $v$  lệch pha  $1/4$

$\frac{1}{4}$  chu kỳ, tỷ số biên độ của chúng  $\frac{V}{U} = \frac{f}{\sigma}$ . Dòng chảy quay theo chiều kim đồng hồ (ở bắc bán cầu), hodograph có dạng ellip định hướng theo hướng chuyển động sóng.

Như vậy là, do ảnh hưởng của lực quay của Trái Đất, tùy thuộc vào điều kiện truyền sóng trong thủy vực, mà có thể hình thành chế độ chuyển động sóng phẳng hay hình thành những hệ thống vô triều, chế độ dòng chảy thuận nghịch hay dòng triều xoay mà người ta quan trắc thấy trong tự nhiên.

*Ảnh hưởng của lực ma sát tới truyền sóng triều* được khảo sát bằng cách nghiên cứu hệ phương trình chuyển động dạng:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} - g \frac{\partial \xi}{\partial x} - r u, \frac{\partial v}{\partial t} - g \frac{\partial \xi}{\partial y} - r v, \\ \left\{ \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= -g \frac{\partial \xi}{\partial x} - r u \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= -g \frac{\partial \xi}{\partial y} - r v \end{aligned} \right. \quad (86) \end{aligned}$$

trong đó lực ma sát được cho dưới dạng các số hạng tuyến tính, hệ số ma sát có thể xem như cho trước tỷ lệ thuận với vận tốc cực đại và tỷ lệ nghịch với độ sâu thủy vực.

Trong trường hợp truyền sóng phẳng vào thủy vực chỉ dọc theo hướng  $x$  và  $r = \text{const}$ , thì nghiệm của hệ phương trình trên:

$$\xi = A e^{-\mu x} \cos(\sigma t - kx) + B e^{\mu x} \cos(\sigma t + kx) \quad (87)$$

trong đó

$$\begin{aligned} k &= \sqrt{k^2 + \mu^2} \\ \mu &= \frac{\sigma}{\sqrt{gh}} \sqrt{\sqrt{\sigma^2 + r^2} - \sigma} \end{aligned}$$

sẽ mô tả hai sóng chạy ngược nhau với tốc độ pha:

$$C = \frac{\sigma}{k} = \frac{gh}{\sqrt{\sigma^2 + r^2} + \sigma} \quad (88)$$

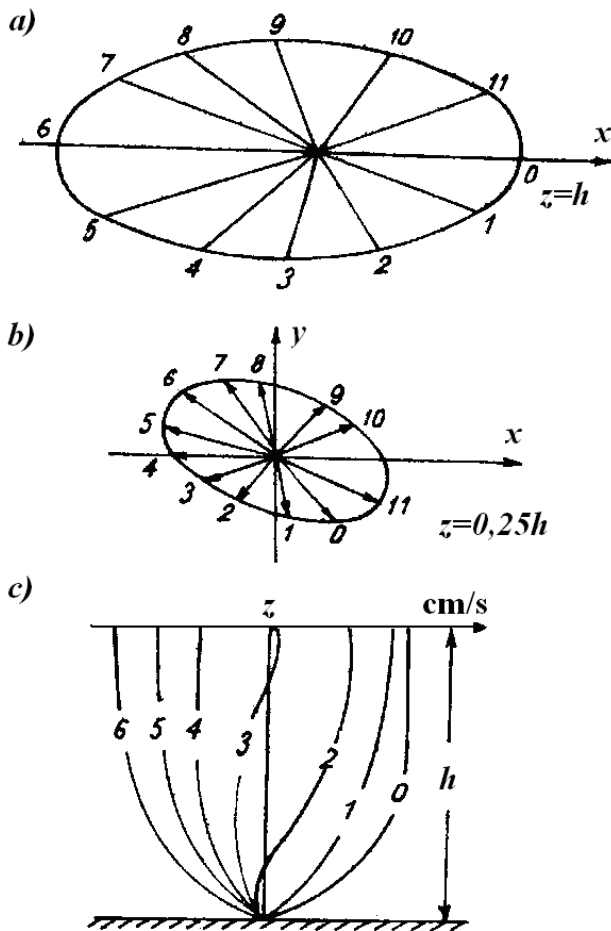
phụ thuộc vào vận tốc góc của sóng và hệ số ma sát. Biên độ sóng giảm theo hàm mũ với vận tốc giảm đặc trưng bởi hệ số  $\mu$ .

Biểu thức cho vận tốc dọc hướng truyền sóng:

$$u = A g h e^{-\mu x} \sqrt{\frac{g}{h}} \frac{k}{\sqrt{\mu^2 + k^2}} \cos(\sigma t - kx + \alpha) \quad (89)$$

với  $\alpha = \arctg(\mu/k)$   $\left\{ \alpha = \arctg \left( \frac{\mu}{k} \right) \right\}$ .

Độ lệch pha giữa mực nước và dòng chảy tỷ lệ với cường độ tắt dần của sóng, cực đại dòng xảy ra sớm hơn cực đại của mực nước.



Các ellip dòng triều và biến đổi tốc độ

dòng triều theo độ sâu khi có ma sát

**Hình 29. Các ellip dòng triều và biến đổi tốc độ dòng triều theo độ sâu khi có ma sát**

Những quan trắc thực tế cho thấy rằng ảnh hưởng của ma sát thể hiện chủ yếu ở các lớp sát đáy (lớp ma sát), bề dày của lớp này phụ thuộc vào chu kỳ triều và hệ số ma sát rối. Ở trên cao hơn lớp ma sát, triều lưu có đặc điểm giống như trong trường hợp không có ma sát, hodograph triều lưu hướng trục lớn theo hướng truyền sóng và tốc độ cực đại đạt vào lúc nước lớn và nước ròng (hình 29a). Ở lớp ma sát ellip triều hẹp hơn, trục lớn quay về phía bên phải (bắc bán cầu) so với hướng truyền sóng và tốc độ cực đại đạt sớm hơn lúc nước lớn và nước ròng (hình 29b). Đường cong biến đổi tốc độ dòng triều theo độ sâu có dạng như trên hình 29c, ở đây số 0 ứng với thời điểm nước lớn, số 1 ứng với 1 h sau nước lớn v.v... Rõ ràng, ở những lớp trên, dòng ít biến đổi với độ sâu, khi gần đến đáy thì giảm đột ngột.

#### 6.4. Khái niệm về các phương pháp phân tích điều hòa và dự tính thủy triều

Như đã nhận xét, dao động mực nước triều trong biển là một quá trình phức tạp. Những

lý thuyết thủy triều đã xét không cho phép áp dụng thực tế để tính toán thủy triều tại những địa điểm cụ thể của biển. Trong khi đó thực tiễn hàng hải và những hoạt động khác đòi hỏi con người phải biết được dao động mực nước ở những cảng, những vùng cụ thể với độ chính xác cần thiết và nhất là phải dự báo được mực nước triều cho tương lai. Những phương pháp thực nghiệm, trong đó phương pháp phân tích điều hòa và dự tính thủy triều là quan trọng nhất, cho phép giải quyết vấn đề này.

Tư tưởng xuất phát của các phương pháp phân tích điều hòa và tính trước thủy triều thuộc về Laplace. Khi nghiên cứu cách dự báo mực nước ở cảng Brest, Laplace thấy rằng công thức độ cao thủy triều tĩnh của Newton không cho kết quả phù hợp. Do ảnh hưởng của điều kiện địa lý của cảng, biên độ dao động của mực nước khác với biên độ của triều tĩnh và thời gian cực đại mực nước, tức thời gian nước lớn không xảy ra vào lúc Mặt Trăng thượng đỉnh trên kinh tuyến cảng. Từ đó, ông đưa vào công thức tính độ cao mực nước triều tĩnh học những hiệu chỉnh cho biên độ và pha của các thành phần dao động chu kỳ ngày và nửa ngày mà ông cho rằng chịu ảnh hưởng của vị trí địa lý cảng nhiều nhất.

Như vậy công thức độ cao triều sẽ có dạng:

$$\xi = P_1 \sin 2\phi \sin 2\delta \cos(t - \zeta_1) + P_2 \cos 2\phi \cos 2\delta \cos(2t - \zeta_2) + \dots$$

Những hiệu chỉnh biên độ và pha  $P_1, P_2, \zeta_1, \zeta_2$  được xác định trước từ chuỗi quan trắc mực nước thực tế.

Lý thuyết tổng quát về phân tích điều hòa được Doodson xây dựng, ông đã khai triển biểu thức thế vị của lực tạo triều của Newton (hay độ cao triều tĩnh học) thành chuỗi gồm 386 số hạng, trong đó 99 số hạng chu kỳ dài, 158 số hạng chu kỳ ngày và 115 số hạng chu kỳ nửa ngày. Mỗi số hạng trong biểu thức khai triển là một dao động điều hòa đơn giản, gọi là một sóng thủy triều, được đặc trưng bằng biên độ không đổi trong ngày và một đối số gồm hai phần: một phần không đổi trong ngày gọi là đối số thiên văn ban đầu và một phần biến đổi đều đặn trong ngày, tỷ lệ với thời gian Mặt Trời trung bình. Mỗi sóng điều hòa đơn giản như vậy được ký hiệu bằng một chữ cái kèm theo tên gọi và các đặc trưng không đổi của nó được tính trước theo giá trị của các thông số thiên văn có mặt trong đó và lập thành bảng. Bảng 9 dưới đây thể hiện một số đặc trưng của những sóng thủy triều cơ bản có đóng góp nhiều nhất vào dao động triều của mực biển. Cột biên độ trung bình nói nên phần đóng góp của mỗi sóng vào tổng biên độ chung của dao động của độ cao triều tĩnh học.

Bảng 9. Những sóng thủy triều cơ bản

Tên sóng	Biên độ	Vận tốc góc, Chu kỳ,
----------	---------	----------------------

Biểu thức	Tên sóng	trung bình	độ/giờ	giờ
	Những sóng bán nhật			
$M_2$	Mặt Trăng chính	0,454	28,984	12,420
$S_2$	Mặt Trời chính	0,212	30,000	12,000
$N_2$	Ellip Mặt Trăng lớn	0,088	28,440	12,658
$K_2$	Lệch góc Mặt Trăng – Mặt Trời	0,058	30,082	11,967
	Những sóng toàn nhật			
$O_1$	Mặt Trăng chính	0,189	13,943	25,819
$P_1$	Mặt Trời chính	0,088	14,959	24,066
$Q_1$	Ellip Mặt Trăng lớn	0,036	13,399	26,868
$K_1$	Lệch góc Mặt Trăng – Mặt Trời	0,266	15,041	23,934
	Những sóng nước nông			
$M_4$	Mặt Trăng phần tư ngày			
$M_6$	Mặt Trăng phần sáu ngày			
$MS_4$	Mặt Trăng – Mặt Trời phần tư ngày			
	Phụ thuộc mạnh vào điều kiện địa phương			
	57,968	6,210		
	86,952	4,140		
	59,016	6,100		

Ảnh hưởng của điều kiện địa lý điểm nghiên cứu được đưa vào bằng các hiệu chỉnh cho biên độ và pha của mỗi sóng. Như vậy, biểu thức của độ cao mực nước thực đo sẽ có dạng tổng của những sóng điều hòa đơn giản dạng:

$$fH \cos[qt + (V_0 + u) - g]$$

trong đó  $fH$  gồm hai phần:  $H$  biên độ trung bình chịu ảnh hưởng của điều kiện địa lý và không thay đổi đối với một địa điểm cụ thể;  $f$  hệ số suy giảm, phản ánh sự biến đổi của biên độ sóng theo thời gian phụ thuộc vào các điều kiện thiên văn được tính trước cho từng ngày của năm, phần đối số của sóng nằm trong hàm cosin gồm hai phần: phần biến đổi đều đặn theo thời gian  $qt$  và phần pha ban đầu, trong đó  $(V_0 + u)$  không đổi đối với một ngày nhất định và được tính trước cho

từng ngày của năm theo các thông số thiên văn của mỗi ngày; còn  $g$  size 12 {g} {} {} phân chậm pha do ảnh hưởng của vị trí địa lý, đối với một điểm cụ thể thì không đổi.

Những đại lượng  $H$  size 12 {H} {} {} và  $g$  size 12 {g} {} {} của mỗi sóng được gọi là những hằng số điều hòa thủy triều tại những địa điểm nhất định.

Bản chất của các phương pháp phân tích điều hòa thủy triều là sử dụng các chuỗi quan trắc mực nước ở một trạm nào đó để tính được các hằng số điều hòa của một số sóng cơ bản góp phần quan trọng tạo nên dao động mực nước tại trạm đó. Tùy thuộc vào độ dài của chuỗi mực nước thực đo mà người ta tính được các hằng số điều hòa của càng nhiều sóng thành phần. Chẳng hạn, phương pháp phân tích điều hòa của Darwin đã dùng chuỗi quan trắc từng giờ của mực nước dài 15 hoặc 30 ngày để xác định được 8 hoặc 11 sóng cơ bản trong bảng 9 hiện nay được coi là phương pháp chính để phân tích quan trắc mực nước.

Trên cơ sở những hằng số điều hòa đã tính được cho mỗi cảng biển, người ta dự tính mực nước triều cho những cảng đó trong tương lai. Những số liệu dự tính mực nước được công bố hàng năm dưới dạng các bảng thủy triều, trong đó ghi các độ cao mực từng giờ và thời gian cùng độ cao của nước lớn, nước ròng của mỗi ngày trong năm dự tính thủy triều.

