

PGS. TS. NGUYỄN CẢNH THANH

Lý thuyết TÀU THỦY?



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

PGS. TS. NGUYỄN CẢNH THANH

LÝ THUYẾT TÀU THỦY



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI

Lời nói đầu

Được sự quan tâm của Đảng và Nhà nước, ngành công nghiệp tàu thủy Việt Nam đã phát huy sức mạnh nội lực, tận dụng thời cơ hội nhập của đất nước vào trào lưu toàn cầu hoá nền kinh tế thế giới, đặc biệt từ khi Việt Nam được kết nạp vào Tổ chức thương mại thế giới (WTO), ngành đã có những bước nhảy vọt ngoạn mục. Là một người có gần 40 năm làm công tác nghiên cứu, thiết kế tàu thủy, trong đó có một số năm tham gia giảng dạy ngành đóng tàu tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, tôi tập hợp các bài giảng cho sinh viên các khóa 40, 41 của trường, kết hợp tài liệu của các nước có nền công nghiệp đóng tàu lâu đời như Anh Quốc, Liên bang Nga (Liên Xô cũ), Ba Lan, Nhật Bản, Trung Quốc v.v... về lý thuyết tàu thủy viết thành cuốn sách *“Lý thuyết tàu thủy”*. Nội dung sách bao gồm tất cả các lĩnh vực của “Lý thuyết từ tĩnh học”, ổn định, chống chìm, hạ thủy, lực cản và thiết bị đẩy, lắc (chòng chành) đặc biệt là lắc trên sóng tự nhiên và cuối cùng là tính có thể điều khiển của tàu. Lĩnh vực Lý thuyết tàu thủy là vô cùng rộng lớn, nên khi tập hợp trong một cuốn sách là cực kỳ khó khăn, nên không thể và cũng không có khả năng để cập được tất cả các kết quả nghiên cứu trên thế giới về lĩnh vực Lý thuyết tàu thủy được. Đối tượng của sách là sinh viên ngành đóng tàu, ngành đóng tàu thủy của các trường đại học và cũng có thể làm tài liệu tham khảo cho các kỹ sư và cán bộ kỹ thuật trong ngành đóng tàu, hàng hải, đăng kiểm, hải sản và hải quân. Đây có lẽ là cuốn sách Lý thuyết tàu thủy trọn bộ đầu tiên ở Việt Nam, cho nên không khỏi có nhiều thiếu sót, mong được sự phê bình và chỉ bảo của độc giả cả nước.

Tác giả

Chương 1

TỔNG QUAN VỀ MÔN HỌC LÝ THUYẾT TÀU THỦY

1.1. VÀI NÉT VỀ LĨNH VỰC ĐÓNG TÀU TRONG LỊCH SỬ DÂN TỘC VIỆT NAM VÀ TRÊN THẾ GIỚI

Có lẽ trên thế giới chỉ có dân tộc Việt Nam gọi Tổ quốc mình là “Đất nước”, vì từ ngày hình thành cộng đồng dân tộc, người Việt đã gắn bó với sông nước kênh rạch và công cụ tối quan trọng để ở và đi lại trên nước là thuyền bè. Người Việt cổ ta sống trên thuyền bè và lúc qua đời cũng được chôn trong những quan tài hình thuyền. Những ngôi mộ cổ tìm thấy trong di chỉ khai quật ở Châu Can – Phú Xuyên Hà Đông và An Tập Thái Bình đã nói lên điều đó. Người Việt xưa cũng đã biết chế tạo những bè mảng bằng cách nối hai cây gỗ dài song song cách xa nhau để đảm bảo an toàn khi sóng gió, mà ngày nay người ta gọi là tàu hai thân (Katamaran), họ cũng đã biết chế tạo những con thuyền khá hoàn hảo, từ thế kỷ thứ hai ông cha ta đã đóng cả những con thuyền đi biển dài 20 trượng (42 m – 48 m), nghề thủ công phát triển nên việc đóng thuyền cũng được nâng cao cả về mặt kỹ thuật, cả về số lượng, việc này đã được tác giả Đường Hội Yển, An Nam đô hộ phủ năm 973 xác nhận: Năm 808 Trương Châu đã sai thợ đóng hơn 400 chiếc thuyền mông đồng rất lớn, mỗi chiếc có 32 chèo và 25 chiến thủ.

Trong thời kỳ cận đại Trịnh Nguyễn phân tranh, các Chúa Nguyễn đã phát triển đóng tàu và xây dựng lực lượng chiến đấu trên sông biển ở đẳng trong, như Nguyễn Phúc Lan Chúa Thượng, tuy chỉ làm Chúa có 9 năm nhưng Chúa Thượng đã lập được chiến công vang dội, lần đầu tiên trong lịch sử thủy chiến, thủy quân Việt Nam đã đánh thắng thủy quân Âu Châu, đó là năm 1643 Hà Lan theo yêu cầu của Chúa Trịnh đã cho 3 chiếc tàu đồng kiểu tròn, trang bị nhiều trọng pháo tiến vào cửa Eo (Thuận An), Chúa Thượng đã đích thân đến Eo, ra lệnh cho thủy quân chèo thuyền ra đánh thẳng vào 3 chiếc tàu Hà Lan, mặc dầu đại bác bắn như mưa, nhưng nhờ thuyền nhỏ, cơ động bao vây tấn công vào tàu Hà Lan, cuối cùng chỉ một

chiếc thuyền nhỏ nhất của Hà Lan thoát thân còn 2 chiếc lớn đều bị đánh chìm, thủy thủ đều bị chết và 9 thủy thủ bị bắt sống [7]. Mọi người đều hiểu Hà Lan từ xưa đã nổi tiếng là cường quốc đóng tàu thuyền và ngày nay vẫn là cường quốc đóng tàu và nghiên cứu khoa học công nghệ tàu thủy hàng đầu trên thế giới. Thời kỳ Gia Long nước ta đã đóng được những chiến thuyền làm cho các Giáo sĩ Phương Tây hết sức ngạc nhiên khi họ trông thấy ở miền Nam nước ta mà họ nói chưa thấy ở các nước láng giềng của ta.

Trong lịch sử nhân loại, mặc dầu ngành hàng hải đã có những bước nhảy vọt như chuyến thám hiểm phát hiện Châu Mỹ năm 1492, nhưng đến giữa thế kỷ 18, khi cuộc Cách mạng công nghiệp lần thứ nhất sắp bắt đầu, năm 1749 nhà Bác học Euler đã liệt môn Lý thuyết tàu thủy là môn khoa học riêng biệt, khi ông viết cuốn “Khoa học tàu thủy” và được xuất bản tại Pêtécboa. Năm 1840 máy hơi nước ra đời, đòi hỏi các nhà khoa học tham gia giải quyết các vấn đề do cuộc sống đòi hỏi, từ đó ngành khoa học tàu thủy chính thức hoạt động, nó đã góp phần phát triển công nghiệp đóng tàu, thúc đẩy nền văn minh nhân loại.

1.2. MÔN KHOA HỌC LÝ THUYẾT TÀU THỦY

Ở các nước Phương Tây ngành đóng tàu đều được gọi là ngành Kiến trúc tàu thủy, và kỹ sư đóng tàu gọi là Kiến trúc sư tàu thủy, như ở Anh người ta dùng thuật ngữ Naval Architecture và Naval Architech, có lẽ dùng thuật ngữ như vậy làm cho mọi người không hiểu lầm là con tàu thủy là một chiếc máy đơn giản, mà như Euler đã nói nó là một ngành Khoa học riêng biệt. Khi Euler kiến nghị xây dựng Khoa học đóng tàu năm 1749 thì khoa học tàu thủy cũng chỉ được giới hạn những vấn đề liên quan tới Lý thuyết tàu thủy. Ngày nay khoa học tàu thủy gồm các bộ môn: Lý thuyết tàu thủy, Cơ học kết cấu và Kết cấu tàu thủy, Nguyên lý thiết kế tàu thủy v.v... và một ngành rất quan trọng là xây dựng các Quy phạm (Luật) liên quan tới Đóng tàu và Hàng hải. Trong cuốn sách này ta đi chuyên về bộ môn lý thuyết tàu thủy, đây là một bộ môn khoa học nghiên cứu về sự vận động của con tàu mà hình dáng của nó đã được xác định với giả thiết hình dáng con tàu là một vật thể cứng không biến dạng, môn học này gồm các bộ môn học nhỏ sau đây:

1. Tính nổi, tính ổn định, tính không chìm khi thân tàu bị thủng

– Trước hết phải tìm cách mô tả hình dáng hình học của thân tàu và các phương pháp tính toán các thông số của con tàu ở trạng thái nổi. Cho đến nay chưa ai đã thành công tuyệt đối trong việc dùng phương pháp giải tích toán học để mô tả hình dáng (dưới nước) của con tàu, ngay như khi tin học và máy tính đã đạt tới trình độ như hiện nay. Vì vậy người ta vẫn phải sử dụng phương pháp mô tả hình dáng tàu theo ba hệ mặt phẳng trực giao: các mặt phẳng song song với các mặt cắt

ngang giữa tàu, các mặt phẳng song song với mặt phẳng đối xứng giữa tàu và các mặt phẳng song song với mặt nước nổi tĩnh.

Sau đó sử dụng phương pháp tích phân gần đúng để tính các thông số hình học và tính nổi của con tàu.

– Về ổn định của con tàu

Con tàu phải được ổn định, nghĩa là tàu sẽ trở lại tình trạng ban đầu khi không còn tác dụng của các ngoại lực nữa, đó là nguyên tắc trọng tâm con tàu Z_G (chiều cao trọng tâm cách đường chuẩn) phải thấp hơn tâm nghiêng Z_M (tâm nghiêng cách đường chuẩn) nhưng các chuẩn mực để đánh giá ổn định con tàu sẽ không đơn giản chút nào, vì phải tính đúng được ngoại lực của môi trường đối với tàu, và ứng xử của tàu đối với ngoại lực đó, đó là công sức của nhiều nhà khoa học về đóng tàu hàng hải và của các cơ quan Đăng kiểm Quốc tế như Đăng kiểm Lloyd của Anh, AB của Hợp chủng Quốc Hoa Kỳ, BV của Pháp và các tổ chức Hàng hải Quốc tế như IMO v.v...

– Về tính không chìm của tàu

Để giữ được tính nổi của con tàu ngay khi thân tàu bị thủng người ta đã chia khoang tàu phía dưới boong kín nước thành nhiều khoang nhỏ kín nước để đảm bảo tàu có sức nổi dự trữ khi một hoặc nhiều khoang bị thủng. Việc bố trí các vách ngăn như thế nào để có lợi nhất đứng về quan điểm chống chìm khi sự cố xảy ra, sự cố đó cũng mang tính ngẫu nhiên, đó là lĩnh vực nghiên cứu áp dụng lý thuyết xác suất thống kê để giải bài toán vừa nêu lên, ngay từ những năm 60, 70 của thế kỷ trước cơ quan Hàng Hải Quốc tế IMO đã thành lập một bộ phận nghiên cứu này và đến nay đã trở thành một yêu cầu nhất định trong chương “Đánh giá phân khoang bằng xác suất” trong Phần 9 (Phân khoang) của Quy phạm Phân cấp và Đóng tàu vỏ thép.

2. Lắc (chòng chênh) của tàu trên nước tĩnh, lắc trên sóng điều hoà và sóng tự nhiên

Nghiên cứu cách tính toán các thông số lắc trên nước tĩnh như tần số (hoặc chu kỳ) biên độ lắc và mối quan hệ giữa các thông số đó với ngoại lực (sóng biển) đặc biệt là trên sóng tự nhiên. Tìm các biện pháp để giảm lắc trên sóng và hạn chế ảnh hưởng của lắc đối với con người, hàng hoá trên tàu như giảm gia tốc trên sóng, giảm nước tràn lên boong, giảm va đập giữa mũi tàu với sóng biển, đó là một bộ phận quan trọng tức tính chịu sóng của con tàu. Thành tựu to lớn của việc nghiên cứu lắc của tàu trên sóng tự nhiên từ mấy thập kỷ nay, đã có những áp dụng tăng khả năng chịu sóng của tàu trên biển. Các thiết bị giảm lắc loại bị động, chủ động đã kết hợp với những thành tựu về tin học, vi xử lý mang lại hiệu quả lớn được áp dụng rộng rãi trên các tàu quân sự như hàng không mẫu hạm, tàu mang tên lửa tầm gần tầm trung, các dàn khoan loại nổi ở trên biển v.v...

3. Lực cản và thiết bị đẩy

Đây là bộ môn quan trọng của Lý thuyết tàu thủy. Mục tiêu của việc nghiên cứu là tìm mọi biện pháp để năng lượng cấp cho tàu bé nhất mà đạt được vận tốc (hoặc cả lực kéo) chạy tàu lớn nhất.

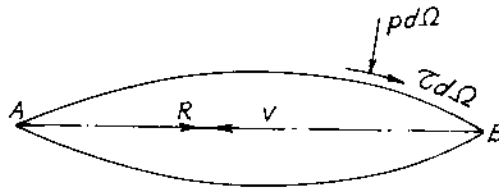
Các phương pháp giải tích để tính toán lực cản của tàu khi chạy trong nước vẫn chưa đạt được độ tin cậy để có thể sử dụng trong thiết kế tàu.

Ví dụ về lực cản R:

$$R = R_f + R_p$$

trong đó: R_f – lực cản ma sát;

R_p – lực cản áp lực.



Hình 1.

Bây giờ ta tính lực cản do phân lực pháp tuyến của áp lực nước gây nên lực cản R_p . Trên một phân tố diện tích ướt $d\Omega$, phân lực trên phương vận động của tàu bằng $p \cos(n, x)$. Tích phân trên toàn bộ diện tích ướt của tàu sẽ bằng:

$$R_p = - \int_{\Omega} p \cdot \cos(n, x) \cdot d\Omega \quad (1.1)$$

Cũng tương tự như vậy lực cản ma sát:

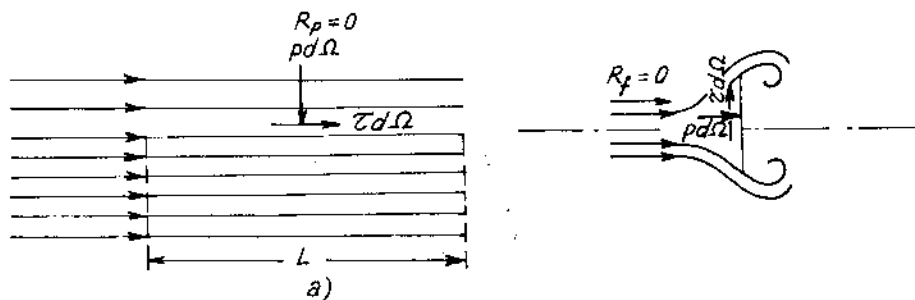
$$R_f = \int_{\Omega} \tau \cos(\tau, x) \cdot d\Omega \quad (1.2)$$

Nói chung quan hệ giữa lực cản áp lực và lực cản ma sát có quan hệ chặt chẽ với nhau tùy thuộc vào tốc độ của vật thể (tàu) và một mức độ lớn vào hình dáng của vật thể.

Ví dụ một tấm phẳng đi theo hướng mặt phẳng (hình 2a) thì chỉ có lực cản ma sát, như vậy $R_p = 0$ trong trường hợp này chỉ có lực ma sát. Trường hợp tấm bản vận động theo hướng pháp tuyến (hình 2b), vì lực tiếp tuyến đều bằng 0, do đó $R_f = 0$. Những hình thể thon có lực cản áp lực nhỏ hơn loại thô và ngắn. Lực cản ma sát R_f phụ thuộc hoàn toàn vào độ nhớt của nước và tất nhiên vào độ trơn tru của vỏ tàu, đến nay đã có nhiều cách tính tin cậy. Còn lực cản áp lực thì gồm một bộ phận gọi là lực cản gây sóng R_w và một bộ phận cũng phụ thuộc vào độ nhớt của chất lỏng

do dòng xoáy hay lực cản hình dáng R_p . Bộ phận lực cản gây sóng R_w chiếm tỷ lệ khá lớn đối với tàu có vận tốc cao. Ở vận tốc cao ứng với trị số Froude $F_n = \frac{v}{\sqrt{gL}} \approx$

0,30 trở lên thì gần 50% tổng lực cản là lực cản gây sóng R_w , đó cũng là lý do tại sao nhiều nhà khoa học tập trung nghiên cứu vấn đề này, nhưng đáng tiếc, đến nay cũng chưa có phương pháp tính toán có độ tin cậy cao, mà vẫn phải dựa vào công cụ quan trọng là bể thử mô hình tàu thủy, nhất là đối với các loại tàu mới với hình dáng đặc biệt và những tàu có trị số F_n cao.



Hình 2.

Để duy trì sự vận động đều của tàu ở vận tốc v (m/s) cần phải có một lực đẩy có phương tác dụng ngược với hướng của lực cản R . Công suất của lực đẩy (hoặc kéo) của lực đó bằng (tính bằng sức ngựa):

$$N_R = \frac{Rv}{75} \quad (1.3)$$

Về lý thuyết, đây là công suất tối thiểu cần thiết để tàu có thể vận hành với vận tốc v , cho nên công suất ở công thức (1.3) cũng có tên là công suất có hiệu EHP.

Để tạo ra công suất đó, trên tàu phải trang bị động cơ với công suất N_e , thông thường N_e được đo ở đầu ra của trục động cơ, sau một hệ thống truyền động (hệ trục) công suất đó chỉ còn N_p (đây là công suất cấp cho thiết bị đẩy của tàu), qua thiết bị đẩy mà bộ môn Lý thuyết tàu nghiên cứu sẽ tạo ra công đẩy hoặc công suất có hiệu EHP.

Hiệu suất của hệ thống ta vừa trình bày sẽ bằng:

$$\frac{EHP}{N_e} = \frac{EHP}{N_p} \cdot \frac{N_p}{N_e} = \eta_p \cdot \eta_{\text{hệ trục}} \quad (1.4)$$

trong đó η_p – hiệu suất thiết bị đẩy, $\eta_{\text{hệ trục}}$ – hiệu suất hệ trục.

Mục đích của những vấn đề nghiên cứu trong bộ môn này là chọn thiết bị đẩy và sự bố trí tương hỗ giữa thiết bị đẩy với vỏ tàu và thiết bị lái tàu làm sao để η_p đạt tới tối đa.

Về thiết bị đẩy, ở thời nguyên thủy là chèo, sào chống, nay đã có nhiều chủng loại phong phú như chân vịt, guồng, phun đẩy, loại thiết bị có cánh đứng mang tên Voith – Shneider, ta sẽ được hiểu kỹ ở các chương sau.

4. Tính thao tác (tính điều khiển được) của tàu

Gồm hai bộ môn nhỏ đó là tính ổn định hướng đi và tính có thể điều khiển được (tính ăn lái) của tàu. Về tính ăn lái của tàu phần lớn dựa vào diện tích bánh lái và cách bố trí phía sau tàu, đó là bộ ba gồm đuôi tàu, chân vịt (hoặc thiết bị đẩy khác) và thiết bị lái. Đối với những tàu có yêu cầu cao về tính thao tác, người ta đã sáng tạo ra nhiều kiểu lái như thiết bị phun xoay (Sôngte) các ống phun các bánh lái ở mũi của các tàu dịch vụ v.v... Đầu thiên niên kỷ này, ngày 12 tháng tư năm 2004, chiếc tàu khách khổng lồ mang tên “Queen – Mary 2” đã chạy chuyến đầu tiên trên tàu có 3600 khách du lịch xuất phát từ Sautgempton nước Anh tới thành phố New York. Trên tàu bố trí 4 chân vịt quay xung quanh trục đứng để thay luôn bánh lái, trong đó có 2 trục đứng quay được 360° ta có thể tưởng tượng được tính ma nơ của chiếc tàu khổng lồ này ưu việt đến mức nào, hầu như quay vòng tại chỗ, từ đây ta thấy công nghệ mới đã thâm nhập vào ngành đóng tàu nhanh như thế nào.

Về tính ổn định hướng đi, phần lớn phụ thuộc vào mối quan hệ giữa các kích thước tàu và sự phân bố khối lượng của tàu. Về phần lý thuyết, đây cũng là bộ môn có nhiều hứng thú, đang thu hút nhiều nhà nghiên cứu trẻ sáng tạo ra các phát minh, nhất là trong lĩnh vực vũ khí của hải quân: như các con quay lắp trên ngư lôi v.v...

5. Bộ môn nhỏ cuối cùng của Lý thuyết tàu là Hạ thủy con tàu

Con tàu được đóng trong Nhà máy, khi các phần chính là thân tàu và các thiết bị nằm ở dưới đường nước đã lắp xong, thì người ta tổ chức đưa con tàu xuống nước và đưa nó cập bến trong Nhà máy để hoàn thiện các công việc cuối cùng của quá trình đóng tàu. Việc đưa tàu từ trên bờ xuống nước được gọi là hạ thủy. Thời gian hạ thủy chỉ tiến hành khoảng 1 tiếng đồng hồ thậm chí chỉ mấy chục phút so với bao nhiêu ngày tháng thậm chí hàng năm đóng con tàu thì quá ngắn ngủi của cả quá trình đóng tàu, nhưng ý nghĩa về kinh tế kỹ thuật là vô cùng to lớn. Việc tiến hành thành công hạ thủy, phụ thuộc vào việc tính toán chính xác liên quan tới thủy tĩnh và động học trong cả quá trình hạ thủy. Những vấn đề khoa học liên quan tới hạ thủy đã được các nhà khoa học giải quyết gần hết, nhưng công việc tính toán thì khá mất thời gian và công sức đòi hỏi sự cẩn mẫn chính xác của các kỹ sư đóng tàu. Thế mà trên thế giới không ít trường hợp xảy ra sự cố thậm chí nghiêm trọng trong quá trình hạ thủy.

Để kết luận chương “Nhập môn Lý thuyết tàu thủy” phải nhấn mạnh một điều: Môn Lý thuyết tàu thủy ra đời trên 250 năm rồi, đã giải quyết được hàng loạt các vấn đề Khoa học Công nghệ và thúc đẩy sự phát triển ngành hàng hải, đóng

tàu, hải dương và hải quân, trong cuốn sách nhỏ này chỉ hạn chế nghiên cứu các vấn đề liên quan tới tàu chạy trên mặt nước và cũng chỉ đi sâu với tàu dạng bơi trên nước, còn đối với các loại tàu chạy nhanh như tàu lướt, tàu cánh ngầm, tàu đệm khí chỉ được giới thiệu một số khái niệm cơ bản để bạn đọc có cơ sở khi phải đi sâu vào lĩnh vực này.

Chương 2

HÌNH HỌC VÀ TÍNH NỔI CỦA THÂN TÀU

2.1. HÌNH HỌC CỦA THÂN TÀU

Thân tàu là một vật thể nổi có hình dáng vỏ ngoài trơn tru. Mút trước là mũi tàu, phần giữa tàu và mút sau cùng là đuôi tàu. Đứng ở đuôi nhìn về phía mũi tàu gồm mạn trái và mạn phải, phía dưới được bao bọc bởi đáy tàu, phía trên được bao bọc bởi boong tàu. Thông thường đáy được nối với mạn bằng hông tàu tròn, cũng có những tàu việc nối giữa đáy và mạn bằng hình gãy góc.

Thông thường thân tàu có mặt phẳng đối xứng dọc, đó là mặt phẳng thẳng đứng đi qua 2 mút mũi và đuôi. Tàu phải thiết kế làm sao để khi tàu chở đầy hàng hoá, hành khách và dự trữ, tàu sẽ được nổi theo mặt nước tĩnh, mặt phẳng nước tĩnh đó vuông góc với mặt phẳng đối xứng dọc tàu. Mặt cắt giữa mặt nước tĩnh với vỏ ngoài thân tàu tạo thành Đường nước thiết kế (hoặc đường nước chở hàng mùa hè).

Hai đường thẳng đứng nằm trong mặt phẳng đối xứng dọc vuông góc với mặt nước nổi tĩnh và đi qua 2 trục được gọi là hai đường thẳng vuông góc, hai trụ ấy được xác định rất chặt chẽ trong qui phạm là trụ lái AP (After perpendicular) và trụ mũi FP (Fore perpendicular). Trụ lái thông thường là đường tâm trục lái, trụ mũi đi qua mút trước của đường nước thiết kế. Khoảng cách giữa hai đường thẳng vuông góc đó gọi là chiều dài hai trụ, được ký hiệu là L_{pp} , đây là một tham số quan trọng, là chỉ số nói lên độ lớn của tàu, không phụ thuộc vào trạng thái chở hàng.

2.1.1. ĐƯỜNG HÌNH DÁNG LÝ THUYẾT THÂN TÀU

Để mô tả chính xác hình dáng bên ngoài của thân tàu có thể dùng 3 phương pháp chính:

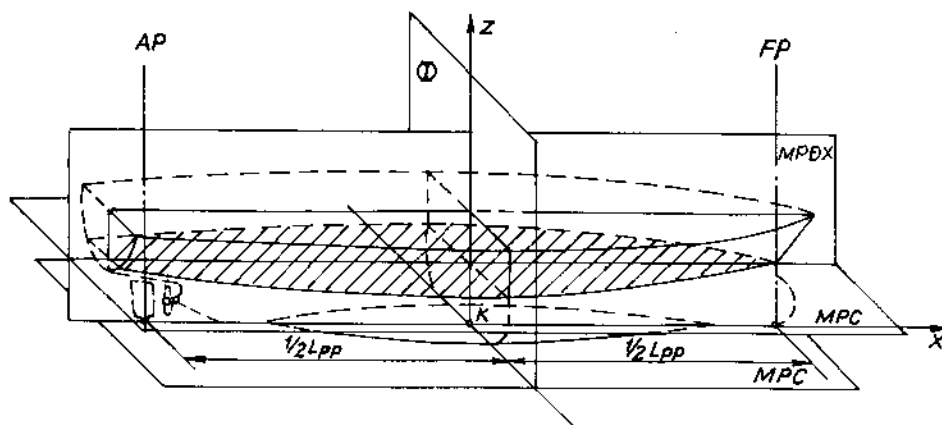
- Đồ thị hoá bằng các hình vẽ,
- Số trị hoá bằng lập các bảng số liệu để định vị các điểm trên hình vẽ kể trên,
- Hàm hoá các đường cong vỏ ngoài thân tàu, gọi tắt là phương pháp giải tích.

Hiện chưa có phương pháp giải tích nào để có thể áp dụng tin cậy trong công tác thiết kế và sản xuất vì vậy người ta sử dụng “Đường hình dáng lý thuyết”, tức là dùng các hình vẽ và lập các bảng trị số để định vị các điểm của các hình vẽ trong hệ thống các đường cong mà ta sẽ trình bày dưới đây:

Hệ tọa độ kxyz được hình thành bởi 3 trục kx, ky, kz là giao tuyến giữa 3 cặp mặt phẳng dưới đây:

- Mặt phẳng đối xứng dọc (MPĐX) là mặt phẳng thẳng đứng đi qua 2 điểm mũi và đuôi, vuông góc với đường (mặt) nước thiết kế,
- Mặt phẳng thẳng đứng của sườn lý thuyết đi qua điểm giữa chiều dài tàu, là mặt phẳng thẳng đứng vuông góc với MPĐX và mặt nước tĩnh, có nước dùng điểm giữa chiều dài L_{pp} (phần lớn là các nước Phương Tây), có nước dùng điểm giữa của đường nước thiết kế L_{wl} . Mặt phẳng này được ký hiệu là mặt phẳng Φ ,
- Mặt phẳng chuẩn (MPC) là mặt phẳng chứa đường đáy tàu và song song với mặt nước tĩnh. Trục kx là giao tuyến giữa MPC và MPĐX, trục ky là giao tuyến giữa MPC và mặt phẳng Φ , trục kz là giao tuyến giữa MPĐX và mặt phẳng Φ .

Trong hệ tọa độ kxyz, kx chỉ về mũi, ky chỉ về mạn phải, kz chỉ lên boong (hình 2.1).



Hình 2.1. Hệ tọa độ gắn chặt với tàu.

Các đường cong được hình thành bởi sự giao cắt giữa vỏ ngoài thân tàu với 3 hệ thống mặt phẳng song song với MPĐX, MPC và mặt phẳng Φ gồm các đường cắt dọc, các đường nước và các đường sườn lý thuyết (sở dĩ phải gọi là sườn lý thuyết vì đây là các đường sườn giả định, không phải là các đường sườn thực tế).

Thông thường trên đường hình dáng lý thuyết gồm 21 đường sườn lý thuyết, từ điểm gốc của hệ tọa độ k đến AP chia thành 10 khoảng sườn đều nhau, từ k đến FP cũng được chia thành 10 khoảng sườn đều nhau và được đánh dấu từ №0, №1, №2,... №20, sườn số 10 trùng với mặt phẳng K₀. Về đường nước: từ đường chuẩn đến đường nước thiết kế được chia thành 5 khoảng cách bằng nhau, ta phải vẽ 6 đường nước từ đường số 0 đến đường số 5, còn phía trên đường nước ta vẽ thêm mấy đường nước cũng với khoảng cách như trên, cho tới gần mép boong. Về đường cắt dọc: từ trục kx đến mạn tàu (thông thường là mạn thẳng) phần lớn được chia thành 4 khoảng cách bằng nhau, ta phải vẽ 5 đường cắt dọc, đường cắt dọc số 0 nằm trong MPĐX, đường cắt dọc số IV ở gần mạn tàu. Thường dùng chữ số La Mã để đánh dấu trên đường cắt dọc. Trên hình 2.2 trình bày đường hình dáng một con tàu đã đóng hàng loạt ở nước ngoài, vì tàu đối xứng qua MPĐX nên chỉ cần vẽ 1 nửa tàu theo chiều ngang là đủ.

Một điều cần lưu ý, vì tàu vỏ thép có chiều dày tôn vỏ rất bé so với kích thước chính của tàu nên khi vẽ đường hình dáng lý thuyết không bao gồm vỏ ngoài của thân như vậy khi tính thể tích chiếm nước thực tế sẽ lớn hơn thể tích chiếm nước được tính toán theo đường hình dáng lý thuyết. Thông thường thể tích chiếm nước thực tế được lấy bằng nhân thể tích tính toán đó với một hệ số bằng 1,005 tức tăng 0,5%.

Để nâng cao độ chính xác của sự mô tả vỏ tàu thực bằng đường hình dáng lý thuyết, một số nước còn dùng thêm 4 trạm ở đuôi và ở mũi, đó là trạm № $\frac{1}{2}$, №1 $\frac{1}{2}$ và trạm №18 $\frac{1}{2}$, №19 $\frac{1}{2}$, hoặc thêm những trạm ở những nơi hình dáng thân tàu phức tạp.

Bên cạnh đường hình dáng lý thuyết phải kèm theo bảng trị số đường hình dáng lý thuyết. Trên hình 2.2 không có bảng trị số đường hình dáng lý thuyết và một số kích thước chính vì luật bảo vệ sở hữu trí tuệ. Bạn đọc có thể đo trên bản vẽ và điền vào các số liệu cần thiết, đó cũng là bài tập đầu tiên về Lý thuyết tàu thủy.

2.1.2. KÍCH THƯỚC CHÍNH CỦA THÂN TÀU VÀ CÁC HỆ SỐ

Bên cạnh đường hình dáng lý thuyết các kích thước chính và các hệ số là những thông số quan trọng nói lên độ lớn và đặc trưng của một con tàu.

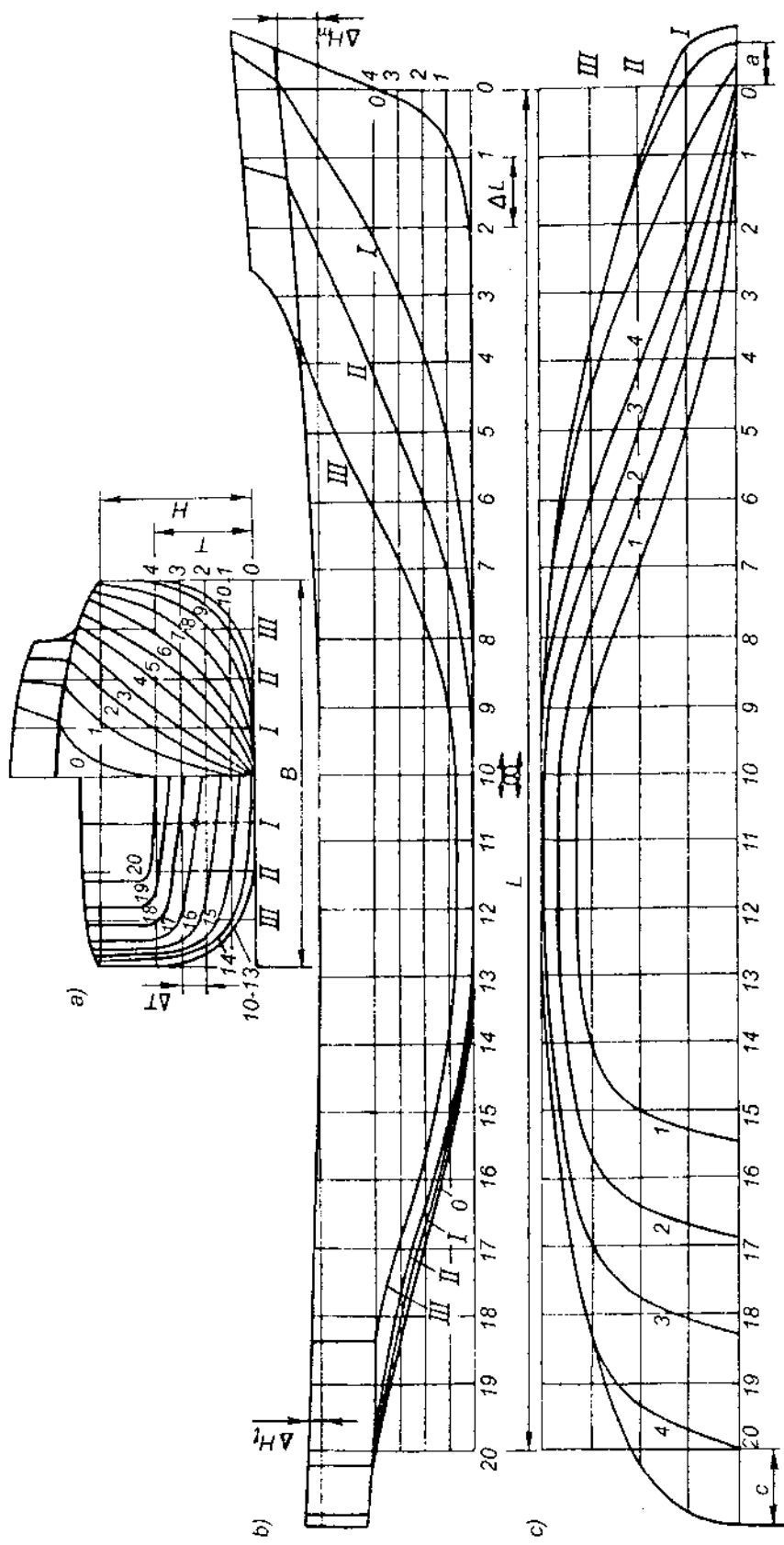
1. Chiều dài tàu L, bao gồm:

Chiều dài toàn bộ L_{Σ} là khoảng cách lớn nhất giữa mũi và đuôi tàu,

Chiều dài hai trụ L_{pp} như đã được định nghĩa ở mục 2.1.1,

Chiều dài đường nước thiết kế L_{w1} ,

Chiều dài toàn bộ phần dưới nước.