## 6.5. Khái niệm về các phương pháp tính phân bố thủy triều trong không gian

Những phương pháp phân tích điều hòa và dự tính thủy triều chỉ cung cấp những đặc trưng thủy triều cho từng điểm cụ thể có chuỗi quan trắc mực nước dài ngày. Để có được khái niệm về sự phân bố độ lớn và pha dao động của mực nước của toàn vùng biển hoặc đại dương, người ta phải giải các phương trình chuyển động của thủy triều như đã nêu ở mục 6.3. Hiện nay thịnh hành các phương pháp số trị để giải các phương trình đó trên máy tính điện tử. Đặc điểm của các phương pháp số trị, khác với những khảo sát lý thuyết đã dẫn ở trên, là chúng cho phép giải các bài toán chuyển động triều trong những thủy vực thực bằng cách tính đến những ảnh hưởng của biển thực dưới dạng những lực ma sát, độ sâu thủy vực và điều kiện biên nhờ những quan trắc dòng triều hoặc mực triều tại đó. Kết quả giải các phương trình chuyển động triều sẽ cho thấy phân bố biên độ và biến đổi pha dao động từ điểm này đến điểm khác trên biển, tức lập được các bản đồ thủy triều có giá trị lớn trong việc phân tích quá trình truyền triều ở vùng nghiên cứu và rất cần cho công tác tính toán thiết kế công trình trên biển. Trong số các phương pháp số trị tính thủy triều, thì gần đây phương pháp Hansen được sử dụng rộng rãi, bằng phương pháp này người ta đã lập các bản đồ triều cho hầu hết các đại dương và biển trên thế giới.

Các câu hỏi để tự kiểm tra

- 1) Những nguyên nhân nào làm mực nước biển biến đổi?
- 2) Hãy mô tả hiện tượng thủy triều trong biển.
- 3) Lực tạo triều hình thành như thế nào?

- 4) Viết biểu thức thế vị của lực tạo triều.
- 5) Thực chất của các thuyết tĩnh học và động học thủy triều.
- 6) Lực quay Trái Đất gây nên những đặc điểm gì trong sự truyền sóng triều?
- 7) Các hằng số điều hòa của thủy triều là gì?

# Thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển

Lê Vĩnh Căn

Nước ta là nước có bờ biển rất dài, dài đến 3.260 km. Quanh năm sóng biển vỗ bờ. Khi có bão hoặc áp thấp nhiệt đới, sóng biển thường rất mạnh trong nhiều ngày liên tiếp. Trong những ngày có gió đông bắc hoặc gió tây nam, sóng biển trên nhiều vùng biển ở nước ta cũng rất lớn. Nước ta lại có nhiều hải đảo. Quanh đảo là biển. Vì vậy năng lượng của sóng biển ở ven bờ biển nước ta rất lớn. Có thể nói nguồn năng lượng đó là vô tận. Nhiều nước trên thế giới không có được thuận lợi như thế. Rất tiếc rằng ta đã chưa khai thác được lợi thế đó.

Nhưng sóng biển cũng gây sạt lở đất ở nhiều nơi. Một số đê, kè cũng có nguy cơ bị sạt lở do sóng biển. Khi có bão hoặc áp thấp nhiệt đới, sóng biển thường rất mạnh, tàu thuyền rất cần nơi trú ẩn an toàn cho qua cơn nguy hiểm.

Trong thời gian vừa qua ngành điện ở nước ta phát triển rất nhanh, nhưng vẫn không đáp ứng đủ điện cho nền kinh tế đang tăng trưởng nhanh và nhu cầu tiêu dùng của nhân dân. Ngành điện đã phải nhập khẩu thêm điện của Trung Quốc mà vẫn còn thiếu điện nghiêm trọng, ảnh hưởng lớn đến sản xuất và đời sống của nhân dân.

Biến đổi khí hậu, nước biển dâng, thiên tai ngày càng khốc liệt hơn do loài người đã sử dụng quá nhiều nhiên liệu hóa thạch. Nước ta là một trong những nước chịu nhiều thiệt hại nhất do biến đổi khí hậu, nước biển dâng. Nếu mực nước biển cao thêm 1 m thì gần 40% đồng bằng sông Cửu Long, 10% đồng bằng sông Hồng,... sẽ bị ngập chìm trong nước biển. Các nước trên thế giới đang phải tìm mọi cách sử dụng năng lượng tái tạo để phát điện, nhưng chưa được bao nhiêu và giá thành phát điện còn cao hơn nhiều so với các loại điện khác.

## 1. Nội dung của thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển:

Từ cuối năm 2011, tôi đã nghĩ đến chuyện sau khi phân chuyển lực trong điện sóng biển đã biến chuyển động quay đi, quay lại thành chuyển động quay theo một chiều nhất định, có thể cho chạy máy bơm nước để bơm nước biển lên một hồ nước ở trên cao. Ta có thể xây nhà máy điện ở phía dưới để phát điện giống như một công trình thủy điện. Nhưng tôi không đi theo hướng này vì khi đó tôi nghĩ như sau:

- Phải xây dựng hồ chứa nước lớn chiếm nhiều đất và rất tốn kém.
- Một phần nước trong hồ bị hao hụt do bay hơi và ngấm xuống đất.
- Đường ống dẫn nước phải lớn hơn đường ống dẫn khí nén rất nhiều.



- Nước biển có độ ăn mòn cao nhưng máy bơm phải bơm nước biển và tuabin phát điện phải quay trong nước biển.
- Tạo một hồ chứa nước mặn cao hơn những vùng đất gần đó. Vậy sau này nước mặn ngấm xuống đất có làm cho những vùng đất gần đó dần dần bị nhiễm mặn hay không?

Vừa qua một thành viên trên Diễn đàn Kỹ sư Công trình biển có giới thiệu với tôi bài: “Ý tưởng công nghệ sử dụng năng lượng thủy triều”. Trong bài này tác giả dùng các bong bóng cao su tạo ra khí nén khi thủy triều lên để chạy máy bơm bơm nước lên hồ chứa trên cao dự trữ thế năng. Sau đó dùng nguồn thế năng này để chạy máy phát điện và các mục đích khác. Đọc bài đó làm tôi nhớ lại những suy nghĩ trước đây của tôi.

Hoàn cảnh bây giờ và trước đây của tôi đã khác nhau rất nhiều. Trước đây, khi có những suy nghĩ đó, tôi chưa tính được khả năng phát điện của năng lượng sóng biển, chưa thể biết được khả năng phát điện theo từng tháng trong năm ra sao, chưa xác định được công suất lắp máy cho điện sóng biển và chưa tích lũy được nhiều thông tin như hiện nay. Nhưng cuối tháng 12 năm 2011, tôi đã nghĩ ra được phương pháp tính toán khả năng phát điện của năng lượng sóng biển và có thể tính được khả năng phát điện theo từng tháng trong năm. Sau đó đầu năm 2013 tôi lại nghĩ ra phương pháp mới để thay thế cho phương pháp cũ. Tháng 9 năm 2012, tôi đã sưu tầm công suất lắp máy và khả năng sản xuất điện hàng năm của những nhà máy thủy điện lớn nhất nước ta (công suất lắp máy từ 300 MW trở lên) hiện đã có và đang xây dựng. Qua đó tôi thấy chỉ duy nhất có Nhà máy Thủy điện Yali bình quân năm sử dụng 58,35% công suất lắp máy. Tất cả các Nhà máy Thủy điện còn lại bình quân năm chỉ sử dụng dưới 50% công suất lắp máy. Trong đó có 2 Nhà máy Thủy điện bình quân năm chỉ sử dụng dưới 40% công suất lắp máy là Hàm Thuận + Đa Mi và Đồng Nai 4. Như vậy ta có thể tính công suất lắp máy của điện sóng biển lớn gấp đôi công suất bình quân năm. Khi đó khối lượng dự trữ khí nén không cần phải quá nhiều. Khi đã chạy hết tất cả các tổ máy phát điện, lượng khí nén dự trữ chỉ tăng lên chủ yếu trong tháng 1 mà thôi.

Vấn đề bây giờ là làm thế nào để có thể bơm nước biển lên cho thật cao, bơm được càng cao càng tốt vì nếu bơm được nước biển lên càng cao thì hồ chứa nước biển càng có thể nhỏ hơn và đường ống dẫn nước biển cũng càng có thể nhỏ hơn. Rất may là khi mở mạng máy tính, tôi đã thấy nhiều nơi có những loại bơm có thể bơm nước lên khá cao. Thí dụ như: Công ty Cổ phần Chế tạo bơm Hải Dương có bơm ly tâm nhiều cấp trục ngang LTC105-49x7 lưu lượng 105 m<sup>3</sup>/h, cột áp 343 m; ngay bơm ly

tâm một cấp trục ngang cũng có bơm LT200-125 lưu lượng 160-220 m<sup>3</sup>/h, cột áp 140-105 m.

Trong các nhà máy thủy điện, phạm vi hoạt động của các tổ máy phát điện là từ mực nước chết trong hồ chứa nước cho đến mực nước dâng tối đa. Đối với các công trình thủy điện lớn, chênh lệch này có thể lên đến vài chục mét. Thí dụ như Nhà máy Thủy điện Hòa Bình có mực nước dâng tối đa là 120 m, mực nước chết là 80 m, chênh lệch nhau tới 40 m, nhưng các tổ máy phát điện vẫn hoạt động tốt. Đó là do chúng được tự động điều chỉnh tốc độ tuabin thủy lực.

Từ đó tôi có suy nghĩ về nhà máy thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển như sau:

Nhà máy thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển nên được xây dựng ở nơi cao ráo và ngay cạnh biển. Nhà máy có những tổ máy phát điện chạy bằng nước có áp suất cao và có một vài tổ máy phát điện chạy bằng nước có áp suất thấp. Các tổ máy phát điện này đều được tự động điều chỉnh tốc độ tuabin thủy lực. Tổng công suất của những tổ máy phát điện chạy bằng nước có áp suất cao nên gấp đôi công suất phát điện bình quân năm. Nhà máy cần có cửa xả nước để khi tắt cả các tổ máy phát điện chạy bằng nước có áp suất cao đều chạy, nhưng vẫn còn thừa nước, ta có thể mở dần cửa xả để nước thoát ra ngoài và giảm bớt áp lực nước.

Dựng khung đỡ trong khoảng 1 km<sup>2</sup> mặt biển có thể cung cấp năng lượng chạy các tổ máy phát điện với tổng công suất vài trăm MW. Khung đỡ như thế nào? Cách đưa khung đỡ xuống biển ra sao? Trên khung đỡ có những gì? Các thiết bị đó vận hành ra sao? Cách tính và kết quả tính toán khả năng phát điện của năng lượng sóng biển khi sử dụng khoảng 1 km<sup>2</sup> mặt biển ra sao? Tôi đã mô tả rõ những điều đó trong bài: "Nguồn điện vô cùng to lớn và khá rẻ?" trên Diễn đàn webdien.com – Cầu nối dân điện ngày 25/03/2013 trong mục Hệ thống năng lượng mới.

Phía dưới biển cũng có khung đỡ, các phao, bộ phận giữ phao, phần chuyển lực như điện sóng biển. Nhưng bơm nén khí được thay bằng bơm nước áp lực cao, các đường ống dẫn khí nén được thay bằng các đường ống dẫn nước biển. Bơm nước áp lực cao ở đây chỉ cần đầu bơm, không cần động cơ vì đã có sẵn nguồn lực rất lớn từ sóng biển rồi. Độ cao của khung đỡ chỉ nên khoảng gần 10 m và bơm nước nên đặt ở tầng liên kết dưới để việc bơm nước được dễ dàng. Đầu bơm nước, xin nhờ các chuyên gia về máy bơm nước chọn giúp cho có hiệu quả nhất. Nước ta đã có những nơi sản xuất máy bơm nước. Khi thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển thành công, nhu cầu đầu bơm nước áp lực cao rất lớn. Khi đó ta có thể nêu các yêu cầu kỹ thuật cụ thể và đặt hàng để sản xuất hàng loạt lớn loại bơm này ở trong nước.

Khi sử dụng khoảng 1 km<sup>2</sup> mặt biển, gần 9.000 bơm lớn cùng hoạt động sẽ cho ra khối lượng nước lớn như nước của một dòng sông. Phải làm sao đưa được dòng nước lớn có áp lực cao đó về nhà máy để chạy các tổ máy phát điện? Chắc là nhiều người có những cách hay để làm việc này, riêng tôi, tôi cũng đã trình bày suy nghĩ của tôi trong bài: “Đường dẫn nước của thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển” trên các Diễn đàn webdien.com – Cầu nối dân điện và Tài nguyên nước Việt Nam ngày 07/05/2013.

Trong bài đó tôi đã chuyển khung đỡ sang hình bình hành gồm 7 hàng bơm, mỗi hàng có 1.279 bơm, tổng cộng có 8.953 bơm và khung đỡ sẽ chiếm diện tích là 999.580 m<sup>2</sup> mặt biển. Hình bình hành đó có đáy 14.964,9 m và chiều cao 66,79 m. Như vậy trên khung đỡ sẽ có 1.279 ống dẫn nước, mỗi ống sẽ gom nước của 7 bơm và cho chảy ra đường dẫn nước chính. Đường dẫn nước như một đường hầm lớn bằng bê tông dài đến 15 km, nên ta phải cắt ra thành 1.279 đoạn, mỗi đoạn dài 11,7 m và trên đầu có gắn ống thép để hàn nối ống dẫn nước từ khung đỡ vào. Đường hầm lớn đó, mới đầu nhỏ, sau to dần do càng về sau càng nhận được nhiều nước hơn. Nhưng ta không thể đặt đường dẫn nước đó xuống biển vì ở dưới nước rất khó xây để nối các đoạn bê tông đó lại với nhau.