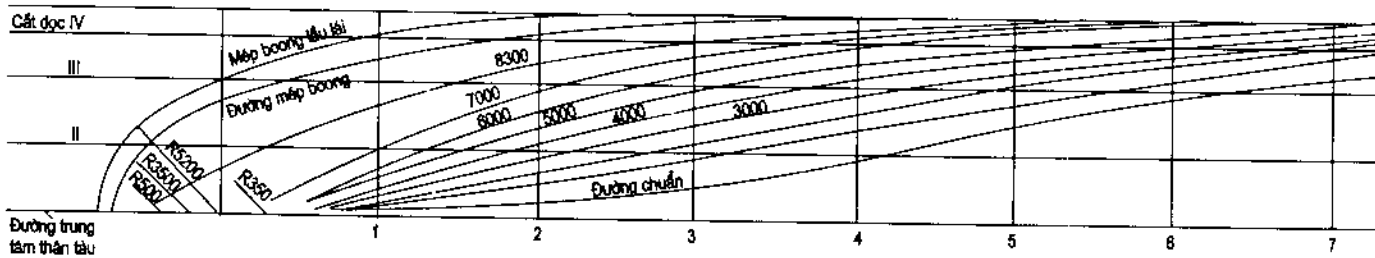
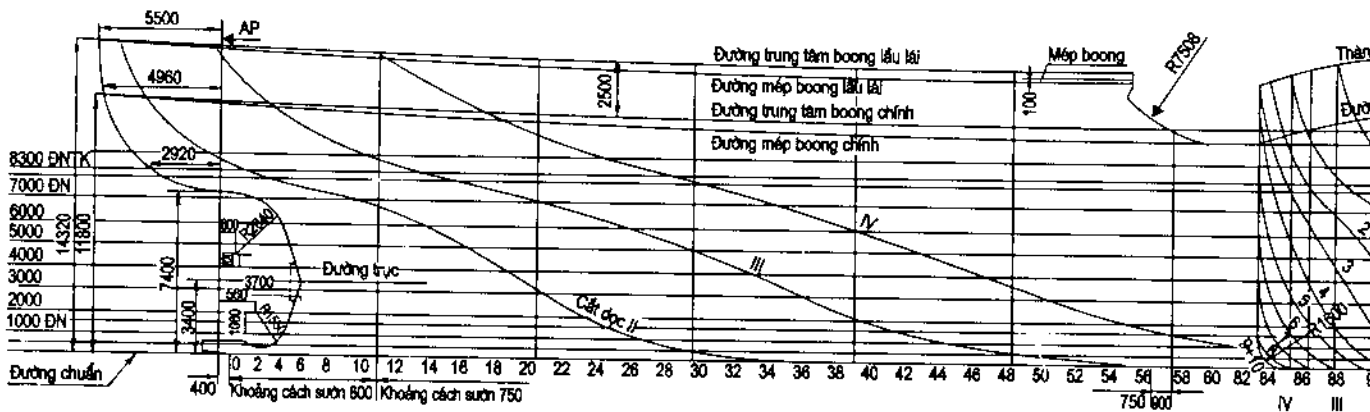


Hình 2.1.1. Đường hình dáng thân tàu

a - Đường sườn lý thuyết ; b - Đường cắt dọc ; c - Một nửa các đường nước.

TRỊ SỐ ĐƯỜNG HÌNH DÁNG LÝ THUYẾT

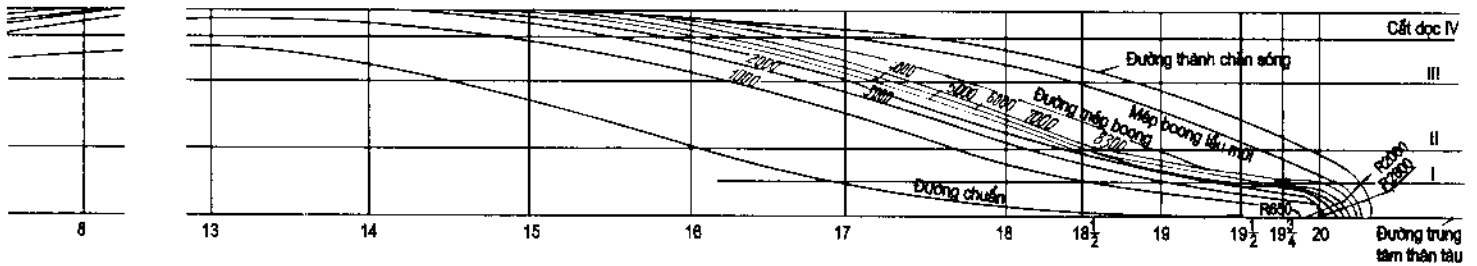
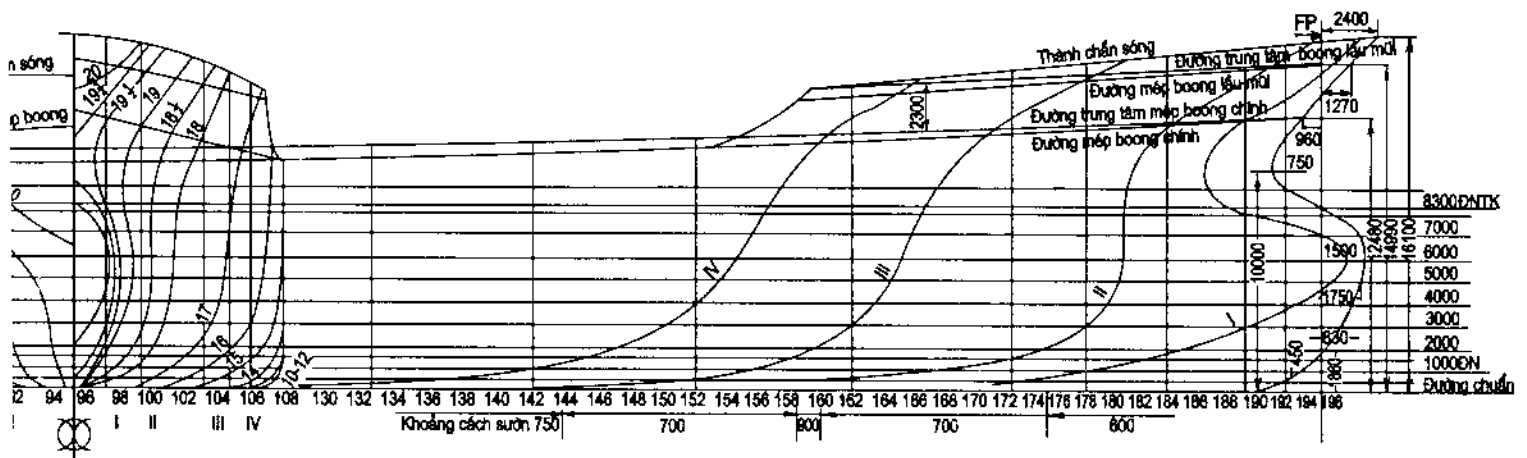
Thứ tự	Một nửa chiều rộng đường nước								Chiều cao đường cắt dọc				Boong chính		Boong lầu mũi lái		Thành chắn sóng		Thứ tự
	Chuẩn	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8300	I	II	III	IV	1 Chiều 2 rộng	Cao mép boong	1 Chiều 2 rộng	Cao mép boong	1 Chiều 2 rộng	
-1																			-1
1/2																			1/2
0																			0
1																			1
2																			2
3																			3
4																			4
5																			5
6																			6
7																			7
8																			8
9																			9
10																			10
11																			11
12																			12
13																			13
14																			14
15																			15
16																			16
17																			17
18																			18
19																			19
19 1/2																			19 1/2
20																			20



Hình
 Chú ý: - Đây là đường
 - Con số nhỏ
 - Khoảng cách sườn th
 ở đoạ

Kích thước chính

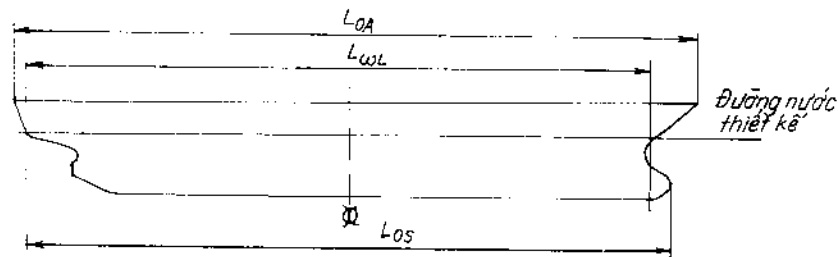
Chiều dài toàn bộ	L_{OA}	138,80 m
Chiều dài thiết kế	L_{WL}	133,82 m
Chiều dài 2 trụ	L_{pp}	130,90 m
Chiều rộng	B	m
Chiều cao	H	m
Mớn nước thiết kế	T	8,30 m
Hệ số béo toàn tàu	δ	
Hệ số hình thái	ψ	
Hệ số đẩy đường nước	α	
Thể tích chiếm nước	V	



2. Đường hình dáng lý thuyết.

Đường hình dáng lý thuyết dùng cho công việc thi công, từ 1 đến 196 là số hiệu đường sườn thực tế; không đều, ở mũi và lái khoảng cách sườn ngắn, giữa tàu khoảng cách sườn thưa hơn.

Các chiều dài nêu trên được thể hiện trên hình 2.3.



Hình 2.3. Cách xác định chiều dài tàu.

2. Mớn nước (chiều chìm) T

Là khoảng cách thẳng đứng từ mặt phẳng chuẩn tới mép boong đo tại mặt phẳng ∇ thể hiện trên hình 2.4.

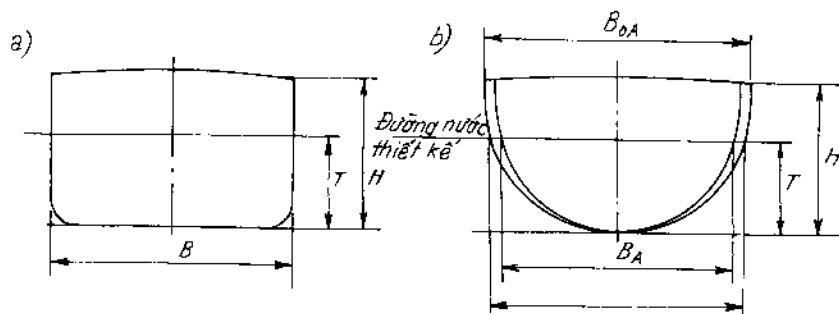
Trường hợp tàu có độ chúi khi thiết kế, thì có 4 mớn nước khác nhau đó là:

- mớn nước giữa tàu T ,
- mớn nước mũi T_m (T_F),
- mớn nước lái T_l (T_A),
- Mớn nước lớn nhất T_{max} – khoảng cách thẳng đứng từ điểm thấp nhất ở lái tới đường nước thiết kế.

Nếu mặt cắt ngang lớn nhất không trùng với mặt phẳng ∇ thì còn một trị số mớn nước tại mặt cắt ngang lớn nhất T_x , đó là khoảng cách thẳng đứng từ điểm thấp nhất của mặt cắt ngang lớn nhất tới đường nước thiết kế.

3. Chiều cao mạn tàu H

Là khoảng cách thẳng đứng từ mặt phẳng chuẩn tới mép boong đo tại mặt phẳng ∇ như trên hình 2.4.



Hình 2.4. Cách xác định chiều rộng, mớn nước và chiều cao tàu:

- a) trường hợp mạn thẳng đứng;
- b) trường hợp mạn nghiêng và mặt cắt ngang lớn nhất không ở ∇

.Khoảng cách thẳng đứng giữa mép boong và đường nước thiết kế được gọi là mạn khô của tàu f. Mạn khô tàu được qui định tại phần 11 mạn khô của Qui phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép.

4. Trọng tâm nghiêng cứu của môn “Lý thuyết tàu thủy”

Là phần dưới nước (phần nằm dưới đường nước thiết kế $L_{\omega L}$) nhiều hơn toàn thể hình dáng của thân tàu, đó là thể tích phần ngâm nước của tàu V và tọa độ của trọng tâm thể tích đó $C(B)^*$ đó là x_c, y_c, z_c . Ở trạng thái nổi thẳng thì $y_c = 0$, vì tàu đối xứng qua mặt phẳng đối xứng dọc.

5. Ngoài ra ta còn sử dụng các trị số sau đây để mô tả phần dưới nước của thân tàu

- Diện tích đường nước thiết kế $S_{\omega L} (A_{\omega})$,
- Diện tích đường sườn giữa tàu nằm dưới đường nước thiết kế $\omega_M (A_M)$,
- Tọa độ tâm hình học của đường nước thiết kế $x_f (x_f)$,
- Mômen quán tính của đường nước thiết kế đối với trục dọc I_x , đối với trục ngang I_y và mômen quán tính đối với trục ngang song song với trục Oy đi qua tâm hình học của đường nước x_f , được ký hiệu bằng I_f .

6. Các tỷ số giữa các kích thước chính và các hệ số béo (dầy) gầy của phần thể tích và diện tích ngâm dưới nước

$L_{\omega L}/B$ hoặc L_{pp}/B và L_{pp}/H đặc trưng cho mặt phẳng nằm ngang và mặt phẳng đứng của tàu ở dưới nước;

B/T và H/T đặc trưng cho mặt phẳng ngang ở dưới nước, trị số B/T lớn nói lên tàu nông, B/T bé nói lên tàu mảnh dẻ;

Tỷ số $L_{pp}/\sqrt[3]{V}$ được mang tên chiều dài Froude nói lên độ thanh mảnh phần dưới nước của thân tàu;

Tỷ số x_c/L_{pp} , $x_c/L_{\omega L}$ và $x_f/L_{\omega L}$ đặc trưng cho sự phân bố không đối xứng của phần dưới nước của thân tàu và sự phân bố không đối xứng của diện tích đường nước đối với mặt phẳng XOZ .

Đặc trưng của hình dáng phần dưới nước cũng được thể hiện bằng các hệ số béo dưới đây:

$$\delta (C_B) = \frac{V}{L_{\omega L} BT}$$

* Trong sách này sử dụng các ký hiệu thường dùng ở Việt Nam, để tiện cho việc đối chiếu khi dùng tài liệu khác nhất là tài liệu của các nước Phương Tây, trong sách tác giả thêm ký hiệu quốc tế nằm trong ().

$$\text{hoặc} \quad \delta(C_B) = \frac{V}{L_{pp} B T} \quad (2.1)$$

$$\text{hoặc} \quad \delta(C_B) = \frac{V}{L_{\omega L} B_x T_x}, \quad (\text{nếu } B_x \neq B \text{ và } T_x \neq T)$$

Hệ số đầy của đường nước thiết kế:

$$\alpha(C_w) = \frac{S_{\omega L}}{L_{\omega L} B_x} \left(\frac{A_w}{L_{\omega L} B_x} \right), \quad (2.2)$$

Hệ số đầy của đường sườn giữa tàu $\otimes$:

$$\beta(C_M) = \frac{\omega_{\otimes}}{B T} \left(\frac{A_M}{B_M T} \right) \quad (2.3)$$

Hệ số đầy của đường sườn lớn nhất:

$$\text{hoặc} \quad \beta(C_x) = \frac{\omega_x}{B_x T_x} \left(\frac{A_x}{B_x T_x} \right) \quad (2.4)$$

Hệ số béo theo chiều dọc, cũng có tên gọi là hệ số hình thoi:

$$\varphi(C_P) = \frac{V}{L_{\omega L} \omega_{\otimes}} = \frac{\delta}{\beta} \left(\frac{C_B}{C_M} \right) \quad (2.5)$$

$$\text{hoặc} \quad \varphi(C_P) = \frac{V}{L_{\omega L} \omega_x} \quad (\text{nếu } \omega_x \neq \omega_{\otimes})$$

Hệ số béo theo chiều thẳng đứng:

$$\chi(C_{VP}) = \frac{V}{T S_{\omega L}} = \frac{\delta}{\alpha} \left(\frac{C_B}{C_w} \right) \quad (2.6)$$

Để bạn đọc tham khảo, xin giới thiệu độ béo và tỷ số kích thước chính của một số tàu thường gặp:

Loại tàu	δ	β	α	L/B	B/T
Tàu hàng chạy nhanh	0,55 ÷ 0,65	0,90 ÷ 0,96	0,73 ÷ 0,81	8,0 ÷ 9,0	2,5 ÷ 3,10
Tàu khách hàng chạy nhanh	0,65 ÷ 0,75	0,94 ÷ 0,98	0,76 ÷ 0,86	7,5 ÷ 8,0	2,4 ÷ 2,70
Tàu hàng loại lớn	0,65 ÷ 0,80	0,96 ÷ 0,99	0,80 ÷ 0,86	7,0 ÷ 8,0	2,0 ÷ 2,50
Tàu hàng cỡ vừa	0,65 ÷ 0,78	0,96 ÷ 0,98	0,82 ÷ 0,87	6,5 ÷ 7,5	2,2 ÷ 2,80
Tàu hàng loại bé	0,70 ÷ 0,78	0,93 ÷ 0,98	0,82 ÷ 0,87	6,0 ÷ 7,0	2,5 ÷ 3,4
Tàu kéo, tàu phá băng	0,45 ÷ 0,6	0,75 ÷ 0,84	0,75 ÷ 0,83	4,0 ÷ 5,5	2,2 ÷ 3,1
Tàu hàng trong sông	0,73 ÷ 0,85	0,95 ÷ 0,99	0,75 ÷ 0,90	6,5 ÷ 9,0	3,4 ÷ 6,7
Tàu đánh cá	0,50 ÷ 0,60	0,77 ÷ 0,90	0,75 ÷ 0,84	5,0 ÷ 7,0	2,0 ÷ 2,5

Ghi chú. Các hệ số béo δ , α , β đều ứng với môn nước thiết kế của tàu.

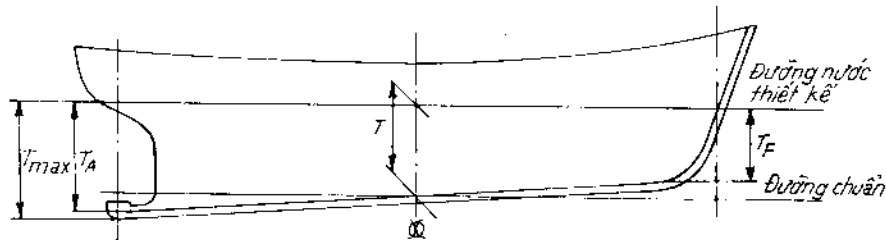
2.1.3. BIỂU THỨC GIẢI TÍCH CỦA LƯỢNG CHIẾM NƯỚC VÀ CÁC THÔNG SỐ KHÁC CỦA TÀU

a. Tính theo đường nước

Đường nước và các thành phần của nó

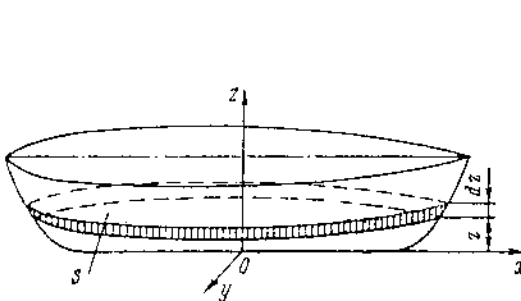
Như đã nói trong phần trên, đường nước là đường giao cắt giữa vỏ ngoài của thân tàu với mặt phẳng song song với mặt phẳng chuẩn (MPC), có thể trình bày trong hệ tọa độ xOy (như hình 2.6 và hình 2.7). Ta nghiên cứu một đường nước S thì diện tích của nó được biểu thị bằng công thức sau đây:

$$S = 2 \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} y dx \quad (2.7)$$

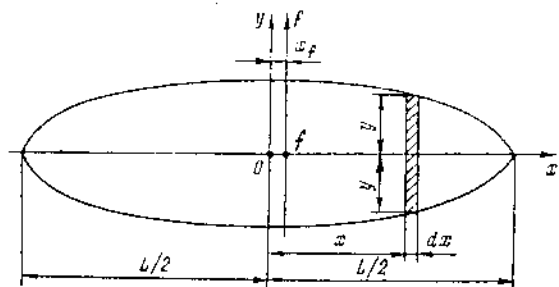


Hình 2.5. Cách xác định mớn nước với tàu có độ chúi khi thiết kế.

Giới hạn tích phân trong công thức (2.7) từ $-\frac{L}{2}$ đến $+\frac{L}{2}$ chỉ đúng với đường nước thiết kế trong trường hợp đặc biệt khi sống mũi và sống lái đều là đường thẳng đứng, còn thông thường phải tính từ đường nước gặp sống lái và đường nước gặp sống mũi.



Hình 2.6.



Hình 2.7.

Tọa độ của trọng tâm đường nước được xác định bởi thông số giữa mômen tĩnh của đường nước đối với trục Oy và diện tích của đường nước:

$$x_f = \frac{M_{oy}}{S} = \frac{\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} xy \, dx}{\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} y \, dx} \quad (2.8)$$

Vì tàu đối xứng với mặt phẳng dọc giữa tàu nên $y_f = 0$.

Mômen quán tính của đường nước đối với trục Ox , I_x tính theo tích phân sau đây:

$$I_x = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \frac{(2y)^3}{12} \, dx = \frac{2}{3} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} y^3 \, dx \quad (2.9)$$

Mômen quán tính trung tâm đối với trục ngang:

$$I_f = I_y - (x_f)^2 S \quad (2.10)$$

Mômen quán tính của đường nước đối với trục Oy là I_y trong công thức (2.10) bằng:

$$I_y = 2 \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} x^2 y \, dx \quad (2.11)$$

Nếu thể tích dưới đường nước được chia thành các lớp bằng các mặt phẳng song song với đường nước thiết kế có chiều dày dz như hình 2.6 thì có thể tích phân theo chiều thẳng đứng các phân tố thể tích $Sdz = dV$, và thể tích chiếm nước của tàu được biểu thị bằng tích phân:

$$V = \int_0^T Sdz \quad (2.12)$$

Thay công thức (2.7) vào công thức (2.12) ta có:

$$V = 2 \int_0^T \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} y \, dx \, dz \quad (2.13)$$

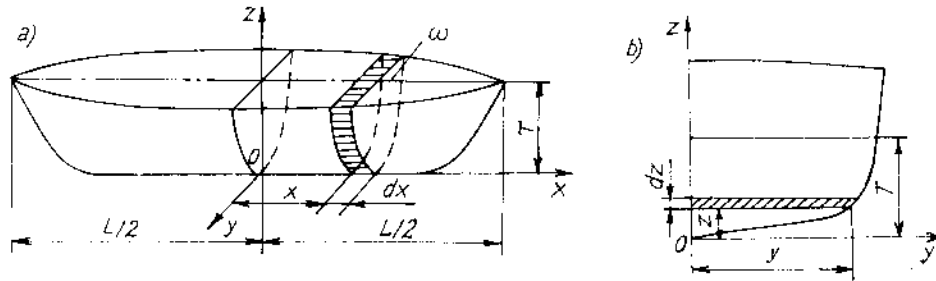
Về tâm nổi $C(x_c, y_c, z_c)$, vì tàu đối xứng qua MPĐX nên $y_c = 0$ khi tàu nổi thẳng, nên ta chỉ cần tính x_c và z_c . Để tính hai trị số đó của tọa độ C , ta chỉ cần tính mômen tĩnh của thể tích chiếm nước đối với mặt phẳng yOz và mặt phẳng xOy là M_{yoz} và M_{xoy} và tọa độ x_c và z_c sẽ tuần tự bằng:

$$x_c = \frac{M_{yoz}}{V} = \frac{1}{V} \int_0^T Sx_f \, dz \quad (2.14)$$

$$z_c = \frac{M_{xoy}}{V} = \frac{1}{V} \int_0^T Sz \, dz \quad (2.15)$$

b. Tính theo đường sườn

Như đã trình bày ở mục 2.1.1, các đường sườn là mặt cắt giữa các mặt phẳng song song với mặt phẳng XOY với vỏ ngoài thân tàu, xem hình 2.8a và hình 2.8b.



Hình 2.8.

Diện tích phân tố đường sườn $d\omega = ydz$ như trên hình 2.8b, vì vậy diện tích ngâm nước của đường sườn bằng tích phân sau đây:

$$\omega = 2 \int_0^T y dz \quad (2.16)$$

Thể tích chiếm nước tính theo đường sườn.

Ta lấy một phân tố thể tích chiếm nước được giới hạn bởi 2 đường sườn cách đều nhau một khoảng cách dx , từ đó thể tích chiếm nước có thể tính bằng tích phân sau đây:

$$V = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \omega dx \quad (2.17)$$

Thay (2.16) vào (2.17) ta có:

$$V = 2 \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \int_0^T y dx dz \quad (2.18)$$

Tính tọa độ tâm nổi $C(x_c, y_c, z_c)$, cũng như trên vì tàu đối xứng qua MPDX nên $y_c = 0$. Khi tàu nổi thẳng, ta chỉ cần tính mômen tĩnh của thể tích chiếm nước đối với mặt phẳng yOz thì tọa độ x_c của tâm nổi có thể tính theo công thức (xem hình 2.8a):

$$x_c = \frac{M_{yoz}}{V} = \frac{1}{V} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \omega \cdot x \cdot dx \quad (2.19)$$

Tất nhiên ta cũng có thể tích phân theo đường sườn, nhưng hơi phức tạp cho công việc tính gần đúng, nên để dành nói khi tính đường cong Bonjean sau này.

c. Đường cong diện tích sườn

Cũng như đường hình dáng lý thuyết ta có 21 sườn lý thuyết, diện tích của mỗi một sườn lý thuyết tính từ đường chuẩn tới đường nước thiết kế, ta đặt các diện tích của các sườn đó tương ứng các vị trí các sườn phân bố theo chiều dài tàu từ 0 đến 20 và nối các điểm đó lại với nhau ta sẽ có được đường cong diện tích sườn đó là $\omega = f(x)$ như trên hình 2.9. Hình dáng của đường cong này có ảnh hưởng lớn đến tính năng của tàu, nhất là đối với lực cản của nước khi tàu chạy, vì vậy người thiết kế rất lưu ý hình dáng của đường cong này, đặc biệt là hình dáng ở đoạn mũi và đoạn lái. Phần lớn các tàu nhất là các tàu vận tải lớn thì đường cong diện tích sườn ở phía trước và sau $\bowtie$ là một đường thẳng song song với trục hoành, ở đoạn mà $\omega = \text{const}$ ta gọi là đoạn thân ống. Sau đây là mấy đặc điểm của đường diện tích sườn.

1) Diện tích được giới hạn bởi đường $\omega = f(x)$ và trục hoành là thể tích chiếm nước của tàu

$$Q_\omega = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \omega dx = V \quad (2.20)$$

2) Tâm hình học của đường cong $\omega = f(x)$ theo chiều dài tàu là khoảng cách từ tâm nổi tới $\bowtie$ của tàu:

$$x_\omega = \frac{1}{Q_\omega} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \omega x dx = \frac{M_{yoz}}{V} = x_c \quad (2.21)$$

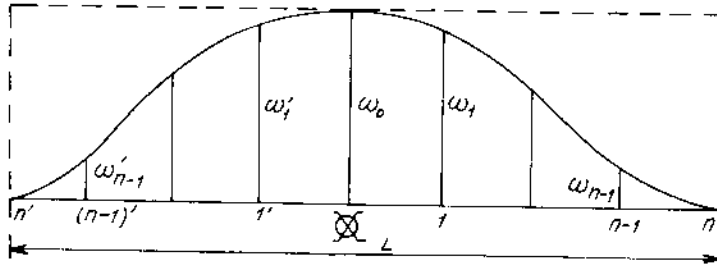
3) Hệ số đầy của đường cong $\omega = f(x)$ là hệ số béo theo chiều dọc (hoặc hệ số hình thoi) φ của tàu:

$$\varphi_\omega = \frac{Q_\omega}{\omega_\otimes L} = \frac{V}{\omega_\otimes} = \varphi \quad (2.22)$$

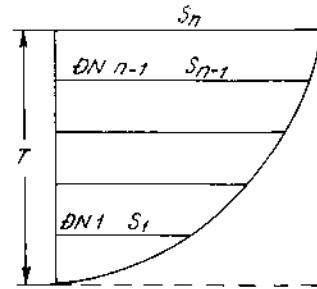
Qua 3 đặc tính của đường cong $\omega = f(x)$ ta thấy, đường cong đại biểu cho sự phân bố của thể tích chiếm nước dọc theo chiều dài của tàu, nó quyết định sự phân bố áp lực nước đối với vỏ tàu khi tính toán sức bền của tàu.

d. Đường cong diện tích đường nước $S = S(T)$

Diện tích của các đường nước phụ thuộc vào môn nước của tàu mà đường nước đại biểu. Nếu trên tọa độ mà trục trung là môn nước còn hoành độ là diện tích đường nước thì đường cong diện tích đường nước như hình 2.10. Đường cong này có 3 đặc tính sau đây:



Hình 2.9.



Hình 2.10.

1) Diện tích được giới hạn bởi đường cong $S(T)$ và trục tung T bằng thể tích chiếm nước của tàu ở môn nước T :

$$Q_s = \int_0^T S dz = V \quad (2.21)$$

2) Tung độ của tâm hình học đường cong $S = S(T)$ là chiều cao của tâm nổi tàu ở môn nước T :

$$Z_s = \int_0^T S z dz = \frac{M_{xoy}}{V} = Z_c \quad (2.22)$$

3) Hệ số đây của đường cong $S = S(T)$ là hệ số béo theo chiều thẳng đứng:

$$\frac{Q_s}{TS_{\omega L}} = \frac{V}{TS_{\omega L}} = \chi \quad (2.23)$$

e. Đường cong lượng chiếm nước

Đường cong lượng chiếm nước là đường biểu diễn mối quan hệ $V = f(z)$, trong đó z là sự thay đổi biến thiên của môn nước, được trình bày trên hình 2.11, nó gồm 3 đường cong, trên cùng là đường cong $V = f(z)$, V là thể tích chiếm nước được tính theo đường hình dáng lý thuyết, đường ở giữa V_{nh} (V_{nh} là thể tích có tính đến các bộ phận nhô ra như bánh lái, ống bao trục v.v...; nó phụ thuộc vào từng tàu $V_{nh} = aV$, a có thể thay đổi trong phạm vi 1,006 – 1,02), và đường thấp nhất là đường cong

lượng chiếm nước $D = f(z)$, $D = \gamma V_{nh}$, nhưng để tiện cho việc tính toán nhiều nước không vẽ đường $V_{nh} = f(z)$ nữa và lấy $D = \gamma V$, D được tính bằng tấn.

Thể tích chiếm nước phụ thuộc vào sự thay đổi của môn nước:

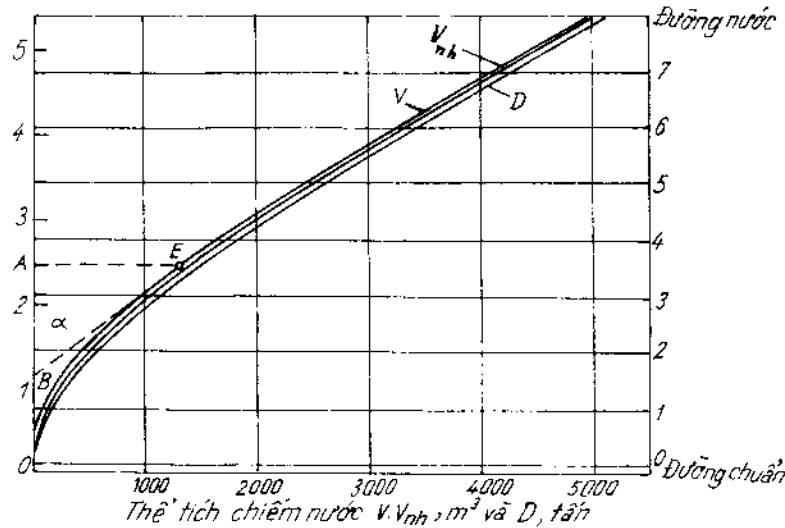
$$V = \int_0^z S dz \quad (2.24)$$

Từ công thức (2.24) ta có quan hệ:

$$\frac{dV}{dz} = S \quad (2.25)$$

Ta tìm hiểu ý nghĩa hình học của biểu thức (2.25):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\overline{EA}}{\overline{AB}} = \frac{dV}{dz} = S$$



Hình 2.11.

Lưu ý rằng $\overline{EA} = V$ ta có:

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{EA}}{S} = \frac{V}{S}$$

Ngoài ra, ta chú ý tỷ lệ giữa các đoạn $\frac{\overline{AB}}{\overline{AO}} = \frac{V}{ST} = \chi$, nghĩa là bằng hệ số béo theo chiều đứng.

Hình dáng của đường cong lượng chiếm nước phụ thuộc vào hình dáng của đường cong $S = S(z)$. Nếu tàu có mạn thẳng và đáy bằng, thì diện tích đường nước đều bằng nhau, lúc đó đường cong lượng chiếm nước là một đường nghiêng đi qua

điểm O. Nếu diện tích đường nước ở đáy bằng 0 thì đường cong lượng chiếm nước tiếp tuyến với trục $Z(T)$ tại điểm gốc O. Phần lớn diện tích đường nước ở đáy gần bằng 0, và phần trên đường nước thường có mạn thẳng đứng, vì vậy ở điểm gốc của tọa độ đường cong lượng chiếm nước có xu thế thẳng đứng đi lên sau đó rồi xu thế thẳng đứng và biến thành đường thẳng nghiêng.

f. Mạn khô tàu và qui định đường nước chở hàng

Khi thiết kế tàu đều có qui định mớn nước tàu được phép chở, mớn nước đó là giới hạn không cho phép tàu vượt quá, vì nếu vượt quá mớn nước đó thì tính an toàn của tàu về nhiều lĩnh vực như tính nổi, tính hàng hải, sức bền đều không đảm bảo, vì vậy ngoài mớn nước ra các cơ quan Đăng Kiểm còn qui định mạn khô tối thiểu f , đó là khoảng cách tối thiểu từ đường mớn nước tới boong chính (kín nước). Đăng Kiểm các nước đều có qui định ký hiệu về dấu hiệu đường nước chở hàng như trên hình 2.12, đây là ký hiệu của Đăng Kiểm Anh Lloyd's Register viết tắt là LR, trên đó có ghi mạn khô f , f tùy thuộc vào vùng và mùa hoạt động của tàu, bên phải ký hiệu vòng tròn có ghi chữ LR còn ghi:

S – mớn nước chở hàng mùa hè;

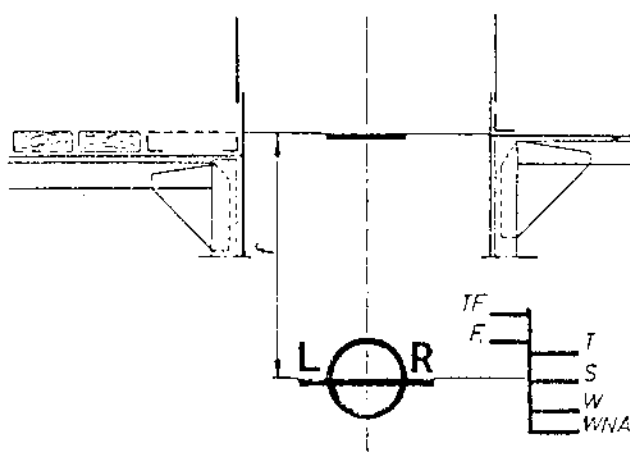
W – mớn nước chở hàng mùa đông;

WNA – mớn nước chở hàng ở Bắc Đại Tây Dương;

T – mớn nước chở hàng trong vùng biển nhiệt đới;

F – mớn nước chở hàng trong vùng nước ngọt;

TF – mớn nước chở hàng vùng nước ngọt ở nhiệt đới.



Hình 2.12. Dấu hiệu đường nước chở hàng.

Như ta thấy trên hình 2.12 ở vùng có sóng gió lớn thì yêu cầu mạn khô càng lớn, đồng nghĩa với yêu cầu sức nổi dự trữ lớn. Dự trữ sức nổi còn phụ thuộc vào loại tàu và công dụng của nó, ví dụ các sà lan chạy trong sông thì dự trữ rất ít chỉ

chiếm 10 – 15%, tàu hàng đi biển thì phải đến 20%, trong lúc đó tàu khách đi biển thì sức nổi dự trữ lên tới 50%, còn tàu quân sự có yêu cầu sức nổi dự trữ cao nhất tới 100% hoặc hơn.

Thông thường mỗi một thuyền trưởng đều có một nấc thang nhận hàng của

NẤC THANG NHẬN HÀNG													
Mạn khô I		Mạn nước		Nước ngọt $\gamma = 1,000$			Nước mặn $\gamma = 1,025$				Mạn nước		Momen gây chúi 1cm
				Lượng chiếm nước	Lượng chở hàng		Tăng lượng chiếm nước khi $T = 1^{\circ}\text{C}$	Lượng chiếm nước	Lượng chở hàng				
Feet	m	Feet	m	Tấn	Tấn	BRT	1/cm	Tấn	Tấn	BRT	m	Feet	tm/cm
IV								6000					
					2500	2500							
		XV		5500				2500	2500			XV	140
V	1,50		4,50					5500			4,50		
					2000	2000	17,0						130
		XIV		5000				2000	2000			XIV	
VI								5000					
					1500	1500							120
	2,00		4,00					1500	1500		4,00		
		XIII		4500								XIII	
VII								4500					
					1000	1000	15,0						110
		XII		4000				1000	1000			XII	
VIII								4000					
	2,50		3,50								3,50		
					500	500							
		XI		3500				500	500			XI	100
IX								3500					
							15,0						
	3,00	X	3,00		0	0						X	
X								3000			3,00		90

Hình 2.13. Nấc thang nhận hàng.

tàu như trên hình 2.13.