Vì vậy ta phải làm trước đoạn đê cao hơn mực nước biển khoảng 2 m đến 3 m, sườn đê được bao phủ bằng bê tông để đặt đường dẫn nước lên trên đó. Đoạn đê này hình chữ L gồm 2 đoạn: đoạn đầu dài 15 km để đặt đường dẫn nước thu nước từ khung đỡ sang, đoạn sau nối từ đoạn đầu tới nhà máy điện trên đó cũng đặt đường dẫn nước, nhưng trên đoạn này không thu thêm nước nữa. Tại vùng biển từ Hà Tĩnh đến Ninh Thuận, khung đỡ cần đặt ngay gần bờ và song song với hướng của đường bờ biển vì vậy khung đỡ chỉ cần đặt ở nơi biển sâu khoảng từ 5 m đến 6 m. Mở rộng ra các vùng biển khác, khung đỡ cũng phải đặt như vậy. Đê làm ở phía trong khung đỡ và cách khung đỡ khoảng gần chục mét. Gió trong bão hoặc áp thấp nhiệt đới quay ngược chiều kim đồng hồ, vì thế tùy theo từng vùng biển mà nhà máy và phần hở của đoạn đê hình chữ L này có thể đặt ở những vị trí khác nhau. Theo tôi nghĩ khi làm đoạn đê này cần lưu ý đến cả 2 yêu cầu sau:

- Sóng càng lớn càng bơm được nhiều nước và càng phát ra được nhiều điện. Khung đỡ được đặt ở phía ngoài và gần đê, ngay chỗ sóng tới và sóng phản xạ gặp nhau, vì vậy mặt đón sóng của đê cần bố trí sao cho sóng ở vùng có khung đỡ càng lớn càng tốt.
- Vốn đầu tư không nên quá lớn.

Khi sóng biển nhỏ, lực bơm nước không mạnh, cho chạy 1 hoặc một số tổ máy phát điện chạy bằng nước có áp suất thấp. Khi sóng biển lớn, lực bơm nước mạnh, đã đủ áp suất để chạy tổ máy phát điện chạy

bằng nước có áp suất cao, ta cho chạy 1 tổ máy phát điện loại này và cho tắt cả các tổ máy phát điện chạy bằng nước có áp suất thấp ngừng chạy. Nếu còn thừa nước, ta cho chạy thêm tổ máy phát điện chạy bằng nước có áp suất cao. Khi sóng biển rất mạnh, tắt cả các tổ máy phát điện chạy bằng nước có áp suất cao đều chạy, nhưng vẫn còn thừa nước, ta có thể mở dần cửa xả để nước thoát ra ngoài và giảm bớt áp lực nước. Do tổng công suất của những tổ máy phát điện chạy bằng nước có áp suất cao gấp đôi công suất phát điện bình quân năm nên ít khi phải mở cửa xả. Nếu tỷ lệ đó lên tới 2,5 thì rất ít khi phải mở cửa xả. Khi sóng biển bớt mạnh, áp lực nước giảm, ta đóng cửa xả lại. Khi sóng biển yếu hơn, ta giảm dần việc hoạt động của các tổ máy phát điện chạy bằng nước có áp suất cao. Khi sóng tiếp tục yếu hơn nữa ta chỉ cho các tổ máy phát điện chạy bằng nước có áp suất thấp hoạt động. Các tỷ lệ 2 và 2,5 vừa nêu trên không phải là quá lớn vì đại bộ phận các nhà máy thủy điện lớn nhất nước ta (công suất lắp máy từ 300 MW trở lên) tỷ lệ đó đều lớn hơn 2, riêng 2 nhà máy thủy điện Hàm Thuận + Đa Mi và Đồng Nai 4 tỷ lệ đó lớn hơn 2,5.

Như vậy, việc bảo dưỡng, sửa chữa các tổ máy phát điện chạy bằng nước có áp suất cao nên làm trong mùa sóng nhỏ. Ngược lại, việc bảo dưỡng, sửa chữa các tổ máy phát điện chạy bằng nước có áp suất thấp nên làm trong mùa sóng lớn.

Trong phần bổ sung ở cuối bài: "Nguồn điện vô cùng to lớn và khá rẻ?", tôi đã có biểu:

**Tính khả năng phát điện cho các vùng biển Việt Nam theo từng độ cao sóng khi sử dụng khoảng 1 km<sup>2</sup> mặt biển cho phao hình trụ tròn đường kính 6 m**

Vùng biển	Đơn vị tính	Tháng 1	Tháng 2	Tháng 3	Tháng 4	Tháng 5	Tháng 6	Tháng 7	Tháng 8	Tháng 9	Tháng 10	Tháng 11	Tháng 12	Cả năm
<b>Bắc Vịnh Bắc Bộ</b>														
- Công suất phát điện	MW	146,88	96,44	107,03	82,03	76,45	131,31	116,78	86,10	80,76	106,01	114,70	139,23	107,12
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	109,28	64,81	79,63	59,07	56,88	94,55	86,88	64,06	58,15	78,87	82,58	103,59	938,3
<b>Nam Vịnh Bắc Bộ</b>														
<b>Thanh Hóa đến Nghệ An</b>														
- Công suất phát điện	MW	164,23	110,87	120,73	90,03	80,96	125,46	116,64	91,24	91,08	119,67	121,62	164,59	116,58
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	122,19	74,51	89,82	64,82	60,24	90,33	86,78	67,88	65,58	89,03	87,57	122,46	1.021,2
<b>Hà Tĩnh đến Quảng Bình</b>														
- Công suất phát điện	MW	164,19	110,85	120,70	90,01	80,95	125,44	116,62	91,22	91,06	119,64	121,59	164,55	116,55
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	122,16	74,49	89,80	64,81	60,22	90,31	86,76	67,86	65,56	89,01	87,55	122,43	1.021,0
<b>Quảng Trị đến Quảng Ngãi</b>														
- Công suất phát điện	MW	237,01	149,07	150,19	85,15	58,12	123,14	114,89	88,15	88,52	176,40	123,69	227,48	135,37
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	176,34	100,17	111,74	61,31	43,24	88,66	85,48	65,59	63,73	131,24	89,06	169,24	1.185,8
<b>Bình Định đến Ninh Thuận</b>														
- Công suất phát điện	MW	321,11	197,10	178,65	92,40	89,10	193,06	204,66	208,79	129,74	172,92	132,15	261,87	182,16
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	238,91	132,45	132,91	66,53	66,29	139,00	152,27	155,34	93,41	128,65	95,15	194,83	1.595,7
<b>Bình Thuận đến Cà Mau</b>														
- Công suất phát điện	MW	363,26	268,21	203,62	100,37	157,52	284,94	286,53	335,93	251,43	161,07	154,78	302,92	239,43
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	270,27	180,24	151,49	72,27	117,19	205,15	213,18	249,93	181,03	119,84	111,44	225,38	2.097,4
<b>Cà Mau đến Kiên Giang</b>														
- Công suất phát điện	MW	77,91	31,51	18,73	5,40	47,55	93,67	84,83	75,99	63,55	17,68	17,43	58,42	49,58
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	57,97	21,18	13,93	3,89	35,38	67,44	63,11	56,53	45,75	13,16	12,55	43,46	434,4

Các số liệu trong biểu này có được nhờ việc tính toán độ cao sóng biển của 777 bản tin dự báo sóng biển của Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương mà tôi đã thu thập được trong tháng 12 năm 2011

và từ chiều ngày 04/03/2012 đến sáng ngày 04/03/2013. Đây là biểu tính toán cho điện sóng biển dùng khí nén nên tôi đã tính với hệ số chuyển đổi là 0,2. Do độ cao của sóng biển khác nhau nên độ cao của các phao trên từng vùng biển cũng có khác nhau. Cụ thể là các phao đều có hình trụ tròn đường kính 6 m, nhưng tại các vùng biển Bắc Vịnh Bắc Bộ và Nam Vịnh Bắc Bộ phao cao 2 m, tại vùng biển Quảng Trị đến Quảng Ngãi phao cao 2,5 m, tại các vùng biển Bình Định đến Ninh Thuận và Bình Thuận đến Cà Mau phao cao 3 m, tại vùng biển Cà Mau đến Kiên Giang phao chỉ cao 1,5 m. Nếu ai muốn sử dụng các số liệu trong biểu này cho thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển, xin hãy nhân các số liệu đó với 5 để có được số liệu về năng lượng sóng biển thu được, sau đó nhân với hệ số do các bạn dự kiến cho thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển. Nếu sóng không lớn hơn mà dùng phao cao hơn thì lượng điện thu được tăng lên không nhiều, không tương xứng với việc tăng độ cao của phao. Có thể tham khảo điều này trong biểu: “Tính thử công suất và khả năng phát điện theo 2 phương án khi sử dụng năng lượng sóng trên 1 km<sup>2</sup> mặt biển” trong mục 3.3 về “Tính thử cho các vùng biển gần bờ của nước ta” trong bài: “Nguồn điện vô cùng to lớn và khá rẻ?”

## **2. Ba vấn đề lớn cần nhờ sự giúp đỡ của các chuyên gia:**

Trong thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển có 3 vấn đề lớn cần nhờ sự giúp đỡ của các chuyên gia như sau:

### **2.1. Sức mạnh của sóng biển gần bờ:**

Sóng biển mạnh nhất trong những tháng có gió đông bắc thổi mạnh. Khi đó đang là giữa mùa khô của Bắc Bộ và Tây Nguyên, thủy điện đang rất cần các nguồn điện khác hỗ trợ. Nên khung đỡ cần đặt theo hướng tây bắc - đông nam và cần vươn xa ra biển để đón sóng từ gió đông bắc. Nhưng tại vùng biển từ Hà Tĩnh đến Quảng Ngãi, đường bờ biển chạy theo hướng tây bắc – đông nam hoặc gần với hướng đó nên khung đỡ phải đặt song song với hướng của đường bờ biển. Tại vùng biển Bình Định đến Ninh Thuận đường đẳng sâu 20 m ở rất gần bờ, nên khung đỡ cũng phải đặt song song với hướng của đường bờ biển. Sóng biển gần bờ và sóng biển xa bờ có khác nhau. Các bản tin dự báo sóng biển của Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương chủ yếu phục vụ cho tàu thuyền đi lại trên biển xa. Nhưng tại các vùng biển từ Hà Tĩnh đến Ninh Thuận khung đỡ phải đặt ngay gần bờ và song song với hướng của đường bờ biển. Tại các vùng biển này, sóng đã được tích lũy năng lượng từ rất xa lao vào vùng biển ngày càng nông dần. Tại những nơi không bị vướng đảo Hải Nam, sóng đã được tích lũy năng lượng từ xa hàng nghìn km. Gặp trở ngại như vậy, độ cao của sóng khi ở nơi biển chỉ còn sâu khoảng 5 m đến 6 m có cao hơn khi ở ngoài biển xa hàng chục km hay không? Rất mong các chuyên gia về tài nguyên nước, về công trình biển,

về hải dương học,... ước tính giúp để tính cho thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển trên những vùng biển này.

## 2.2. Sóng tới và sóng phản xạ gặp nhau:

Sóng biển đã được tích lũy năng lượng từ rất xa lao vào gặp đê đã được bao phủ bằng bê tông chắc chắn, không khác gì lao vào vách núi đá, sóng sẽ bị bật ra. Khung đỡ nằm ngoài đê ở ngay chỗ sóng tới và sóng phản xạ gặp nhau, sóng lại càng dữ dội hơn, các phao bị nâng lên, hạ xuống mạnh hơn sẽ lại càng cho nhiều năng lượng hơn để chạy các máy bơm nước. Kính mong các chuyên gia về tài nguyên nước, về công trình biển, về hải dương học,... ước tính giúp trong phạm vi khoảng gần 100 m đó, sóng sẽ cao thêm khoảng bao nhiêu phần trăm? Ở vùng có khung đỡ, ta đang cần sóng càng lớn càng tốt vậy mặt phẳng bê tông đón sóng ở sườn đê nên để thẳng đứng hay để nghiêng như các đê thông thường?

## 2.3. Hệ số chuyển đổi từ năng lượng sóng biển thu được sang điện:

Trong điện sóng biển dùng khí nén, khi chuyển từ năng lượng sóng biển thu được sang khí nén, rồi từ khí nén sang điện, tôi tạm tính hệ số là 0,2. Trong thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển thì năng lượng sóng biển thu được dùng chạy máy bơm để bơm nước biển có áp suất cao chạy các tổ máy phát điện. Trong thủy điện tích năng, từ điện phải chuyển sang cơ để có lực bơm nước lên hồ chứa trên cao và dùng nước đó để chạy các tổ máy phát điện. Nước ở trong hồ cũng sẽ bị hao hụt một phần nhỏ do bị ngấm xuống đất và bị bay hơi. Trên thế giới đã có rất nhiều nhà máy thủy điện tích năng và nước ta cũng sẽ xây dựng một số nhà máy thủy điện tích năng lớn. Như vậy tỷ lệ giữa điện do thủy điện tích năng sản xuất ra và điện sử dụng để bơm nước lên hồ chứa nước ở trên cao chắc là không đến nỗi quá nhỏ. So với thủy điện tích năng thì thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển bớt hẳn được khâu từ điện phải chuyển sang cơ vì đã có sẵn nguồn lực rất lớn thu được từ sóng biển rồi. Vì thế hệ số chuyển đổi từ năng lượng sóng biển thu được sang điện trong thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển có khả năng lớn hơn 0,2. Hệ số đó khoảng bao nhiêu? Xin nhờ các chuyên gia về bơm nước và các chuyên gia về thủy điện ước tính giúp cho chính xác và khách quan.