Cuối cùng phải phân biệt các thuật ngữ sau đây:

Lượng chiếm nước D là trọng lượng khối nước bị tàu chiếm chỗ $D = \gamma V$;

Trọng tải tinh của tàu là lượng hàng mà tàu chở;

Trọng tải toàn phần (Deadweigh, Capacity) là lượng hàng tàu chở cộng thêm trọng lượng thuyền viên và dự trữ về lương thực thực phẩm phục vụ cho thuyền viên, thường viết tắt là TDW;

Tấn đăng ký là dung tích của tàu, không tính bằng T mà tính bằng $100 \text{ feet}^3 = 2,83 \text{ m}^3$, có 2 loại: tinh (Netto) và thô (Brutto), nếu là dung tích thô thì viết tắt là BRT; Thông thường TDW và BRT của tàu khác nhau có lúc khá xa, như tàu có 10.000 tấn đăng ký BRT thì chở được trên 10.000 TDW nhiều. Lệ phí nhất là lệ phí qua kênh đào như qua Kênh Suez và Kênh Panama thì đều tính theo tấn đăng ký.

g. Đường cong hoành độ tâm nổi x_c và đường cong hoành độ tâm đường nước x_r

Hoành độ tâm nổi x_c có thể tính theo (2.19):

$$x_c = \frac{M_{yz}}{V}$$

Trong đó thể tích chiếm nước có thể tính theo công thức (2.12).

Cũng tương tự như vậy ta có thể có biểu thức đối với M_{yz} . Ta chia thể tích dưới đường nước thành các lớp có chiều dày bằng dz , ta có thể viết:

$$M_{yz} = \int_0^z M_y dz \quad (2.26)$$

trong đó M_y là mômen tĩnh của diện tích đường nước đối với trục Oy .

$$M_y = S \cdot x_r \quad (2.27)$$

trong đó x_r – hoành độ tâm đường nước cách đường sườn lý thuyết giữa tàu $\mathcal{R}$.

Bây giờ, chú ý các công thức (2.26), (2.27) và (2.12) ta có:

$$x_c = \frac{\int_0^z S x_r dz}{\int_0^z S dz} \quad (2.28)$$

Mômen tĩnh M_y có thể tính bằng tích phân dưới đây:

$$M_y = 2 \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} yx \, dx \quad (2.29)$$

Do đó từ (2.27) và (2.29) và (2.7) ta có:

$$x_f = \frac{M_y}{S} = \frac{\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} yx \, dx}{\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} y \, dx} \quad (2.30)$$

Mỗi một đường nước sẽ có một tâm diện tích của nó x_f và ta nối các tọa độ $x_f = f(z)$ sẽ thành một đường cong hoành độ tâm đường nước. Ta đặt đường cong $x_c = f(z)$ và $x_f = f(z)$ trên một hình vẽ, trên trục tung của hệ tọa độ thì các đường song song với trục hoành đại diện cho các đường nước, nếu ta lấy cùng một tỷ lệ và lấy O làm tâm thì bên phải O bố trí các đường nước có x_f mang dấu dương và cũng tương tự như vậy đối với x_c . Ta sẽ có 2 đường cong trơn tru như trên hình 2.14 và sẽ phát hiện một điểm lý thú là đường cong $x_f = f(z)$ và $x_c = f(z)$ cắt nhau tại điểm mà trị số x_c đạt cực trị, nghĩa là $\frac{dx_c}{dz} = 0$ tại điểm $x_c = x_f$. Để chứng minh điều này ta chỉ cần lấy đạo hàm biểu thức (2.19).

$$\frac{dx_c}{dz} = \frac{1}{V} \left(\frac{dM_{yz}}{dz} - x_c \frac{dV}{dz} \right)$$

Thành phần thứ nhất trong dấu ngoặc được xác định bằng công thức (2.26) và (2.27):

$$\frac{dM_{yz}}{dz} = M_y = S x_f \quad (2.31)$$

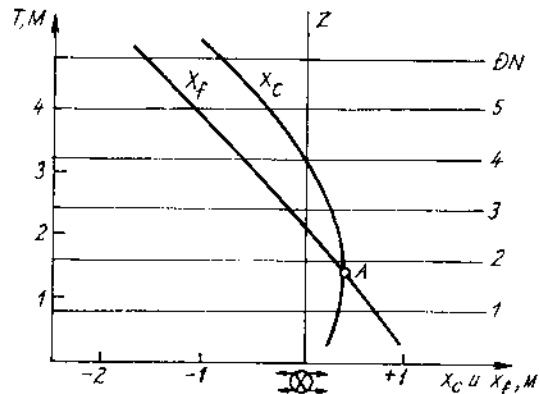
$$\frac{dV}{dz} = S$$

Từ đây ta có:

$$\frac{dx_c}{dz} = \frac{S}{V} (x_f - x_c) \quad (2.32)$$

Từ đó ta thấy điều kiện để $x_c(z)$ đạt cực trị khi:

$$x_f - x_c = 0$$



Hình 2.14.

đồng nghĩa với $x_c(z)$ đạt cực trị tại giao điểm của đường cong $x_c = f(z)$ và $x_f = f(z)$. Ta có thể vận dụng đặc điểm này để kiểm tra độ chính xác của công tác tính toán các đường cong thủy tĩnh.

h. Đường cong độ cao tâm nổi $z_c = f(z)$

Theo công thức (2.15) độ cao tâm nổi:

$$z_c = \frac{M_{xy}}{V} = \frac{1}{V} \int_0^T S z dz \quad (2.32)$$

Ta lấy đạo hàm của z_c theo 2.32 ta sẽ có:

$$\frac{dz_c}{dz} = \frac{d}{dz} \left(\frac{M_{xy}}{V} \right) = \frac{dM_{xy}}{dz} \cdot \frac{1}{V} - \frac{dV}{dz} \cdot \frac{M_{xy}}{V^2} = \frac{S}{V} (z - z_c)$$

Vì $z > z_c$ rõ ràng $\frac{dz_c}{dz} > 0$, cho nên z_c không bao giờ đạt đến cực trị.

Nếu đường sườn của một con tàu là hình chữ nhật mà mớn nước là chiều cao của hình chữ nhật đó trong toàn bộ chiều dài tàu thì $z_c = \frac{z}{2} = \frac{T}{2}$.

Tương tự nếu đường sườn là một hình tam giác đỉnh ở đáy tàu thì $z_c = \frac{2}{3} z = \frac{2}{3} T$.

Như vậy trong thực tế, cao độ tâm nổi luôn luôn nằm trong giới hạn:

$$\frac{1}{2} z < z_c < \frac{2}{3} z ; \text{ hoặc } \frac{1}{2} T < z_c < \frac{2}{3} T.$$

Đường cong biểu diễn độ cao tâm nổi $z_c = f(z)$ thể hiện trên hình 2.15.

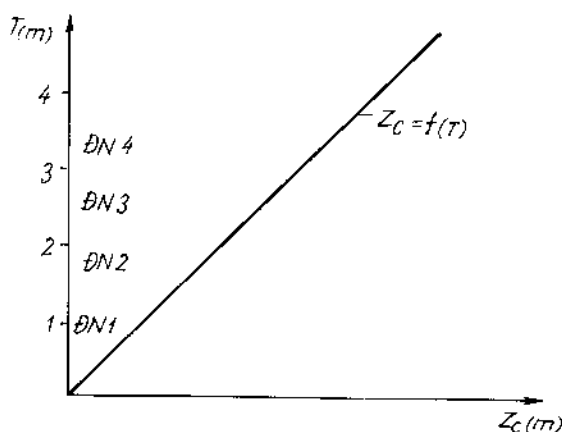
i. Đường cong số tấn trên 1 cm mớn nước

$$q = f(T)$$

Nếu ta lấy một lượng hàng P đặt vào trọng tâm đường nước thì mớn nước sẽ tăng lên:

$$\delta T = \frac{P}{\gamma S}$$

Từ đó ta có thể đổi thành $P = \gamma S \delta T$.



Hình 2.15.

Bây giờ ta giả thiết $\delta T = 1 \text{ cm} = 0,001 \text{ m}$ và ta ký hiệu số tấn hàng cần thiết là g thì:

$$q = \frac{\gamma S}{100}$$

Ta gọi là số tấn trên 1 cm. Đường biểu diễn quan hệ giữa q và T trình bày trên hình 2.16. Đường cong này hoàn toàn giống đường cong $S = S(T)$ trên hình 2.10.

k. Sự thay đổi môn nước khi độ mặn của nước thay đổi

Sự thay đổi của nước mặn sẽ đi kèm theo với trọng lượng riêng (tỷ trọng) của nước thay đổi. Bây giờ ta xem xét sự thay đổi môn nước của tàu khi tỷ trọng riêng của nước thay đổi.

Như ta đã biết thể tích chiếm nước V :

$$V = \frac{D}{\gamma}$$

Vì phân cả hai vế ta có:

$$dV = - \frac{D d\gamma}{\gamma^2} \quad (2.33)$$

Chia 2 vế của (2.33) cho diện tích đường nước S ta có:

$$dT = - \frac{D d\gamma}{\gamma^2} \quad (2.34)$$

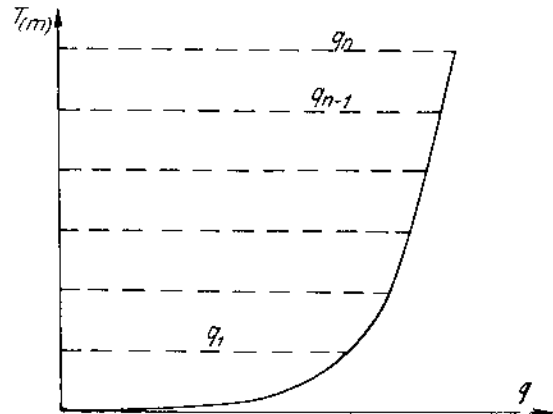
Ta chú ý $D = \gamma \delta L B T$ và $S = \alpha L B$

Ta có thể biến đổi (2.34) thành:

$$\frac{dT}{T} = - \frac{\delta}{\alpha} \frac{d\gamma}{\gamma} \quad (2.35)$$

Từ (2.35) ta thấy tàu đi từ nước ngọt vào nước mặn, lúc đó $d\gamma > 0$, $dT < 0$, nghĩa là môn nước giảm xuống, ngược lại thì $d\gamma < 0$ và $dT > 0$, nghĩa là môn nước tăng lên.

Ta xem xét trường hợp cụ thể tàu đi từ nước có $\gamma = 1,0$ tấn/m³ vào nước mặn có $\delta\gamma = 0,025 \text{ T/m}^3$ và độ béo theo chiều đứng $\chi = \frac{\delta}{\alpha} = 0,75$. Thay số liệu cụ thể vào (2.35) ta có:



Hình 2.16.

$$\frac{\delta T}{T} \approx 0,75 \frac{0,025}{1,0} \approx -0,02$$

Nghĩa là mớn nước giảm đi 2%.

1. Đường cong Bonjean

Là đồ thị nói lên sự biến diễn của diện tích đường sườn

$$\omega(z) = 2 \int_0^z y(x, z) \Big|_{x=x_i} dz \quad (2.36)$$

và mômen tĩnh của diện tích đường sườn đối với trục Oy:

$$m_{\omega y} = 2 \int_0^z zy(x, z) \Big|_{x=x_i} dz \quad (2.37)$$

trong đó x_i là hoành độ của đường sườn lý thuyết $x_0, x_1, \dots, x_{20}$.

Trên hình 2.17 trình bày đường cong Bonjean của một con tàu.

Khi đã có đường cong Bonjean và đường nước WL thì ta có thể tính thể tích chiếm nước V , tọa độ của thể tích chiếm nước đó x_c và z_c tức là tâm nổi x_c và z_c :

Thể tích chiếm nước:

$$V = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \omega_i dz \quad (2.38)$$

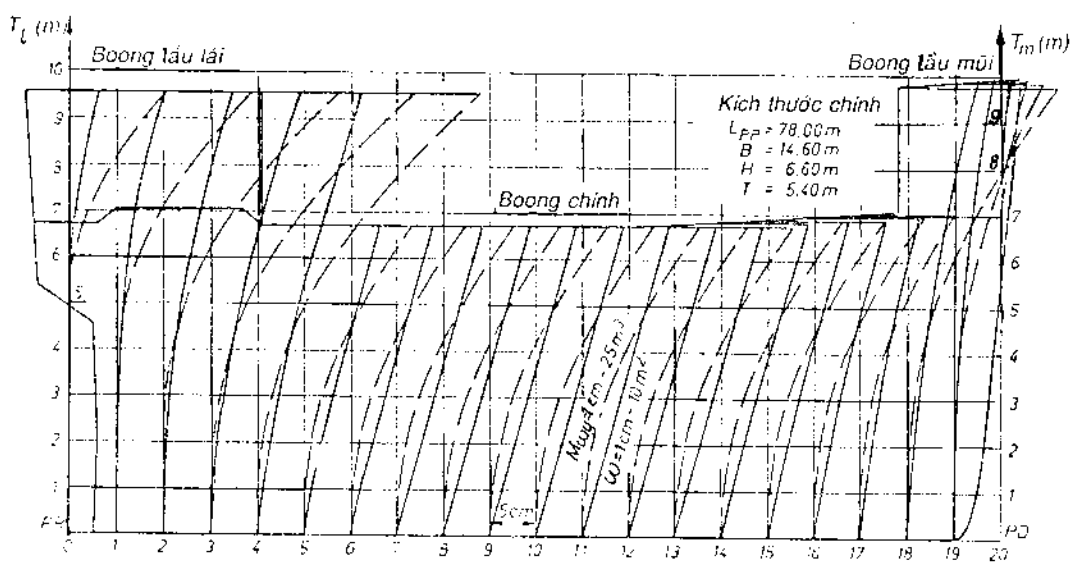
Tọa độ tâm nổi cách giữa tàu x_c :

$$x_c = \frac{\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \omega_i x_i dx}{\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \omega_i dz} \quad (2.39)$$

Chiều cao tâm nổi cách mặt chuẩn z_c :

$$z_c = \frac{m_{\omega y}}{V} = \frac{\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \int_0^z \omega dz dx}{\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \omega dx} \quad (2.40)$$

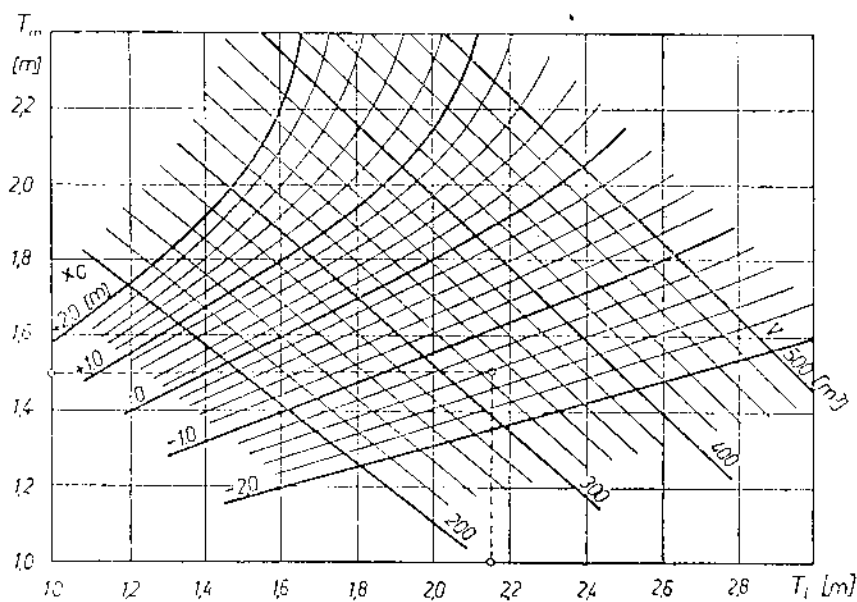
Cách tính gần đúng đường cong Bonjean và tâm nổi của tàu x_c , z_c theo đường cong Bonjean xem 2.1.5.1b, 1) (5) và 2.1.5.2 bảng II.5, II.6.



Hình 2.17. Đường cong Bonjean của tàu trọng tải 3000 tấn.

m. Đồ thị để xác định lượng chiếm nước và hoành độ tâm nổi cách x_c đồ thị Firsov

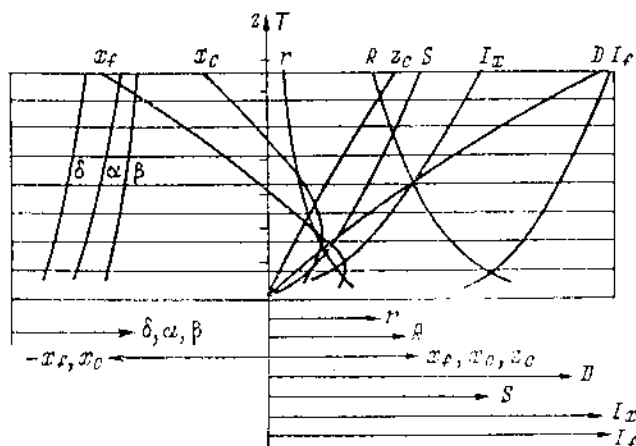
Sử dụng đồ thị này ta có thể xác định thể tích chiếm nước V và tọa độ tâm nổi x_c nếu ta biết trước môn nước mũi T_m và môn nước lái T_l , cũng giống như việc dùng đường cong Bonjean, nhưng điểm khác là không cần qua khâu tính toán. Đồ thị này trình bày trên hình 2.18.



Hình 2.18. Đồ thị Firsov.

Đồ thị này gồm hai nhóm đường cong, một nhóm $V = \text{const}$ và một nhóm $x_c = \text{const}$. Đồ thị này do đề xuất của G. A. Firsov. Để vẽ đồ thị này phải sử dụng đường cong Bonjean và qua nhiều lần tính toán. Ngày nay nhờ có máy tính, việc tính toán đồ thị Firsov sẽ được tiến hành nhanh chóng, nhưng phải lưu ý rằng, đường Firsov thường được các sĩ quan khai thác tàu sử dụng, nên khi vẽ đường cong Bonjean ta phải chú ý tính thêm độ nhô ra của các phần phụ và cũng phải tính đến độ dày của vỏ tàu như ta đã nói ở các phần trên mới cho kết quả chính xác.

Để tổng kết mục 2.1.3 về biểu thức giải tích của lượng chiếm nước và các thông số khác của tàu, xin giới thiệu một đồ thị điển hình mối quan hệ giữa các thông số của tàu gồm S , I_x , I_y , x_c , x_f , z_c , V (hoặc D) và quan hệ giữa các thông số đó với mớn nước của tàu T . Ngoài ra còn giới thiệu thêm bán kính ổn định ngang r và bán kính ổn định dọc R (hai thông số này ta sẽ giới thiệu kỹ trong chương 3 về ổn định của tàu).



**Quan hệ giữa lượng chiếm nước và các thông số khác của tàu
với mớn nước của tàu T .**

Nếu đọc giả quan sát kỹ thì ta thấy tại giao điểm giữa x_f và x_c , x_c đạt giá trị cực trị như ta đã bàn kỹ trong tiết 2.1.3g và trên hình 2.14.

2.1.4. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN GẦN ĐÚNG TRONG LÝ THUYẾT TÀU THỦY

Do sự phát triển của công nghệ tin học, công việc tính toán bằng tay của kỹ sư và cán bộ kỹ thuật đã được thay thế bằng máy tính cá nhân, nhưng muốn máy tính tính thay thế cho con người phải có phần mềm, cụ thể là lập trình cho từng bài toán cụ thể, trong mục này sẽ giới thiệu sơ qua lập trình một vài bài toán cụ thể, nhưng để làm những bài toán nhỏ trong lý thuyết tàu thủy, tác giả xin giới thiệu một vài phương pháp tính toán gần đúng mà trước nay hay sử dụng trong khi thiết kế và khai thác quản lý tàu.

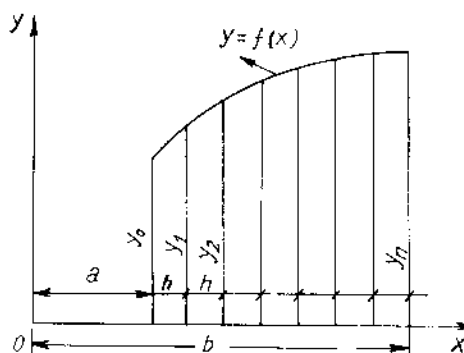
1. Phương pháp hình thang

Giả sử ta muốn tính toán diện tích một phần đường nước của tàu trên hình 2.19.

Nếu ta có hàm số giải tích $y = f(x)$ thì việc tính toán sẽ vô cùng đơn giản:

$$S = 2 \int_a^b f(x) dx$$

Nhưng ta không có hàm giải tích $y = f(x)$, ta chia đoạn đường cong thành n đoạn thẳng để thay hàm $f(x)$, ví dụ trên hình 2.19 chia làm n khoảng cách với độ dài bằng h .



Hình 2.19.

Diện tích phần đường nước sẽ bằng $S = 2 \int_a^b f(x) dx$ vì đường nước đối xứng với trục Ox nên nhân 2, dùng phương pháp hình thang ta có:

$$\begin{aligned} S &= 2h \left(\frac{y_0 + y_1}{2} \right) + 2h \left(\frac{y_1 + y_2}{2} \right) + \dots + 2h \left(\frac{y_{n-1} + y_n}{2} \right) = \\ &= h [y_0 + 2y_1 + 2y_2 + \dots + y_n] \\ &= 2h \left[y_0 + y_1 + y_2 + \dots + y_n - \frac{y_0 + y_n}{2} \right] \end{aligned} \quad (2.41)$$

Muốn có được độ chính xác cao hơn thì trên khoảng $\overline{ab}$ ta chia ra nhiều đoạn nhỏ hơn, nhưng kinh nghiệm cũng như lý thuyết chứng minh rằng, trong lý thuyết tàu, đối với tàu có chiều dài bằng L_{pp} , chỉ cần chia ra làm 20 trạm ta sẽ thu được độ chính xác tin cậy. Nếu độ cong lồi quá  thì diện tích thu được bằng phương pháp hình thang là $S < S_{\text{thực tế}}$, trái lại nếu độ cong lõm  thì $S > S_{\text{thực tế}}$.

Trong thí dụ trên nếu y đại biểu cho chiều rộng của đường nước thì tích phân sẽ là diện tích đường nước.

Sau đây là bài toán áp dụng phương pháp hình thang để tính tọa độ tâm hình học của hình được trình bày trên hình 2.20.

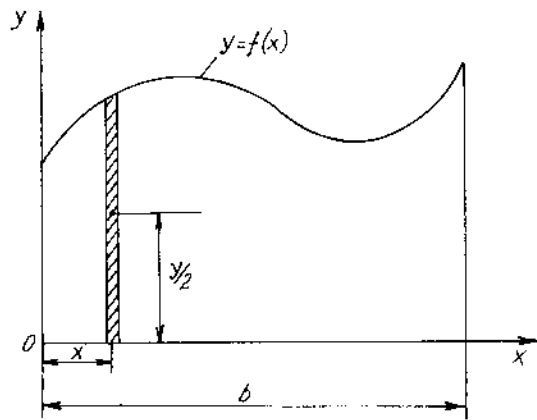
Đối với một hình nhỏ được gạch chéo trên hình 2.20 thì:

$$dM_{ox} = y \cdot dx \cdot \frac{y}{2} = \frac{1}{2} y^2 dx$$

$$M_{ox} = \frac{1}{2} \int_0^b y^2 dx$$

Tung độ của tâm hình học là $\bar{y}$:

$$\bar{y} = \frac{\frac{1}{2} \int_0^b y^2 dx}{\int_0^b y dx}$$



Hình 2.20.

Tích phân $\int_0^b y^2 dx$ coi như

diện tích dưới đường cong y^2 từ 0 đến b, vận dụng công thức 2.41 ta có:

$$M_{ox} = \frac{1}{2} h \left[y_0^2 + y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_{n-1}^2 + y_n^2 - \frac{y_0^2 + y_n^2}{2} \right]$$

$$dM_{oy} = y \cdot dx \cdot x \rightarrow M_{oy} = \int_0^b xy dx ; \text{ cũng như trên}$$

$$\begin{aligned} M_{oy} &= h \left[\frac{1}{2} o.h.y_0 + hy_1 + 2hy_2 + \dots + (n-1)y_{n-1} + \frac{1}{2} nhy_n \right] \\ &= h^2 \left[oy_0 + y_1 + 2y_2 + \dots + (n-1)y_{n-1} + ny_n - \frac{1}{2} (oy_0 + ny_1) \right] \end{aligned} \quad (2.42)$$

$$\text{Hoành độ của tâm hình học là } \bar{x} = \frac{M_{oy}}{S} = \frac{\int_0^b xy dx}{\int_0^b x dx}$$

Ta có thể lập một bảng để tính các trị số ở trên.

Bảng II.1. Bảng tính diện tích phía dưới đường cong $y = f(x)$ và tọa độ tâm hình học của diện tích đó $\bar{x}$ và $\bar{y}$

Trạm	y	y^2	$f(xy)$
0	y_0	y_0^2	oy_0
1	y_1	y_1^2	y_1

Bảng II.1 tiếp theo

Trạm	y	y^2	$f(xy)$
2	y_2	y_2^2	$2y_1$
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
n	y_n	y_n^2	ny_n
Tổng số cột Σ	Σy_n	Σy_n^2	Σny_n
Trị số điều chỉnh	$-\frac{1}{2}(y_0 + y_n)$	$-\frac{1}{2}(y_0^2 + y_n^2)$	$-\frac{1}{2}(o + ny)$
Σ - (trị số điều chỉnh)	$f(S)$	$f(M_{ox})$	$f(M_{oy})$

Kết quả tính toán như sau:

$$S = hf(S)$$

$$M_{ox} = \frac{1}{2} h f(M_{ox})$$

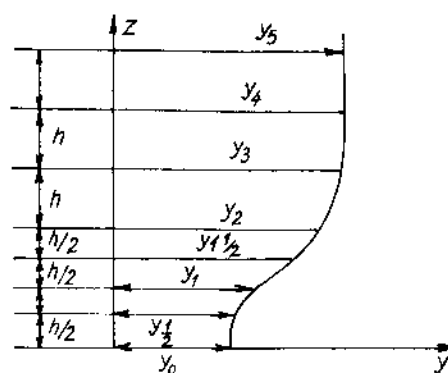
$$M_{oy} = h^2 f(M_{oy})$$

$$\bar{y} = \frac{M_{ox}}{S} = \frac{\frac{1}{2} f(M_{ox})}{f(S)}$$

$$\bar{x} = \frac{M_{oy}}{S} = \frac{h f(M_{oy})}{f(S)}$$

Để tăng độ chính xác của phép tính gần đúng ở trên, ta có thể sử dụng thêm hai cách sau đây:

a. Chia thêm số trạm ở chỗ đường cong quá, thông thường là ở 2 đầu tàu. Trên hình 2.21 ta vẽ một sườn tàu giả thiết, ta chia thêm trạm $\frac{1}{2}$, trạm $1\frac{1}{2}$.



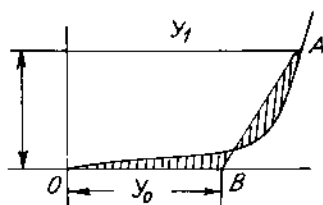
Hình 2.21.

Vận dụng những điều đã trình bày trên ta có:

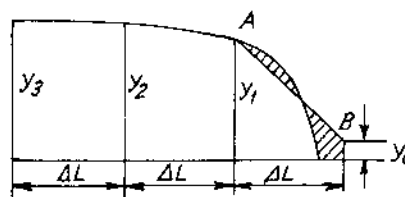
$$S = h \left[\frac{y_0}{4} + \frac{y_1}{2} + \frac{y_1}{2} + \frac{y_1}{2} + \frac{3}{4} y^2 + y_3 + y_4 + \dots + \frac{y_n^2}{2} \right]$$

b. Khi sử dụng phương pháp hình thang để tính diện tích của 2 mút đường nước và tính diện tích phần đáy của sườn lý thuyết, cần phải điều chỉnh đoạn mút, phương pháp điều chỉnh như sau:

– Điều chỉnh điểm mút được thể hiện trên hình 2.20*, qua điểm A vẽ đường thẳng AB làm sao cho diện tích 2 hình nhỏ được gạch chéo bằng nhau, như vậy ta sẽ có tọa độ điều chỉnh mới ở hình 2.20a và hình 2.20b.

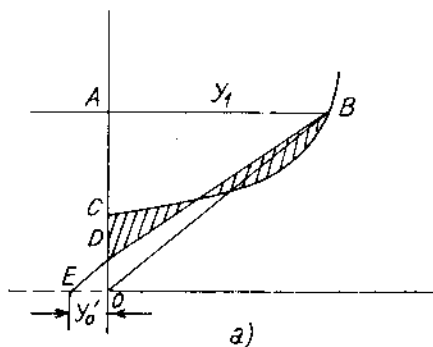


a)

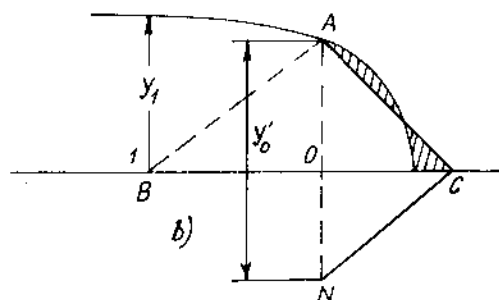


b)

Hình 2.20.*



a)



b)

Hình 2.21.*

– Đường nước hoặc đường sườn vượt quá hoặc chưa tới trạm mút như trên hình 2.21*, trên hình 2.21a, đường sườn chưa tới trạm mút, việc điều chỉnh tiến hành theo trình tự như sau: Vẽ đường thẳng BD làm sao để diện tích hai hình con có gạch chéo bằng nhau, từ điểm D vẽ đường thẳng DE // BO. Tọa độ điều chỉnh là chiều dài EO = y'_0; trên hình 2.21b, đường nước gặp đường trục dọc ở điểm quá trạm mút, việc điều chỉnh tiến hành theo trình tự như sau: Vẽ đường thẳng AC làm sao để diện tích hai hình con có gạch chéo bằng nhau. Qua C vẽ đường CN // AB tọa độ điều chỉnh là chiều dài AN = y'_0.

2. Phương pháp Simpson ① ④ ①

Ta dùng đường cong parabol bậc n

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots$$

để thay thế đường cong thực tế $y(x)$ trong hệ tọa độ Oxy.

Ví dụ đường đi qua 3 điểm có tung độ y_0, y_1, y_2 được thay thế bằng đường cong parabol bậc 2

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad (2.42)$$

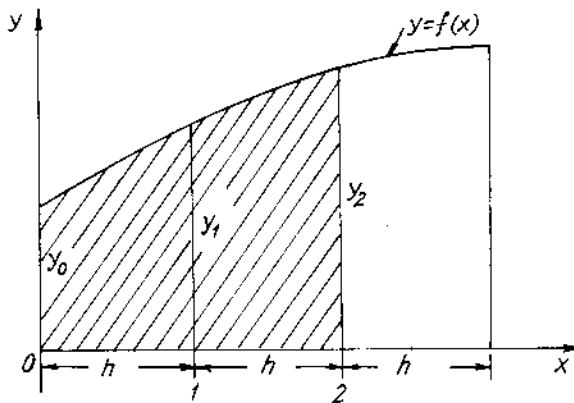
Bây giờ ta phải tính được diện tích hình thành giữa đường cong y ở trên đi qua 3 điểm $(y_0, 0), (y_1, h)$ và $(y_2, 2h)$ và hai trục Ox và Oy như trên hình 2.22.

$$\text{Diện tích (phần gạch chéo)} \quad S = \int_0^{2h} (a_0 + a_1x + a_2x^2) dx \quad (2.43)$$

$$\begin{aligned} \text{Khi} \quad x_0 = 0, \quad y = y_0 \quad x_1 = h \quad y = y_1 \\ x_2 = 2h \quad y = y_2 \end{aligned}$$

Vì y_0, y_1, y_2 đều cho trước, ta có quyền giả thiết:

$$S = Ay_0 + By_1 + Cy_2 \quad (2.44)$$



Hình 2.22.
Tính diện tích theo
phương pháp Simpson.

Nhiệm vụ của ta là tìm giá trị của A, B, C. Thay giá trị của hoành độ tại 0, h, 2h vào phương trình (2.42) ta có:

$$\left. \begin{aligned} \text{Khi} \quad x = 0 \quad y = y_0 = a_0 \\ x = h \quad y = y_1 = a_0 + a_1h + a_2h^2 \\ x = 2h \quad y = y_2 = a_0 + 2a_1h + 4a_2h^2 \end{aligned} \right\} \quad (2.45)$$

Thay y_0, y_1 và y_2 từ (2.45) vào (2.44) ta có:

$$\begin{aligned} S &= Aa_0 + B(a_0 + a_1h + a_2h^2) + C(a_0 + 2a_1h + 4a_2h^2) \\ S &= a_0(A + B + C) + a_1h(B + 2C) + a_2h^2(B + 4C) \end{aligned} \quad (2.46)$$

Tích phân (2.43) ta có:

$$S = \int_0^{2h} (a_0 + a_1x + a_2x^2) dx = 2a_0h + 2a_1h^2 + \frac{8}{3} a_2h^2 \quad (2.47)$$

So sánh (2.45) và (2.47) ta có kết quả:

$$\left. \begin{array}{l} A+B+C=2h \\ B+2C=2h \\ B+4C=\frac{8}{3}h \end{array} \right\} \rightarrow \left. \begin{array}{l} A=\frac{1}{3}h \\ B=\frac{4}{3}h \\ C=\frac{1}{3}h \end{array} \right\} \quad (2.48)$$

Thay kết quả của (2.48) vào (2.44) ta có:

$$\text{Diện tích} \quad S = \frac{1}{3} h (y_0 + 4y_1 + y_2) \quad (2.49)$$

Vì vậy ta gọi phương pháp này là phương pháp Simpson ① ④ ①

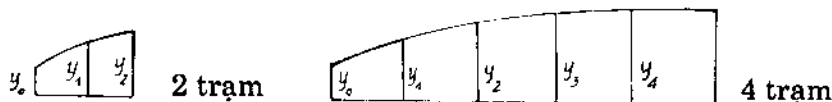
Với cách giải trình như trên nếu ta cho 4 điểm có tung độ y_0, y_1, y_2, y_3 và dùng đường cong parabol bậc 3 đi qua 3 điểm đó ta sẽ có kết quả:

$$S = \frac{3}{8} h (y_0 + 3y_1 + 3y_2 + y_3)$$

Và ta gọi là phương pháp Simpson ① ③ ③ ①

Ta phải lưu ý rằng số tọa độ hay là đường thẳng đứng để tính diện tích dưới đường cong đi qua các tọa độ đó phải là số lẻ, ví dụ 3, 5, 7 v.v... Nếu số tọa độ là chẵn thì phải lấy thêm một tọa độ ở giữa hai số tọa độ đầu, ví dụ giữa 0 và 1 hoặc thêm tọa độ như ở hình 2.24.

Để kiểm tra sự chính xác của các hệ số khi sử dụng phương pháp Simpson ① ④ ① có thể sử dụng cách sau đây:



$$S_2 = \frac{h}{3} (1y_0 + 4y_1 + y_2)$$

$$S_4 = \frac{h}{3} (1y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + y_4)$$

Ta tạm bỏ tung độ h trong 2 phép tính trên ta dùng:

$$S'_2 = \frac{1}{3} (1+4+1) = 2$$

$$S'_4 = \frac{1}{3} (1+4+2+4+1) = 4$$

Nếu số trạm phải tính là n , thì tổng số các hệ số là n , bây giờ ta chia thêm 2 trạm $\frac{1}{2}$ và $1\frac{1}{2}$, thì kết quả vẫn là đối với 2 trạm là 2, và đối với 4 trạm là 4, ta chứng minh cụ thể:

$$S_2 = \frac{h}{3} \left(\frac{1}{2}y_0 + 2y_{1/2} + 1y_1 + 2y_{1\frac{1}{2}} + \frac{1}{2}y_2 \right)$$

$$S'_2 = \frac{1}{3} \left(\frac{1}{2} + 2 + 1 + 2 + \frac{1}{2} \right) = 2 \text{ và đối với 4 trạm thì:}$$

$$S_4 = \frac{1}{3}h \left(\frac{1}{2}y_0 + 2y_{\frac{1}{2}} + 2y_{1\frac{1}{2}} + 1\frac{1}{2}y_2 + 4y_3 + y_4 \right)$$

$$S'_4 = \frac{1}{3} \left(\frac{1}{2} + 2 + 1 + 2 + 1\frac{1}{2} + 4 + 1 \right) = \frac{12}{3} = 4$$

Như vậy nếu số trạm phải tính là n , thì tổng số các hệ số nhân trước các trạm là $3n$ mà không phụ thuộc vào những trạm chia thêm. Bạn đọc có thể làm phép thử đối với 10 trạm và kết quả tổng số của các hệ số nhân trước các trạm phải là 30.