Sóng biển cao hơn sẽ nảy sinh 2 vấn đề là:

- Nên dùng phao cao hơn cho tương xứng với độ cao của sóng biển để thu thêm được nhiều năng lượng sóng biển hơn.
- Có thể nghĩ đến việc tăng số lượng hàng bơm để rút ngắn độ dài của đê và đường dẫn nước. Khi đó khung đỡ sẽ phải đỡ thêm lượng nước lớn hơn nữa nên các cột chống gần đường dẫn nước phải làm to hơn.

Vùng biển từ Hà Tĩnh đến Ninh Thuận, sóng do gió đông bắc lao thẳng vào bờ hoặc chéch bờ, rất thuận lợi cho thủy điện chạy bằng năng

lượng sóng biển, khung đỡ đặt ngay gần bờ và có đê ở ngay sau khung đỡ, sóng biển sẽ cao hơn. Trong thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển, hệ số chuyển đổi từ năng lượng sóng biển thu được sang điện có khả năng lớn hơn 0,2. Như vậy sẽ nảy sinh vấn đề là **khi sử dụng cùng một diện tích mặt biển như nhau và khi gió đông bắc thổi mạnh thì khả năng phát điện của thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển trên các vùng biển Quảng Trị đến Quảng Ngãi và Bình Định đến Ninh Thuận có thể lớn hơn hoặc bằng khả năng phát điện của điện sóng biển dùng khí nén trên vùng biển Bình Thuận đến Cà Mau hay không?** Đây là vấn đề khá thú vị, rất mong mọi người trao đổi nhiều về vấn đề này.

Trong khi chờ các số liệu cụ thể, để minh họa cho câu này tôi tạm tính thử như sau:

- Từ Hà Tĩnh đến Ninh Thuận, khung đỡ phải đặt song song với hướng của đường bờ biển vì vậy tạm đề:
  - Từ Hà Tĩnh đến Quảng Ngãi, khung đỡ đặt theo hướng tây bắc - đông nam.
  - Từ Bình Định đến Ninh Thuận, khung đỡ đặt theo hướng bắc - nam.
- Khi gió thổi thẳng góc với khung đỡ, độ cao của sóng tăng thêm 20%.
- Khi gió thổi chệch khung đỡ một góc 45 độ, độ cao của sóng tăng thêm 10%.
- Khi gió thổi chệch khung đỡ một góc 67,5 độ, độ cao của sóng tăng thêm 15%.
- Khi gió thổi chệch khung đỡ một góc 22,5 độ, độ cao của sóng tăng thêm 5%,...
- Khi gió thổi song song với khung đỡ hoặc thổi từ đất liền ra thì tạm giữ nguyên độ cao của sóng.
- Do đã tính cụ thể từng hướng gió rồi, nên mức giảm công suất phát điện do sóng phải đi qua 7 hàng phao chỉ tính với mức chung là 10%.
- Hệ số chuyển đổi từ năng lượng sóng biển thu được sang điện là 0,25

Khi đó có kết quả tính toán như trong biểu sau:

**Thử so sánh khả năng phát điện của thủy điện sóng biển và thủy điện dùng khí nén  
khí sử dụng khoảng 1 km<sup>2</sup> mặt biển cho phao hình trụ tròn đường kính 6 m**

Vùng biển	Đơn vị tính	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Cả năm
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Thủy điện sóng biển														
Hà Tĩnh đến Quảng Bình														
- Công suất phát điện	MW	293,21	202,78	216,11	158,88	131,52	186,76	181,99	134,81	168,20	221,08	217,50	296,41	200,95
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	218,15	136,27	160,79	114,39	97,85	134,47	135,40	100,30	121,11	164,49	156,60	220,53	1 760,3
Quảng Trị đến Quảng Ngãi														
- Công suất phát điện	MW	364,56	246,46	248,98	148,23	88,47	169,78	162,99	118,06	156,14	283,53	211,10	357,17	213,14
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	271,23	165,62	185,24	106,73	65,83	122,24	121,27	87,84	112,42	210,95	151,99	265,74	1 867,1
Bình Định đến Ninh Thuận														
- Công suất phát điện	MW	464,79	301,52	280,08	162,58	126,06	258,90	283,47	283,77	197,49	266,64	211,29	383,52	268,74
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	345,80	202,62	208,38	117,06	93,79	186,41	210,90	211,13	142,19	198,38	152,13	285,34	2 354,1
Thủy điện dùng khí nén														
Bình Thuận đến Cà Mau														
- Công suất phát điện	MW	363,26	268,21	203,62	100,37	157,52	284,94	286,53	335,93	251,43	161,07	154,78	302,92	239,43
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	270,27	180,24	151,49	72,27	117,19	205,15	213,18	249,93	181,03	119,84	111,44	225,38	2 097,4

Tôi đã có cách tính để khi thay đổi các hệ số vừa dùng tính thử thì toàn bộ 777 bản tin dự báo sóng biển đã thu thập sẽ được tự động rà soát lại và cho ra ngay kết quả tính toán mới. Rất mong các chuyên gia cho giúp các số liệu cụ thể để có kết quả tính toán chính xác hơn.

### 3. Nhận xét:

Qua các việc đã trình bày ở trên ta có thể thấy:

- Không có hồ chứa nước lớn, không phải xây đập lớn nên việc đầu tư giảm đi rất nhiều.
- Không có lượng nước bay hơi và ngấm xuống đất. Không có sự nhiễm mặn tại những vùng dân ở gần đó.
- Do phải bơm nước với áp lực cao, nên độ lớn của các đường ống và đường hầm dẫn nước sẽ giảm đi rất nhiều.
- Máy bơm phải bơm nước biển và tuabin phát điện phải quay trong nước biển. Nhưng đây đều là những thứ dày dặn, nước biển cũng không thể làm hỏng nhanh các thiết bị này. Chân vịt của các tàu biển phải thường xuyên hoạt động trong nước biển, nhưng từ bao lâu nay người ta vẫn cứ phải dùng đến nó.
- Chỉ trừ những chỗ có các đảo hoặc bán đảo che chắn, sóng biển không mạnh. Suốt dọc ven biển nước ta, chỗ nào không có đá ngầm để dễ đặt khung đỡ gần bờ và làm đường dẫn nước, đều có thể xây dựng được nhà máy thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển.
- Đê và đường dẫn nước đặt trên nó sẽ cao khoảng 7 m và có hình chữ L. Như vậy phía trong nó là vùng biển không có sóng dài gần 15 km, rộng hàng km. Tàu thuyền đánh cá và những tàu nhỏ đậu trong đó tránh bão



và áp thấp nhiệt đới rất an toàn. Nếu bờ biển vùng này trước đây hay bị sạt lở do sóng biển thì nay cũng không còn sóng để gây sạt lở nữa.

- Trong 6 vùng biển gần bờ của nước ta, vùng biển Bình Thuận đến Cà Mau là vùng có sóng biển lớn nhất và hội tụ mọi điều kiện thuận lợi nhất cho điện sóng biển dùng khí nén. Sau đó các vùng biển có sóng lớn thứ hai, thứ ba, thứ tư lần lượt là: Bình Định đến Ninh Thuận, Quảng Trị đến Quảng Ngãi và Nam Vịnh Bắc Bộ. Nhưng từ Hà Tĩnh đến Ninh Thuận, khung đỡ phải đặt gần bờ và song song với hướng của đường bờ biển, rất thuận lợi cho thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển.
- Nhìn vào số liệu trong biểu thứ 2 ta thấy: Vùng biển Hà Tĩnh đến Quảng Bình tuy không cho nhiều điện như các vùng biển Quảng Trị đến Quảng Ngãi và Bình Định đến Ninh Thuận nhưng tỷ lệ giữa công suất phát điện bình quân tháng lớn nhất là tháng 1 so với công suất phát điện bình quân năm chỉ là 1,46, còn 2 vùng kia là 1,71 và 1,73. Như vậy tại vùng biển Hà Tĩnh đến Quảng Bình, khi tổng công suất của những tổ máy phát điện chạy bằng nước có áp suất cao gấp đôi công suất phát điện bình quân năm sẽ rất ít khi phải mở cửa xả nước.
- Qua 2 biểu tính toán trên, ta có thể thấy lượng điện sóng biển phát ra lớn nhất tập trung vào các tháng 12, 1 và 2. Khi đó là giữa mùa khô của Bắc Bộ và Tây Nguyên, thủy điện đang rất cần sự hỗ trợ của các nguồn điện khác.
- Đường dẫn nước và đê hình chữ L. Đoạn sau dài hàng km hoặc hơn thế nữa, vì thế để có hiệu quả kinh tế, đoạn trước cũng phải khá dài, số lượng bơm nước phải khá nhiều và công suất của nhà máy phát điện phải khá lớn. Nếu bơm nước với áp lực không cao, ống dẫn nước, đường dẫn nước, đê phải rất lớn, những cột chống của khung đỡ gần đê cũng phải lớn và vốn đầu tư để làm chúng sẽ rất lớn. Nếu bơm nước với áp lực rất cao thì ống dẫn nước, đường dẫn nước và đê có thể làm nhỏ lại được rất nhiều. Nhưng số lượng đầu bơm nước rất lớn nên vốn đầu tư cho chúng cũng rất lớn. Vì thế cần tính toán nhiều phương án về loại đầu bơm cần mua và công suất lắp máy của nhà máy thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển để chọn ra phương án có hiệu quả kinh tế nhất.

Nếu điện sóng biển chỉ cần rẻ hơn điện chạy than thì người ta cần gì phải xây dựng thêm những nhà máy điện chạy than mới và những nhà máy điện chạy than cũ sẽ dần dần bị thải loại. Hàng năm sẽ giảm được việc phát thải một khối lượng khổng lồ khí carbon dioxide ra ngoài không khí. Như vậy, nếu điện sóng biển đúng là nguồn điện vô cùng to lớn và khá rẻ thì nó sẽ giải quyết được 2 vấn đề rất lớn mà nước ta và các nước

trên thế giới đều đang rất quan tâm là năng lượng và làm chậm lại quá trình biến đổi khí hậu, nước biển dâng.

Điện sóng biển đã được nhiều nước trên thế giới nghiên cứu từ lâu bằng những công nghệ rất hiện đại mà vẫn chưa đạt được kết quả mong muốn. Điện gió, điện mặt trời có giá thành phát điện cao hơn các loại điện khác nhiều, nhưng nước ta và các nước trên thế giới vẫn đang phải tích cực phát triển. Nay chỉ bằng những công nghệ rất bình thường, nhiều nơi trong nước có thể làm được mà lại có thể phát điện được với công suất lớn tới vài trăm MW và giá thành phát điện có khả năng khá rẻ là điều rất khó tin, cần phải xem xét lại rất kỹ. Điện sóng biển dùng khí nén phải dùng nhiều máy nén khí pít tông nhiều tầng đồng trục, các bình chứa khí nén lớn, thùng khí vào, thùng khí ra. Những thứ này còn xa lạ với ngành điện, cần phải tính toán, nghiên cứu kỹ. Nhưng việc không cần phải xây dựng đập lớn để tạo thành hồ chứa nước lớn, chỉ cần xây dựng nhà máy thủy điện, đường dẫn nước và đề thi các Công ty Thủy điện, Thủy lợi có thể làm rất dễ dàng. Lực lượng làm thủy điện ở nước ta rất mạnh. Kính mong các Tổng Công ty, Công ty Thủy điện và các tỉnh ven biển quan tâm đến thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển và sớm biến nó trở thành hiện thực trên những vùng biển rất thuận lợi của nước ta.

Trên đây là những suy nghĩ của tôi về thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển. Không biết có sai sót gì hay không? Rất mong mọi người góp ý để tôi sửa lại cho tốt hơn. Xin chân thành cảm ơn.

*Liên hệ:*

Phòng 204 nhà B4, 189 Thanh Nhàn, Hà Nội

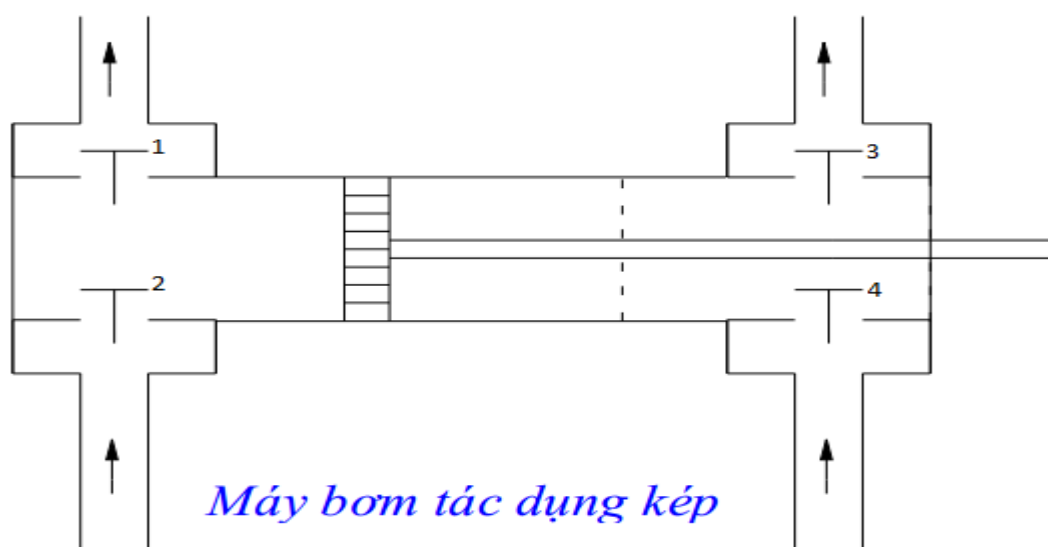
Điện thoại: (04)39716038, (04)35527218

# Tính thử khả năng phát điện của thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển khi dùng bơm piston

*Lê Vĩnh Cán*

Sóng biển khi cao khi thấp làm cho các bánh răng truyền lực chạy với các tốc độ rất khác nhau và lực cũng lúc mạnh lúc yếu nên tôi thích dùng bơm nước chạy bằng piston hơn các loại bơm khác. Hiện nay có rất nhiều loại bơm nước khác nhau và có thể bơm nước lên khá cao, ngay bơm ly tâm nhiều cấp trục ngang LTC105-49x7 của Công ty Cổ phần Chế tạo bơm Hải Dương cũng có lưu lượng  $105 \text{ m}^3/\text{h}$ , cột áp 343 m. Vì vậy trong bài: “Thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển”, ở phần 1 về Nội dung của thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển, tôi đã viết: “Đầu bơm nước, xin nhờ các chuyên gia về máy bơm nước chọn giúp cho có hiệu quả nhất”. Trong phần 2 về Ba vấn đề lớn cần nhờ sự giúp đỡ của các chuyên gia, tôi cũng đã xin các chuyên gia trợ giúp về hệ số chuyển đổi từ năng lượng sóng biển thu được sang điện. Nhưng vừa qua tôi đã tìm được bài: “Máy bơm piston” nên tôi tính thử khả năng phát điện của thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển khi dùng bơm piston xem sao? Sau đây là phương pháp và kết quả tính toán của tôi. Không biết có sai sót gì hay không? Xin mọi người chỉ giúp.

Để đơn giản trong việc tính toán, tôi tính thử cho việc sử dụng loại máy bơm piston tác dụng kép. Loại máy bơm này khi piston tiến hay lui đều có nước được bơm lên. Sơ đồ bơm piston tác dụng kép như trong hình vẽ sau:



Khi piston tiến, van 2 đóng lại, van 1 mở ra, nước từ khoang bên trái được bơm lên, đồng thời van 3 đóng lại, van 4 mở ra, nước được hút đầy khoang bên phải. Khi piston lui, van 4 đóng lại, van 3 mở ra, nước từ khoang bên phải được bơm lên, đồng thời van 1 đóng lại, van 2 mở ra, nước được hút đầy khoang bên trái.

Gọi  $d$  là đường kính của piston, ta có diện tích tiết diện của piston là  $s = \pi d^2/4$ .

Phao hình trụ tròn đường kính 6 m, có diện tích đáy là  $S = 9\pi$ .

Khi sóng đang lên, để có đủ lực đẩy piston, phao phải ngập sâu hơn mức trung bình một đoạn  $y$  thì thể tích phao bị ngập thêm là  $9\pi y$ .

Thể tích đó tương đương với thể tích cột nước đường kính  $d$  cao  $9\pi y/s = 36\pi y/\pi d^2 = 36y/d^2$ .

Khi sóng đang xuống, để có đủ lực đẩy piston, phao phải ngập thấp hơn mức trung bình một đoạn  $y$  và nhờ lực hút của trái đất, ta cũng có kết quả tương tự.

Khi ở đáy sóng, phao phải chờ cho đến khi ngập thêm một đoạn là  $y$  thì mới có đủ lực để đẩy piston. Khi ở đỉnh sóng, phao phải chờ cho đến khi chỉ còn ngập dưới mức trung bình một đoạn là  $y$  thì mới có đủ lực để đẩy piston. Khoảng nâng hạ trong chu kỳ sóng của phao là  $h$ , để có đủ lực đẩy piston thì khoảng nâng hạ của phao chỉ còn là  $h - 2y$ . Nhưng phao luôn luôn chuyển động nên có động năng lớn. Sóng càng lớn, khoảng nâng hạ càng lớn thì động năng của phao càng lớn. Để có đủ lực đẩy piston, phao phải ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn, phao càng ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn thì lực cản của phao càng lớn. Vì vậy khi phao ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn một đoạn là  $y$  thì khoảng nâng hạ của phao sẽ là  $h - 2yky/h = h - 2ky^2/h$ , trong đó  $k$  là hệ số phải tìm.

Trong mục 3.1 về Phương pháp tính công cho 1 chu kỳ sóng của bài: "Nguồn điện vô cùng to lớn và khá rẻ" trên Diễn đàn Webdien.com – Cầu nối dân điện, tôi đã tính được khi chiều cao của phao lớn hơn 2 lần khoảng nâng hạ của phao thì công của lực hút trái đất và lực đẩy lên của nước đối với phao hình trụ tròn trong 1 chu kỳ sóng sẽ là:  $A = mgh/2 + mgh/2 = mgh$ . Trong đó  $g = 9,8$ ,  $h$  là khoảng nâng hạ của phao,  $m$  là khối lượng nước hình trụ tròn có đường kính bằng đường kính của phao và có chiều cao là  $h$ . Tỷ trọng của nước biển lớn hơn 1 một chút, ta tạm tính tỷ trọng đó là 1 cho đơn giản.

Nếu phao phải ngập quá sâu khi sóng nhỏ thì phao chỉ nâng hạ rất ít, thậm chí có khi chỉ đứng yên và ta sẽ thu được rất ít năng lượng từ sóng. Ngược lại nếu phao ngập quá nông khi sóng lớn thì năng lượng thu được sẽ không lớn và sẽ nhỏ hơn năng lượng của sóng rất nhiều.

Để tìm hệ số  $k$  tôi đã lập bảng tính để tính công suất của sóng khi sóng cao 6 m, 5,9 m, 5,8 m, ..., 0,2 m. Phía dưới tính công suất thu được khi phao ngập 0,1 m, 0,2 m, 0,3 m, ..., 3,9 m, 4 m cho tất cả các loại sóng vừa nêu và so sánh công suất lớn nhất thu được của từng loại sóng với công suất của sóng. Đầu tiên tôi cho  $k = 1$  thấy công suất lớn nhất thu được của từng loại sóng chỉ lớn hơn 54% so với công suất của sóng. Giảm dần  $k$ , cuối cùng tôi tìm được  $k = 0,2963$ . Với hệ số  $k$  này thì tất cả công suất lớn nhất thu được của từng loại sóng đều bằng hoặc gần bằng công suất của sóng. Kết quả tính toán này được tóm tắt như trong biểu 1

**Biểu 1.**

**Công suất lớn nhất có thể thu được khi dùng hệ số  $k=0,2963$**

Chiều cao sóng	Phao nâng hạ	Công suất sóng	Công suất thu được			Chiều cao sóng	Phao nâng hạ	Công suất sóng	Công suất thu được			Chiều cao sóng	Phao nâng hạ	Công suất sóng	Công suất thu được		
			Lớn nhất	So sánh	Phao ngập thêm				Lớn nhất	So sánh	Phao ngập thêm				Lớn nhất	So sánh	Phao ngập thêm
m	m	KW	KW	%	m	m	m	KW	KW	%	m	m	m	KW	KW	%	m
6	5,95	1.112,0	1.094,6	98,43	4	4	3,94	571,89	571,69	99,96	3	2	1,89	183,23	183,17	99,97	1,4
5,9	5,85	1.083,2	1.070,7	98,85	4	3,9	3,84	548,43	548,39	99,99	2,9	1,9	1,78	169,44	169,27	99,90	1,3
5,8	5,75	1.054,5	1.046,3	99,22	4	3,8	3,73	522,30	522,30	100,00	2,8	1,8	1,66	154,75	154,41	99,78	1,2
5,7	5,64	1.021,8	1.017,2	99,56	4	3,7	3,63	499,61	499,54	99,99	2,7	1,7	1,56	139,96	139,83	99,91	1,2
5,6	5,54	993,65	991,52	99,79	4	3,6	3,54	477,24	477,00	99,95	2,7	1,6	1,45	123,98	123,96	99,98	1,1
5,5	5,45	965,75	965,14	99,94	4	3,5	3,44	455,21	455,15	99,99	2,6	1,5	1,35	110,48	110,46	99,98	1
5,4	5,35	938,17	938,16	100,00	4	3,4	3,34	433,52	433,51	100,00	2,5	1,4	1,24	96,09	95,94	99,84	0,9
5,3	5,25	910,82	910,71	99,99	3,9	3,3	3,23	409,58	409,52	99,99	2,4	1,3	1,13	82,61	82,20	99,50	0,8
5,2	5,15	883,70	883,55	99,98	3,9	3,2	3,13	388,75	388,48	99,93	2,3	1,2	1,02	68,80	68,55	99,65	0,8
5,1	5,05	856,80	856,77	100,00	3,8	3,1	3,04	368,28	368,22	99,98	2,3	1,1	0,91	57,42	57,38	99,94	0,7
5	4,94	826,28	826,27	100,00	3,7	3	2,94	348,20	348,19	100,00	2,2	1	0,80	45,76	45,76	100,00	0,6
4,9	4,84	799,97	799,88	99,99	3,6	2,9	2,83	326,36	326,30	99,98	2,1	0,9	0,67	33,93	33,93	100,00	0,5
4,8	4,74	773,91	773,72	99,98	3,6	2,8	2,73	307,20	306,94	99,91	2	0,8	0,54	23,30	23,30	100,00	0,4
4,7	4,64	748,09	748,05	100,00	3,5	2,7	2,64	288,46	288,40	99,98	2	0,7	0,40	13,90	13,90	100,00	0,3
4,6	4,54	722,53	722,52	100,00	3,4	2,6	2,53	268,16	268,15	100,00	1,9	0,6	0,26	6,09	6,07	99,70	0,2
4,5	4,44	697,23	697,12	99,98	3,3	2,5	2,43	250,41	250,35	99,98	1,8	0,5	0,15	2,25	2,22	98,85	0,1
4,4	4,35	672,20	672,04	99,98	3,3	2,4	2,32	233,95	233,73	99,91	1,7	0,4	0,05	0,25			
4,3	4,24	644,05	643,99	99,99	3,2	2,3	2,22	221,60	221,45	99,93	1,7	0,3	0,03	0,09			
4,2	4,14	619,70	619,70	100,00	3,1	2,2	2,11	209,35	209,32	99,99	1,6	0,2	0,01	0,02			
4,1	4,04	595,65	595,56	99,99	3	2,1	2,01	197,18	197,17	100,00	1,5						

Chu kỳ của sóng là T, tốc độ nâng hạ của phao sẽ là  $v=2(h-2ky^2)/T$ .

Nếu ta cho tốc độ của piston bằng với tốc độ nâng hạ của phao thì lưu lượng nước trong 1 giây của bơm sẽ là

$$vs=(2(h-2ky^2)/T) \times (\pi d^2/4) = (h-2ky^2/h) \pi d^2/2T$$

Ta chỉ cần cho tốc độ của piston bằng với tốc độ nâng hạ của phao thì kết quả tính toán cũng đã cho lưu lượng nước biển được bơm ra của 8.953 đầu bơm khi sử dụng khoảng 1 km<sup>2</sup> sóng biển có thể lên tới vài trăm m<sup>3</sup>/s. Việc cho tốc độ của piston bằng với tốc độ nâng hạ của phao hoặc cho 2 tốc độ này không chênh lệch nhau quá nhiều sẽ giảm được rất nhiều thép để làm các bánh răng và lực ma sát cũng sẽ giảm đi.

Khi chưa tính hiệu suất toàn phần của bơm, công suất của bơm là  $z=((h-2ky^2)/h) \pi d^2/2T) \times 9,8 \times (36y/d^2) = 9,8 \times 18 \pi \times (hy-2ky^3)/h) / T$ .

Như vậy công suất đó không phụ thuộc gì vào đường kính của piston.

Hiệu suất toàn phần của máy bơm piston thông thường từ 0,67 đến 0,85. Tôi tạm tính hiệu suất đó cho bơm piston đường kính 0,2 m là 0,67. Hiệu suất toàn phần là

tích hiệu suất của tổn hao thủy lực, tổn hao thể tích (hiệu suất lưu lượng) và tổn hao cơ khí.

Hiệu suất lưu lượng của bơm piston có đường kính piston 0,15 - 0,3 m là 0,90 – 0,95, đường kính piston lớn hơn 0,3 m là 0,95 – 0,98. Tôi tạm tính hiệu suất đó cho bơm có đường kính piston 0,2 m là 0,90 và bơm có đường kính piston 0,3 m là 0,95.

Tổn hao cơ khí làm giảm lực đẩy bơm cũng làm giảm áp lực nước được bơm ra, nên tôi tạm gộp tổn hao thủy lực và tổn hao cơ khí với nhau và tạm tính là  $0,67/0,9 = 0,74$ . Ngoài ra tôi tạm giảm thêm hệ số này 0,2 nữa còn 0,54 vì ngoài phần bơm ra còn có ma sát trên các bánh răng truyền lực trước khi đến bơm và nước còn phải chảy trên các ống dẫn nước và đường dẫn nước trước khi đến các tuabin thủy điện. Đối với bơm piston đường kính 0,3 m tôi cũng tạm tính hiệu suất của những tổn hao này là 0,54.

Khi sóng nhỏ, nước được bơm ra không nhiều, chảy chậm trên đường dẫn nước, tổn hao về áp lực của nước sẽ nhỏ hơn. Khi sóng lớn, nước được bơm ra nhiều, chảy nhanh trên đường dẫn nước, tổn hao về áp lực của nước sẽ lớn hơn.