Thí dụ về việc áp dụng phương pháp Simpson ① ④ ①

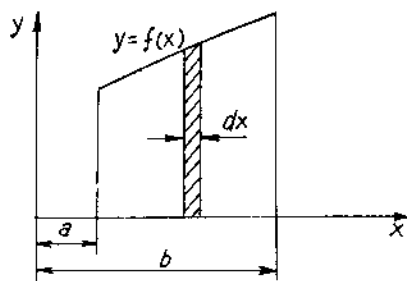
Tính mômen quán tính của diện tích trên hình 2.23 đối với trục Ox:

một phân tố diện tích ydx ;

mômen của phân tố đối với trục Ox:

$$dI_x = \frac{1}{12}y^3dx + ydx\left(\frac{y}{2}\right)^2 = \frac{1}{3}y^3dx;$$

$$I_{ox} = \int_a^b \frac{1}{3}y^3dx$$



Hình 2.23. Áp dụng phương pháp Simpson.

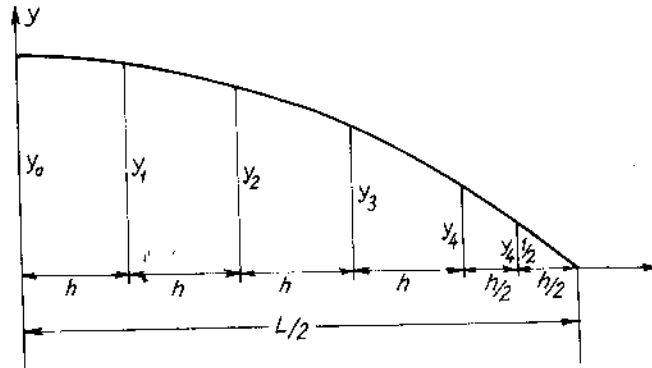
Cũng tương tự như trên ta có:

$$I_{oy} = \int_a^b x^2 y dx$$

Ta vận dụng kết quả trên để tính mômen quán tính của một phần đường nước trên hình 2.24, vì đường nước đối xứng với trục Ox, nên ta chỉ vẽ 1 nửa. Như trên đã nói:

$$I_{ox} = 2 \cdot \frac{1}{3} \int_0^{L/2} y^3 dx$$

$$I_{oy} = 2 \cdot \int_0^{L/2} x^2 y dx$$



Hình 2.24.

Để tiện cho việc tính toán, ta có thể lập bảng tính như khi dùng phương pháp hình thang, bạn đọc có thể tự lập bảng và tính thử.

Cũng như trong phương pháp hình thang, khi sử dụng phương pháp Simpson ① ④ ① ta cũng phải điều chỉnh điểm nút để tăng độ tin cậy của tính toán.

a. Điều chỉnh phần diện tích vượt quá trạm O như trên hình 2.25

Trình tự điều chỉnh như sau:

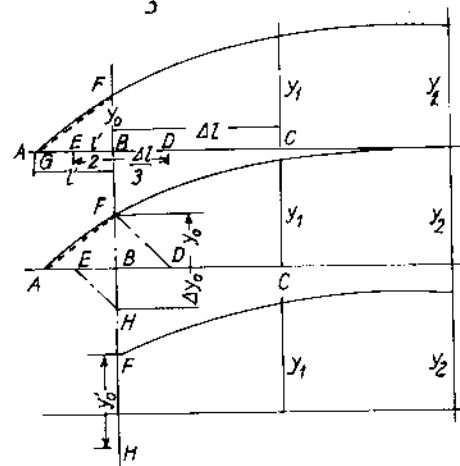
- Trên đoạn BC lấy điểm D làm sao để $\overline{BD} = \frac{1}{3} \overline{BC}$,

- Vẽ tam giác $\triangle AFB$ để diện tích của $\triangle$ đó bằng diện tích hình cung $\widehat{GFB}$ tạo nên,

- Trên đoạn AB lấy điểm E để cho $\overline{BE} = \frac{1}{2} \overline{AB}$,

- Nối FD, vẽ đường $EH \parallel FD$, ta có $FH = y'_0$ là tọa độ cần phải điều chỉnh.

Diện tích từ sau y_2 được điều chỉnh thành $S = \frac{\Delta l}{3} (y'_0 + 4y_1 + y_2)$.

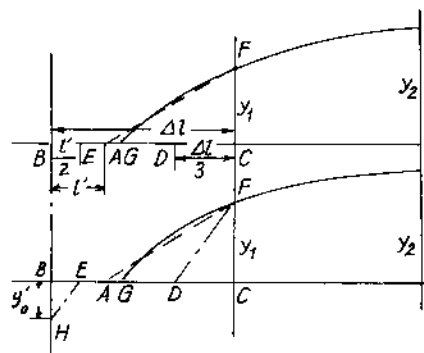


Hình 2.25. Điều chỉnh diện tích vượt quá trạm nút.

b. Điều chỉnh diện tích trong trường hợp không tới điểm O, như trên hình 2.26

Phương pháp điều chỉnh cũng như trên, ta vẽ $EH \parallel FD$, ta sẽ có $BH = y'_0$ là tọa độ được điều chỉnh.

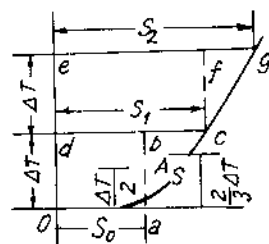
Cuối cùng phải bổ sung việc điều chỉnh để tăng độ chính xác khi tính toán cao độ tâm nổi Z_c . Khi tính đường cong thủy tĩnh bằng phương pháp hình thang ta cần lưu ý Z_c có được bằng cách tích phân hướng thẳng đứng thường hơi cao, mà độ chính xác theo yêu cầu khi tính Z_c lại phải cao, vì vậy thông thường dùng khối hình trụ có đáy hình chữ nhật và khối hình trụ có đáy hình tam giác kết hợp thay cho hình thang để tính chiều cao tâm nổi Z_c như trên hình 2.27, ta dùng biện pháp tích phân hướng thẳng đứng để tìm tọa độ Z_c , để tiện cho việc diễn giải, chiều cao thẳng đứng của tâm nổi phần đáy được tích phân theo hướng thẳng đứng (trong thực tế thì thể tích của phần đáy được tính riêng biệt).



Hình 2.26. Điều chỉnh khi đường cong không tới trạm cuối.

Chiều cao tâm nổi của phần dưới đường nước số 1:

$$\begin{aligned}
 Z_c &= \frac{M_a + M_b}{V_1} = \frac{\frac{\Delta T}{2} \Delta T \cdot S_0 + \frac{2\Delta T}{3} (S_1 - S_0)}{V_1} = \\
 &= \frac{\frac{\Delta T}{2} 2\Delta L \cdot \Delta T \cdot \Sigma' y_0 + 2\Delta L \frac{\Delta T}{2} (\Sigma' y_1 - \Sigma' y_0) \frac{2\Delta T}{3}}{\Delta L \Delta T \Sigma \sigma_1} = \\
 &= \frac{\Delta T \left(\Sigma' y_0 + \frac{2}{3} \Sigma' y_1 - \frac{2}{3} \Sigma' y_0 \right)}{\Sigma' \sigma_1} = \\
 &= \frac{\Delta T \left(\frac{2}{3} \Sigma' y_1 + \frac{1}{3} \Sigma' y_0 \right)}{\Sigma' \sigma_1}
 \end{aligned}$$



Hình 2.27. Tính tọa độ chiều đứng của tâm nổi Z_c .

trong đó M_a – mômen thể tích hình trụ đáy chữ nhật oabd đối với đường chuẩn,

M_b – mômen thể tích hình trụ có đáy hình tam giác abc đối với đường chuẩn,

S_0, S_1, S_2 – diện tích đường nước ứng với đường nước số 0, 1, 2,

V_1 – thể tích chiếm nước dưới đường nước số 1,

$\Sigma' y_0, \Sigma' y_1$ – hàm số diện tích đường nước số 0 và số 1,

$S_0 = 2\Delta L \Sigma' y_0, S_1 = 2\Delta L \Sigma' y_1$ (xem bảng tính đường cong thủy tĩnh bảng II.3a),

$\Sigma'\sigma_1$ – hàm số thể tích chiếm nước,

$V_1 = \Delta L \cdot \Delta T \cdot \Sigma'B_1$ (xem bảng II.3a).

Chiều cao tâm nổi của phần dưới đường nước số 2:

$$Z_{c2} = \frac{(M_a + M_b) + M_c + M_d}{V_2} + \frac{\Delta L \cdot \Delta T^2 \cdot P_1 + \frac{3\Delta T}{2} S_1 \Delta T + \frac{5\Delta T}{3} (S_2 - S_1) \cdot \frac{\Delta T}{2}}{\Delta L \cdot \Delta T \cdot \Sigma'\sigma_2}$$

$$= \frac{\Delta T \left[P_1 + \left(\frac{5}{3} \Sigma' y_2 + \frac{4}{3} \Sigma' y_1 \right) \right]}{\Sigma'\sigma_2} = \frac{\Delta T \cdot P_2}{\Sigma'\sigma_2}$$

trong đó M_c, M_d – lần lượt bằng mômen của thể tích khối nước hình trụ có đáy hình chữ nhật cdef và của thể tích khối nước hình trụ có đáy hình tam giác cfg đối với đường chuẩn;

P_1 – hàm số mômen thể tích dưới đường nước số 1;

P_2 – hàm số mômen thể tích dưới đường nước số 2.

Cũng với lý do tương tự, ta có thể suy ra chiều cao tâm nổi của khối nước đường nước số i:

$$Z_{ci} = \frac{\Delta T \left[P_{i-1} + \left(i - \frac{1}{3} \right) \Sigma' y_i + \left(i - \frac{2}{3} \right) \Sigma' y_{i-1} \right]}{\Sigma'\sigma_i} = \frac{\Delta T \cdot P_i}{\Sigma'\sigma_i}$$

Từ đó ta thấy, khi tính toán chiều cao tâm nổi của khối nước giữa đường nước (i-1) và i, tay đòn đối với đường chuẩn của đường nước bên dưới nâng cao $\frac{1}{2} \Delta T$, còn đối với đường nước đó giảm đi $\frac{1}{3} \Delta T$, như vậy có thể nâng cao độ chính xác của độ cao tâm nổi Z_c mà ta vẫn có thể sử dụng tích phân bằng phương pháp hình thang (xem bảng tính đường cong thủy tĩnh II.3a).

3. Phương pháp Trêbushép

Khác với phương pháp hình thang và phương pháp Simpson, ở đó hoành độ đều chia đều. Phương pháp Trêbusep không chia đều các khoảng trên trục hoành, nhưng vẫn dùng đường cong bậc 2 để thay cho đường cong thực tế đi qua n điểm thực tế.

Diện tích F kẹp giữa trục hoành và đường cong $y = f(x)$ tính theo:

$$S = \frac{L}{n} (y_1 + y_2 + y_3 + \dots y_n) \quad (2.50)$$

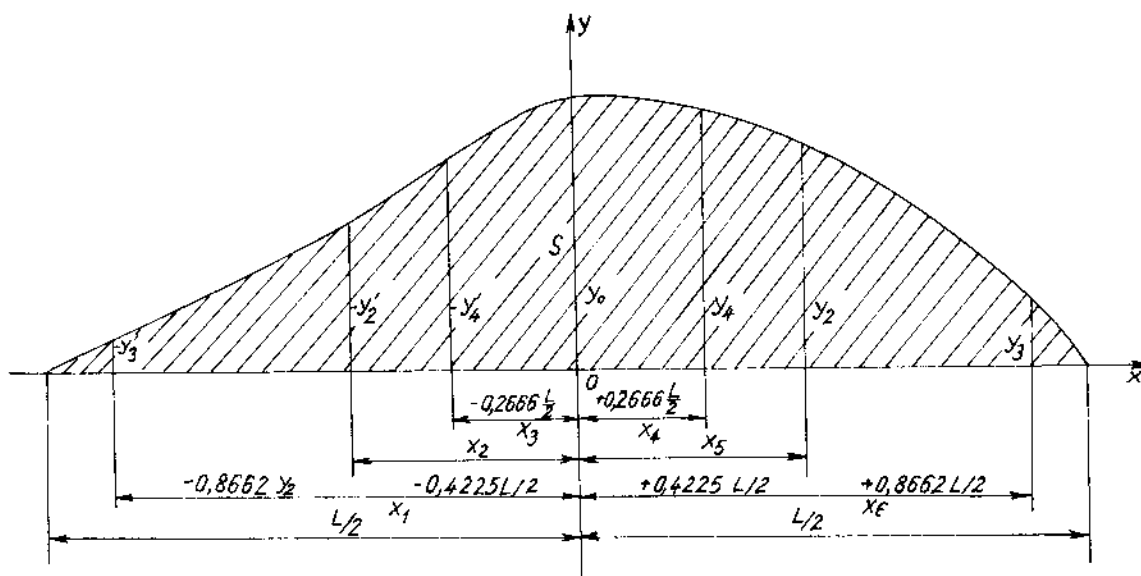
Cần lưu ý, điểm gốc (O) của trục hoành độ nằm giữa chiều dài L, trên bảng II.2 liệt kê các điểm đi qua và hoành độ x (khoảng cách từ điểm phải lấy tung độ y(x) tới điểm gốc).

Bảng II.2. Các điểm cắt của phương pháp Trébushev

Số điểm phải lấy tung độ (điểm cắt)		Hoành độ x (chiều dài từ điểm 0 đến điểm lấy tung độ y(x) lấy bằng trị số trên bảng nhân với 1/2 L)				
2	-	± 0,5773				
3	0,000	± 0,7071				
4	-	± 0,1876	± 0,7947			
5	0,000	± 0,3745	± 0,8325			
6	-	± 0,2666	± 0,4225	± 0,8662		
7	0,000	± 0,3239	± 0,5297	± 0,8839		
8	-	± 0,1026	± 0,4062	± 0,5938	± 0,8974	
9	0,000	± 0,1026	± 0,5288	± 0,6010	± 0,9116	
10	-	± 0,0838	± 0,3127	± 0,5000	± 0,6873	± 0,9162

Trên hình 2.28 trình bày đường qua 7 điểm cần có tung độ $y_0, y_1, y'_1, y_2, y'_2, y_3, y'_3$ mà đường cong parabol bậc 7 đi qua và hoành độ của 6 điểm đó $x_1, x'_1, x_2, x'_2, x_3, x'_3$, như vậy diện tích cần tính S:

$$S = \frac{L}{6} (y'_3 + y'_2 + y'_1 + y_1 + y_2 + y_3)$$



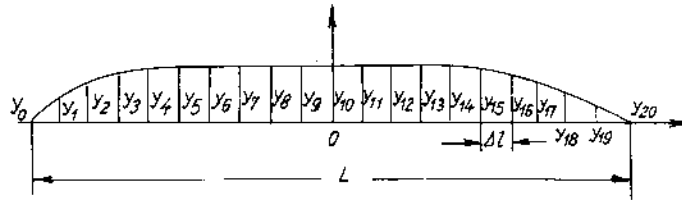
Hình 2.28.

4. Áp dụng các phương pháp tính gần đúng để tính các thông số của tàu

a. Phương pháp tính diện tích đường nước, vị trí trọng tâm và mômen quán tính của nó

1) Tính theo phương pháp hình thang

Trên hình 2.29 là một nửa đường nước và cách chia trạm để tính toán.



Hình 2.29.

Diện tích đường nước S tính theo công thức sau:

$$S = 2 \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} y dx \approx 2\Delta L \left(y_0 + y_1 + y_2 + \dots + y_{18} + y_{19} + y_{20} - \frac{y_0 + y_{20}}{2} \right) \quad (2.51)$$

$$= 2\Delta L \sum y_i.$$

Mômen tĩnh của diện tích đường nước đối với $\otimes$ (trục y):

$$M_y = 2 \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} xy dx \approx 2\Delta l^2 [0 \cdot y_{10} + 1(y_{11} - y_9) + 2(y_{12} - y_8) + 3(y_{13} - y_7) + \dots$$

$$+ 9(y_{19} - y_1) + 10(y_{20} - y_0)] \approx 2\Delta L^2 C_i. \quad (2.52)$$

Hoành độ tâm hình học (trọng tâm đường nước) x_f (cách $\otimes$):

$$x_f = \frac{M_y}{S} = \frac{\Delta l C_i}{\sum y_i} \quad (2.53)$$

Mômen quán tính của diện tích đường nước đối với trục x :

$$I_x = 2 \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \frac{y^3}{3} dx \approx 2 \cdot \frac{\Delta l}{3} \left(y_0^3 + y_1^3 + y_2^3 + \dots + y_{19}^3 + y_{20}^3 - \frac{y_0^3 + y_{20}^3}{2} \right)$$

$$= \frac{2}{3} \Delta l \cdot f(I_y) \quad (2.54)$$

Mômen quán tính đối với trục ngang đi qua trọng tâm đường nước:

$$I_f = I_y - S x_f^2 \quad (2.55)$$

trong đó I_y – mômen quán tính đối với trục y ;

S – diện tích đường nước;

x_f – khoảng cách từ trọng tâm đường nước tới trục y .

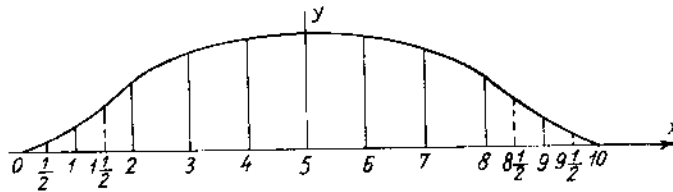
Cách tính có thể xem bảng tính đường cong thủy tĩnh (bảng II.3a).

2) Tính theo phương pháp Simpson

Trên hình 2.30 cũng trình bày một nửa diện tích đường nước nhưng vì dùng phương pháp Simpson ta chia trạm như hình 2.30.

Diện tích đường nước S :

$$S = 2 \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} y dx \approx \frac{2}{3} \Delta L \left(\frac{1}{2} y_0 + 2y_{\frac{1}{2}} + 1y_1 + 2y_{1\frac{1}{2}} + 1\frac{1}{2} y_2 + 4y_3 + 2y_4 + 4y_5 + 2y_6 + \right. \\ \left. + 4y_7 + 1\frac{1}{2} y_8 + 2y_{8\frac{1}{2}} + 1y_9 + 2y_{9\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} y_{10} \right) \approx \frac{2}{3} \Delta L f(S) \quad (2.56)$$



Hình 2.30. Phân bố trạm theo phương pháp Simpson.

Mômen tĩnh của diện tích đường nước đối với trục y :

$$M_y = 2 \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} xy dx \approx 2 \times \frac{1}{3} \times \Delta L^2 \left[0 \times 4y_5 + 1 \times 2(y_6 - y_4) + 2 \times 4(y_7 - y_3) + 3 \times \frac{3}{2}(y_8 - y_2) \right. \\ \left. + 3 \frac{1}{2} \times 2 \left(y_{8\frac{1}{2}} - y_{1\frac{1}{2}} \right) + 4 \times 1(y_9 - y_1) + 4 \frac{1}{2} \times 2 \left(y_{9\frac{1}{2}} - y_{\frac{1}{2}} \right) + 5 \times \frac{1}{2}(y_{10} - y_0) \right] \\ \approx \frac{2}{3} \Delta L^2 f(M_s). \quad (2.57)$$

Hoành độ trọng tâm đường nước x_f (cách ổ):

$$x_f = \frac{M_y}{S} = \frac{\frac{2}{3} \Delta l^2 f(M_s)}{\frac{2}{3} \Delta l f(S)} = \frac{\Delta l \times f(M_s)}{\int(S)}. \quad (2.58)$$

Mômen quán tính của diện tích đường nước đối với trục y:

$$\begin{aligned} I_y = 2 \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} x^2 y dx &\approx \frac{2}{3} \Delta l^3 \left[0 \times 4y_5 + 1^2 \times 2(y_6 + y_4) + 2^2 \times 4(y_7 + y_3) \right. \\ &+ 3^2 \times \frac{3}{2}(y_8 + y_2) + 3,5^2 \times 2 \left(y_{8\frac{1}{2}} + y_{1\frac{1}{2}} \right) + 4^2 \times 1(y_9 + y_{11}) \\ &\left. + 4,5^2 \times 2(y_{9\frac{1}{2}} + y_{1\frac{1}{2}}) + 5^2 \times \frac{1}{2}(y_{10} + y_0) \right] = \frac{2}{3} \Delta l^3 \cdot f(I_y) \end{aligned} \quad (2.59)$$

Mômen quán tính của diện tích đường nước đối với trục ngang đi qua trọng tâm đường nước tính theo công thức (2.55). Mômen quán tính của đường nước đối với trục x:

$$\begin{aligned} I_x = 2 \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \frac{y^3}{3} dx &\approx \frac{2}{3} \Delta l \left(\frac{1}{2} y_0^3 + 2y_{\frac{1}{2}}^3 + 1y_1^3 + 2y_{1\frac{1}{2}}^3 + 1\frac{1}{2} y_2^3 \right. \\ &+ 4y_3^3 + 2y_4^3 + 4y_5^3 + 2y_6^3 + 4y_7^3 + 1\frac{1}{2} y_8^3 + 2y_{8\frac{1}{2}}^3 + 1y_9^3 + 2y_{9\frac{1}{2}}^3 + \frac{1}{2} y_{10}^3 \left. \right) \\ &\approx \frac{2}{3} \Delta l f(I_x) \end{aligned} \quad (2.60)$$

3) Tính theo phương pháp Trêbushchev

Dùng đường cong đi qua 9 điểm thay thế cho đường nước, tra bảng II.2 ta có các tọa độ như sau:

$$x_0 = 0,000, y_0 \quad x_1 (= + 0,1679 \frac{L}{2}), y_1, \quad x'_1 = -0,1679 \frac{L}{2}, y'_1$$

$$x_2 (= + 0,5288 \frac{L}{2}), y_2, \quad x'_2 = -0,5288 \frac{L}{2}, y'_2$$

$$x_3 (= + 0,61010 \frac{L}{2}), y_3, \quad x'_3 = -0,61010 \frac{L}{2}, y'_3$$

$$x_4 (= + 0,9116 \frac{L}{2}), y_4, \quad x'_4 = -0,9116 \frac{L}{2}, y'_4$$

Diện tích đường nước:

$$S = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} y dx \approx 2 \frac{L}{9} (y_4 + y_3 + y_2 + y_1 + y_0 + y'_1 + y'_2 + y'_3 + y'_4) \approx 2 \frac{L}{9} \sum y_i \quad (2.61)$$

Mômen tĩnh của đường nước đối với trục y:

$$\begin{aligned} M_y = 2 \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} x y dx &\approx 2 \times \frac{L}{9} \times \frac{L}{2} [x_1(y_1 - y'_1) + x_2(y_2 - y'_2) + x_3(y_3 - y'_3) \\ &+ x_4(y_4 - y'_4)] \approx 2 \times \frac{L}{9} \times \frac{L}{2} \times \sum K y_i \end{aligned} \quad (2.62)$$

Đưa $\frac{L}{2}$ ra ngoài [] ta có $x_1 = 0,1679$, $x_2 = 0,5288$, $x_3 = 0,61010$, $x_4 = 0,9116$.

Tọa độ trọng tâm đường nước cách trục x_i :

$$x_r = \frac{M_y}{S} = \frac{2 \times \frac{L}{9} \times \frac{L}{2} \times \sum K y_i}{2 \times \frac{L}{9} \times \sum y_i} = \frac{L}{2} \frac{\sum y K_i}{\sum y_i} \quad (2.63)$$

Mômen quán tính của diện tích đối với trục x:

$$\begin{aligned} I_x = 2 \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \frac{y^3}{2} dx &\approx \frac{2}{3} \times \frac{L}{9} \times (y_4^3 + y_3^3 + y_2^3 + y_1^3 + y_0^3 + y_1'^3 + y_2'^3 + y_3'^3 + y_4'^3) \\ &\approx \frac{2}{3} \times \frac{L}{9} \sum y_i^3, \end{aligned} \quad (2.64)$$

Mômen quán tính của diện tích đường nước đối với trục y:

$$\begin{aligned} I_y = 2 \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} x^2 y dx &\approx 2 \times \frac{L}{9} \times \left(\frac{L}{2}\right)^2 \times [x_1^2(y_1 + y'_1) + x_2^2(y_2 + y'_2) \\ &+ x_3^2(y_3 + y'_3) + x_4^2(y_4 - y'_4)] \approx \frac{2L}{9} \times \left(\frac{L}{2}\right)^2 \times \sum K^2 y_i \end{aligned} \quad (2.65)$$

trong đó: $x_1 = 0,1617$; $x_2 = 0,5288$; $x_3 = 0,6010$; $x_4 = 0,9116$.

Mômen quán tính của diện tích đường nước đối với trục ngang đi qua x_r tính theo (2.55).

b. Tính toán diện tích và vị trí trọng tâm của đường sườn

1) Tính theo phương pháp hình thang

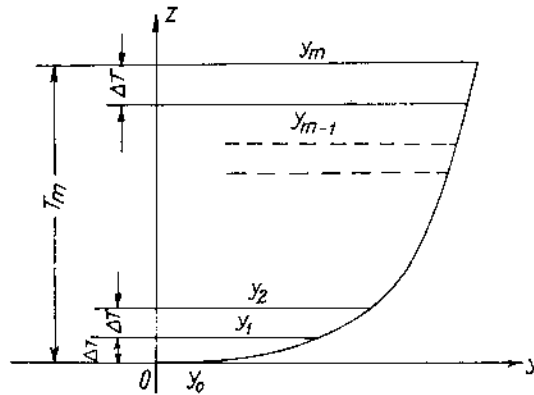
Trên hình 2.31 là hình dáng đường sườn số j.

Diện tích đường sườn ở phía dưới đường nước:

$$\omega = 2 \int_0^{T_m} y dz \approx 2 \frac{T_m}{m} \left(y_0 + y_1 + \dots + y_{m-1} + y_m - \frac{y_0 + y_m}{2} \right) \approx 2 \Delta T \Sigma y_i \quad (2.66)$$

Mômen tĩnh của diện tích đường sườn đối với đường chuẩn (trục Oy):

$$\begin{aligned} M_y = 2 \int_0^{T_m} y z dz &\approx \left(\frac{T_m}{m} \right)^2 \left(0 \times y_0 + 1 \times y_1 + 2y_2 + \dots + my_m - \frac{0 \times y_0 + my_m}{2} \right) \approx \\ &\approx 2 \Delta T^2 C_{jm} \end{aligned} \quad (2.67)$$



Hình 2.31.
Đường sườn số j.

Về vị trí trọng tâm đường sườn, vì đường sườn đối xứng trái phải nên $y_s = 0$, còn chiều cao trọng tâm đường sườn cách đường chuẩn:

$$Z_s = \frac{M_y}{\omega} = \frac{2 \Delta T^2 C_{jm}}{\Sigma y_i} \quad (2.68)$$

2) Tính theo phương pháp Simpson

$$\begin{aligned} \omega = 2 \int_0^{T_m} y dz &\approx \frac{4}{3} \Delta T \left(\frac{1}{2} y_0 + 2y_1 + y_2 + 2y_3 + y_4 + \dots + 2y_{m-1} + \frac{1}{2} y_m \right) \approx \\ &\approx \frac{4}{3} \Delta T^2 . f(\omega) \end{aligned} \quad (2.69)$$

$$M_y = 2 \int_0^{T_m} yz dz \approx \frac{4}{3} \Delta T^2 \left[0 \times \frac{1}{2} y_0 + 1 \times 2y_1 + 2 \times y_2 + 3 \times 2y_3 + \dots + \right. \\ \left. + (m-1) \times 2y_{m-1} + m \times \frac{1}{2} y_m \right] = \frac{4}{3} \Delta T^2 \cdot f(M_\omega), \quad (2.70)$$

$$Z_s = \frac{M_y}{\omega} = \frac{\frac{4}{3} \Delta T^2 f(M_\omega)}{\frac{4}{3} \Delta T f(\omega)} = \frac{\Delta T f(M_\omega)}{f(\omega)} \quad (2.71)$$

Trong công thức trên số lượng tọa độ phải thỏa mãn yêu cầu của phương pháp Simpson ① ④ ① là số lượng tọa độ phải là số lẻ, nếu số tọa độ là số chẵn, thì phải tăng một nửa trạm để tăng độ chính xác của việc tính toán, lúc đó thì các hệ số trước tọa độ phải là điều chỉnh như ta đã nói kỹ trong phần nói về phương pháp ① ④ ①.

3) Tính theo phương pháp Trêbushev

Vì khoảng cách các tọa độ lấy không đều nhau, nên tính toán vô cùng phức tạp, không nên tính theo phương pháp này.

c. Tính thể tích chiếm nước và tọa độ tâm nổi

1) Thể tích chiếm nước

Vì trên trục hoành bố trí diện tích đường nước, hoặc trên trục tung bố trí diện tích đường sườn nên đều phải dùng phương pháp gần đúng để tính thể tích chiếm nước.

a) Tính theo phương pháp hình thang

– Tích phân theo chiều đứng diện tích đường nước S:

$$V = \int_0^{T_m} S dz \approx \Delta T \left(S_0 + S_1 + S_2 + \dots + S_m - \frac{S_0 + S_m}{2} \right) \quad (2.72)$$

trong đó S là diện tích các đường nước.

– Tích phân theo chiều dọc diện tích đường sườn ω tại các trạm:

$$V = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \omega \cdot dx \approx \Delta l \left(\omega_0 + \omega_1 + \dots + \omega_{20} - \frac{\omega_{20} + \omega_0}{2} \right) \quad (2.73)$$

trong đó ω là diện tích các đường sườn.

b) Tính theo phương pháp Simpson

- Tích phân theo chiều đứng diện tích đường nước S:

$$V = \int_0^{T_m} S dz \approx \frac{\Delta T}{3} \cdot (S_0 + 4S_1 + 2S_2 + \dots + 4S_{m-1} + S_m), \quad (2.74)$$

- Tích phân theo chiều dọc diện tích đường sườn ω :

$$V = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \omega \cdot dx \approx \frac{\Delta L}{3} \cdot \left(\frac{1}{2} \omega_0 + 2\omega_{\frac{1}{2}} + \omega_1 + 2\omega_{\frac{1}{2}} + 1\frac{1}{2} \omega_2 + 4\omega_3 + 2\omega_4 + 4\omega_5 + 2\omega_6 + \right. \\ \left. + 4\omega_7 + 1\frac{1}{2} \omega_8 + 2\omega_{8\frac{1}{2}} + \omega_9 + \omega_{9\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} \omega_{10} \right). \quad (2.75)$$

2. Tính tọa độ tâm nổi

a) Tính theo phương pháp hình thang

- Tích phân theo chiều đứng diện tích đường nước S

Chiều cao tâm nổi cách chuẩn:

$$Z_c = \frac{\int_0^{T_m} S z dz}{\int_0^{T_m} S dz} \approx \frac{\Delta T \left(0 \cdot S_0 + 1 \cdot S_1 + \dots + m S_m - \frac{m S_m}{2} \right)}{\left(S_0 + S_1 + \dots + S_m - \frac{S_0 + S_m}{2} \right)},$$

Khoảng cách từ tâm nổi tới $\emptyset$:

$$x_c = \frac{\int_0^m S x_f dz}{\int_0^{T_m} S dz} = \frac{\left(S_0 x_{f_0} + S_1 x_{f_1} + \dots + S_m x_{f_m} - \frac{S_0 x_{f_0} + S_m x_{f_m}}{2} \right)}{\left(S_0 + S_1 + \dots + S_m - \frac{S_0 + S_m}{2} \right)} \quad (2.76)$$

trong đó: ΔT – khoảng cách giữa các đường nước;

S – diện tích đường nước;

x_f – trọng tâm đường nước cách $\emptyset$.

- Tích phân theo chiều dọc diện tích đường sườn ω tại các trạm

Chiều cao tâm nổi cách chuẩn:

$$z_c = - \frac{\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \omega z_\omega dx}{\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \omega dx} = \frac{\left(\omega_0 z_0 + \omega_1 z_1 + \dots + \omega_{20} z_{20} - \frac{\omega_{20} z_{20} + \omega_0 z_0}{2} \right)}{\left(\omega_0 + \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_{20} - \frac{\omega_{20} + \omega_0}{2} \right)} \quad (2.77)$$

Tâm nổi cách Ø:

$$x_c = \frac{\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \omega \cdot x dx}{\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \omega dx} \approx \frac{\Delta L \left[10(\omega_{20} - \omega_0) + 9(\omega_{19} - \omega_1) + \dots + 2(\omega_{12} - \omega_8) + (\omega_{11} - \omega_9) - \frac{10(\omega_{20} - \omega_0)}{2} \right]}{\left(\omega_0 + \omega_1 + \dots + \omega_{20} - \frac{\omega_0 + \omega_{20}}{2} \right)} \quad (2.78)$$

b) Tính theo phương pháp Simpson

– Tích phân theo chiều đứng diện tích đường nước S

Chiều cao tâm nổi cách chuẩn:

$$z_c = \frac{\int_0^{T_n} S z dz}{\int_0^{T_n} S dz} \approx \frac{\Delta T (0 \times S_0 + 1 \times 4 \times S_1 + 2 \times 2 \times S_2 + 3 \times 4 \times S_3 + \dots + (m-1) \times 4 \times S_{m-1} + m \times 1 \times S_m)}{\left(S_0 + S_1 + \dots + S_{20} - \frac{S_0 + S_{20}}{2} \right)} \quad (2.79)$$

Tâm nổi cách Ø:

$$x_c = - \frac{\int_0^{T_n} S x_f dz}{\int_0^{T_n} S dz} = \frac{\Delta T (S_0 x_{f0} + 4S_1 x_{f1} + 2S_2 x_{f2} + \dots + 4S_{m-1} x_{f(m-1)} + S_m x_{fm})}{(S_0 + 4S_1 + 2S_2 + \dots + 4S_{n-1} + S_m)} \quad (2.80)$$

trong đó S – diện tích đường nước;

x_f – tâm diện tích đường nước cách K .

– Tích phân theo chiều dọc diện tích đường sườn ω tại các trạm

Chiều cao tâm nổi cách chuẩn:

$$z_c = \frac{\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \omega z_\omega dx}{\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \omega dx} = \frac{(\omega_0 z_0 + 4\omega_1 z_1 + 2\omega_2 z_2 + \dots + 4\omega_{19} z_{19} + \omega_{20} z_{20})}{(\omega_0 + 4\omega_1 + 2\omega_2 + \dots + 4\omega_{19} + \omega_{20})}; \quad (2.81)$$

Tâm nổi cách K :

$$x_c = \frac{\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \omega \cdot x dx}{\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \omega dx} = \frac{\Delta l [10 \times (\omega_{20} - \omega_0) + 9 \times 4 \times (\omega_{19} - \omega_1) + 8 \times 2 \times (\omega_{18} - \omega_2) + 7 \times 4 \times (\omega_{17} - \omega_3) + \dots + 2 \times 2 \times (\omega_{12} - \omega_8) + 1 \times 4 \times (\omega_{11} - \omega_9)]}{\omega_0 + 4 \times \omega_1 + 2\omega_2 + \dots + \dots + 4\omega_{19} + \omega_{20}}; \quad (2.82)$$

trong đó: ω – diện tích đường sườn;

z_ω – chiều cao tâm diện tích đường sườn có diện tích ω .

4. Độ chính xác của phương pháp tính gần đúng

Dùng phương pháp hình thang thì số tọa độ để tính diện tích hay là số đường thẳng đứng càng nhiều thì độ chính xác càng cao. Thông thường trong công tác thiết kế dùng 21 số tọa độ có khoảng cách đều nhau, như vậy có 20 trạm tất cả, sai số tính toán tùy thuộc vào việc điều chỉnh các tọa độ ở hai đầu cũng như ở phần đáy như ta đã trình bày ở 2.1.4.A2. Nếu ta điều chỉnh ở 2 mút và ở đáy tốt thì đối với các loại tàu thông thường, độ chính xác như vậy là đủ. Nếu dùng 24 trạm (25 đường thẳng đứng) thì sai số tính toán là 0,5% [3].

Phương pháp Simpson ① ④ ①, nếu dùng 21 đường thẳng đứng thì sai số chỉ còn 0,12%, cho nên dùng 11 đường thẳng đứng để tính toán là cho phép.

Về phương pháp Trêbushev, dùng 9 đường thẳng đứng là rất phổ biến, dùng để tích phân theo chiều dài. Dùng 9 đường thẳng đứng để tính diện tích, sai số chỉ có 0,3%, nhưng dùng phương pháp này để tính mômen quán tính và trọng tâm đường nước thì sai số lớn đến 2,7%. Các phương pháp vừa nêu lên đều có ưu và

nhược điểm, bạn đọc phải căn cứ tình hình cụ thể, nhất là yêu cầu về độ chính xác để chọn phương pháp tính toán.

2.1.5. CÁC ĐƯỜNG CONG TÍNH NĂNG CỦA THÂN TÀU VÀ CÁC BẢNG TÍNH TOÁN MẪU

1. Các đường cong thủy tĩnh và cách tính toán của chúng

a. Mục đích và nội dung

Các đường cong thủy tĩnh thể hiện các số liệu tính năng của thân tàu khi nổi tĩnh ở bất kỳ mức nước nào, các số liệu tính năng gồm có:

1) Thể tích chiếm nước V , phương pháp tính toán xem 2.1.4.4;

2) Lượng chiếm nước D : $D = \gamma V$

Nước biển $\gamma = 1,025 \text{ T/m}^3$

Nước ngọt $\gamma = 1,000 \text{ T/m}^3$;

3) Diện tích đường nước S , phương pháp tính toán xem 2.1.4.4, công thức (2.51) hoặc (2.56) hoặc (2.61) tùy theo phương pháp tính ta chọn;

4) Tọa độ trọng tâm đường nước x_f , phương pháp tính xem 2.1.4.4, công thức (2.53), (2.58) hoặc (2.63) tùy theo phương pháp tính ta chọn;

5) Khoảng cách từ $\emptyset$ đến tâm nổi x_c , công thức tính toán (2.76) và (2.80);

6) Khoảng cách thẳng đứng từ đường chuẩn tới tâm nổi z_c , công thức tính toán (2.77) và (2.79);

7) Chiều cao tâm ổn định ngang z_m , $z_m = \frac{I_x}{V} + z_c = z_c + r$,
 8) Chiều cao tâm ổn định dọc z_M , $z_M = \frac{I_f}{V} + z_c = z_c + R$,
 } xem phần ổn định ban đầu;

9) Mômen gây chúi 1 cm $M_{1\text{cm}} = \frac{DH}{L} 10^{-2}$, xem phần ổn định ban đầu;

10) Đường cong số tấn lượng chiếm nước trên 1 cm mức nước $q = f(T) = \frac{\gamma S}{100}$;

11) Hệ số đầy đường nước: $\alpha = \frac{S}{L_{pp} \cdot B}$;

12) Hệ số đầy đường sườn giữa tàu: $\beta = \frac{\omega}{BT}$;

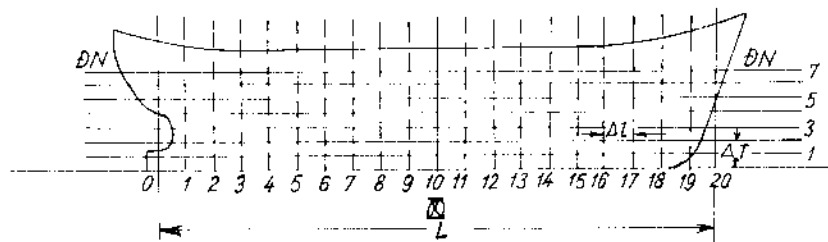
13) Hệ số béo toàn tàu:
$$\delta = \frac{V}{L_{pp}BT};$$

14) Hệ số béo thể tích theo chiều dọc:
$$\varphi = \frac{\delta}{\beta}.$$

b. Các bảng tính toán mẫu

Để giúp bạn đọc hiểu sâu và có thể vận dụng trong thực tế, dưới đây xin trình bày bảng tính mẫu các đường cong thủy tĩnh của một tàu có chiều dài $L_{pp} = 70$ m, $B = 11,8$ m, $T = 5,6$ m. ở đây chỉ giới thiệu phương pháp tính hình thang và phương pháp tính Simpson ① ④ ①.

1. Phương pháp hình thang



Hình 2.32a. Cách chia trạm theo phương pháp hình thang.

① Chia trạm. Để đảm bảo độ chính xác cần thiết ta chia chiều dài L_{pp} làm 20 trạm như trên hình 2.32a, nghĩa là $\Delta l = \frac{L}{20}$, khoảng cách đều giữa các đường nước ΔT , thông thường phía trên đường nước chỗ dầy ta thêm 1 đến 2 đường nước.

② Đối với tọa độ của điểm mút đường nước và đường sườn phải điều chỉnh theo cách trình bày ở mục 2.1.4A2a, b. Trong bảng tính II.3a, $\frac{1}{2}$ chiều rộng đường nước đã được điều chỉnh đặt ở phần trên của ($\underline{X}$), còn tọa độ đã được điều chỉnh của $\frac{1}{2}$ chiều rộng sườn lý thuyết đặt ở phần dưới của ($\bar{X}$).

③ Khi tính chiều cao tâm nổi, dùng phương pháp tổ hợp giữa hình trụ có đáy chữ nhật và trụ có đáy hình tam giác như đã trình bày ở phần cuối của mục nhỏ 2.1.4A tay đòn của hàm số để tính đường nước $\Sigma'y_i$ lần lượt được nâng cao và giảm xuống $\frac{1}{3}\Delta T$ đối với khối nước nằm dưới và tại đường nước đó. Trên bảng II.3a dưới

$\Sigma'y_i$ có ghi $\frac{1}{3}, \frac{2}{3}, \frac{4}{3}, \frac{5}{3}, \frac{7}{3}$ v.v... là để tính tay đòn của đường nước đó.

④ Tiến hành tính toán theo trình tự và các mũi tên ghi dẫn ta sẽ được hàm số diện tích đường nước $\Sigma'y_i$ (hạng mục này thì vô cùng rõ ràng trên bảng II.3a), hàm số thể tích chiếm nước $\Sigma\sigma'_i$, hàm số tọa độ dọc của tâm đường nước x_c là m_i , hàm số chiều cao tâm nổi P_i v.v... (về tính P_i bạn đọc phải vô cùng thận trọng đi theo mũi tên, và phải dựa vào những điều đã học đặc biệt là điều nói trong mục c này về các hệ số $\frac{1}{3}, \frac{2}{3}, \frac{4}{3}, \frac{5}{3}, \frac{7}{3}$ v.v... để kiểm chứng những điều đã nói trong mục này về P_i) đưa vào các số có được đó thay vào các công thức ghi trong bảng II.3b ta sẽ tính được các thông số của đường cong thủy tĩnh.

⑤ Trên bảng II.3a cũng liệt kê việc tính toán đường cong Bonjean, tại cột thứ 5 cuối cùng của mỗi đường nước dùng để tính đường cong Bonjean, trong đó cột $[\sigma_i \times \Delta T]$ biểu thị diện tích đường sườn nằm dưới các đường nước đó ω_h . Trong cột $[C_j \Delta T^2]$ là cột biểu thị mômen của diện tích đường sườn đó đối với đường chuẩn M_y .

Nguyên lý cơ bản xem công thức (2.66) và (2.67)

$$\text{Khi } i = 1 \text{ (đường nước số 1)} \quad \omega_h \approx \Delta T (y_0 + y_1) = \sigma_{j1} \Delta T,$$

$$M_y \approx \Delta T^2 (0 \times y_0 + 1y_1) = C_{j1} \Delta T^2,$$

$$\text{Khi } i = 2 \text{ (đường nước số 2)} \quad \omega_h \approx \Delta T (y_0 + 2y_1 + y_2) = \Delta T (\sigma_{j1} + y_1 + y_2) = \Delta T \cdot \sigma_{j2},$$

$$M_y \approx \Delta T^2 (0 \times y_0 + 2y_1 + 1 \times 2y_2) = \Delta T^2 (2y_1 + 2y_2),$$

$$= \Delta T^2 (C_{j1} + 1y_1 + 2y_2) = \Delta T^2 C_{j2}.$$

Cũng với lý do như trên, tại đường nước i thì:

$$\omega_h \approx \Delta T (\sigma_{i-1} + y_{i-1} + y_i) = \Delta T \sigma_{ji}, \quad (2.83)$$

$$M_y \approx \Delta T^2 (C_{j(i-1)} + (i-1) y_{i-1} + i y_i) = \Delta T^2 C_{ji} \quad (2.84)$$

	Số lý thuyết	Tay đơn K	K ²	Đường chuẩn		Đường nước 1400										Đường nước 2800							
				y ₀	Ky ₀	y ₁	Ky ₁	K ² y ₁	$\frac{3}{y_1}$	$\sigma_1 = \frac{\sigma_1 \Delta T}{y_0 + y_1}$	E ₁ = σ ₁ ΔT 1, y ₁	E ₁ =DC ₁₁	$\frac{\Delta T^2}{x C_{11}}$	y ₂	Ky ₁	K ² y ₂	$\frac{3}{y_2}$	$\sigma_2 = \frac{\sigma_2 \times \Delta T}{\sigma_1 + y_2}$	E ₂ =2.y ₂	$\frac{C_{11} + E_1}{+ E_2} =$ C _p	$\frac{\Delta T^2}{C_p}$		
Lãi	0	-10	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
↗ ↘ Mũi	1	-9	81	(0,14)	-1,3	$\frac{(0,55)}{(0,39)}$	-5,0	44,6	0	0,55	0,74	0,39	0,39	0,77	$\frac{1,40}{0,88}$	-12,6	113,4	3	1,80	2,52	1,76	2,54	4,9
	2	-8	64	(0,20)	-1,6	1,30	-10,4	83,2	2	1,50	2,10	1,30	1,30	2,55	2,25	-18,0	144,0	11	5,05	7,07	4,50	7,10	13,9
	3	-7	49	(0,40)	-2,8	2,49	-17,4	122,0	15	2,89	4,05	2,49	2,49	4,88	3,59	-25,1	175,9	46	8,97	12,55	7,18	12,16	23,8
	4	-6	36	(1,10)	-6,6	3,66	-22,0	131,8	49	4,76	6,66	3,66	3,66	7,17	4,63	-27,8	186,7	99	13,05	18,27	9,26	16,58	32,5
	5	-5	25	(2,02)	-10,1	4,66	-23,3	116,5	101	6,68	9,35	4,66	4,66	9,14	5,31	-26,6	132,8	150	16,65	23,32	10,62	19,94	39,0
	6	-4	16	(3,20)	-12,8	5,39	-21,6	86,3	156	8,59	12,02	5,39	5,39	10,58	5,72	-22,9	91,5	187	19,70	27,60	11,44	22,22	43,5
	7	-3	9	(4,10)	-12,3	5,75	-17,3	51,8	190	9,85	13,80	5,75	5,75	11,28	5,90	-17,7	53,1	205	21,50	30,10	11,80	23,30	45,6
	8	-2	4	(4,70)	-9,4	5,90	-11,8	23,6	205	10,60	14,85	5,90	5,90	11,57	5,90	-11,8	23,6	205	22,40	31,36	11,80	23,60	46,2
	9	-1	1	(5,05)	-5,1	5,90	-5,9	5,9	205	10,95	15,32	5,90	5,90	11,57	5,90	-5,9	5,9	205	22,75	31,85	11,80	23,60	46,2
	10	0	0	(5,05)	-6,20	5,90	-134,7	0	205	10,95	$\frac{\omega \times 1}{15,32}$	5,90	5,90	11,57	5,90	-168,4	0	205	22,75	$\frac{\omega \times 2}{31,85}$	11,80	23,60	46,2
	11	1	1	(5,05)	5,1	5,90	5,9	5,9	205	10,95	15,32	5,90	5,90	11,57	5,90	5,9	5,9	205	22,75	31,85	11,80	23,60	46,2
	12	2	2	(5,05)	10,1	5,90	11,8	23,6	205	10,95	15,22	5,90	5,90	11,57	5,90	11,8	23,6	205	22,75	31,85	11,80	23,60	46,2
	13	3	3	(4,75)	14,3	5,78	17,3	52,0	193	10,53	14,75	5,78	5,78	11,33	5,90	17,7	53,1	205	22,21	31,10	11,80	23,36	45,7
	14	4	4	(4,45)	17,8	5,47	21,9	87,5	164	9,92	13,89	5,47	5,47	10,72	5,80	23,2	92,8	195	21,19	29,68	11,60	22,54	44,1
	15	5	5	(3,65)	18,3	4,95	24,8	123,8	122	8,60	12,04	4,95	4,95	9,70	5,45	27,3	136,3	162	19,00	26,60	10,90	20,80	40,7
	16	6	6	(2,80)	16,8	4,15	24,9	149,4	72	6,95	9,74	4,15	4,15	8,14	4,85	29,1	174,6	114	15,95	22,35	9,70	18,00	35,2
	17	7	7	(1,40)	9,8	3,10	21,7	151,9	30	4,50	6,30	3,10	3,10	6,07	3,95	27,7	193,6	62	11,55	16,18	7,90	14,10	27,6

Bảng II.3a tiếp theo

Sườn lý thuyết			Đường chuẩn		Đường nước 1400							Đường nước 2800										
Tay đơn K	K ²		y ₀	Ky ₀	y ₁	Ky ₁	K ² y ₁	$y \frac{3}{1}$	$\sigma_1 = y_0 + y_1$	$\sigma_1 \Delta T$	E ₁ = 1.y ₁	E ₁ = DC ₁₁	$\Delta T^2 \times C_{11}$	y ₂	Ky ₂	K ² y ₂	$y \frac{3}{2}$	$\sigma_2 = y_1 + \sigma_1 + y_2$	$\sigma_2 \times \Delta T$	E ₂ = 2.y ₂	$C_{11} + E_1 + E_2 = C_{22}$	$\Delta T^2 \times C_{22}$
18	8	64	(0,10)	0,8	1,85	14,8	118,4	6	1,95	2,73	1,85	1,85	3,62	2,67	21,4	170,9	19	6,47	9,00	5,34	9,04	17,70
19	9	81	-	-	0,80	7,2	64,8	1	0	1,12	0,80	0,80	1,57	1,30	11,7	105,3	2	2,10	2,94	2,60	4,20	8,23
20	10	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tổng theo cột Σ			53,21	93,0	79,40	150,3	1443,0	2126	131,65					88,22	175,8	1863,0	2485	298,59				
Điều chỉnh $\bar{\Delta}$			0,12	31,0	0,68	15,6	54,7	1,0	0,27					1,35	-0,5	109,4	3	1,75				
Tổng đã chỉnh $\Sigma' = \Sigma - \Delta$			53,09	31,3	78,72	14,50	1388,3	2125	131,38	$m_1 = C_0 + C_1$				86,87	7,9	1753,6	2483	296,64	$m_2 = C_1 + m_1 + C_2$	68,2		
Hệ số để tính Z _c và hàm số để tính Z _c			$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{104,97}{3}$	$\frac{70,20}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{52,50}{3}$					$\frac{1}{3}$	$\frac{202,7}{3}$	$\frac{144,78}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{319,95}{3}$				

1. Từ đường nước 5600 trở lên không tính;
 2. Những số đo nằm trong () là số đã điều chỉnh để tăng độ chính xác ở sườn cuối còn (—) nằm giữa hàng dùng khi tính diện tích đường nước, còn (—) nằm giữa hàng điều chỉnh để tính diện tích đường sườn.
- Kích thước chính: 1. Chiều dài tính toán (L_{tp}) = 70m, chiều rộng B = 11,8m, môn nước T = 5,6 m.
Số lượng sườn lý thuyết 2 sườn từ trục lái (sườn số 0, sườn số 10 (giữa tàu) sườn mũi 20, số đường nước đã tính toán 5 ĐN 0, ĐN1 (1400), ĐN 2 (2800), ĐN 3 (4200), ĐN 4 (56

Bảng II.3a tiếp theo

y_1	Đường nước 4200										Đường nước 5600						
	Ky_1	K^2y_1	$y \frac{3}{3}$	$\sigma_3 = y_2 + \sigma_1 + y_3$	$\sigma_3 \times \Delta T$	$E_3 = 3y_3$	$C_{j1} + E_1 + E_3 = C_{j3}$	$\Delta T^2 \times C_{j1}$	Y_1	Ky_2	K^2y_2	$y \frac{3}{4}$	$\sigma_4 = y_3 + \sigma_1 + y_4$	$\sigma_4 \times \Delta T$	$E_4 = 4y_4$	$C_{j1} + E_3 + E_4 = C_{j4}$	$\Delta T^2 \times C_{j4}$
1,62 1,03	-16,2	162,0	4	0	0	3,09	3,09	6,05	4,88 2,40	-48,8	498	116	3,43	4,80	9,60	15,78	30,92
2,44	-22,0	197,6	15	5,12	7,17	7,32	11,62	22,78	3,86	-34,7	312,5	56	11,42	15,99	15,44	34,38	67,40
3,66	-29,3	234,2	49	10,96	15,35	10,98	22,58	44,30	4,80	-38,4	307,2	110	19,42	27,19	19,20	52,76	103,45
4,60	-32,2	225,4	98	17,16	24,02	13,80	33,14	64,95	5,37	-37,6	263,1	155	27,13	37,98	21,48	68,42	134,30
5,22	-31,3	187,9	142	22,90	32,06	15,66	41,50	31,40	5,68	-34,1	204,3	133	33,90	47,35	22,72	79,88	156,50
5,64	-28,2	141,0	179	27,60	38,65	16,92	47,48	93,05	5,84	-29,2	146,0	199	39,08	54,71	23,36	57,76	172,05
5,85	-23,4	93,6	200	31,27	43,75	17,55	51,21	100,49	5,90	-23,6	94,4	205	43,02	60,25	23,69	92,36	181,00
5,90	-17,7	53,1	205	33,30	46,63	17,70	52,80	103,47	5,90	-17,7	53,1	205	45,10	63,15	23,60	94,10	184,50
5,90	-11,8	23,6	205	34,20	47,88	17,70	53,10	104,08	5,90	-11,8	23,6	205	46,00	64,40	23,60	94,40	185,02
5,90	-5,9	5,9	205	34,55	48,37	17,70	53,10	104,08	5,90	-5,9	5,9	205	46,35	64,89	23,60	94,40	185,02
5,90	-218,0	0	205	34,55	48,37	17,70	53,10	104,08	5,90	-281,8	0	205	46,35	64,89	23,60	94,40	185,02
5,90	5,9	5,9	205	34,55	48,37	17,70	53,10	104,08	5,90	5,9	5,9	205	46,35	64,89	23,60	94,40	185,02
5,90	11,8	23,6	205	34,55	48,37	17,70	53,10	104,08	5,90	11,8	23,6	205	46,35	64,89	23,60	94,40	185,02
5,90	17,7	53,1	205	34,01	46,61	17,70	53,10	104,08	5,90	17,7	53,1	205	45,81	64,13	23,60	94,16	184,50
5,90	23,6	94,4	205	32,89	46,10	17,70	53,10	104,08	5,90	23,6	94,4	205	44,69	62,57	23,60	93,14	182,75
5,75	28,8	143,8	190	30,20	42,28	17,25	48,95	96,00	5,90	29,5	147,5	205	41,85	50,59	23,60	89,30	176,20
5,30	31,8	190,8	149	26,10	36,55	15,90	43,60	85,50	5,65	33,9	203,4	180	37,05	51,88	22,60	82,10	161,00
4,50	31,5	220,5	91	20,0	28,00	13,50	35,50	69,60	4,97	35,8	143,5	123	29,47	41,25	19,88	68,88	135,00

Bảng II.3a tiếp theo

Đường nước 4200										Đường nước 5600							
y_1	Ky_1	K^2y_1	$y \frac{3}{3}$	$\sigma_3 = y_2 + \sigma_1 + y_3$	$\sigma_3 \times \Delta T$	$E_3 = 3.y_3$	$C_{p2} + E_2 + E_3 = C_{p3}$	$\Delta T^2 \times C_{p3}$	Y_4	Ky_4	K^2y_4	$y \frac{3}{4}$	$\sigma_4 = y_1 + \sigma_1 + y_4$	$\sigma_4 \times \Delta T$	$E_4 = 4.y_4$	$C_{p3} + E_3 + E_4 = C_{p4}$	$\Delta T^2 \times C_{p4}$
3,30	26,4	211,2	36	12,44	17,44	9,90	14,28	47,60	3,90	31,1	249,6	59	19,64	27,50	15,60	49,78	97,55
1,85	26,7	149,9	6	5,25	7,35	5,55	12,35	24,20	2,44	22,0	197,6	15	9,54	13,35	9,76	21,66	54,25
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,90	9,0	90,0	1	0,90	1,26	3,60	3,60	7,06
96,93	194,2	2417,5	2799	481,60					107,29	219,4	3206,7	3249	682,75				
0,81	-23,8	81,0	2	0						-62,4	289,0	59	2,17				
Σy_3	C_3			$\Sigma \sigma_3$	$m_3 = C_2 + m_2 + C_3$				Σy_4	C_4			$\Sigma \sigma_4$	$m_4 = C_3 + m_3 + C_4$			
96,12	-15,7	2336,5	2797	481,60	60,4				104,40	-42,5	2917,7	3190	680,58	2,2			
$\frac{10}{3}$	$\begin{matrix} \rightarrow \\ X \end{matrix}$								$\begin{matrix} \rightarrow \\ X \end{matrix}$								
$\frac{8}{3}$	$\begin{matrix} \rightarrow \\ X \end{matrix}$								$\begin{matrix} \rightarrow \\ X \end{matrix}$								
	$\begin{matrix} + \\ 256,25 \end{matrix}$	$\begin{matrix} + \\ 779,00 \end{matrix}$							$\begin{matrix} + \\ \frac{11}{3} \end{matrix}$	$\begin{matrix} + \\ 382,8 \end{matrix}$	$\begin{matrix} + \\ 1482,8 \end{matrix}$						
		P_3									P_4						

Bảng II.3b. Bảng tính đường cong thủy tĩnh

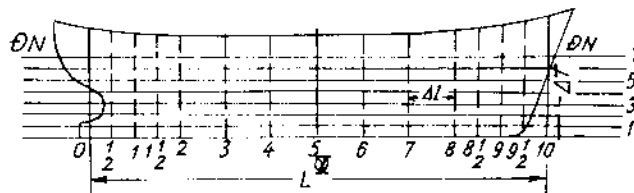
$\Delta L = \frac{L}{20} = \frac{70}{20} = 3,5\text{M}$ $\Delta T = 1,4\text{M}$	Đường nước 1400	Đường nước 2800	Đường nước 4200	Đường nước 5600
Diện tích đường nước $S_{\text{ĐN}} = 2\Delta L \sum y_i$, m ²	$2 \times 3,5 \times 78,72 = 551$	$2 \times 3,5 \times 86,87 = 607$	$2 \times 3,5 \times 96,12 = 673$	$2 \times 3,5 \times 104,40 = 731$
$x_n = \frac{\Delta L \cdot C_i}{\sum y_i}$	$\frac{3,5 \times 14,5}{78,72} = 0,615$	$\frac{3,5 \times 7,9}{86,87} = 0,318$	$\frac{3,5 \times (-15,7)}{96,12} = -0,571$	$\frac{2,5 \times (-42,5)}{104,40} = -1,425$
Thể tích chiếm nước $V_i = \Delta T \cdot \Delta L \cdot \sum \sigma_i$, m ³	$1,4 \times 3,5 \times 131,38 = 645$	$1,4 \times 3,5 \times 296,64 = 1454$	$1,4 \times 3,5 \times 481,60 = 2360$	$1,4 \times 3,5 \times 680,58 = 3335$
Lượng chiếm nước $D_i = 1,025 \cdot V_i$, tấn (nước biển)	$1,025 \times 6,45 = 661$	$1,025 \times 1454 = 1490$	$1,025 \times 1870 = 2419$	$1,025 \times 333,5 = 3418$
Tâm nổi cách đáy $x_o = \frac{\Delta L \cdot m_i}{\sum \sigma_i}$, m	$\frac{3,5 \times 45,8}{131,38} = 1,220$	$\frac{3,5 \times 68,2}{296,64} = 0,805$	$\frac{3,5 \times 60,4}{481,60} = 0,438$	$\frac{3,5 \times 2,2}{680,55} = 0,011$
Tâm nổi cách chuẩn $z_i = \frac{\Delta T \cdot P_i}{\sum \sigma_i}$, m	$\frac{1,4 \times 70,20}{131,38} = 0,75$	$\frac{1,4 \times 319,95}{296,64} = 1,51$	$\frac{1,4 \times 779,00}{481,60} = 2,26$	$\frac{1,4 \times 1482,20}{680,58} = 3,05$
Mômen quán tính của ĐN đối với trục ngang đi qua x_n : $I_n = 2(\Delta L)^3 \sum K^2 y_i - x_n^2 \cdot S_{\text{ĐN}}$, m ⁴	$2 \times (3,5)^3 \times 1388,3 - 0,645^2 \times 551 = 1,19 \times 10^5$	$2 \times (3,5)^3 \times 1753,6 - 0,318^2 \times 607 = 1,15 \times 10^5$	$2 \times (3,5)^3 \times 2336,5 - 0,571^2 \times 673 = 2,00 \times 10^5$	$2 \times (3,5)^3 \times 2917,7 - 1,425^2 \times 731 = 2,49 \times 10^5$
Mômen quán tính của ĐN đối với trục dọc $I_y = \frac{2}{3} \Delta L \cdot \sum y_i^3$, m ⁴	$\frac{2}{3} \times 3,5 \times 2125 = 4,96 \times 10^3$	$\frac{2}{3} \times 3,5 \times 2483 = 5,80 \times 10^3$	$\frac{2}{3} \times 3,5 \times 2797 = 6,51 \times 10^3$	$\frac{2}{3} \times 3,5 \times 3190 = 7,44 \times 10^3$
Tâm nghiêng ngang cách chuẩn $KM_n = \frac{I_n}{V_i} + z_i$, m	$\frac{4,96 \times 10^3}{645} + 0,75 = 8,45$	$\frac{5,80 \times 10^3}{1454} + 1,51 = 5,49$	$\frac{6,51 \times 10^3}{2360} + 2,26 = 5,02$	$\frac{7,44 \times 10^3}{3335} + 3,05 = 5,28$
Bán kính nghiêng dọc $R_i = \frac{I_n}{V_i}$, m	$\frac{1,19 \times 10^5}{645} = 184,5$	$\frac{1,50 \times 10^5}{1454} = 103,1$	$\frac{2,00 \times 10^5}{2360} = 84,8$	$\frac{2,49 \times 10^5}{3335} = 74,7$

Bảng II.3b tiếp theo

$\Delta L = \frac{L}{20} = \frac{70}{20} = 3,5M \quad \Delta T = 1,4M$	Đường nước 1400	Đường 2800	Đường nước 4200	Đường nước 5600
Tay đòn nghiêng dọc $KM_n = R_t + z_t \cdot m$	$184,5 + 0,75 = 185,3$	$103,1 + 1,51 = 104,6$	$84,8 + 2,26 = 87,1$	$74,7 + 3,05 = 77,8$
Mômen khi gây nghiêng dọc cm $M_{cm} = \frac{\Delta_t \cdot R_t}{100L} \cdot (t.m)$	$\frac{661 \times 184,5}{100 \times 70} = 17,4$	$\frac{1490 \times 103,1}{100 \times 70} = 22,0$	$\frac{2419 \times 84,8}{100 \times 70} = 29,3$	$\frac{3418 \times 74,7}{100 \times 70} = 36,4$
Số lán trên 1 cm = $0,01\gamma S_{DN}$, Tấn	$0,01 \times 1,025 \times 551 = 5,65$	$0,01 \times 1,025 \times 607 = 6,22$	$0,01 \times 1,025 \times 673 = 6,90$	$0,01 \times 1,025 \times 731 = 7,59$
Số thay đổi lượng chiếm nước (lấn) khi chúi dưới 1 m $\frac{-S_{DN} \cdot x_n}{L} \cdot \gamma$ Tấn	$\frac{-551 \times 0,645}{70} \times 1,025 = -5,20$	$\frac{-607 \times 0,318}{70} \times 1,025 = -2,83$	$\frac{-673 \times (-0,571)}{70} \times 1,025 = 5,63$	$\frac{-731 \times (-1,425)}{70} \times 1,025 = 15,25$
Chiều rộng tàu B, (m)	11,8	11,8	11,8	11,8
Hệ số đáy đường nước $\alpha_1 = \frac{S_{DN}}{L \cdot B} \cdot \alpha_1$ đáy	$\frac{551}{70 \times 11,8} = 0,667$	$\frac{607}{70 \times 11,8} = 0,735$	$\frac{673}{70 \times 11,8} = 0,815$	$\frac{731}{70 \times 11,8} = 0,885$
Hệ số đáy mặt cắt ngang giữa $\beta_1 = \frac{\omega_{DN}}{B \cdot T_1}$	$\frac{15,32}{11,8 \times 1,4} = 0,927$	$\frac{31,85}{11,8 \times 2,8} = 0,965$	$\frac{48,37}{11,8 \times 4,2} = 0,976$	$\frac{731}{111,8 \times 5,6} = 0,982$
Hệ số béo $\delta_1 = \frac{v_1}{L \cdot B \cdot T_1}$	$\frac{645}{70 \times 11,8 \times 1,4} = 0,558$	$\frac{1454}{70 \times 11,8 \times 2,8} = 0,6287$	$\frac{2360}{70 \times 11,8 \times 4,2} = 0,68$	$\frac{3335}{70 \times 11,8 \times 5,6} = 0,721$
Hệ số béo dọc tàu $\varphi_1 = \frac{\delta_1}{\beta_1}$	$\frac{0,558}{0,927} = 0,602$	$\frac{0,628}{0,965} = 0,651$	$\frac{0,68}{0,975} = 0,691$	$\frac{0,72}{0,981} = 0,734$

2. Phương pháp Simpson ① ④ ① bằng tính và ví dụ thực tế xem bảng II.4a, II.4b và II.4c.

– Chia trạm. Vẽ 11 đường thẳng đứng song song, chia L_{pp} thành 10 trạm và bổ sung thêm 4 trạm giữa thành ra các trạm $0, \frac{1}{2}, 1, 1\frac{1}{2}, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 8\frac{1}{2}, 9, 9\frac{1}{2}, 10$, như vậy $\Delta l = \frac{L_{pp}}{10}$. Cần có 4 điểm trở lên để nối thành một đường cong trơn ta cần 7 đường song song để tạo thành 7 đường nước như trên hình 2.32b, trong đó ít nhất cũng có 1 hoặc 2 đường nước ở trên đường nước thiết kế.



Hình 2.32b. Cách chia trạm khi tính theo phương pháp Simpson.

– Do sự thay đổi nhanh về thể tích phân dưới đáy, nếu dùng tích phân gần đúng theo hướng thẳng đứng thì dẫn đến sai số tương đối lớn, nên dùng cách tích phân theo chiều dọc. Thông thường dùng máy đo diện tích hoặc phương pháp nào chính xác hơn để tìm diện tích sườn dưới đáy và tâm hình học của đường sườn đó, thể tích chiếm nước và vị trí tâm nổi xem bảng II.4a.

– Số trạm để tính toán các đường nước cần phải thỏa mãn các yêu cầu của phương pháp Simpson và các đoạn mút của đường nước phải điều chỉnh như phần cuối của mục 2.1.4B, $\frac{1}{2}$ chiều rộng đã được điều chỉnh của diện tích đường nước phải điền vào bảng II.4b để tính toán yếu tố của đường nước.

– Về thể tích và tâm nổi của thể tích nằm trên phần đáy, tức thể tích và tâm nổi đường nước 1400 dùng cách tích phân chiều đứng diện tích đường nước để tính toán, sau đó hợp thành để tính thể tích chiếm nước và tâm nổi của nó. Trên bảng II.4c ghi cách tính thể tích chiếm nước và tâm nổi của nó nằm dưới đường nước 2800. Sử dụng cách tính tương tự có thể tính thể tích chiếm nước và tâm nổi của nó nằm dưới đường nước 4200 và 5600.