Bây giờ chỉ còn vấn đề là hệ số chuyển đổi từ năng lượng nước chảy với áp lực cao sang điện là bao nhiêu? Hiện nay tôi chưa tìm được hệ số này. Nhưng trong bài: “Đập xà lan và máy thủy điện củ hành trực ngang 4SV3FB trên sông Thao” đăng trong mục Khoa học & công nghệ trên trang Web [vncold.vn](http://vncold.vn) của Hội Đập lớn và Phát triển Nguồn nước Việt Nam, Tiến sĩ Vĩnh Phong – Kỹ sư cao cấp về tuabin của Tập đoàn ALSTOM (Pháp) có đoạn viết: “Với 1000m<sup>3</sup>/s và cột nước tối đa 5mwc (meter of water column) và hiệu suất khoảng 75%: công suất tối đa ước tính là 30MW”. Từ đó tôi tính được công suất của cột nước là  $1.000 \times 9,8 \times 5 = 49.000 \text{ KW} = 49 \text{ MW}$ . Lấy 30 MW chia cho số đó ta được  $30/49 = 0,6122$ . Vì thế tôi tạm tính hệ số chuyển đổi từ năng lượng nước chảy với áp lực cao sang điện là 0,6.

Về nguồn số liệu để tính toán, tôi vẫn sử dụng số liệu về độ cao sóng biển trong 777 bản tin dự báo sóng biển của Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương đã thu thập được, trong đó có 86 bản tin năm 2011 và 691 bản tin thu thập được từ chiều ngày 04/03/2012 đến sáng ngày 04/03/2013. Các bản tin dự báo sóng biển của Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương chủ yếu phục vụ cho tàu thuyền đi lại trên biển xa. Nhưng tại các vùng biển từ Hà Tĩnh đến Ninh Thuận khung đỡ phải đặt ngay gần bờ và song song với hướng của đường bờ biển. Tại các vùng biển này, sóng từ gió đông bắc đã được tích lũy năng lượng từ rất xa lao vào vùng biển ngày càng nông dần, độ cao của sóng sẽ tăng lên. Sóng biển đã được tích lũy năng lượng từ rất xa lao vào gặp đê đã được bao phủ bằng bê tông chắc chắn, không khác gì lao vào vách núi đá, sóng sẽ bị bật ra. Khung đỡ nằm ngoài đê ở ngay chỗ sóng tới và sóng phản xạ gặp nhau, sóng lại càng dữ dội hơn. Vì thế độ cao sóng của thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển trên các vùng biển từ Hà Tĩnh đến Ninh Thuận, tôi cũng

tạm dùng như cách đã tính ở thí dụ trong bài: “Thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển”. Cụ thể như sau:

- Khi gió thổi thẳng góc với khung đỡ, độ cao của sóng tăng thêm 20%.
- Khi gió thổi chéo khung đỡ một góc 45 độ, độ cao của sóng tăng thêm 10%.
- Khi gió thổi chéo khung đỡ một góc 67,5 độ, độ cao của sóng tăng thêm 15%.
- Khi gió thổi chéo khung đỡ một góc 22,5 độ, độ cao của sóng tăng thêm 5%,...
- Khi gió thổi song song với khung đỡ hoặc thổi từ đất liền ra thì tạm giữ nguyên độ cao của sóng.
- Do đã tính cụ thể từng hướng gió rồi, nên mức giảm công suất phát điện do sóng phải đi qua 7 hàng phao chỉ tính với mức chung là 10%.

Kết quả tính toán khi dùng bơm piston đường kính 0,2 m như trong biểu 2

**Biểu 2.:**

**Tính thử khả năng phát điện của thủy điện chạy bằng năng lượng  
khoảng 1 km<sup>2</sup> sóng biển cho phao hình trụ tròn đường kính 6 m khi dùng  
bơm piston đường kính 0,2 m với tốc độ piston bằng tốc độ nâng hạ phao**

Vùng biển	Đơn vị tính	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Cả năm
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Vùng biển Hà Tĩnh đến Quảng Bình dùng thủy điện với cột áp 452 - 678 m và 210 - 315 m, khi sóng cao 6 m lưu lượng nước khoảng 333 m <sup>3</sup> /s														
- Công suất phát điện	MW	361,03	237,00	257,85	179,54	144,72	212,07	207,00	151,76	193,69	263,00	259,26	362,97	236,09
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	268,60	159,27	191,84	129,27	107,67	152,69	154,01	112,91	139,46	195,67	186,66	270,05	2.068,1
Vùng biển Quảng Trị đến Quảng Ngãi dùng thủy điện với cột áp 528 - 792 m và 245 - 368 m, khi sóng cao 6 m lưu lượng nước khoảng 330 m <sup>3</sup> /s														
- Công suất phát điện	MW	494,28	302,47	314,63	169,56	90,59	196,99	187,46	126,57	175,08	367,59	251,94	481,58	263,62
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	367,74	203,26	234,08	122,09	67,40	141,84	139,47	94,17	126,06	273,49	181,40	358,30	2.309,3
Vùng biển Bình Định đến Ninh Thuận dùng thủy điện với cột áp 528 - 792 m và 280 - 420 m, khi sóng cao 6 m lưu lượng nước khoảng 330 m <sup>3</sup> /s														
- Công suất phát điện	MW	572,29	356,93	339,53	186,11	128,58	296,85	335,31	324,19	219,17	311,05	243,42	470,31	315,83
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	425,78	239,86	252,61	134,00	95,66	213,73	249,47	241,20	157,81	231,42	175,26	349,91	2.766,7

Để có được lượng điện như trong biểu này thì:

- Vùng biển từ Hà Tĩnh đến Quảng Bình: Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước cao, cột áp bình quân khoảng 588 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 1,2 m. Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước thấp, cột áp bình quân khoảng 294 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 0,6 m.

- Vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi: Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước cao, cột áp bình quân khoảng 686 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 1,4 m. Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước thấp, cột áp bình quân khoảng 343 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 0,7 m.

- Vùng biển từ Bình Định đến Ninh Thuận: Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước cao, cột áp bình quân khoảng 686 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 1,4 m. Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước thấp, cột áp bình quân khoảng 392 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 0,8 m.

Khi tính toán biểu này tôi chỉ tính với phao ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn đến 1,2 m đối với vùng biển từ Hà Tĩnh đến Quảng Bình vì dùng phao chỉ cao 2,5 m. Còn đối với các vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi và từ Bình Định đến Ninh Thuận chỉ tính với phao ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn đến 1,4 m vì dùng phao chỉ cao 3 m.

Nhà máy Thủy điện Hòa Bình có mực nước dâng tối đa là 120 m, mực nước chết là 80 m, như vậy mực nước dâng tối đa cao gấp 1,5 lần mực nước chết. Máy phát điện của nhà máy đặt cao hơn mực nước biển nên tỷ số giữa cột áp tối đa và cột áp tối thiểu là trên 1,5 lần. Vì thế tôi tạm tính tỷ số giữa cột áp tối đa và cột áp tối thiểu cho thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển là 1,5 lần. Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước thấp, tạm tính cột áp bình quân cao gấp 1,4 lần cột áp tối thiểu để khi sóng nhỏ hơn vẫn có thể chạy các tổ máy phát điện. Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước cao, tạm tính cột áp bình quân cao gấp 1,3 lần cột áp tối thiểu.

Kết quả tính toán khi dùng bơm piston đường kính 0,3 m như trong biểu 3

Để có được lượng điện như trong biểu này thì:

- Vùng biển từ Hà Tĩnh đến Quảng Bình: Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước cao, cột áp bình quân khoảng 261,33 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 1,2 m. Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước thấp, cột áp bình quân khoảng 130,67 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 0,6 m.

- Vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi: Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước cao, cột áp bình quân khoảng 304,89 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 1,4 m. Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước thấp, cột áp bình quân khoảng 152,44 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 0,7 m.

- Vùng biển từ Bình Định đến Ninh Thuận: Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước cao, cột áp bình quân khoảng 304,89 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 1,4 m. Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước thấp,



cột áp bình quân khoảng 174,22 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 0,8 m.

### Biểu 3.

**Tính thử khả năng phát điện của thủy điện chạy bằng năng lượng  
khoảng 1 km<sup>2</sup> sóng biển cho phao hình trụ tròn đường kính 6 m khi dùng  
bơm piston đường kính 0,3 m với tốc độ piston bằng tốc độ nâng hạ phao**

Vùng biển	Đơn vị	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Cả
	tính	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	năm
Vùng biển Hà Tĩnh đến Quảng Bình dùng thủy điện với cột áp 201 - 302 m và 93 - 140 m, khi sóng cao 6 m lưu lượng nước khoảng 791 m <sup>3</sup> /s														
- Công suất phát điện	MW	381,08	250,17	272,17	189,52	152,76	223,85	218,50	160,19	204,45	277,61	273,66	383,14	249,20
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	283,53	168,12	202,50	136,45	113,66	161,17	162,56	119,18	147,21	206,55	197,03	285,06	2.183,0
Vùng biển Quảng Trị đến Quảng Ngãi dùng thủy điện với cột áp 235 - 352 m và 109 - 163 m, khi sóng cao 6 m lưu lượng nước khoảng 784 m <sup>3</sup> /s														
- Công suất phát điện	MW	521,74	319,28	332,11	178,98	95,63	207,94	197,88	133,60	184,81	388,01	265,94	508,33	278,26
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	388,17	214,56	247,09	128,87	71,15	149,72	147,22	99,40	133,06	288,68	191,48	378,20	2.437,6
Vùng biển Bình Định đến Ninh Thuận dùng thủy điện với cột áp 235 - 352 m và 124 - 187 m, khi sóng cao 6 m lưu lượng nước khoảng 784 m <sup>3</sup> /s														
- Công suất phát điện	MW	604,08	376,76	358,39	196,44	135,72	313,34	353,94	342,20	231,35	328,33	256,94	496,44	333,38
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	449,44	253,18	266,64	141,44	100,98	225,60	263,33	254,60	166,57	244,28	185,00	369,35	2.920,4

Qua 2 biểu tính toán trên ta có thể rút ra nhận xét sau: Nếu dùng bơm nước chạy bằng piston đường kính 0,2 m thì thủy điện phải chạy bằng nước có áp lực cao hơn 2,25 lần so với khi dùng bơm nước chạy bằng piston đường kính 0,3 m, nhưng lượng nước lại giảm đi gần 2,38 lần. Nhà máy thủy điện Đa Nhim chạy với nước có cột áp khoảng 800 m, nên khi dùng bơm nước chạy bằng piston đường kính 0,2 m, chạy với cột áp bình quân khoảng 686 m, khi cao nhất là 792 m là có thể chấp nhận được. Vấn đề phải nghiên cứu là bơm nước chạy bằng piston có thể bơm nước được lên cao như vậy hay không mà thôi. Dùng bơm nước chạy bằng piston đường kính 0,3 m, lưu lượng nước lên đến khoảng 784 m<sup>3</sup>/s hoặc khoảng 791 m<sup>3</sup>/s khi sóng cao 6 m, vốn đầu tư cho xây dựng đường dẫn nước sẽ rất lớn.

Nếu ta vẫn dùng bơm nước chạy bằng piston đường kính 0,3 m, nhưng chỉ cho piston chạy với tốc độ bằng 1/2 tốc độ nâng hạ của phao, lực ép của piston sẽ tăng lên gấp đôi, chiều cao của cột áp cũng tăng lên gấp đôi và lưu lượng nước sẽ giảm xuống chỉ còn một nửa. Kết quả tính toán như trong biểu 4:

Để có được lượng điện như trong biểu này thì:

- Vùng biển từ Hà Tĩnh đến Quảng Bình: Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước cao, cột áp bình quân khoảng 522,67 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 1,2 m. Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước thấp, cột áp bình quân khoảng 261,33 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 0,6 m.

- Vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi: Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước cao, cột áp bình quân khoảng 609,78 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 1,4 m. Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước thấp, cột áp bình quân khoảng 304,89 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 0,7 m.

- Vùng biển từ Bình Định đến Ninh Thuận: Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước cao, cột áp bình quân khoảng 609,78 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 1,4 m. Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước thấp, cột áp bình quân khoảng 348,44 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 0,8 m.