Bảng II.4a. Tính thể tích chiếm nước và tâm nổi dưới đường nước 1400Khoảng cách trạm $\Delta l = 7,0$ m, h số máy đo: $c = 0,0176$

Trạm	Số đo bình quân của máy đo	$\frac{1}{2}$ diện tích sườn	Hệ số Simpson	$f(V)$	Tay đòn	$f(M_{vz})$	Chiều cao trọng tâm	$f(M_{vc})$
0	0	0	1/2	0	-5	0	0	
1/2	19,5	0,35	2	0,70	-4 ^{1/2}	-3,15	0,87	0,61
1	59,5	1,05	1	1,05	-4	-4,20	0,87	0,914
1 ^{1/2}	128,5	2,26	2	4,52	-3 ^{1/2}	-15,82	0,84	3,8
2	206	3,62	1 ^{1/2}	5,43	-3	-16,29	0,84	4,55
3	341	6,0	4	24	-2	-48	0,82	19,7
4	409,5	7,2	2	14,4	-1	-14,4	0,79	11,39
5	409,5	7,2	4	28,8	0	0	0,79	22,78
6	409,5	7,2	2	14,4	1	14,4	0,79	11,39
7	386,5	6,8	4	27,2	2	54,4	0,79	21,50
8	265	4,66	1 ^{1/2}	6,99	3	20,97	0,81	5,66
8 ^{1/2}	176	3,1	2	6,2	3 ^{1/2}	21,7	0,83	5,15
9	76,5	1,35	1	1,35	4	5,4	0,9	1,22
9 ^{1/2}	32	0,56	2	1,12	4 ^{1/2}	5,04	1,1	1,23
10	0	0	1/2	0	5	0	0	0

 $\Sigma f(V) = 136,16;$ $\Sigma f(M_{vz}) = 20,05;$ $\Sigma f(M_{vc}) = 109,89.$

Thể tích chiếm nước $V'' = \frac{1}{2} \times \Delta l \times \Sigma f(V) = \frac{2}{3} \times 7,0 \times 136,16 = 635,4 \text{ m}^3;$

Chiều cao tâm nổi $z''_c = \frac{\Sigma f(M_{vc})}{\Sigma f(V)} = \frac{109,89}{136,16} = 0,807 \text{ m}^3$

Vị trí chiều dọc tâm nổi $x''_c = \frac{\Sigma f(M_{vz}) \times \Delta l}{\Sigma f(V)} = \frac{20,06 \times 7,0}{136,16} = 1,03 \text{ (trước } \emptyset).$

Bảng II.4b. Tính toán các yếu tố của đường nước 2800Khoảng cách trạm $\Delta l = 7,0$ m

Trạm	1/2 chiều rộng	Hệ số Simpson	$f(A)$	Tay đòn	$f(M)$	Tay đòn	$f(I_y)$	y^3	$f(I_x)$
0	0	1/2	0	-5	0	-5	0	0	0
1/2	0,88	2	1,76	-4 ^{1/2}	-7,92	-4 ^{1/2}	35,64	6,815	13,63
1	2,25	1	2,25	-4	-9,00	-4	36,0	11,39	11,39
1 ^{1/2}	3,59	2	7,18	-3 ^{1/2}	-25,13	-3 ^{1/2}	87,96	46,27	92,54
2	4,63	1 ^{1/2}	6,95	-3	-20,85	-3	62,55	99,25	748,4
3	5,72	4	22,88	-2	-45,76	-2	91,52	187,1	748,4
4	5,9	2	11,8	-1	-11,8	-1	11,8	205,4	410,8

Bảng II.4b tiếp theo

Trạm	1/2 chiều rộng	Hệ số Simpson	f(A)	Tay đòn	f(M)	Tay đòn	f(I _y)	y ³	f(I _x)
5	5,9	4	23,6	0	0	0	0	205,4	821,6
6	5,9	2	11,8	1	11,8	1	11,8	205,4	410,8
7	5,8	4	23,2	2	46,4	2	92,8	195,1	780,4
8	4,85	11/2	7,28	3	21,84	3	65,52	114,1	201,15
8 ^{1/2}	3,95	2	7,90	3 ^{1/2}	27,65	3 ^{1/2}	96,8	61,63	123,2
9	2,67	1	2,67	4	10,68	4	42,72	19,03	18,61
9 ^{1/2}	1,3	2	2,60	4 ^{1/2}	11,7	4 ^{1/2}	52,65	2,2	4,4
10	0	1/2	0	5	0	5	0	0	0

$$\Sigma f(A) = 131,87; \quad \Sigma f(M) = 9,61; \quad \Sigma f(I_y) = 687,76; \quad \Sigma f(I_x) = 3785,82.$$

$$\text{Diện tích đường nước } S = \frac{2}{9} \times \Delta l \times \Sigma f(A) = \frac{2}{9} \times 7,0 \times 131,87 = 615 \text{ m}^2$$

Vị trí chiều dọc trọng tâm ĐN:

$$x_f = \frac{\Sigma f(M) \times \Delta l}{\Sigma f(A)} = \frac{9,61 \times 7,0}{131,87} = 0,51 \text{ m (trước } \emptyset)$$

Mômen quán tính của đường nước đối với trục x:

$$I_x = \frac{1}{2} \times \Delta l \times \Sigma f(I_x) = \frac{2}{9} \times 7,0 \times 3785,82 = 5900 \text{ m}^4.$$

Mômen quán tính của đường nước đối với trục ngang đi qua trọng tâm ĐN:

$$I_f = \frac{2}{3} \times \Delta l^3 \times \Sigma f(I_y) - A_s \times x_f^2 = \frac{2}{3} \times 7,0^3 \times 687,76 - 615 \times 0,51^2 = 156840 \text{ m}^4.$$

Bảng II.4c. Tính thể tích chiếm nước và vị trí tâm nổi dưới đường nước 2800

Phần giữa đường nước 1400 đến đường nước 2800, khoảng cách giữa hai đường nước $\Delta T = 0,7 \text{ m}$

Đường nước	Diện tích S	Hệ số Simpson	f(v)	Tay đòn	f(M _{vc})	Tâm hình học của đường nước	f(M _{vz})
1400	556	1	556	2	1112	0,762	423,7
2100	584	4	2336	3	7008	09,66	1541,8
2800	615	1	615	4	2460	0,51	313,7

$$\Sigma f(v) = 3507$$

$$f(M_{vc}) = 10580$$

$$f(M_{vz}) = 2279,2$$

$$\text{Thể tích chiếm nước } V' = \frac{1}{3} \times \Delta T \times \Sigma f(v) = \frac{1}{3} \times 0,70 \times 3507 = 818,3 \text{ m}^3,$$

$$\text{Vị trí tâm nổi cách chuẩn } z'_c = \frac{\Sigma f(M_{vc}) \times \Delta T}{\Sigma f(v)} = \frac{10580 \times 0,70}{3507} = 2,112 \text{ m},$$

$$\text{Vị trí tâm nổi cách } \emptyset \quad x'_c = \frac{\Sigma f(M_{yv})}{\Sigma f(v)} = \frac{2279,2}{3507} = 0,65 \text{ m (phía trước } \emptyset).$$

Tổng thể tích chiếm nước và vị trí tâm nổi dưới đường nước 2800:

$$V = V' + V'' = 818,3 + 635,4 = 1453,7 \text{ m}^3$$

Chiều cao tâm nổi cách đường chuẩn

$$z_c = \frac{V' \times x'_c + V'' \times x''_c}{V' + V''} = \frac{818,3 \times 0,65 + 635,4 \times 1,03}{1453,7} = 0,816 \text{ m (phía trước } \emptyset)$$

Bảng II.4d. Bảng tổng kết

Thứ tự	Hạng mục	Ký hiệu và công thức	Đường nước 1400	Đường nước 2800	Đường nước 4200	Đường nước 5600
1	Thể tích chiếm nước	V_i	635,4	1453,7	2355,4	3339,6
2	Lượng chiếm nước	$D_i = \gamma V_i$	1,025 x 635,4	1,025 x 1453,7	1,025 x 2355,4	1,025 x 3339,6
3	Bán kính ổn định ngang	$r_i = \frac{l_i}{\gamma}$	$\frac{4986,1}{635,4}$	$\frac{5900}{1453,7}$	$\frac{6549}{2355,4}$	$\frac{7466,2}{3339,6}$
4	Bán kính ổn định dọc	$R_i = \frac{l_i}{\gamma}$	$\frac{122798}{635,4}$	$\frac{156840}{1453,7}$	$\frac{199141}{2355,4}$	$\frac{237954}{3339,6}$
5	Chiều cao tâm nổi	z_c	0,807	1,542	2,295	3,306
6	Vị trí chiều dài của tâm nổi	x_c	1,035	0,816	0,488	0,045
7	Chiều cao tâm ổn định ngang cách chuẩn	$Z_m = r_i + z_c$	8,654	4,059 + 1,542	2,780 + 2,295	2,236 + 3,306
8	Chiều cao tâm ổn định dọc cách chuẩn	$Z_M = R_i + z_c$	194,007	107,89 + 1,542	84,55 + 2,295	71,25 + 3,306
9	Mômen gây chúi 1 cm	$M_{cm} = \frac{\Delta R_i}{100 \times L}$	$\frac{651,3 \times 193,2}{100 \times 70}$	$\frac{1490 \times 107,89}{100 \times 70}$	$\frac{2414,3 \times 84,55}{100 \times 70}$	$\frac{3423 \times 71,25}{100 \times 10}$
10	Diện tích đường nước	S	556	615	672	731,4
11	Số tấn lượng chiếm nước trên 1 cm mớn nước	$q = \frac{S \times \gamma}{100}$	$\frac{556 \times 1,025}{100}$	$\frac{615 \times 1,025}{100}$	$\frac{672 \times 1,025}{100}$	$\frac{731,4 \times 1,025}{100}$
12	Vị trí tâm hình học của đường nước	X_i	0,762	0,51	-0,421	-1,411
13	Lượng tăng (giảm) của lượng chiếm nước để gây chúi lại 1 m	$\delta_M = \frac{-S_i X_i}{L} \times \gamma$	$\frac{-556 \times 0,762}{70} \times 1,025$	$\frac{-615 \times 0,51}{70} \times 1,025$	$\frac{-672 \times (-0,421)}{70} \times 1,025$	$\frac{-731,4 \times (-1,411)}{70} \times 1,025$

Các bạn đọc có thể so sánh bảng II.4d với bảng II.3a và thấy rằng kết quả tính toán của phương pháp hình thang 20 trạm và phương pháp Simpson 13 trạm là sai lệch không đáng kể, đặc biệt ở các môn nước cao thì sai lệch giữa 2 phương pháp phần lớn là dưới 1%.

Một số điểm cần lưu ý khi vẽ các đường cong thủy tĩnh:

2) Sự phân bố các đường cong cần đồng đều, không nên tập trung vào một chỗ, số tỷ lệ nên chọn thích hợp, ít loại để cho người đọc có thể tìm thấy số đọc tính được dễ dàng trị số họ cần tìm (xem hình 2.33), hình 2.33 là kết quả tính toán trên 2 bảng II.3a và II.3b thể hiện bằng các đường cong thủy tinh.



Đường cong Bonjean được thể hiện trên hình 2.17, nó gồm có các đường cong:

1) Đường cong diện tích đường sườn tại các trạm, trên hình 2.17 nó được vẽ nét liền. Đường cong diện tích đường sườn ở các môn nước khác nhau T_m tính toán theo công thức (2.66) hoặc (2.69).

2) Đường cong mômen của diện tích sườn ở môn nước T_m đối với đường chuẩn tại các trạm, trên hình 2.17 nó được dùng nét đứt đoạn biểu thị, mômen được tính theo công thức (2.67) hoặc (2.70) trong mục 2.1.5.1b.1 ⑤ đã trình bày kỹ cách tính đường Bonjean trong bảng II.3a và b, ở đây trình bày chi tiết cách tính bằng lập bảng II.5. Bạn đọc nên đối chiếu bảng này và bảng II.3a, b để hiểu kỹ hơn.

Trên bảng II.5 trình bày cách tính diện tích đường sườn và mômen diện tích sườn đó đối với đường chuẩn theo phương pháp hình thang.

Bảng II.5. Tính toán diện tích đường sườn và mômen của diện tích đó đối với đường chuẩn (phương pháp hình thang)

Số đường nước	1 2 chiều rộng sườn	Cộng từng đôi và cộng dồn	Diện tích sườn $\Delta T \times (III)$	Tay đòn	(II) $\times$ (V)	Cộng từng đôi và cộng dồn	Mômen của diện tích sườn đối với đường chuẩn ΔT^2 (VII)
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Đường chuẩn	y_0	— 0		0	0	— 0	
1	y_1	$y_0 + y_1$ $y_0 + 2y_1 + y_2$		1	y_1	y_1 $2y_1 + 2y_2$	
2	y_2			2	$2y_2$	$2y_1 + 4y_2 + 3y_3$	
3	y_3	$y_0 + 2y_1 + 2y_2 + y_3$		3	$3y_3$		
.	.	.		.	.		
.	.	.		.	.		
.	.	.		.	.		
m	y_m			m	my_m		

Khoảng cách sườn lý thuyết $\Delta L = \frac{L}{20}$

Thể tích chiếm nước $V = \Delta L \Sigma' \omega_j$ (2.85)

Vị trí dọc của tâm nổi $x_c = \frac{\Delta L \cdot \Sigma' M_{vz}}{\Sigma' \omega_j}$ (2.86)

Chiều cao của tâm nổi cách chuẩn $z_c = \frac{\Sigma' M_{vc}}{\Sigma' \omega_j}$ (2.87)

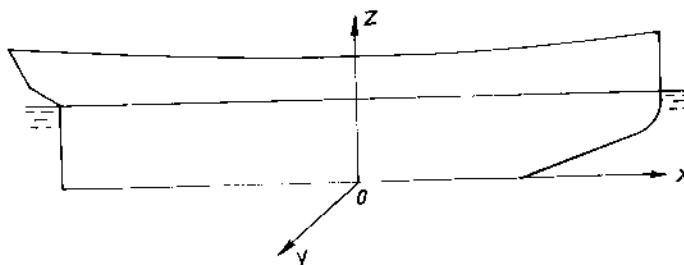
Bảng II.6. Tính toán thể tích chiếm nước và tâm nổi của nó

Tên trạm	Diện tích đường sườn ω_i	Tay đòn	Mômen dọc (II) x (III)	Mômen hướng đứng
I	II	III	IV	V
0		-10		
1		-9		
2		-8		
.				
.				
18		8		
19		9		
20		10		
	$\Sigma \omega_i$		ΣM_{vz}	ΣM_{vc}

2.1.6. TÍNH NỔI CỦA TÀU

Định nghĩa: Tính nổi là khả năng của tàu giữ một vị trí xác định so với mặt nước, đó là tính năng hàng hải quan trọng nhất của tàu. Tàu có thể bơi ở trạng thái một phần tàu nổi trên mặt nước (tiếp không khí), hoặc bơi hoàn toàn ở dưới mặt nước (đó là tàu ngầm). Ở đây ta nghiên cứu tàu ở trạng thái tĩnh, nghĩa là không có vận tốc nào.

Sau đây ta chỉ quan tâm tới lực tác dụng lên tàu. Nói chung khi nghiên cứu tính nổi của tàu thì nghiên cứu tác dụng của lực là đủ mà không quan tâm tới mômen. Tuy nhiên sau này ta cũng sẽ quan tâm tới không những các lực mà cũng quan tâm tới điểm tác dụng của chúng. Do đó việc quan trọng là chọn hệ thống tọa độ liên quan tới thân tàu, hệ tọa độ đó đã được chọn trong hình 2.1, chỉ thay K bằng 0.



Hình 2.34.

Lực nổi và điều kiện cân bằng của tàu nổi

Trên tàu nổi tĩnh (không có sự vận động) trên mỗi một điểm của thể tích ngâm nước có một áp lực nước tác dụng vuông góc với mặt tiếp xúc với nước, phương tác dụng vuông góc với mặt tiếp xúc đó.

Như ta đã biết trong thủy tĩnh học, lực tác dụng đó được biểu thị bằng công thức:

$$p = p_0 + \gamma (T - Z) \quad (2.88)$$

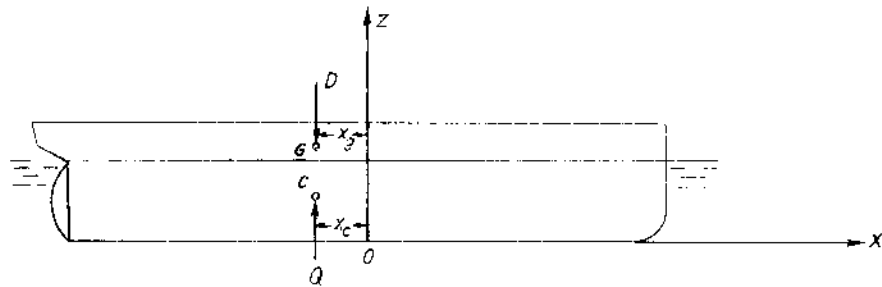
Áp lực tác dụng lên bề mặt tiếp xúc với nước của thân tàu là hợp lực tác dụng tại trọng tâm của khối nước bị chiếm Q .

Rõ ràng $Q = \gamma V$; (2.89)

$$M_x = \gamma M_{xz} = \gamma M_{y_c}; \quad (2.90)$$

$$M_y = \gamma M_{yz} = \gamma V x_c; \quad (2.91)$$

Bây giờ ta nghiên cứu tàu nổi thẳng, tức là mặt phẳng xOy song song với mặt phẳng nước (hình 2.35) và (hình 2.36).



Hình 2.35.

Vì mặt phẳng giữa tàu (xOz) là mặt phẳng đối xứng, vì $M_{xz} = 0$, do đó:

$$y_c = 0 \quad \text{và} \quad M_x = 0$$

Như trong phần đầu của chương II, trọng tâm của khối nước bị chiếm được gọi là tâm nổi và có ký hiệu là C . Tọa độ của tâm nổi sẽ là x_c , y_c và z_c .

Ngoài áp lực thủy tĩnh, trên tàu còn có tác dụng các trọng lực. Hợp lực của trọng lực có ký hiệu là D tác dụng tại điểm trọng tâm G . Sau này ta gọi là trọng tâm tàu.

Theo cơ lý thuyết, để tâm cân bằng điều kiện cần và đủ là tổng hình chiếu của các lực lên các tọa độ bằng không và tổng mômen của các lực đối với các trục tọa độ bằng 0.

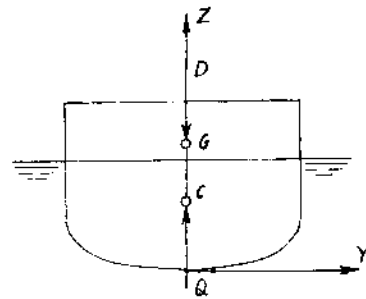
Do đó tàu nổi được cân bằng chỉ có trong trường hợp: thứ nhất nếu lực D và Q bằng nhau và thứ hai trọng tâm tàu G và tâm nổi C cùng nằm trên một đường thẳng đứng.

Điều kiện thứ nhất có thể viết thành:

$$D = \gamma V \quad (2.92)$$

Đây là phương trình nổi của tàu. Tọa độ trọng tâm tàu G được ký hiệu x_g, y_g và z_g , như vậy ta có thể diễn đạt điều kiện thứ hai thành:

$$x_g = x_c; y_g = y_c = 0 \quad (2.93)$$



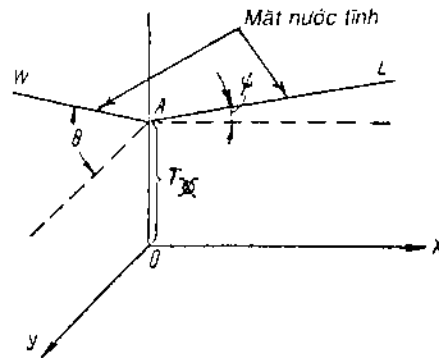
Hình 2.36.

Trong phương trình 2.92 trọng lượng của tàu D tính bằng tấn. Thể tích V được gọi là thể tích chiếm nước, được tính bằng m^3 . Tỷ trọng nước ngọt $\gamma = 1 \text{ T/m}^3$, tỷ trọng nước mặn $\gamma = 1,025 \text{ T/m}^3$. Thể tích chiếm nước là thước đo tính nổi của tàu.

Trên đây ta mới nghiên cứu một vị trí tương đối của tàu đối với mặt nước tĩnh. Tàu có thể ở các tư thế khác, để xác định được tư thế tàu ta dùng ba thông số sau đây (xem hình 2.37).

1) Mớn nước của tàu T_{Φ} được đo tại sườn lý thuyết ở giữa tàu.

2) ψ – góc chúi – góc kẹp giữa trục Ox với dấu vết của mặt phẳng nước tĩnh trên MPĐX; khi tàu bị chúi mũi thì $\psi > 0$.



Hình 2.37. Xác định vị trí của tàu đối với mặt phẳng tĩnh.

3) Góc nghiêng θ – góc kẹp giữa trục Oy với dấu vết của mặt phẳng nước tĩnh trên mặt phẳng sườn giữa tàu Φ , khi tàu nghiêng về mạn phải thì $\theta > 0$.

Các thông số T và ψ được thay thế bằng hai thông số tương đương mớn nước mũi T_m và mớn nước lái T_l được đo tại đường vuông góc ở mũi FP và đường vuông góc ở lái AP như đã được định nghĩa trong mục 2.1. Hiệu số giữa mớn nước mũi và mớn nước lái được gọi là độ chúi, với ký hiệu Δ , mối quan hệ giữa T_{Φ} , ψ , T_m , T_l , Δ được thể hiện bởi các biểu thức:

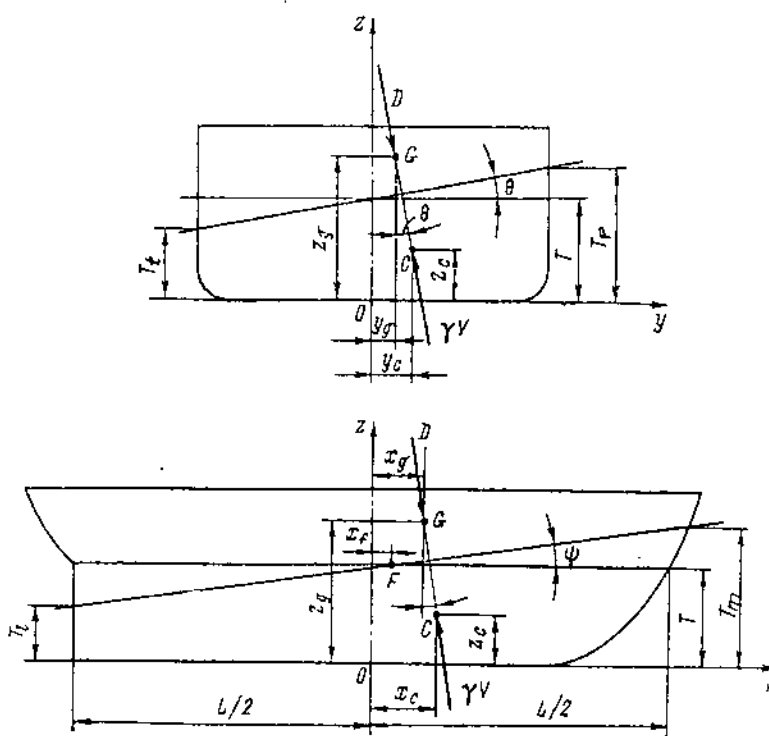
$$\left. \begin{aligned} T_{\Phi} &= \frac{1}{2} (T_m - T_l); \\ T_m &= T_{\Phi} + \frac{L_{pp}}{2} \operatorname{tg} \psi = T_{\Phi} + \frac{\Delta}{2}; \\ T_l &= T_{\Phi} - \frac{L_{pp}}{2} \operatorname{tg} \psi = T_{\Phi} - \frac{\Delta}{2}; \\ \Delta &= T_m - T_l \\ \Delta &= L_{pp} \operatorname{tg} \psi \end{aligned} \right\} \quad (2.94)$$

Trong trường hợp tàu bị nghiêng và chúi thì điều kiện cân bằng vẫn như ta đã trình bày ở trên, thứ nhất là trọng lực D và lực nổi Q phải bằng nhau và thứ hai trọng tâm G và tâm nổi C cùng nằm trên một đường thẳng đứng, nhưng đường thẳng đó không nằm trong mặt phẳng đối xứng dọc tàu mà như trên hình 2.35. điều kiện thứ nhất vẫn là công thức (2.92).

$$D = \gamma V$$

Còn điều kiện thứ hai thể hiện trên hai phương trình:

$$\left. \begin{aligned} x_c - y_g &= (z_g - z_c) \operatorname{tg} \psi \\ y_c - y_g &= (z_g - z_c) \operatorname{tg} \theta \end{aligned} \right\} \quad (2.95)$$



Hình 2.38. Điều kiện cân bằng của tàu.

2.1.7. TRỌNG LƯỢNG VÀ TRỌNG TÂM CỦA TÀU

Trọng lượng của tàu gồm trọng lượng các thành phần như trọng lượng thân tàu, máy móc trang trí động lực, các thiết bị trên boong và hàng hoá được chở trên tàu, ngoài ra còn thuyền viên và các đồ dự trữ phục vụ cho thuyền viên cũng như phục vụ cho sự hoạt động của máy móc như dầu mỡ v.v...

$$D = \sum_{i=1}^{i=n} p_i, \quad (2.97)$$

Trọng tâm của tàu G – được xác định bởi các tọa độ x_g , y_g và z_g . Căn cứ vào cơ lý thuyết x_g , y_g và z_g có thể tính được nếu ta biết được các thành phần của tàu p_i và trọng tâm của chúng x_i , y_i và z_i :

$$x_g = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} p_i x_i}{\sum_{i=1}^{i=n} p_i} ; \quad y_g = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} p_i y_i}{\sum_{i=1}^{i=n} p_i} ; \quad z_g = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} p_i z_i}{\sum_{i=1}^{i=n} p_i} \quad (2.98)$$

Thông thường như ta đã nhấn mạnh ở phần trên, sau khi đóng xong cũng như sau khi nhận hàng hoá và dự trữ:

$$y_g = 0$$

$$\text{Có nghĩa là: } \sum_{i=1}^{i=n} p_i y_i = 0.$$

Trong thực tế, trọng lượng tàu được phân nhóm để cho dễ dàng trong việc tính toán, đặc biệt trọng lượng tàu không chiếm một phần quan trọng của trọng lượng tàu, đặc biệt trọng tâm của nó. Sau khi hạ thủy thường dùng phương pháp thí nghiệm lệch để tìm trọng tâm của tàu, bạn đọc có thể xem trong Chương 3 của cuốn sách này.

Chiều cao của trọng tâm tàu thường phụ thuộc vào chiều cao mép boong H của tàu thường được biểu thị bằng công thức:

$$z_g = aH$$

hệ số a là hệ số không đơn vị, nó phụ thuộc vào kết cấu của tàu cũng như việc chở hàng (trong khoang hoặc trên boong v.v...) nên a dao động từ 0,5 ~ 1,0. Khi thiết kế tàu người ta căn cứ vào số liệu thống kê để chọn a.

Cũng giống như chiều cao trọng tâm thường phụ thuộc vào chiều cao mép boong H của tàu, chiều cao của tâm nổi lại phụ thuộc vào môn nước chở đầy của tàu T:

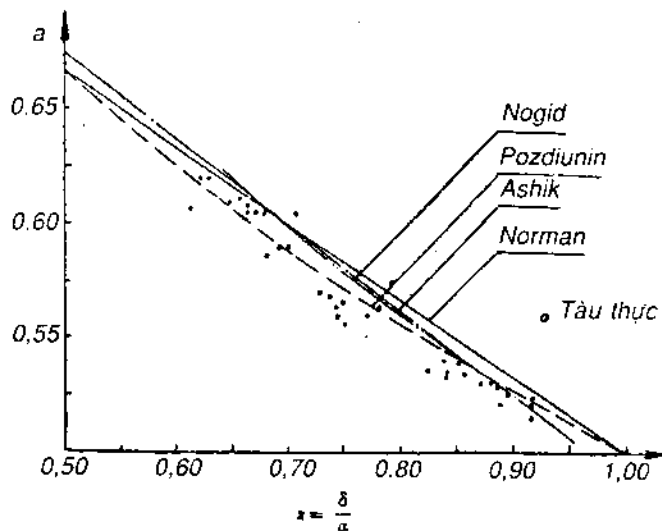
$$z_c = a_1 T$$

Thông thường $\frac{1}{2} T < z_c < \frac{2}{3} T$. Một số tác giả nêu lên công thức kinh nghiệm để tính hệ số a_1 theo bảng II.7.

Trên hình 2.39 là số liệu tính theo các công thức trên với số liệu thực tế của tàu.

Bảng II.7. Các công thức để tính hệ số a_1

Thứ tự	Tên tác giả	Công thức tính a_1	Ghi chú
1	Pozdiunin	$\frac{\alpha}{\alpha + \delta}$	Giả thiết đường nước có dạng parabol, kết quả a_1 hơi thấp, thích hợp cho tàu có sườn hình chữ U
2	Nogid	$\frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{\delta} \right)^{\frac{1}{2}}$	Thống kê cho thấy a_1 tính ra hơi cao, thích hợp cho tàu có $\frac{\delta}{\alpha} > 0,65$.
3	Norman	$0,833 - 0,333 \frac{\delta}{\alpha}$	Giả định đường cong diện tích đường nước có dạng đường thẳng, giá trị tính ra là giá trị trung bình
4	Ashik	$0,858 - 0,37 \frac{\delta}{\alpha}$	Rút ra từ số liệu thống kê, thích hợp cho tàu có $\frac{\delta}{\alpha} = 0,6 \sim 0,9$



Hình 2.39. Chiều cao tâm nổi thực tế với chiều cao tính theo công thức kinh nghiệm.

Chương 3

TÍNH ỔN ĐỊNH CỦA TÀU

Tính năng thứ hai của con tàu sau tính nổi (ta đã trình bày ở trên) là tính ổn định của tàu, đó là con tàu sẽ rời bỏ vị trí cân bằng khi có tác dụng của ngoại lực, con tàu đó sẽ quay trở lại vị trí cân bằng ban đầu khi ngoại lực đã bị loại trừ. Con tàu có tính năng kể trên là tàu ổn định, tàu không có tính năng đó là tàu không ổn định.

Ta cũng có thể xét ổn định từ tư thế cân bằng của tàu, tàu ở tư thế cân bằng ổn định là tàu nằm ở vị trí cân bằng mà khi tàu xê dịch khỏi vị trí đó tuy một khoảng cách rất nhỏ, con tàu sẽ tự động quay về vị trí cân bằng ban đầu của nó, như thế tàu ở tư thế cân bằng ổn định. Trái lại con tàu ở tư thế cân bằng không ổn định tức tàu ở vị trí mà khi nó xê dịch khỏi vị trí đó tuy với khoảng cách rất bé thì tàu sẽ tiếp tục rời xa khỏi vị trí cân bằng ban đầu của nó.

3.1. ỔN ĐỊNH BAN ĐẦU

3.1.1. ỔN ĐỊNH NGHIÊNG ĐẲNG THỂ TÍCH NHỎ

Nghiên cứu ổn định ban đầu của tàu có góc nghiêng rất nhỏ mang ý nghĩa thực tiễn rất lớn vì cho phép ta sử dụng những kết luận có được đó để nghiên cứu tàu bị nghiêng đến góc nhỏ nhất định.

Ta giả thiết không có ngoại lực hướng đứng nghĩa là thể tích khối nước bị chiếm không thay đổi, nhưng tàu bị nghiêng do ngoại lực khác tác dụng và ta gọi là nghiêng đẳng thể tích, tất nhiên do tàu bị nghiêng nên hình dáng của khối nước bị chiếm sẽ thay đổi, vấn đề đầu tiên là tìm được đường nước nghiêng mới mà nó đảm bảo thể tích khối nước bị chiếm không thay đổi. Bây giờ ta nghiên cứu đường giao nhau giữa hai đường nước đẳng thể tích đối với trường hợp đặc biệt là nghiêng ngang với góc rất nhỏ $\delta\theta$ trong mặt cắt ngang như trên hình 3.1.

Ta gọi đường nước trước lúc nghiêng là đường nước 1-1;

Ta gọi đường nước sau lúc nghiêng là đường nước 2-2.

Do tàu bị nghiêng về bên phải, có một khối nước vào thêm hình chêm δV_1 giữa hai đường nước 1-1 và 2-2, đồng thời khối nước bớt đi hình chêm δV_2 , từ điều kiện của nghiêng đẳng thể tích $\delta V_1 = \delta V_2$. Để xác định các khối thêm vào và bớt đi ta tính các khối lăng trụ thành phần có đáy bằng dS và chiều cao bằng $y_1\delta\theta$ và $y_2\delta\theta$, giả thiết này là đúng dẫn với điều kiện góc nghiêng là rất bé.

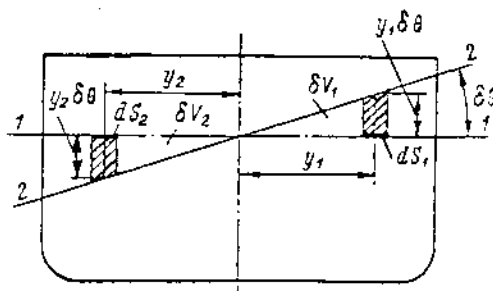
Thể tích của các khối hình chêm bằng:

$$\delta V_1 = \int_{S_1} y_1 \delta\theta \cdot dS_1 = \delta\theta \int_{S_1} y_1 dS_1 ;$$

$$\delta V_2 = \int_{S_2} y_2 \delta\theta \cdot dS_2 = \delta\theta \int_{S_2} y_2 dS_2$$

Với điều kiện nghiêng đẳng thể tích thì:

$$\int_{S_1} y_1 dS_1 = \int_{S_2} y_2 dS_2 \quad (3.1)$$



Hình 3.1. Nghiêng đẳng thể tích.

Mỗi một vế của tích phân trong (3.1) là mômen tĩnh phần vào thêm và phần bớt đi của đường nước ban đầu (S_1 hoặc S_2) đối với giao tuyến giữa các đường nước, nhưng mômen tĩnh của hai phần của một mặt phẳng có hình thù bất kỳ chỉ có thể bằng nhau khi trục chia 2 phần đó đi qua trọng tâm của mặt phẳng, do đó đường giao tuyến giữa 2 đường nước đẳng thể tích trong trường hợp nghiêng cứu của ta đi qua trọng tâm của đường nước ban đầu. Kết luận đó cũng chính là Định luật Euler: “Giao tuyến của các đường nước đẳng thể tích ở góc rất nhỏ đi qua trọng tâm của các đường nước đó”.

Mở rộng qui tắc này đối với góc nhỏ nhất định là áp dụng nó vào trường hợp ổn định ban đầu.

3.1.2. ỔN ĐỊNH BAN ĐẦU, TÂM VÀ BÁN KÍNH ỔN ĐỊNH BAN ĐẦU

Trên hình 3.2 trình bày sự di chuyển của lực nổi từ C (phương của nó h đường nước ban đầu) sang C_1 (phương của nó h đường nước mới), đường kéo dài của phương tác dụng của lực nổi sau khi nghiêng rất nhỏ sẽ gặp phương tác dụng của lực nổi ban đầu tại m . Trong quá trình nghiêng, tâm nổi đi qua một quỹ tích từ C đến C_1 , vì $\delta\theta$ rất nhỏ ta có thể giả thiết CC_1 là một cung tròn mà tâm (chính là tâm quay của C) ở m , bán kính là $mC = mC_1$, m chính là tâm nổi ban đầu và khoảng cách từ tâm nổi tới đường chuẩn là chiều cao tâm ổn định z_m (hình 3.2).

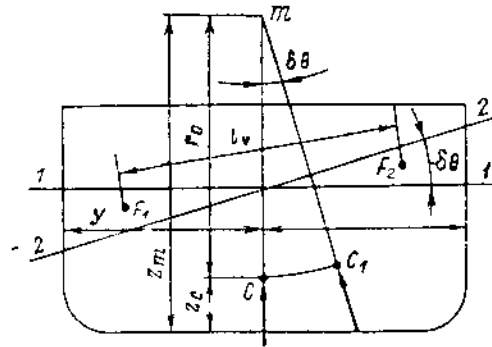
Sở dĩ có sự di chuyển của C tới C_1 vì khối nước di chuyển δV từ F_1 tới F_2 ,

$\overline{F_1 F_2} = l_v$. Theo nguyên lý của cơ lý thuyết:

$$\frac{CC_1}{l_v} = \frac{\delta V}{V}$$

$$\rightarrow CC_1 = \frac{l_v dV}{V}$$

Thể tích thành phần của khối nước di chuyển hình chêm với đáy là hình tam giác có diện tích bằng $\frac{1}{2}(y\delta\theta)y$, chiều dài bằng dx , thể tích đó bằng $\frac{1}{2}y^2\delta\theta \cdot dx$, khoảng cách



Hình 3.2. Xác định bán kính ổn định ngang ban đầu.

từ đỉnh của hình chêm đến trọng tâm của nó bằng $\frac{2}{3}y$. Tích phân trên toàn bộ chiều dài tàu ta có:

$$l_v \delta V = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} 2 \cdot \frac{2}{3}y \cdot \frac{1}{2}y^2 \delta\theta dx = \delta\theta \frac{2}{3} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} y^3 dx$$

Biểu thức $\frac{2}{3} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} y^3 dx$ là mômen quán tính của diện tích đường nước đối với trục

dọc x, I_x , do đó:

$$r_o = \frac{CC_1}{\delta\theta} = \frac{l_v \delta V}{\delta\theta V} = \frac{I_x}{V} \quad (3.2)$$

r_o – chính là bán kính ổn định ngang ban đầu.

Lúc tàu chúi tàu quay quanh trục ngang đi qua trọng tâm đường nước chở hàng. Với suy luận giống như trên ta có:

$$R_o = \frac{I_f}{V} \quad (3.3)$$

R_o chính là bán kính ổn định dọc ban đầu.

Như trong quá trình chứng minh, thể hiện qua hình 3.2, m là tâm ổn định ngang ban đầu, r_o là bán kính ổn định ngang ban đầu, tương tự như vậy M là tâm ổn định dọc ban đầu và R_o là bán kính ổn định dọc ban đầu, I_x tính theo công thức (2.54), I_f tính theo công thức (2.55). Bạn đọc có thể tham khảo bản tính mẫu trên bảng II.3a.

Để có thể ước tính gần đúng các trị số I_x , I_y , r_o , R_o ta quan sát các công thức để tính các trị số đó:

$$r_o = \frac{I_x}{V} \approx \frac{LB^3}{LBT} \approx \frac{B^2}{T} \quad R_o = \frac{I_y}{V} \approx \frac{BL^3}{LBT} \approx \frac{L^2}{T}$$

Các nhà khoa học căn cứ sơ bộ những lý giải trên cộng thêm nhiều số liệu thống kê tàu đã đề xuất các công thức kinh nghiệm để tính r_o và R_o . Ví dụ Fan-der-Flit đề nghị:

$$r_o = \frac{B^2}{11,4T} \cdot \frac{\alpha^2}{\delta}; \quad R_o = \frac{L^2}{14T} \cdot \frac{\alpha^2}{\delta}.$$

Khi so sánh lượng của r_o và R_o ta thấy rằng, bán kính ổn định dọc ban đầu gấp $\left(\frac{L}{B}\right)^2$ lần r_o , mà đối với bất cứ loại tàu nào $L/B \gg 1$, cho nên thường được gọi R_o là bán kính ổn định ban đầu lớn, còn r_o gọi là bán kính ổn định ban đầu bé.

3.1.3. MÔMEN PHỤC HỒI VÀ CHIỀU CAO ỔN ĐỊNH BAN ĐẦU

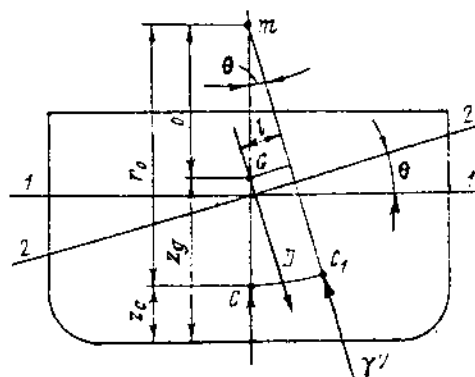
Nếu có một mômen ngoại lực tác dụng lên tàu ở trạng thái cân bằng thẳng đứng, thì tàu sẽ bị nghiêng một góc θ (xem hình 3.3), lúc đó tâm nổi cũng dịch về phía nghiêng, vì phương tác dụng của trọng lượng và lực nổi không nằm cùng trên một đường thẳng đứng nên tạo thành một mômen ngược lại chiều nghiêng nên được gọi là mômen phục hồi.