#### **Biểu 4.**

### **Tính thử khả năng phát điện của thủy điện chạy bằng năng lượng khoảng 1 km<sup>2</sup> sóng biển cho phao hình trụ tròn đường kính 6 m khi dùng bơm piston đường kính 0,3 m với tốc độ piston bằng 0,5 tốc độ nâng hạ phao**

Vùng biển	Đơn vị	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Cả
	tính	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	năm
<b>Vùng biển Hà Tĩnh đến Quảng Bình dùng thủy điện với cột áp 402 - 603 m và 187 - 280 m, khi sóng cao 6 m lưu lượng nước khoảng 396 m<sup>3</sup>/s</b>														
- Công suất phát điện	MW	381,08	250,17	272,17	189,52	152,76	223,85	218,50	160,19	204,45	277,61	273,66	383,14	249,20
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	283,53	168,12	202,50	136,45	113,66	161,17	162,56	119,18	147,21	206,55	197,03	285,06	2.183,0
<b>Vùng biển Quảng Trị đến Quảng Ngãi dùng thủy điện với cột áp 469 - 704 m và 218 - 327 m, khi sóng cao 6 m lưu lượng nước khoảng 392 m<sup>3</sup>/s</b>														
- Công suất phát điện	MW	521,74	319,28	332,11	178,98	95,63	207,94	197,88	133,60	184,81	388,01	265,94	508,33	278,26
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	388,17	214,56	247,09	128,87	71,15	149,72	147,22	99,40	133,06	288,68	191,48	378,20	2.437,6
<b>Vùng biển Bình Định đến Ninh Thuận dùng thủy điện với cột áp 469 - 704 m và 249 - 373 m, khi sóng cao 6 m lưu lượng nước khoảng 392 m<sup>3</sup>/s</b>														
- Công suất phát điện	MW	604,08	376,76	358,39	196,44	135,72	313,34	353,94	342,20	231,35	328,33	256,94	496,44	333,38
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	449,44	253,18	266,64	141,44	100,98	225,60	263,33	254,60	166,57	244,28	185,00	369,35	2.920,4

Trong 2 phương án dùng bơm piston đường kính 0,3 m vừa nêu, nếu tính công suất lắp máy của các tổ máy phát điện chạy với áp lực nước cao gấp đôi công suất phát điện bình quân năm thì công suất phát điện cao nhất của thủy điện chạy bằng năng lượng sóng biển khi sử dụng khoảng 1 km<sup>2</sup> sóng biển ở vùng biển từ Hà Tĩnh đến Quảng Bình là 498 MW và lượng điện có thể phát ra hàng năm là 2.183 triệu KWh, vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi là 557 MW và 2.437,6 triệu KWh, vùng biển từ Bình Định đến Ninh Thuận là 667 MW và 2.920,4 triệu KWh. Khi vận hành lượng điện phát ra có thể nhiều hơn vì khi sóng nhỏ, các tổ máy phát điện chạy với áp lực nước thấp có thể chạy với cột áp thấp hơn cột áp đã tính toán và khi sóng lớn, các tổ máy phát điện chạy với áp lực nước cao có thể chạy với cột áp cao hơn cột áp đã tính toán. Trong khi đó các con số này ở nhà máy thủy điện Trị An chỉ là 400 MW và 1.700 triệu KWh. Đây là những con số rất lớn, không biết rằng trong quá trình tính toán có sai sót gì hay không? Rất mong mọi người phát hiện giúp để tôi sửa lại cho tốt hơn.

Trong cả 3 phương án trên, nếu chỉ có các tổ máy phát điện chạy bằng nước áp lực cao thì lượng điện phát ra bằng khoảng 82,51% đối với vùng biển từ Hà Tĩnh đến Quảng Bình, 74,05% đối với vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi và 84,82% đối với vùng biển từ Bình Định đến Ninh Thuận.

Nếu muốn giảm lưu lượng nước đi nữa, ta chỉ cần giảm thêm tốc độ của piston, nhưng khi đó áp lực của nước cũng tăng thêm.

Nếu ta dùng máy bơm tác dụng đơn, nước được hút vào bơm khi piston lui. Bơm chỉ cao hơn mực nước biển khoảng 7 m, năng lượng cho việc hút nước rất ít, nên nó sẽ tập trung chủ yếu cho việc bơm nước. Như vậy lượng nước được bơm ra sẽ giảm đi nhưng áp lực nước được bơm ra sẽ lớn hơn. Lượng nước của từng bơm nước sẽ gián đoạn, nhưng 8.953 bơm đặt rải ra trên chiều dài khoảng 15 km và các ống dẫn nước nhập vào đường dẫn nước ở những vị trí rất khác nhau nên tổng lượng nước sẽ ít biến động. Vấn đề đặt ra là nếu ta dùng bơm piston tác dụng đơn đường kính 0,3 m và tốc độ piston bằng tốc độ nâng hạ của phao thì khả năng phát điện có bị giảm so với việc dùng bơm piston tác dụng kép đường kính 0,3 m và tốc độ piston bằng 1/2 tốc độ nâng hạ của phao hay không? Theo tôi nghĩ thì 2 kết quả đó là tương tự nhau vì nguồn năng lượng cho chúng là như nhau.

Nếu suy nghĩ đó là đúng thì hiệu quả kinh tế của việc dùng bơm piston tác dụng đơn sẽ lớn hơn vì bơm piston tác dụng đơn đơn giản hơn bơm piston tác dụng kép, vốn đầu tư sẽ ít hơn và chênh lệch về vốn đầu tư của 8.953 đầu bơm sẽ rất lớn.

Ta có thể tính thêm nhiều phương án để chọn ra phương án tốt nhất. Thí dụ như dùng bơm piston tác dụng kép đường kính 0,3 m và tốc độ piston bằng 0,35 tốc độ nâng hạ của phao, ta chỉ cần cho phao giảm việc ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn so với các phương án trên thì khi sóng cao 6 m, lưu lượng nước trong đường dẫn nước chỉ còn khoảng 280 m<sup>3</sup>/s, cột áp cao nhất là 790 m, còn thấp hơn cột áp của Nhà máy Thủy điện Đa Nhim. Nhưng khi đó tổng lượng điện phát ra sẽ giảm đi chỉ còn khoảng 92,9% đối với vùng biển từ Hà Tĩnh đến Quảng Bình, 91,45% đối với vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi và 94,31% đối với vùng biển từ Bình Định đến Ninh Thuận. Kết quả cụ thể như trong biểu 5:

Để có được lượng điện như trong biểu này thì:

- Vùng biển từ Hà Tĩnh đến Quảng Bình: Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước cao, cột áp bình quân khoảng 560 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 0,9 m. Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước thấp, cột áp bình quân khoảng 311,11 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 0,5 m. Với cột áp tối thiểu 222 m như trong biểu, khi sóng cao khoảng 0,7 m là bắt đầu có nước bơm lên. Nếu chỉ có các tổ máy phát điện chạy bằng nước áp lực cao thì lượng điện phát ra bằng khoảng 93,62%.
- Vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi: Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước cao, cột áp bình quân khoảng 622,22 m và phao phải thường xuyên ngập sâu

thêm hoặc ngập nông hơn 1 m. Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước thấp, cột áp bình quân khoảng 373,33 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 0,6 m. Với cột áp tối thiểu 267 m như trong biểu, khi sóng cao khoảng hơn 0,7 m là bắt đầu có nước bơm lên. Nếu chỉ có các tổ máy phát điện chạy bằng nước áp lực cao thì lượng điện phát ra bằng khoảng 89,19%.

- Vùng biển từ Bình Định đến Ninh Thuận: Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước cao, cột áp bình quân khoảng 684,44 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 1,1 m. Khi chạy các tổ máy phát điện với áp lực nước thấp, cột áp bình quân khoảng 435,56 m và phao phải thường xuyên ngập sâu thêm hoặc ngập nông hơn 0,7 m. Với cột áp tối thiểu 311 m như trong biểu, khi sóng cao khoảng 0,8 m là bắt đầu có nước bơm lên. Nếu chỉ có các tổ máy phát điện chạy bằng nước áp lực cao thì lượng điện phát ra bằng khoảng 94,42%.

#### **Biểu 5.**

### **Tính thử khả năng phát điện của thủy điện chạy bằng năng lượng khoảng 1 km<sup>2</sup> sóng biển cho phao hình trụ tròn đường kính 6 m khi dùng bơm piston đường kính 0,3 m với tốc độ piston bằng 0,35 tốc độ nâng hạ phao**

Vùng biển	Đơn vị	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Tháng	Cả
	tính	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	năm
Vùng biển Hà Tĩnh đến Quảng Bình dùng thủy điện với cột áp 431 - 646 m và 222 - 333 m, khi sóng cao 6 m lưu lượng nước khoảng 280 m <sup>3</sup> /s														
- Công suất phát điện	MW	327,13	231,14	247,52	186,70	158,97	222,18	216,86	159,39	194,20	248,13	249,97	333,56	231,51
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	243,38	155,33	184,15	134,43	118,27	159,97	161,34	118,59	139,82	184,61	179,98	248,17	2.028,0
Vùng biển Quảng Trị đến Quảng Ngãi dùng thủy điện với cột áp 479 - 718 m và 267 - 400 m, khi sóng cao 6 m lưu lượng nước khoảng 279 m <sup>3</sup> /s														
- Công suất phát điện	MW	432,76	294,88	298,60	178,40	104,76	206,35	195,29	141,48	185,73	337,21	252,40	423,42	254,47
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	321,97	198,16	222,16	128,45	77,94	148,57	145,30	105,26	133,72	250,88	181,72	315,02	2.229,2
Vùng biển Bình Định đến Ninh Thuận dùng thủy điện với cột áp 526 - 790 m và 311 - 467 m, khi sóng cao 6 m lưu lượng nước khoảng 278 m <sup>3</sup> /s														
- Công suất phát điện	MW	526,61	357,67	325,23	191,38	142,57	311,35	337,57	338,72	232,12	313,43	251,04	440,64	314,41
- Khả năng phát điện	Triệu KWh	391,80	240,36	241,97	137,80	106,07	224,17	251,15	252,01	167,13	233,20	180,75	327,84	2.754,2

Nếu ta dùng bơm piston tác dụng đơn đường kính 0,3 m và tốc độ piston bằng 0,7 tốc độ nâng hạ của phao thì khả năng cũng có kết quả tương tự.

Trên đây là những suy nghĩ và kết quả tính toán của tôi. Rất mong mọi người góp ý để tôi sửa lại cho tốt hơn. Xin chân thành cảm ơn.

03/10/2013

#### **Địa chỉ liên hệ:**

Phòng 204 nhà B4, 189 Thanh Nhân, Hà Nội  
Điện thoại: (04)39716038 hay (04)35527218

# Việt Nam có tiềm năng phát triển năng lượng xanh trên biển

*Với bờ biển dài trên 3.200 km, đứng thứ 32 trong tổng số 156 quốc gia có biển, Việt Nam có tiềm năng năng lượng biển rất lớn, đặc biệt phải kể đến hai nguồn năng lượng khả quan nhất đó là gió và sóng - TS. Nguyễn Minh Trung, Tổng cục Biển và Hải đảo Việt Nam, cho biết.*

Việt Nam cần sớm thức tỉnh trước nguồn năng lượng xanh khổng lồ trên một triệu kilomet vuông biển, với công suất thương mại có thể gấp hàng trăm lần tổng nhu cầu công suất điện cả nước vào năm 2020.



## **Tính cấp thiết của thực tiễn**

Thế kỷ 20, công nghệ khai thác năng lượng tái tạo (NLTT) nói chung và năng lượng biển nói riêng còn ít được phát triển, chủ yếu với các dự án thử nghiệm, ngoại trừ thành công của nhà máy điện thủy triều đầu tiên Rance ( Pháp) với 240 MW năm 1967. Năm 2001, Hàn Quốc đã hoàn thiện nhà máy điện thủy triều lớn nhất thế giới Sihwa với công suất 254 MW và đang xây dựng nhà máy công suất 1000 MW. Tuy nhiên, sự phát triển công nghiệp dựa vào than đá và dầu mỏ đã phát thải lượng khí nhà kính khổng lồ gây ra hiện tượng trái đất ấm lên toàn cầu hay còn gọi là biến đổi khí hậu (BĐKH).

BĐKH đã và đang tác động xấu đến phát triển kinh tế xã hội và gây nhiều thiệt hại cho các quốc gia ven biển khi mực nước biển dâng trong bối cảnh BĐKH toàn cầu gây ngập lụt vùng đất thấp ven biển và hải đảo. Hiện nay, xăng, dầu, khí, than đá có giá thành cao và nguồn dự trữ cũng đang cạn kiệt, và vì thế các quốc gia trên thế giới đã và đang quan tâm đến các nguồn NLTT.

Nền kinh tế Việt Nam đang phát triển nhanh, nhu cầu tiêu thụ điện tăng mạnh, trong khi đó các nguồn năng lượng truyền thống như than đá, dầu khí đang suy giảm mạnh và tiềm năng nguồn NLTT trên đất liền và trên biển rất lớn, nhưng chưa được quan tâm khai thác. Việc đầu tư nghiên cứu năng lượng biển, đại dương trên thế giới đã có nhiều thay đổi từ năm 2001, khi Ủy ban Năng lượng Quốc tế (IEA) đã triển khai nhóm năng lượng địa dương nhằm hỗ trợ, chuyển giao, thúc đẩy hợp tác quốc tế về các dự án điện biển. Thành tựu công nghệ OES đã tiến bộ không ngừng và khả năng đóng góp của điện biển vào nền kinh tế toàn cầu sẽ đáng được xem xét.

Chiến lược biển Việt Nam đến năm 2020 đã xác định rõ, biển có vị trí quan trọng trong phát triển kinh tế và chiến lược phát triển năng lượng biển Việt Nam bước đầu được triển khai, tuy còn chưa được một cách hệ thống, chưa có cơ quan đầu mối trong việc lập quy hoạch, chiến lược ngành năng lượng – điện biển. Với tiềm năng vốn có của biển Việt



Nam, nếu được quy hoạch tổng thể cả về không gian, thời gian khai thác đồng bộ, hợp lý sẽ có đóng góp hữu ích trong sự phát triển bền vững kinh tế - xã hội và bảo đảm an ninh quốc phòng Việt Nam.

### **Tiềm năng năng lượng khổng lồ**

Việt Nam có tiềm năng lớn để phát triển năng lượng từ sóng biển. Theo tính toán, nếu sóng có độ cao 1m, ở độ dài khoảng 1,8 km bờ biển, thì có thể tạo ra một nguồn năng lượng bằng 35.000 mã lực.