Mômen phục hồi đó bằng:

$$M_\theta = Dl \quad (3.4)$$

trong đó D – lượng chiếm nước của tàu tính bằng tấn, còn l – tay đòn phục hồi tính bằng m.

Nếu xảy ra tình trạng như ta đã trình bày thì tàu được coi là ổn định. Xem hình 3.3 ta thấy ở vị trí thẳng đứng trọng tâm tàu G nằm ở dưới tâm ổn định m . Trái lại nếu tâm ổn định m ở dưới G , $Z_m < Z_G$ thì mômen được tạo thành bởi trọng lực D và lực nổi γV sẽ khiến tàu tiếp tục nghiêng thêm, tàu sẽ không ổn định.



Hình 3.3. Đặc trưng của chiều cao ổn định ban đầu.

Cao độ của tâm ổn định ngang ban đầu trên trọng tâm được gọi là chiều cao ổn định ngang ban đầu (hình 3.3) h_o . Trong một số tài liệu của Việt Nam h_o có tên gọi là chiều cao tâm nghiêng.

$$h_o = Z_m - Z_G \quad (3.5)$$

Thay chiều cao ổn định ngang ban đầu h_o (3.5) và (3.4) ta sẽ có biểu thức về mômen phục hồi:

Mômen phục hồi:

$$M_Q = Dh_o \sin \theta \approx Dh_o \theta \quad (3.6)$$

Chiều cao ổn định ngang ban đầu h_o là thước đo quan trọng của ổn định ban đầu của tàu, h_o có ảnh hưởng quyết định tới tính hàng hải của con tàu. Trên bảng dưới đây nêu lên trị số trung bình ho của một số tàu.

Bảng III.1. Trị số h_o của các loại tàu

Thứ tự	Loại tàu	h_o [m]
1	Tàu khách	0,5 ÷ 1,0
2	Tàu hàng	0,4 ÷ 1,5
3	Tàu dầu	0,5 ÷ 1,6
4	Tàu đánh cá	0,6 ÷ 0,9
5	Tàu kéo	0,5 ÷ 0,8
6	Tàu phá băng	1,0 ÷ 4,0

Mối liên quan giữa h_o và tính hàng hải ta sẽ bàn kỹ trong phần lắc của tàu.

Năng lực ổn định tuyệt đối của con tàu là tích số giữa lượng chiếm nước D và h_o , người ta gọi tích số đó là hệ số ổn định K . Đối với ổn định ngang:

$$K_o = Dh_o \quad (3.7)$$

Tương tự như khi dẫn giải để tính trị số chiều cao ổn định ngang h_o , ta cũng có thể tính được chiều cao ổn định dọc H_o và mômen phục hồi nghiêng dọc $M_\psi = DH_o \sin \psi \approx DH_o \psi$ và ta cũng có hệ số ổn định dọc K_ψ :

$$K_\psi = DH_o \quad (3.8)$$

Biểu thức chiều cao ổn định ngang ban đầu được thể hiện trên (3.5) ta cũng có thể dùng biểu thức khác để thể hiện chiều cao ổn định ngang ban đầu:

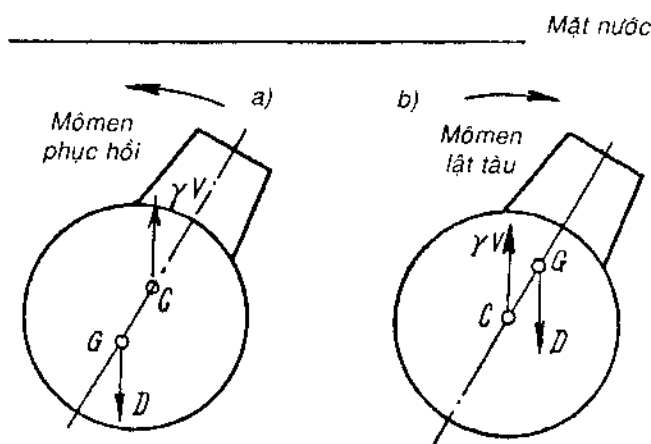
$$h_o = Z_M - Z_G = r_o + (Z_C - Z_G) = r_o - a \quad (3.9)$$

$a = Z_G - Z_C$, như vậy mômen phục hồi (3.6) được thể hiện:

$$M_\theta = D(r_0 - a) \theta. \quad (3.10)$$

Ta thấy tay đòn của mômen phục hồi gồm 2 phần, phần dương $r_0 \theta$ chỉ phụ thuộc vào hình dáng của tàu, được gọi là tay đòn hình dáng, còn $a\theta$ là tay đòn trọng lượng, khi nó tăng thì mômen phục hồi sẽ giảm, cũng thường được gọi là tay đòn âm.

Một ví dụ đơn giản là tàu ngầm khi lặn dưới nước, tàu không có mặt nước $I_x = I_r = 0$ vì vậy $r_0 = R_0 = 0$, tay đòn hình dáng không có, chỉ còn một mình tay đòn trọng lượng, lúc đó không phải là tay đòn âm nữa, nghĩa là $a = Z_G - Z_C < 0$ thì mới có tay đòn phục hồi như hình 3.4a, trường hợp $Z_G - Z_C > 0$ như hình 3.4b, khi tàu ngầm bị một mômen gây nghiêng ngoại lực tác dụng thì mômen gây nên bởi trọng lực D và lực nổi sẽ làm cho tàu tiếp tục nghiêng và tàu ngầm không ổn định.



Hình 3.4.

3.1.4. SỰ THAY ĐỔI TƯ THẾ TÀU VÀ ỔN ĐỊNH BAN ĐẦU KHI CÓ SỰ CHUYỂN HẸNG TRÊN TÀU

Để giải bài toán này trước hết phải biết khối hàng được di chuyển P_h và trọng tâm khối hàng đó trước lúc di chuyển $(x_{p_1}, y_{p_1}, z_{p_1})$ và điểm đến $(x_{p_2}, y_{p_2}, z_{p_2})$.

Sự di chuyển từ một vị trí bất kỳ nào đến một điểm khác được tiến hành theo trình tự sau đây: thay đổi theo chiều đứng, chiều ngang và cuối cùng là theo chiều dọc. Theo trình tự đó ta nghiên cứu tất cả ba trường hợp riêng biệt, với sự giả thiết là mỗi một trường hợp tàu ở tư thế ban đầu là thẳng đứng và không chúi.

1. Di chuyển theo phương thẳng đứng

Khi di chuyển hàng theo phương thẳng đứng không làm thay đổi vị trí thẳng đứng của tàu mà chỉ thay đổi ổn định của nó. Giả thiết trọng tâm của khối hàng

trước và sau khi di chuyển là Z_{p_1} và Z_{p_2} , như vậy khoảng cách di chuyển của khối hàng là:

$$l_z = Z_{p_2} - Z_{p_1} \quad (3.11)$$

Giả thiết có một ngoại lực nào đẩy làm tàu nghiêng 1 góc θ thì sẽ gây thêm một mômen nghiêng do sự thay đổi theo phương thẳng đứng $l_z > 0$ của khối lượng P_h là:

$M_{ngh} = P_h l_z \sin\theta$ (hình 3.5), mômen này làm giảm mômen phục hồi một lượng bằng $P_h l_z \sin\theta$.

Mômen phục hồi mới sẽ là:

$$M'_\theta = Dh_0 \sin\theta - P_h l_z \sin\theta = (K_\theta - P_h l_z) \sin\theta \quad (3.12)$$

So sánh công thức này với mômen phục hồi ban đầu $M_\theta = K_\theta \sin\theta$, ta sẽ có giá trị hệ số ổn định mới:

$$K'_\theta = K_\theta - P_h l_z \quad (3.13)$$

Như vậy việc di chuyển hàng theo hướng thẳng đứng làm ổn định ngang ban đầu giảm. Trường hợp di chuyển thẳng đứng theo hướng ngược lại $Z_{p_2} < Z_{p_1}$, $l_z < 0$ thì hệ số ổn định ban đầu tăng lên.

Tương tự như vậy ta sẽ có hệ số ổn định chúi ban đầu:

$$K'_\psi = K_\psi - P_h l_z \quad (3.14)$$

Sự giảm bớt của hệ số ổn định chúi ban đầu cũng giống như sự giảm bớt của mômen phục hồi khi có sự di chuyển hàng theo phương thẳng đứng.

Vì $K_\psi \gg K_\theta$, việc di chuyển hàng theo phương thẳng đứng chỉ ảnh hưởng lớn tới ổn định ngang.

2. Di chuyển theo phương nằm ngang

Khi di chuyển hàng theo phương nằm ngang giống trường hợp tàu nghiêng góc nhỏ θ ở tình trạng đẳng thể tích (hình 3.6), trọng tâm tàu sẽ dịch theo phương nằm ngang δy_G , do sự xô dịch hàng trên phương nằm ngang $l_y = y_{p_2} - y_{p_1}$ (phải lưu ý dấu của tọa độ khi ta chọn):

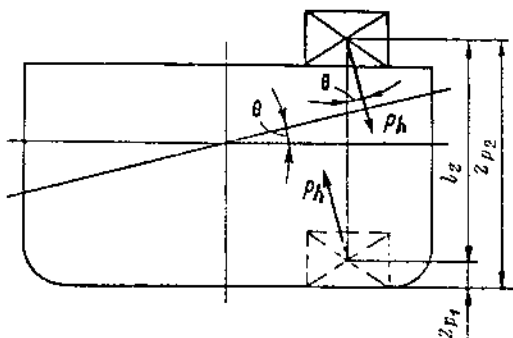
$$\delta y_G = GG_1 = \frac{P_h \cdot l_y}{D}$$

Do nghiêng đẳng thể tích, ở vị trí nghiêng trọng tâm mới của tàu và tâm nổi mới cùng nằm trên một đường thẳng, do đó trọng tâm G_1 nằm trên đường tác dụng của lực nổi (hình 3.6). Từ hình tam giác mGG_1 ta có:

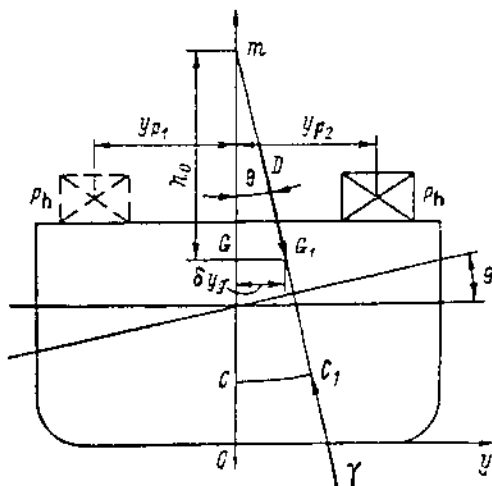
$$\delta y_G = h_0 \tan\theta$$

$$\text{Từ đó:} \quad \tan\theta = \frac{P_h l_y}{Dh_0} = \frac{P_h l_y}{K_\theta} \quad (3.15)$$

tang của góc nghiêng bằng thương số giữa mômen dịch ngang của hàng và hệ số ổn định.



Hình 3.5. Di chuyển hàng theo phương thẳng đứng.



Hình 3.6. Di chuyển hàng theo phương ngang.

Khi tính tay đòn trong công thức (3.15) ta phải xét dấu của tọa độ. Vì góc nghiêng về bên phải ta coi là dương nên góc nghiêng do xô dịch hàng về bên phải thì ta lấy tọa độ y_{p2} là dương, trái lại y_{p1} phải lấy dấu $-$. Trong trường hợp này mớn nước mạn phải được xác định bằng công thức:

$$T_{\text{phải}} = T + \frac{B}{2} \operatorname{tg} \theta \quad (3.16)$$

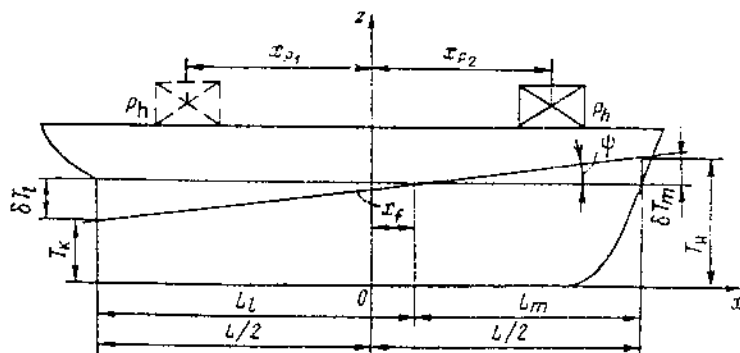
$$T_{\text{trái}} = T - \frac{B}{2} \operatorname{tg} \theta \quad (3.17)$$

Trường hợp di chuyển hàng sang phía trái, dấu của l_v và $\operatorname{tg} \theta$ phải là âm, như vậy mớn nước mạn trái tăng lên, mớn nước mạn phải thì giảm bớt.

3. Di chuyển dọc

Di chuyển hàng theo chiều dọc với khoảng cách $l_x = x_{p2} - x_{p1}$ sẽ gây chúi tàu theo hướng di chuyển (hình 3.7).

Cũng tương tự như nghiêng tàu khi di chuyển hàng, có thể xác định góc chúi:



Hình 3.7.

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{P_h l_x}{K\psi} \quad (3.18)$$

Do có chúi nên môn nước mũi và lái sẽ thay đổi, vì hai đường nước đẳng thể tích phải đi qua trọng tâm đường nước ban đầu f , do đó trường hợp di chuyển hàng về phía mũi, môn nước mũi và lái sẽ là:

$$T_m = T + \left(\frac{L}{2} - x_f \right) \operatorname{tg}\psi \quad (3.19)$$

$$T_l = T - \left(\frac{L}{2} + x_f \right) \operatorname{tg}\psi \quad (3.20)$$

Công thức (3.19) và (3.20) được dẫn ra với giả thiết, điểm f nằm ở phía trước đường sườn δ . Trường hợp di chuyển hàng từ mũi về lái thì l_x và $\operatorname{tg}\psi$ sẽ là số âm, dấu trước thành phần thứ hai của công thức (3.19) và (3.20) sẽ thay đổi, môn nước mũi sẽ giảm và ở lái môn nước sẽ tăng.

Trường hợp tổng hợp di chuyển hàng từ một vị trí tùy ý sang một điểm khác, trước hết phải xác định sự thay đổi ổn định do kết quả sự di chuyển theo phương thẳng đứng theo công thức (3.13) và (3.14). Tiếp theo sử dụng các hệ số ổn định ngang và ổn định dọc K'_θ và K'_ψ có thể tính góc nghiêng cũng như môn nước mũi và lái theo các công thức (3.16), (3.17), (3.18) và (3.20).

3.1.5. SỰ THAY ĐỔI TƯ THẾ VÀ ỔN ĐỊNH BAN ĐẦU KHI NHẬN HOẶC TRẢ HÀNG

Thông thường khi nhận hoặc trả hàng môn nước bình quân, lượng chiếm nước và ổn định sẽ thay đổi, cũng có thể phát sinh nghiêng hoặc chúi. Nếu ta chia quá trình nhận hoặc trả hàng thành nhiều vấn đề đơn giản thì ta có thể áp dụng các công thức trong mục ổn định ban đầu ta có thể xác định được tư thế và ổn định của tàu.

1. Điều kiện nhận hàng không thay đổi ổn định của tàu

Tàu đang ở tư thế cân bằng thẳng đứng, giả thiết có khối lượng hàng P_h được nhận lên tàu tại tọa độ x_p, y_p, z_p . Lượng chiếm nước sau khi nhận hàng:

$$D_1 = D + P_h$$

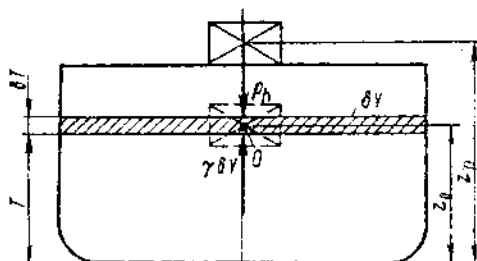
Món nước bình quân của tàu (giả thiết tàu có mạn thẳng đứng) sẽ thay đổi với giá trị:

$$\delta T = \frac{P_h}{\gamma S_{\text{ol}}}$$

Nếu trọng tâm của khối hàng nằm trên cùng phương thẳng đứng với lực nổi của tầng (lớp) nước bị choán thêm ($x_p = x_n, y_p = 0$), sự việc này không gây nghiêng

(hình 3.8). Nhưng ở trường hợp nghiêng do một nguyên nhân khác, giống như trên tàu chịu thêm hai lực, lực của trọng lượng hàng P_h và lực nổi bổ sung $\gamma\delta V$, tác dụng tại tâm nổi của lớp nước bị choán thêm δV . Tọa độ của lớp nước có thể xác định (nếu ta giả thiết lớp nước bị choán thêm có hình trụ) là $Z_o = T + \frac{\delta T}{2}$.

Tùy thuộc vào vị trí trên chiều cao của hai lực P_h và $\gamma\delta V$ mà trong trường hợp nghiêng do ngoại lực sẽ phát sinh một mômen nghiêng hoặc mômen phục hồi, mômen đó sẽ làm thay đổi ổn định của tàu, chỉ có một trường hợp không làm thay đổi ổn định là hàng mới nhận được đặt vào vị trí tâm nổi của lớp nước choán thêm, nghĩa là $Z_p = Z_o$. Trong trường hợp đó bất kỳ một sự nghiêng nào lực do trọng lượng thêm vào và lực nổi không gây nên mômen bổ sung nào, và hệ số ổn định vẫn giữ nguyên, mặc dầu lượng chiếm nước và chiều cao ổn định ban đầu đều có thay đổi riêng lẻ, nhưng tích số của chúng vẫn giữ nguyên và bằng giá trị ban đầu.



Hình 3.8. Tính sự thay đổi ổn định khi nhận hàng.

2. Xác định hệ số ổn định

Bây giờ ta di chuyển hàng P_h từ vị trí O với tọa độ x_p , O và z_o đến điểm A với tọa độ x_p , y_p , z_p trên cơ sở những kết luận trong mục 3.1.4.

Tay đòn di chuyển theo hướng thẳng đứng:

$$l_z = z_p - z_o = z_p - \left(T + \frac{\delta T}{2} \right)$$

Sau khi thay l vào công thức (3.13), ta tìm được hệ số ổn định ngang:

$$K'_\theta = K_\theta - P_h l_z = K_\theta - P_h \left[z_p - \left(T + \frac{\delta T}{2} \right) \right]$$

hoặc:

$$K'_\theta = K_\theta - P_h \left(T + \frac{\delta T}{2} - z_p \right). \quad (3.21)$$

Trả hàng có thể coi như nhận hàng với dấu âm phía trước hàng ($-P_h$), đồng thời sự thay đổi mớn nước ($-\delta T$). Trả hàng tại chiều cao $z_p = T - \frac{\delta T}{2}$ không ảnh hưởng đến ổn định.

Đối với hệ số ổn định chúi khi nhận hoặc trả hàng, ta cũng có các biểu thức tương tự:

$$K'_{\psi} = K_{\psi} + P_h \left(T + \frac{\delta T}{2} - z_p \right) \quad (3.22)$$

Nhận hàng ở phía trên mặt phẳng đi qua trọng tâm của lớp nước bị choán thêm, hoặc trả hàng ở dưới mặt phẳng đó gây giảm ổn định, bởi vì sau khi nhận hàng tại trọng tâm lớp nước bị choán thêm, hoặc trước khi trả nó khỏi mặt phẳng đó cần phải tiến hành đưa hàng lên phía trên. Ổn định tăng lên nếu nhận hàng tại mặt phẳng, nằm dưới trọng tâm lớp nước bị choán thêm, hoặc trả hàng tại mặt phẳng nằm trên trọng tâm lớp nước đó. Vì vậy cần thiết khi nhận và trả hàng phải xem vật nhận hoặc trả nằm trên hoặc dưới đường nước chở hàng.

Phân tích các công thức (3.21) và (3.22) ta thấy, chúng hoàn toàn phù hợp với quá trình vận hành thực tế. Đó là, nếu $z_p > z_0$ thì $K'_0 > K_0$ khi tàu trả hàng và $K'_0 < K_0$ khi nhận hàng; Nếu $z_p < z_0$ thì $K'_0 > K_0$ khi nhận hàng và $K'_0 < K_0$ khi trả hàng.

Để có thể nhanh chóng đánh giá sự thay đổi ổn định trong quá trình nhận trả hàng cần phải có mặt phẳng đi qua tâm lớp nước bị choán thêm, ta dùng đường nước chở hàng ban đầu thay thế. Đối với tàu lớn có hệ số ổn định chúi rất lớn, nên ta hoàn toàn có thể bỏ qua sự thay đổi hệ số đó do nhận hoặc trả hàng.

3. Xác định tư thế của tàu

Trường hợp di chuyển hàng mới nhận trên khoảng cách $l_y = y_p$ có thể dùng công thức sau đây để xác định góc nghiêng:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{P_h y_p}{K'_0} \quad (3.23)$$

Để tính mớn phải và trái trong trường hợp nhận hàng ở mạn phải hoặc trả hàng từ mạn trái dùng các công thức:

$$\left. \begin{aligned} T_p &= T \pm \delta T + \frac{B}{2} \operatorname{tg}\theta \\ \text{và} \\ T_{tr} &= T \pm \delta T - \frac{B}{2} \operatorname{tg}\theta \end{aligned} \right\} \quad (3.24)$$

Dấu cộng (+) trước thành phần thứ hai dùng trong trường hợp nhận hàng.

Dấu trừ (−) dùng trong trường hợp trả hàng. Trường hợp nghiêng về mạn trái thì dấu trước thành phần thứ ba sẽ thay đổi ngược lại. Điều đó xác định, trị số P_h và y_p trong công thức (3.23) phải lấy (−) khi trả lượng hàng P_h .

Trường hợp hàng nhận được di chuyển trên khoảng cách $l_x = x_p - x_r$, góc chúi:

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{P_h l_x}{K_{\psi}} \quad (3.25)$$

Mớn nước ở mũi và lái trong trường hợp chúi mũi tính theo các công thức:

$$T_m = T \pm \delta T + \left(\frac{L}{2} - x_r \right) \operatorname{tg}\psi \quad (3.26)$$

$$T_l = T \pm \delta T - \left(\frac{L}{2} + x_r \right) \operatorname{tg}\psi \quad (3.27)$$

Tàu sẽ bị chúi mũi, nếu trọng tâm khối hàng nhận đặt ở phía mũi so với trọng tâm diện tích đường nước f hoặc trọng tâm hàng trả nằm ở phía lái tính từ f , trong trường hợp sau, ở công thức (3.25) cần phải lấy dấu $(-)$ trước P_h và l_x . Trường hợp chúi lái trước thành phần thứ ba trong công thức (3.26) và (3.27) sẽ lấy ngược lại.

3.1.6. ẢNH HƯỞNG CỦA HÀNG TREO VÀ HÀNG LỎNG ĐỐI VỚI ỔN ĐỊNH

1. Hàng treo

Giả thiết trên mặt boong đặt một khối hàng P_h , bây giờ ta cần nhấc hàng lên khỏi mặt boong. Ngay lúc nhấc hàng thì trọng lượng hàng P_h có trọng tâm từ gần mặt boong lên điểm treo hàng (hình 3.9).

Khi tàu nghiêng góc θ sẽ phát sinh một mômen nghiêng bằng:

$$M_{\text{ngh}} = P_h l_h \sin\theta,$$

trong đó: l_h – khoảng cách từ trọng tâm hàng tới điểm treo.

Mômen phục hồi và hệ số ổn định lần lượt bằng:

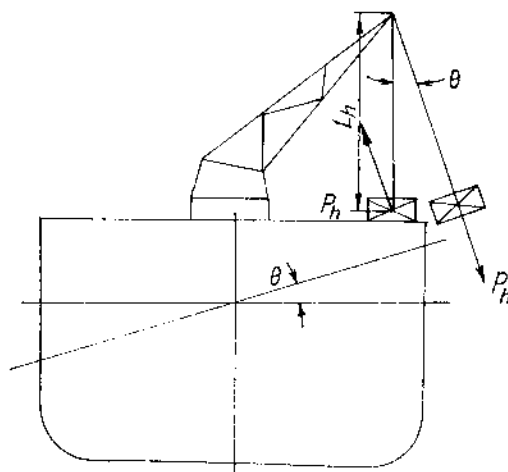
$$\begin{aligned} M'_{\theta} &= D h_0 \sin\theta - P_h l_h \sin\theta = \\ &= (K_{\theta} - P_h l_h) \sin\theta; \end{aligned}$$

$$K'_{\theta} = K_{\theta} - P_h l_h \quad (3.28)$$

Trường hợp nghiêng theo mặt phẳng dọc, hệ số ổn định dọc sẽ là:

$$K'_{\psi} = K_{\psi} - P_h l_h \quad (3.29)$$

Hệ số ổn định sẽ giảm một lượng bằng mômen nghiêng do sự di chuyển hàng theo phương thẳng đứng tới điểm treo giống như công thức (3.21) và (3.22).



Hình 3.9.

2. Hàng lỏng

Hàng lỏng đựng đầy thùng hoặc két (kín) thì ảnh hưởng của hàng lỏng đó cũng như hàng cứng gắn chặt trên tàu. Nếu hàng lỏng chỉ đựng một phần của két, thì khi tàu nghiêng thì chất lỏng trong két sẽ nghiêng về phía tàu bị nghiêng. Thể tích của hàng lỏng trong két sẽ thay đổi hình dáng vì sự chuyển dịch của hàng lỏng hình 3.10a, giống như khi tàu bị nghiêng thì khối nước hình chêm chuyển từ bên trái sang bên phải như ta đã nói trong mục nghiêng đẳng thể tích. Trọng tâm của khối hàng lỏng cũng chuyển từ a đến a_1 theo một đường cong, đường cong đó ta giả thiết là một hình cung tròn có tâm ở m_1 . Đoạn thẳng $m_1 a_1$ là bán kính ban đầu của đường quỹ tích của trọng tâm hàng lỏng và tương tự như bán kính ổn định ban đầu của tàu, vì vậy:

$$m_1 a_1 = r_l = \frac{i_x}{V_l},$$

trong đó V_l – thể tích hàng lỏng;
 i_x – mômen quán tính của diện tích mặt nước tự do đối với trục dọc của két hàng lỏng đó.

Do sự di chuyển của trọng tâm hàng lỏng khi tàu bị nghiêng, sẽ gây nên một mômen nghiêng:

$$M_{ngh} = P_l r_l \sin \theta \quad (3.30)$$

Từ đó ta thấy mômen phục hồi do ảnh hưởng của hàng lỏng:

$$M'_\theta = Dh \cdot \sin \theta - P_l r_l \sin \theta = (K_\theta - \gamma i_x) \sin \theta$$

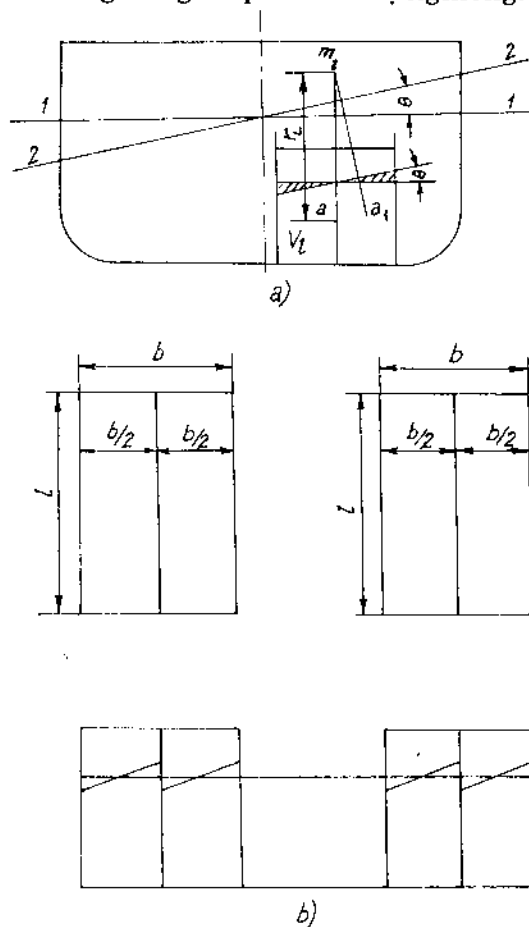
Tương tự có thể xác định ảnh hưởng của hàng lỏng đối với ổn định chúi.

Từ đó ảnh hưởng của hàng lỏng tới hệ số ổn định sẽ như sau:

$$K'_\theta = K_\theta - P_l r_l = K_\theta - \gamma i_x \quad (3.31)$$

$$K'_\psi = K_\psi - P_l R_l = K_\psi - \gamma i_y \quad (3.32)$$

Để giảm bớt ảnh hưởng của hàng lỏng tới ổn định ngang ta phải dùng các vách dọc để chia khoang lớn thành các khoang nhỏ. Ví dụ trên hình 3.10b, ta có một két có chiều dài l chiều rộng b thì:



Hình 3.10.

$$i_x = \frac{lb^3}{12}, \quad i_y = \frac{bl^3}{12}$$

Bây giờ ta dùng một vách dọc để chia thành 2 kết nhỏ, lúc đó ta sẽ có:

$$i'_x = \frac{l\left(\frac{b}{2}\right)^3}{12} = \frac{1}{4} i_x; \quad i'_y = 2\left(\frac{b}{2}\right)l^3/12 = i_y$$

Nói chung nếu dùng $(n-1)$ vách để chia 1 kết lớn thành n kết nhỏ bằng nhau thì:

$$i'_x = \frac{1}{n^2} \cdot i_x$$

Cũng với những lý do kể trên, nên trên tàu dầu, dù chỉ chở một loại dầu người ta ít nhất phải dùng một vách dọc để chia khoang lớn thành 2 khoang nhỏ (ở đây nói khoang lớn từ mạn trái sang mạn phải), nếu không chia tàu sẽ không ổn định.

Ảnh hưởng của chở hàng lỏng đối với chiều cao ổn định ban đầu.

Từ 3.14 ta chỉ nói về hệ số ổn định Dh_0 và DH_0 , thông thường người ta chỉ nói riêng về chiều cao ổn định ban đầu h_0 và H_0 . Vì vậy ta nên bổ sung thêm về ảnh hưởng của hàng lỏng đối với chiều cao ổn định, ta dùng ký hiệu δh_0 để chỉ sự thay đổi đó, tất nhiên ảnh hưởng ở đây là ảnh hưởng xấu, nghĩa là ổn định sẽ giảm đi ($\delta h_0 < 0$), chỉ cần chia vế thứ hai của công thức (3.31) và (3.32) cho D , và chú ý rằng trên tàu chở nhiều loại hàng lỏng và nhiều kết, thì δh_0 và δH_0 sẽ lần lượt bằng:

$$\delta h_0 = \frac{\sum \gamma_n i_{xn}}{D} \quad (3.30)$$

$$\text{và} \quad \delta H_0 = \frac{\sum \gamma_n i_{yn}}{D} \quad (3.31)$$

Trong đó γ_n là trọng lượng riêng của chất lỏng tàu chở và $\gamma_n i_{xn}$ và i_{yn} là mômen quán tính của diện tích mặt thoáng của kết chở chất lỏng thứ n đối với trục ngang và trục dọc của kết đó.

3.1.7. VẬN DỤNG CÁC CÔNG THỨC ỔN ĐỊNH BAN ĐẦU ĐỂ GIẢI NHỮNG VẤN ĐỀ THỰC TẾ

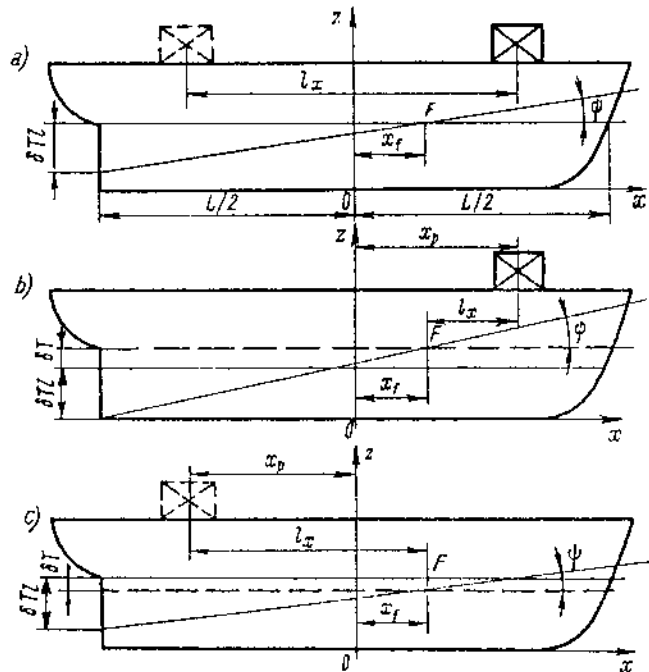
Vận dụng những công thức ổn định ban đầu cho phép chúng ta xác định không những về tư thế và ổn định của tàu trong các tình huống khi khai thác và sửa chữa tàu và ta có thể làm cho tàu nghiêng và chúi đến các góc độ nhất định để đáp ứng các yêu cầu cụ thể mà ta cần thiết.

1. Nâng lái tàu lên mức độ nhất định để sửa chữa hệ trục và chân vịt

Để có thể tiến hành sửa hệ thống chân vịt và bánh lái cần phải làm tàu chúi mũi, để đạt mục tiêu này ta có ba cách: di chuyển hàng từ lái về mũi, nhận thêm hàng ở phía mũi hoặc dùng cần cầu để nâng phần lái lên.

Để tạo một lượng chúi mũi δT_l như hình 3.11a, ta xem xét công thức:

$$\delta T_l = \left(\frac{L}{2} + x_f \right) \operatorname{tg} \psi$$



Hình 3.11.

Ta vận dụng công thức (3.18) để tìm mômen di chuyển hàng:

$$P_h l_x = \frac{K_\psi \delta T_l}{\left(\frac{L}{2} + x_f \right)} \quad (3.32)$$

Nếu luồng lạch còn khả năng tăng mớn nước thì ta dùng biện pháp nhận thêm hàng hoặc nước dằn phía mũi. Trong trường hợp đó (hình 3.11b) góc chúi cần thiết là:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\delta T_l + \delta T}{\left(\frac{L}{2} + x_f \right)} \quad (3.33)$$

Ta có thể bỏ qua sự thay đổi hệ số ổn định dọc, thì mômen chúi gây nên khi nhận hàng:

$$P_h l_x = K_\psi \frac{\delta T_l + \delta T}{\left(\frac{L}{2} + x_f\right)} \quad (3.34)$$

Để có thể vận dụng (3.33) và (3.34) trước hết ta ước tính sự thay đổi mớn nước (nếu có đường cong thủy tĩnh thì ta vận dụng các đường cong trong đó sẽ tính được gần đúng sự thay đổi của δT) và sau đó thì tính mômen $P_h l_x$. Có thể cho trước điểm đặt trọng tâm hàng x_p và tay đòn l_x và giải biểu thức (3.33) bằng hàng hoặc nước dằn:

$$P_h = \frac{\delta T_l}{l_x \left(\frac{L}{2} + x_f\right) - \frac{K_\psi}{\gamma S_{\omega L}}} \quad (3.35)$$

trong đó $l_x = x_f - x_p$; $S_{\omega L}$ – diện tích đường nước thiết kế.

Trường hợp bốc hàng bớt ở phía lái (hình 3.11c), ta phải thay $(-\delta T)$ vào các công thức (3.33) và (3.34). Hàng phải bốc (cẩu) đi bằng:

$$P_h = K_\psi \frac{\delta T_l}{l_x \left(\frac{L}{2} + x_f\right) + \frac{K_\psi}{\gamma S_{\omega L}}}$$

trong đó $l_x = x_f - x_p$; x_p là điểm đặt móc cần cẩu phải đặt trên hàng.

Trong 3 biện pháp nêu trên thì góc chúi của trường hợp bốc hàng là nhỏ nhất vì trong quá trình bốc hàng đi thì sự thay đổi mớn nước theo chiều cần thiết cho ta. Trong thực tế phải kết hợp 2 phương pháp, nhưng bất kỳ chọn phương thức nào thì cũng phải xét đến an toàn ở mớn nước mũi không vượt quá sự cho phép của luồng lạch.