Ven biển Việt Nam chia làm 54 vùng theo mật độ năng lượng sóng biển Quảng Ninh đến Nghệ An, Thanh Hóa đến Dung Quất, Quảng Ngãi, Dung Quất đến Ninh Thuận, Ninh Thuận đến Cà Mau, Cà Mau đến Kiên Giang. Vào mùa gió Đông Bắc công suất điện sóng đạt cực đại 40kW/m phía Bắc bờ biển Việt Nam và 30kW/h vùng phía Nam. Trung bình năm 25kW/h vùng ven biển ngoài khơi Nam Trung Bộ. Mật độ cao nhất tại vùng biển Phú Quý đạt 40kW/m. Vào mùa gió Tây Nam công suất đạt 20kW/h vào tháng 7,8 tại các vùng Nam Trung Bộ và Đông Nam Bộ, các vùng khác công suất trung bình đạt 10kW/m.

Trên Biển Đông tiềm năng bức xạ có xu hướng tăng dần từ phía Bắc xuống phía Nam. Trên khu vực phía Bắc vĩ tuyến 20°N tổng xạ đạt 4000 Wh/m<sup>2</sup>/ngày. Phía Nam vĩ tuyến 20°N tổng xạ đạt gần 5000 Wh/m<sup>2</sup>/ngày. Vùng nhiều tiềm năng nhất là Việt Nam là vùng ngoài khơi biển Nam Trung Bộ gồm cả Hoàng Sa và Trường Sa, vùng biển Vũng Tàu – Côn Đảo.

Vùng có tiềm năng năng lượng thủy triều biển nhất là vùng bắc vịnh Bắc Bộ, vùng ven biển Vũng Tàu – Cà Mau. Các địa điểm tiềm năng thủy triều phân bố từ phía Bắc đến phía Nam, vịnh Hạ Long – 4,7 GWh, Diễn Châu - 620 GWh, Văn Phong -308 GWh, Quy Nhơn -135 GWh, Cam Ranh – 185 GWh, Gành Rái – 714 GWh, Đồng Tranh – 371GWh,

Rạch Giá – 139 GWh. Vùng có tiềm năng dòng chảy, ngoài khơi Ninh Thuận – Bình Thuận đạt  $40-60\text{WW}/\text{m}^2$ , ngoài khơi Cà Mau – Hòn Khoai đạt  $100-300\text{W}/\text{m}^2$ .

Năng lượng thủy triều của toàn thế giới theo các nhà khoa học ước chừng khoảng 3 tỷ kW. Nguyên lý phát điện thủy triều tương tự như nguyên lý phát điện thủy lực, tức là lợi dụng sự chênh lệch mức nước triều lên xuống để làm quay động cơ và máy phát điện.

Các dòng chảy lớn trên biển thường chảy theo một hướng tương đối ổn định và có lưu lượng lớn, do đó ẩn chứa một nguồn năng lượng rất lớn. Theo tính toán của các nhà khoa học, tổng năng lượng tiềm năng của dòng chảy biển và đại dương lên đến 5 tỷ kW.

Hiện nay, nhiều nước trên thế giới đã sử dụng nguồn năng lượng từ biển, Năm 1966, tại Pháp đã xây dựng một nhà máy điện thủy triều đầu tiên trên thế giới có quy mô công nghiệp với công suất 240 MW, đây là một trong những nhà máy điện thủy triều lớn nhất trên thế giới. Tại Canada đã vận hành một nhà máy 20 MW từ năm 1984, sản xuất 30 triệu kW điện hàng năm. Trung Quốc cũng là một nước rất quan tâm đến nguồn năng lượng sạch, hiện nay Trung Quốc có 7 nhà máy điện thủy triều đang vận hành với tổng công suất 11 MW. Gần đây, Hàn Quốc rất chú trọng khai thác sử dụng năng lượng thủy triều. Một nhà máy điện thủy triều Shiwa có công suất 254 MW được hoàn thành năm 2010; còn tại thành phố Incheon, từ năm 2007 đã xây dựng một nhà máy có công suất 812 MW lớn nhất thế giới, với 32 tổ máy và sẽ đưa vào vận hành năm 2015.

Ở những khu vực có sự chênh lệch độ mặn lớn, đặc biệt như vùng cửa sông đổ ra biển, sự chênh lệch độ mặn này có thể tạo ra một nguồn năng lượng mới mà hiện nay con người chưa khai thác. Công ty Statkraft đã chứng minh khái niệm tại nhà máy đầu tiên khai trương tháng 11/2009 ở Tofte, Na Uy, dọc theo Vịnh Oslo. Dựa vào báo cáo của các nhà nghiên cứu trường đại học Yale Menachem Elimelech và Ngai Yin Yip trên tờ tạp chí Khoa học và Công nghệ ACS, những trạm phát điện mới này có thể cung cấp điện cho



hơn 1 tỷ người bằng cách khai thác 10% nguồn năng lượng này.

Nhiệt độ lớp bề mặt và lớp sâu ở biển nhiệt đới và cận nhiệt đới chênh lệch nhau có thể tới 250 độ C. Đây là nguồn năng lượng cực kỳ to lớn mà con người muốn khai thác sử dụng. Theo các nhà khoa học thì tiềm năng của loại năng lượng này có thể khai thác ước tính đến 50 tỷ kW.

### **Rục rịch nghiên cứu**

Đáng tiếc, tốc độ đầu tư và khai thác nguồn năng lượng sạch vô tận này vẫn khá chậm so với những gì thế giới đang làm và so với tiềm năng của đất nước. Hiện tại, phát triển năng lượng biển ở nước ta mới chỉ ở giai đoạn sơ khai. Hầu như cái gì chúng ta cũng có nghiên cứu nhưng lại chỉ có một vài thông số cơ bản. Chẳng hạn, chúng ta có mấy thông số về mật độ của các dạng năng lượng biển. Tuy nhiên, các thông số để có những ứng dụng cụ thể phát điện trên biển thì lại chưa có. Nhiều cái “chưa” đáng chú ý khác nữa như chưa thực hiện quy hoạch, phân vùng năng lượng biển; chưa làm các cơ chế chính sách đặc thù của Việt Nam với năng lượng biển.

Các nghiên cứu mới chỉ thực hiện ở mức đủ để được nghiệm thu, thông qua. Nhưng từ các đề tài khoa học công nghệ ấy, chưa thấy có triển khai ứng dụng, lắp đặt thiết bị phát điện nào đáng kể. Nghiên cứu, khai thác và sử dụng các dạng năng lượng tái tạo ở nước ta gần 30 năm qua chủ yếu tập trung vào thủy điện. Các dạng năng lượng khác chưa nghiên cứu đánh giá tiềm năng đầy đủ, cũng như chưa có chính sách khuyến khích, hỗ trợ, đầu tư đúng mức.

Thờ ơ và chậm chạp với năng lượng tái tạo trong nghiên cứu có một phần nguyên nhân không nhỏ là không có động lực từ thị trường, không có cả dự án đặt hàng từ các nhà vạch chính sách, từ các nhà kinh doanh. Kế hoạch phát triển điện đến năm 2020 là ví dụ.

Thật khó giải thích sự thờ ơ này của các nhà lập kế hoạch, các nhà đầu tư, cho dù các số liệu cụ thể về tiềm năng năng lượng tái tạo ở Việt Nam chưa được rõ ràng như ở nhiều nước.

Và mới đây, Trung tâm Khảo sát Nghiên cứu Tư vấn Môi trường biển thuộc Viện Cơ học (Viện Khoa học & Công nghệ Việt Nam) đã nghiệm thu đề tài nghiên cứu mang mã số KC. 09.19/06-10 “Nghiên cứu đánh giá tiềm năng các nguồn năng lượng biển chủ yếu và đề xuất các giải pháp khai thác”. Mục tiêu chính của đề tài là tìm ra nguồn năng lượng mới có khả năng tái tạo, không gây ô nhiễm không khí rồi đề ra các biện pháp khai thác. Nhưng đề tài cũng mới thực hiện được các nghiên cứu cơ bản, đưa ra tập bản đồ tiềm năng, đánh giá các vùng biển có tiềm năng lớn nhất như mật độ của các dạng năng lượng biển chủ yếu: bức xạ mặt trời vùng biển, gió biển, sóng biển và thủy triều (hình 10-13) mà chưa có những ứng dụng cụ thể phát điện trên biển. 1. Tiềm năng Bức xạ mặt trời biển (đã ứng dụng trên 1 số đảo): 2. Tiềm năng gió biển ( đã ứng dụng trên các đảo và ven biển đồng bằng sông Cửu Long): 3. Tiềm năng sóng biển (đang có các dự án thử nghiệm tại các vùng ven biển): 4. Tiềm năng thủy triều và dòng chảy biển biển (đang thiết kế dự án, tại Cô Tô, cửa sông từ Vũng Tàu đến Cà Mau).

### **Một số ứng dụng ban đầu**

Tại Việt Nam nói chung, Bạc Liêu nói riêng, công trình mang tính động lực chính là dự án điện gió biển (rộng 500ha – đầu tư hơn 4.500 tỷ đồng). Theo các chuyên gia của Tập đoàn GE – Mỹ, đơn vị vừa cung cấp 10 tua bin gió đầu tiên cho dự án, các tua bin này có cánh quạt dài đến 82,5m, công suất 1,6 MW, phù hợp với chế độ gió cấp 3 tại biển Bạc Liêu và được sử dụng rộng rãi nhất trong ngành công nghiệp điện gió với hơn 16.000 chiếc trên toàn thế giới.

Theo tiến độ, sau khi hoàn thành tua bin đầu tiên, và so hoàn thành vào năm 1015 với 66 tuốc bin. Tổng điện năng của dự án điện gió biển Bạc Liêu khoảng 100 MW trên diện

tích biển 500 ha. Tổng công suất điện gió biển của 3 tỉnh Sóc Trăng, Trà Vinh, Bạc Liêu đã được phê duyệt là 500 MW đến năm 2015. Nếu mở rộng cho toàn vùng ven biển các tỉnh ven biển song Cửu Long thì điện năng có thể đạt tới vài GW.

### **Cần sớm tham gia các tổ chức quốc tế**

Việt Nam còn khá đứng đĩnh trong việc xem xét có nên gia nhập Nhóm Quốc tế về Năng lượng Đại dương (OES). OES được Ủy ban Năng lượng Quốc tế (IEA) thành lập năm 2001, có nhiệm vụ hỗ trợ, chuyển giao, thúc đẩy hợp tác quốc tế về các dự án điện biển cho các quốc gia có biển. Đến nay, OES đã có 20 quốc gia thành viên. Kể từ khi OES ra đời, việc đầu tư nghiên cứu các công nghệ khai thác năng lượng biển có nhiều tiến bộ vượt bậc.

Thế kỷ 20, mới có một mô hình năng lượng biển cạnh tranh thành công, nhà máy điện thủy triều ở Rance (Pháp) năm 1967 công suất 240 megawatt (MW). Nhưng chỉ sau một thập niên đầu tiên của Thế kỷ 21, sau khi OES thành lập, đã có một dự án mang tên Sihwa của Hàn Quốc, năm 2011, với công suất 254 megawatt (MW), bằng 1/5 công suất nhà máy thủy điện Hòa Bình của Việt Nam.

Mới đây nhất, tháng 4-2012, một công viên phong điện khác đi vào hoạt động như Walney của Anh Quốc công suất 367 MW. Cùng lúc, các dự án cỡ vài GW cũng đang được triển khai trên nhiều vùng đại dương.

Dựa vào ưu thế của OES, Liên minh Châu Âu (EU), Mỹ, Trung Quốc, Ấn Độ, New Zealand đều đặt mục tiêu, đến năm 2020, đưa tỷ lệ đóng góp của điện biển lên mức cao hơn rất nhiều lần so với chỉ tiêu của Việt Nam.

OES giúp công nghệ điện biển liên tục được thương mại hóa với suất đầu tư/kw giảm nhanh, trở nên ngày càng cạnh tranh so với các nguồn năng lượng truyền thống như than

đá, dầu khí, thủy điện, hạt nhân. Theo OES, đến năm 2050, ngành năng lượng đại dương thế giới sẽ tạo 160.000 việc làm, sản xuất ra 748 GW điện, giảm phát thải 5,2 tỷ tấn khí gây hiệu ứng nhà kính CO<sub>2</sub> .

Vậy mà, khi được mời tham gia OES, Việt Nam lại cho biết đang nghiên cứu lời mời. Đã đến lúc Việt Nam cần sớm tham gia các tổ chức quốc tế để có thể triển khai hiệu quả một chiến lược năng lượng xanh trên biển, làm cho ước mơ “rừng vàng, biển bạc” thành hiện thực.

Hiện nay, nhiều nước trên thế giới đã sử dụng nguồn năng lượng từ biển, Năm 1966, tại Pháp đã xây dựng một nhà máy điện thủy triều đầu tiên trên thế giới có quy mô công nghiệp với công suất 240 MW, đây là một trong những nhà máy điện thủy triều lớn nhất trên thế giới. Tại Canada đã vận hành một nhà máy 20 MW từ năm 1984, sản xuất 30 triệu KW điện hằng năm. Trung Quốc cũng là một nước rất quan tâm đến nguồn năng lượng sạch, hiện nay Trung Quốc có 7 nhà máy điện thủy triều đang vận hành với tổng công suất 11 MW. Gần đây, Hàn Quốc rất chú trọng khai thác sử dụng năng lượng thủy triều. Một nhà máy điện thủy triều Shiwa có công suất 254 MW được hoàn thành năm 2010; còn tại thành phố Incheon, từ năm 2007 đã xây dựng một nhà máy có công suất 812 MW lớn nhất thế giới, với 32 tổ máy và sẽ đưa vào vận hành năm 2015.