2. Xác định trọng tâm tàu bằng thử nghiêng tàu

Để xác định trọng tâm tàu bằng thử nghiêng lệch ta sử dụng công thức (3.15):

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{Pl_y}{Dh_0}$$

Vì góc nghiêng thử tàu thường nhỏ, nên có thể giả thiết $\operatorname{tg} \theta \approx \theta$, vì vậy có thể ước tính góc nghiêng:

$$\theta = \frac{Pl_y}{Dh_0}$$

Nếu ta biết được vật di chuyển P và khoảng cách của vật thử (thường là $\approx \frac{3}{4} B$) lượng chiếm nước của tàu khi thử D thì ta có thể tính được h_0 theo công thức:

$$h_0 = \frac{Pl}{D\theta}$$

Sau đó ta tính có được các số liệu z_c , bán kính ổn định ngang ban đầu r_0 (bằng cách sử dụng các đường cong thủy tĩnh khi ta đã có được D tra được z_c và r_0), ta sẽ tính được chiều cao trọng tâm tàu:

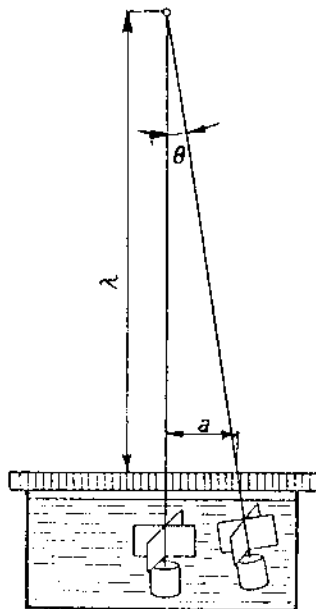
$$z_g = z_c + r_0 - h_0$$

Về lượng chiếm nước khi tàu mới hạ thủy ta căn cứ vào môn nước mũi T_m và môn nước lái T_h dựa vào đường cong Bonjean thì có thể tính được D , chú ý trong D gồm cả trọng lượng các vật thử để di chuyển.

Còn về vị trí chiều dọc của trọng tâm tàu x_g , vì góc chúi rất nhỏ nên

$$x_g = x_c - (z_g - z_c)\psi \approx x_c$$

Để xác định góc nghiêng θ ta sử dụng một khí cụ đơn giản như trên hình 3.12.



Hình 3.12. Khí cụ đo góc nghiêng θ .

Thứ tự lần quan sát	Bố trí vật di chuyển
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	

Hình 3.13. Bố trí vật di chuyển.

Thông thường đặt giữa tàu một chiếc, ở mũi một chiếc và ở lái một chiếc để đối chứng lẫn nhau, chiều dài dây dọi $\lambda = 5 \sim 8$ m, còn vật nặng đầu dây $2 \div 5$ kg chất lỏng trong hộp khí cụ thường dùng dầu nhờn.

Góc nghiêng của tàu khi di chuyển vật thử $\theta = \frac{a}{\lambda}$.

Trọng lượng vật nặng di chuyển $P = \frac{Dh_0}{l} \theta$.

Để tăng độ chính xác khi thử nghiêng ta chia vật nặng di chuyển để gây nghiêng thành 4 vật nặng bằng nhau $p_1 \approx p_2 = p_3 \approx p_4$; $p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = p$.

Nhiều nước thường dùng $P \approx (0,5 \sim 1\%)$ trọng lượng tàu khi thử.

Việc bố trí vật nặng di chuyển phải tuyệt đối đối xứng với đường tâm dọc tàu như trên hình 3.13, trên hình cũng trình bày trình tự tiến hành thử. Mômen gây nghiêng trình bày trong bảng sau đây.

Bảng III.2. Trình tự tiến hành thử nghiêng

Vị trí	Trọng lượng vật di chuyển	Tay đòn di chuyển	Mômen di chuyển	Mômen gây nghiêng
1	0	0	0	0
2	p_1	$+l_1$	$+p_1 l_1$	$+p_1 l_1$
3	p_2	$+l_2$	$+p_2 l_2$	$+p_1 l_1 + p_2 l_2$
4	p_2	$-l_2$	$-p_2 l_2$	$+p_1 l_1 + p_2 l_2$
5	p_1	$-l_1$	$-p_1 l_1$	0
6	p_3	$-l_3$	$-p_3 l_3$	$-p_3 l_3$
7	p_4	$-l_4$	$+p_4 l_4$	$-p_3 l_3 - p_4 l_4$
8	p_4	$+l_4$	$+p_4 l_4$	$-p_3 l_3$
9	p_3	$+l_3$	$+p_3 l_3$	0

Ta vận dụng phương pháp bình phương tối thiểu để tính chiều cao ổn định ban đầu:

$$h_i = \frac{M_i}{D\theta_i} \quad \text{và} \quad h = \frac{1}{D} \frac{\sum_{i=1}^n M_i \theta_i}{\sum_{i=1}^n \theta_i^2} \quad (3.36)$$

Trong trường hợp thử của ta trong bảng trên, có lần 9 di chuyển nhưng lần thứ 1, lần thứ 5 và lần 9 đều không nghiêng, vì vậy ta lập bảng sau đây (bảng III.3):

Bảng III.3. Kết quả đo và tính toán của các lần thử nghiêng

Thứ tự	Mômen gây nghiêng M_i	Góc nghiêng θ_i	Tích (II), (III)	Bình phương góc nghiêng (III) ²	Chiều cao ổn định ban đầu $h_i = \frac{1}{D} \frac{(II)}{(III)}$
I	II	III	IV		
2	M_2	θ_2	$M_2\theta_2^2$	θ_2	h_2
3					
4					
5					
6					
7					
8					
Tổng số			Σ_1	Σ_2	

Sử dụng bảng trên và công thức (3.36) ta có thể lập biểu thức sau đây:

$$h = \frac{1}{D} \frac{\Sigma_1}{\Sigma_2}$$

Ta cũng có thể áp dụng phương pháp bình phương tối thiểu kể trên để tính sai số tuyệt đối của chiều cao ổn định ban đầu, nhưng ít dùng trong sản xuất. Ngoài sai số đo đặc khi thử, còn sai số về tính lượng chiếm nước $\frac{\Delta D}{D}$ đến 1% v.v... cho nên giáo sư A. P. Fan-der-Flit cho rằng sai số tương đối của h có thể đến 7% [6].

Trước lúc tiến hành thử nghiêng phải tiến hành những công việc sau đây:

- Tàu phải được nổi tự do, tất cả các dây buộc (cáp) phải nổi lỏng;
- Tất cả các két nước ăn, nước dần, các két dầu đốt, dầu nhớt hoặc là phải hút hết hoặc phải đậy đầy để tránh ảnh hưởng của mặt thoáng;
- Những vật hoặc công cụ có thể di chuyển khi thử nghiêng đều phải buộc chặt, ví dụ xuồng cứu sinh, neo xích v.v...;
- Phải thống kê những vật tư thiết bị phục vụ cho việc thử nghiêng;
- Tất cả những người không nhiệm vụ phải rời tàu, nếu trên tàu có thuyền viên phải ở trong các phòng dành riêng và không được đi lại trong quá trình thử;
- Sau lúc nhận những vật nặng để thử thì phải đo môn nước ở mũi, lái, mạn trái, mạn phải, đo nhiệt độ không khí và trọng lượng riêng nước ngoài tàu.

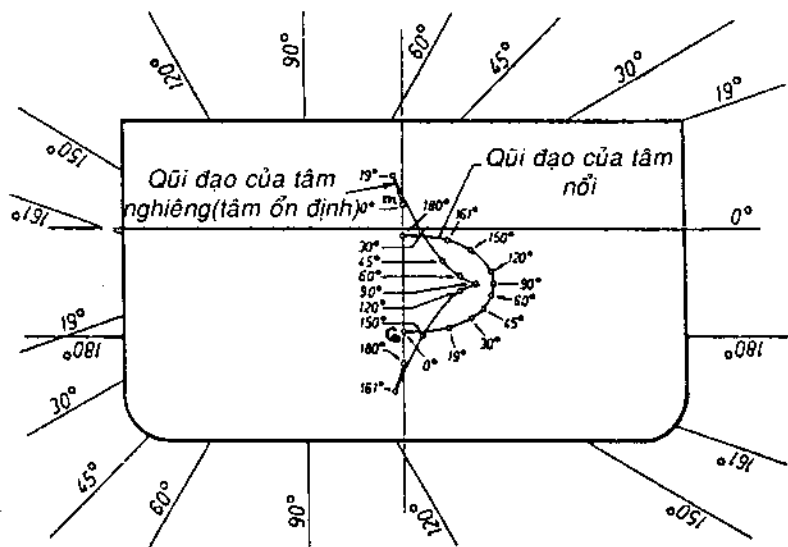
Phải nhấn mạnh chọn lúc gió nhẹ dưới cấp 3, không có dòng chảy để tiến hành thử.

3.2. ỔN ĐỊNH GÓC LỚN

3.2.1. ĐẶC ĐIỂM CỦA TÀU NGHIÊNG VỚI GÓC LỚN

Tay đòn ổn định tĩnh

Ở trạng thái tàu nghiêng với góc lớn ta không thể sử dụng giả thiết trong 3.1 coi tàu đang ở tư thế thẳng đứng bị một ngoại lực nào đẩy tác dụng tàu sẽ bị nghiêng một góc nhỏ mà tâm nghiêng hay tâm ổn định ban đầu là giao điểm giữa phương tác dụng của lực nổi ban đầu với đường thẳng đứng đi qua giữa tàu, đó là điểm m trong hình 3.2. Trước hết do sự thay đổi của hình dáng khối nước bị choán không thể coi là trong phạm vi mạn thẳng của tàu, do đó không thể áp dụng định luật Euler về đường nước đẳng thể tích. Ta phải tìm một đường nước ở vị trí thẳng bằng mới sau khi tàu nghiêng với góc lớn nhất định, ta cũng không thể giả thiết quỹ đạo thay đổi của tâm nổi là một hình cung tròn trong mặt phẳng cắt ngang giữa tàu. Trường hợp phổ biến tâm nổi sẽ thay đổi theo một đường gần như hình bầu dục như trên hình 3.14.



Hình 3.14. Sự biến thiên của tâm nổi và tâm ổn định trong quá trình nghiêng.

Ban đầu tâm nổi ở C_n , tâm nghiêng (tâm ổn định) ở m , cùng nằm trên một đường thẳng đứng, nhưng khi góc nghiêng 19° thì tâm ổn định chạy sang bên trái đường thẳng đứng. Tương tự như vậy tâm ổn định cũng thay đổi theo một đường cong, nhưng đường cong này không phải là một đường cong liên tục, điểm không liên tục đó bạn đọc có thể dựa vào những kiến thức đã học trong phần đầu của Chương 3 này để giải thích, ví dụ ở góc nghiêng 19° (đường nước gấp mép boong tàu), trong môn lý thuyết tàu ta dùng thuật ngữ mép boong nhúng nước, hình dáng thể tích choán nước thay đổi đột ngột, điều đó gây nên sự không liên tục ở điểm 19°

trên đường quỹ đạo của tâm ổn định, bạn đọc có thể hiểu thêm nhiều điều trên 2 đường cong đó, ví dụ nếu nối điểm 30° trên đường tâm nổi với điểm 30° trên đường tâm nghiêng thì ta sẽ có phương tác dụng của lực nổi khi tàu nghiêng đến 30° v.v; ta sẽ nói dần trong phần 3.2 này về 2 đường cong này.

Bây giờ ta quay trở về vấn đề tay đòn ổn định tĩnh, trên hình 3.15 trình bày tàu nghiêng với góc θ , do sự xô dịch của thể tích choán nước, tâm ổn định m , không nằm trên đường thẳng đứng nên công thức ổn định ban đầu không phù hợp với tình huống mới này.

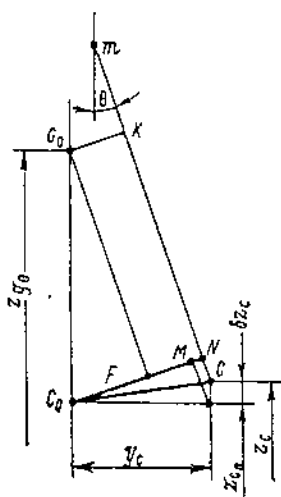
Thước đo ổn định góc lớn là mômen phục hồi $M_\theta = Dl$ hoặc chỉ là tay đòn ổn định tĩnh l :

$$l = \frac{M_\theta}{D}$$

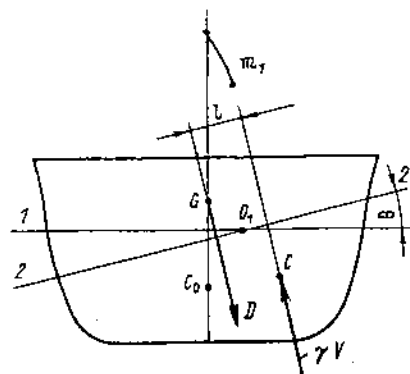
Vì trong khi nghiêng lượng chiếm nước D không thay đổi cho nên qui luật thay đổi tay đòn ổn định tĩnh chỉ tùy thuộc vào góc nghiêng θ .

Trên hình 3.16 trình bày quan hệ giữa tay đòn ổn định tĩnh l với tâm ổn định m và trọng tâm G_0 , tâm nổi C :

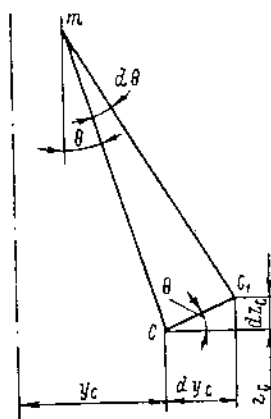
$$l = G_0K = C_0N - C_0F = C_0M + MN - C_0F$$



Hình 3.16. Tay đòn ổn định tĩnh.



Hình 3.15. Quỹ tích tâm nghiêng khi tàu nghiêng với góc lớn θ .



Hình 3.17. Tọa độ của tâm nổi.

hoặc:

$$l = y_c \cos \theta + (z_c - z_{C_0}) \sin \theta - (z_{G_0} - z_{C_0}) \sin \theta \quad (3.37)$$

Hai thành phần đầu của công thức (3.37) trên là tay đòn hình dáng vì chúng chỉ phụ thuộc vào hình dáng thể tích nước bị choán, còn thành phần thứ 3 là tay đòn ổn định trọng lượng chỉ phụ thuộc vào trọng tâm của tàu.

Tọa độ tâm nổi

Để tính toán tay đòn ổn định tĩnh cần phải tìm được sự biến thiên của tâm nổi C trong quá trình nghiêng như trên hình 3.14. Để xây dựng được đồ thị như trên hình 3.14 của một con tàu ta thường dùng phương pháp giải tích và đồ giải của viện sĩ Krulốp; ta sẽ trình bày trong phần sau.

Ở đây ta dùng các biểu thức giải tích để tìm hiểu thêm về tay đòn ổn định tĩnh, giả sử tàu nghiêng đến góc θ , tâm nổi ở C, bây giờ giả thiết tàu nghiêng thêm $d\theta$ (hình 3.17), và góc nghiêng thêm $d\theta$ rất nhỏ nên tâm nổi sẽ chuyển đến C_1 , theo ổn định ban đầu thì $mC = mC_1 = r_0$, sự dịch chuyển của tâm nổi $CC_1 = r_0 d\theta$ còn sự thay đổi của tâm nổi sẽ là:

$$dy_c = CC_1 \cos \theta = r_0 \cos \theta d\theta \quad (3.38)$$

$$dz_c = CC_1 \sin \theta = r_0 \sin \theta d\theta \quad (3.39)$$

Tích phân các biểu thức trên trong giới hạn nghiêng ta có:

$$y_c = \int_0^{\theta} r_0 \cos \theta d\theta \quad (3.40)$$

$$z_c = z_{C_0} + \int_0^{\theta} r_0 \sin \theta d\theta \quad (3.41)$$

Tọa độ tâm nổi C gắn liền với giá trị tức thời của bán kính ổn định tĩnh trong quá trình nghiêng từ 0 đến θ . Để có được quan hệ giữa tay đòn ổn định tĩnh với góc nghiêng θ , như đã trình bày trên, dùng phương pháp gần đúng, ta nghiên cứu tuần tự góc nghiêng qua $5 - 10^\circ$, ở một vị trí nghiêng ta tìm vị trí đường nước đẳng thể tích, mômen quán tính và bán kính ổn định tức thời. Ta dùng giá trị bán kính ổn định tức thời ở mỗi góc nghiêng và bằng các công thức (3.40) và (3.41) để xác định tọa độ của tâm nổi, sau đó đối với mỗi góc nghiêng ta tính tay đòn ổn định theo công thức (3.37). Quan hệ ta tìm được đó giữa tay đòn ổn định tĩnh l và góc nghiêng θ gọi là Đường cong ổn định tĩnh.

3.2.2. ĐƯỜNG CONG ỔN ĐỊNH TĨNH VÀ CÔNG DỤNG CỦA NÓ

1. Mối quan hệ giữa ổn định góc lớn và ổn định ban đầu

Đường cong ổn định tĩnh là đặc trưng lớn nhất về tính ổn định của tàu.

Đường cong tay đòn ổn định tĩnh điển hình được trình bày trên hình 3.18.

Trên trục tung cũng có thể thay tay đòn l bằng mômen phục hồi.

Ta có thể tìm hiểu mối quan hệ giữa ổn định góc lớn và ổn định ban đầu bằng cách lấy đạo hàm biểu thức (3.37) đối với góc nghiêng θ :

$$\frac{dl}{d\theta} = \frac{dy_c}{d\theta} \cos \theta - y_c \sin \theta + \frac{dz_c}{d\theta} \sin \theta + (z_c - z_{C_0}) \cos \theta - a \cos \theta,$$

trong đó $a = z_G - z_C$ là khoảng cách theo chiều thẳng đứng giữa tâm nổi C_0 và trọng tâm G .

Bây giờ ta lấy đạo hàm biểu thức (3.38) và (3.39) ta có:

$$\frac{dy_c}{d\theta} = r_0 \cos \theta \quad \text{và} \quad \frac{dz_c}{d\theta} = r_0 \sin \theta$$

Ở tư thế thẳng đứng $\theta = 0$, $z_c = z_{C_0}$, $y_c = 0$ do đó:

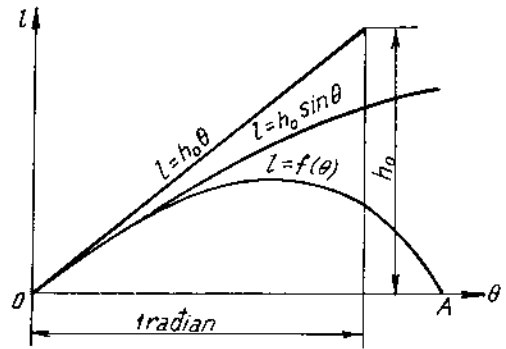
$$\frac{dl}{d\theta} = r_0 - a = r_0 + z_{C_0} - z_{G_0} = h_0 \quad (3.42)$$

Có nghĩa là đạo hàm bậc một tay đòn ổn định tĩnh đối với góc nghiêng $\frac{dl}{d\theta}$ bằng chiều cao ổn định ban đầu của tàu h_0 .

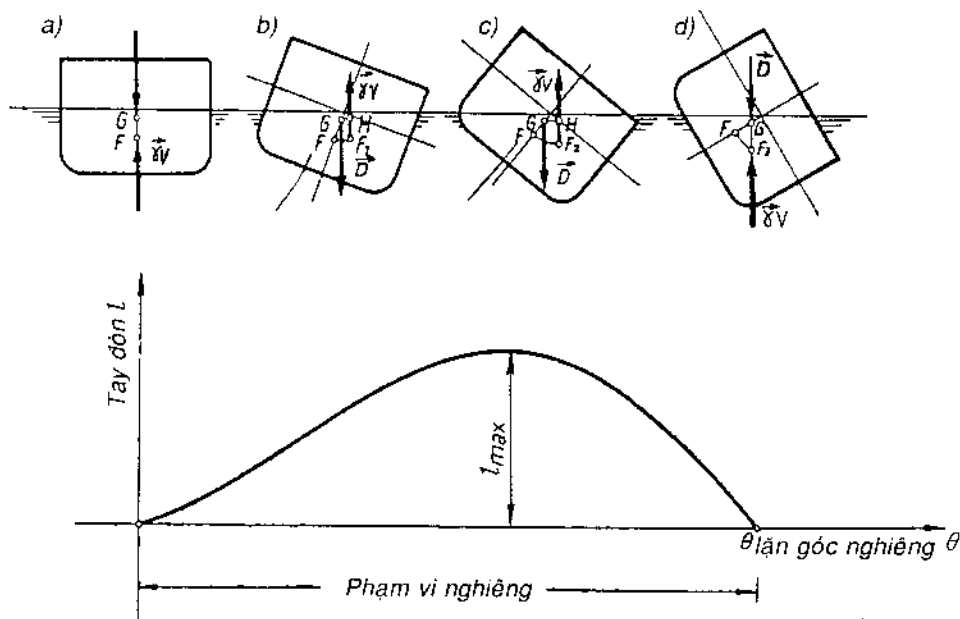
Như trên hình 3.18 trình bày đường cong ổn định tĩnh $l = f(\theta)$ và đường thẳng $l = h_0\theta$, ta thấy đường thẳng $l = h_0\theta$ tiếp tuyến với đường cong $l = f(\theta)$ tại gốc của hệ tọa độ O . Nếu ta vẽ thêm đường cong $l = h_0 \sin \theta$ thì ta thấy trong phạm vi $\theta = 10^\circ + 15^\circ$ đường cong $l = h_0 \sin \theta$ trùng với đường cong $l = f(\theta)$.

Để hình dung được sự di chuyển tâm nổi C và sự hình thành tay đòn phục hồi, trên hình 3.19 thể hiện các tình huống θ và $l = f(\theta)$ trong quá trình nghiêng tĩnh.

Trường hợp a, trọng tâm và tâm nổi trên đường thẳng đứng, nên $l = 0$, l tăng dần cho đến khi góc nghiêng θ đạt θ_m thì l đạt $l_{\max}$ (tương ứng với tình huống giữa b và c trên hình 3.19). Sau đó khi $\theta > \theta_m$ thì l giảm dần cho đến khi $\theta_v = \theta_{\text{lặn}}$ thì l lại trở về $l = 0$, trường hợp xảy ra do tâm nổi C_3 di chuyển đến (hay là quay trở về) khi phương của lực nổi $\gamma \vec{V}$ trùng với phương của trọng lực $\vec{D}$, xem hình 3.19d, và tàu sẽ không còn mômen phục hồi cho đến khi góc nghiêng θ đạt tới góc $\theta_{\text{lặn}}$ và tàu không còn giữ được tư thế ổn định nữa.



Hình 3.18. Đường cong ổn định tĩnh.



Hình 3.19. Đường cong tay đòn phục hồi $l = f(\theta)$.

2. Xác định góc nghiêng tĩnh

Tàu sẽ ở vào trạng thái cân bằng khi mômen nghiêng và mômen phục hồi bằng nhau $M_{ngh} = M_{ph}$ hoặc ta sử dụng tay đòn nghiêng bằng thương số giữa mômen nghiêng và lượng chiếm nước:

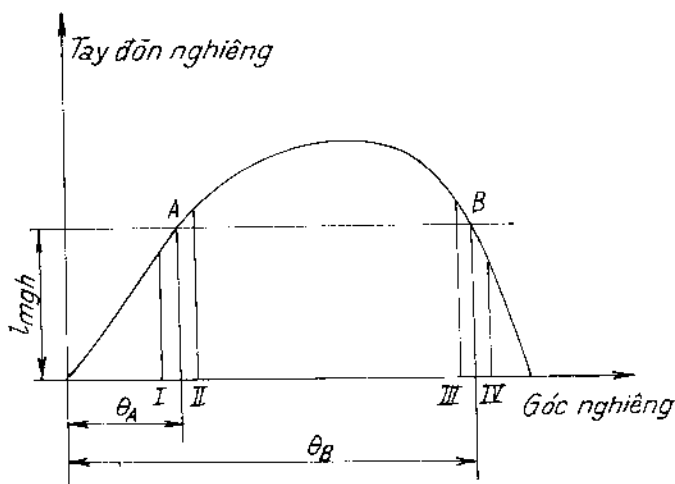
$$l_{ngh} = \frac{M_{ngh}}{D} \quad (3.43)$$

và tay đòn phục hồi l , như vậy con tàu sẽ ở vào trạng thái cân bằng khi:

$$l_{ngh} = l \quad (3.44)$$

Khi ta có đường cong nghiêng với dạng $l_{ngh} = f(\theta)$ và đường cong ổn định tĩnh $l = f(\theta)$ thì vị trí cân bằng của con tàu xảy ra tại các giao điểm giữa hai đường cong đó, nhưng tất cả các giao điểm đó không phải đều là vị trí cân bằng của con tàu. Trên hình 3.20 trình bày một con tàu có đường cong ổn định tĩnh $l = f(\theta)$ dưới tác dụng tĩnh của tay đòn nghiêng $l_{ngh} = \text{const}$ có nghĩa là tay đòn nghiêng không thay đổi trong quá trình nghiêng, đường biểu diễn hàm số của tay đòn nghiêng là một đường song song với trục hoành, cắt đường cong $l = f(\theta)$ tại 2 điểm A và B. Ta nghiên cứu trạng thái cân bằng ở điểm A, giả sử có một lý do nào đấy, tàu nghiêng về bên trái ứng với vị trí I trên hình 3.20, ở đó tay đòn nghiêng $l_{ngh} > l_{\theta I}$ bắt buộc tàu phải trở về điểm A. Bây giờ giả thiết tàu nghiêng về bên phải ứng với vị trí II, ở đó tay đòn nghiêng nhỏ hơn tay đòn $l_{\theta II}$ khiến tàu phải trở về điểm A. Như vậy vị trí A

là vị trí cân bằng ổn định. Trái lại ở điểm B, cũng có $l_{ng} = l_{\theta B}$, giả sử có một lý do nào đẩy tàu nghiêng về bên trái ứng với vị trí III trên hình vẽ, ở đó tay đòn phục hồi $l_{III} > l_{ng}$ bắt buộc tàu phải rời xa vị trí B về bên trái nữa, cũng tương tự như vậy nếu tàu ở vị trí IV, thì mômen nghiêng $l_{ng} > l_{\theta IV}$, khiến tàu phải tiếp tục nghiêng về bên phải cho đến lúc tàu bị lật, như vậy vị trí B không phải là vị trí cân bằng ổn định. Điều đó cho ta thấy trường hợp tàu chịu tác dụng của tay đòn nghiêng không đổi, thì vị trí cân bằng ổn định chỉ có một điểm đó là góc nghiêng tĩnh θ_A của tàu mà cũng chỉ có một điểm ấy mà thôi.



Hình 3.20.

Theo điểm cực trị của đường cong tay đòn ổn định tĩnh ta có thể tìm được mômen nghiêng giới hạn (lớn nhất) đó là mômen nghiêng cho phép:

$$M_{ng_{max}} = D l_{max} \quad (3.45)$$

trong đó l_{max} – tay đòn lấy từ điểm gặp nhau giữa đường tiếp tuyến nằm ngang với đường cong $l_0 = f(\theta)$.

Dùng đường cong ổn định tĩnh có thể giải nhiều vấn đề liên quan đến tư thế tàu dưới tác dụng của ngoại lực tĩnh kể cả động mà ta sẽ trình bày dưới đây.

3.2.3. ẢNH HƯỞNG CÁC YẾU TỐ BẢN THÂN TÀU VÀ CÁCH BỐ TRÍ HÀNG HOÁ ĐỐI VỚI ĐƯỜNG CONG ỔN ĐỊNH TĨNH CỦA TÀU

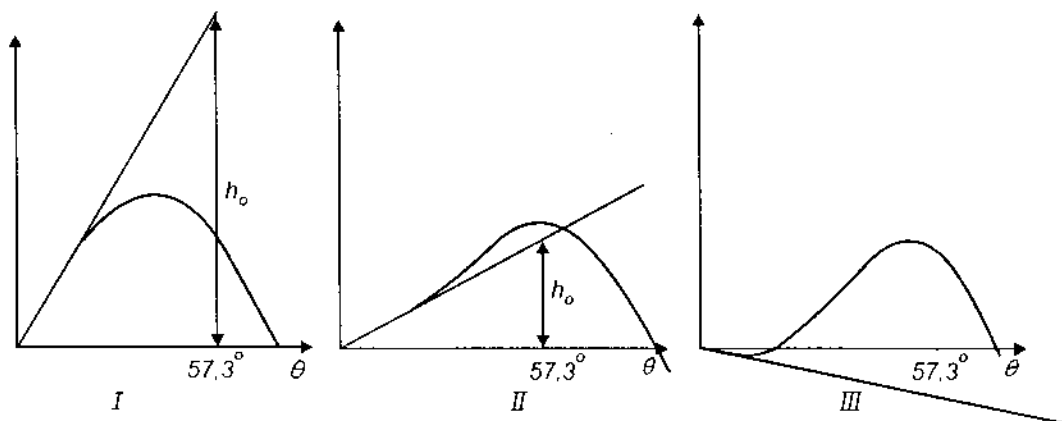
Trong hai mục 3.2.1 và 3.2.2 ta đã thấy tác dụng to lớn của đường cong tay đòn ổn định tĩnh đối với an toàn về ổn định của tàu. Trước hết ta xem quan hệ giữa đường cong ổn định tĩnh với các kích thước và bố trí của tàu.

Về đường cong ổn định tĩnh cơ bản có ba loại điển hình như hình 3.21:

Trên hình 3.21. I đoạn đầu của đường cong có hình cong lồi, h_0 rất lớn, đây là của loại tàu chiều rộng lớn, mạn khô hơi bé, $h_0 = 0,5 \sim 1,0$ m.

Trên hình 3.21. II đoạn đầu của đường cong có hình lõm, h_o hơi bé đây là loại đường cong ổn định tĩnh của loại tàu hàng có mạn khô lớn, $h_o < 0,4$ m.

Trên hình 3.21. III đoạn đầu của đường cong nằm dưới trục hoành, chiều cao ổn định ban đầu nhỏ hơn 0, tàu không thể đứng thẳng ở một góc nghiêng $< \theta_1$ phải điều chỉnh lại hàng hoá để $h_o > 0$.



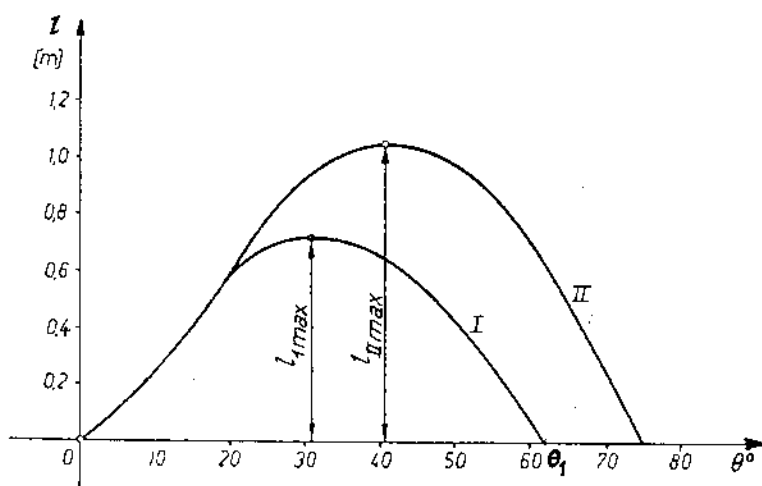
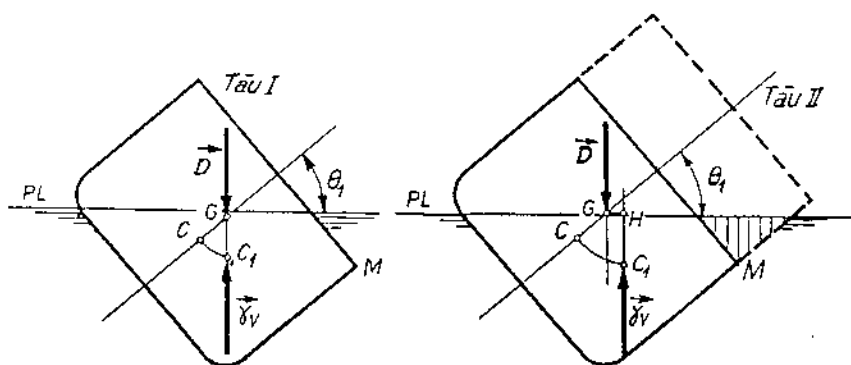
Hình 3.21. Các loại hình đường cong ổn định.

Bây giờ ta xem xét ảnh hưởng của mạn khô tới tay đòn ổn định I .

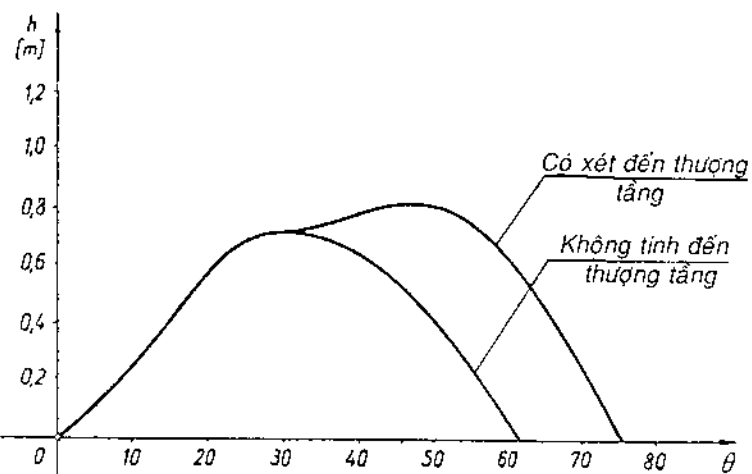
Nếu trọng tâm của tàu không thay đổi khi tăng mạn khô của tàu thì đường cong ổn định tĩnh sẽ thay đổi như hình 3.22, trên 2 đường cong ổn định ta thấy trước khi mép boong (điểm M) nhúng vào nước thì 2 đường cong hoàn toàn giống nhau, sau đó, góc nghiêng càng lớn thì tay đòn phục hồi của tàu II sẽ lớn hơn của tàu I vì phần nhúng nước thêm của tàu II sẽ kéo tâm nổi của tàu II đi về mạn phải của tàu, khi góc nghiêng của 2 tàu đạt góc θ_1 tay đòn hồi phục của tàu I bằng không, nhưng của tàu II còn khá lớn. Tuy nhiên việc tăng mạn khô không gây nên ảnh hưởng nào tới chiều cao ổn định ban đầu, và cũng không ảnh hưởng tới đường cong ổn định tĩnh ở các góc nhỏ, nhưng sẽ ảnh hưởng đến tay đòn phục hồi lớn nhất l_{max} và cả phạm vi đường cong ổn định tĩnh xem hình 3.22.

Tương tự như trong trường hợp trên, nếu thượng tầng của tàu có các cửa kín nước loại I, thì khi nhúng vào nước, thượng tầng sẽ có lực nổi và tay đòn phục hồi sẽ tăng lên so với trường hợp không xét đến thượng tầng như trên hình 3.23.

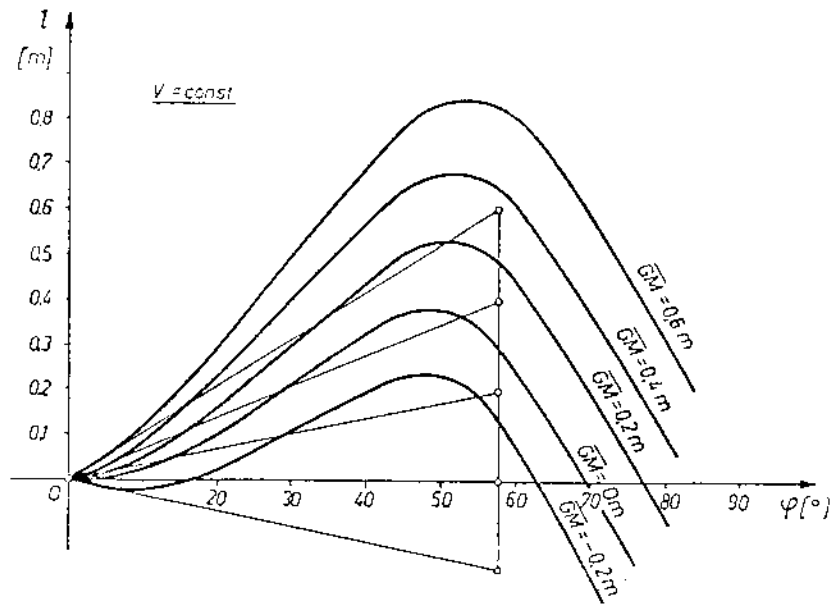
Trường hợp lượng chiếm nước (hoặc thể tích chiếm nước) giữ nguyên $V = \text{const}$ thì việc thay đổi chiều cao ổn định ban đầu h_o (GM) sẽ làm thay đổi hình dáng đường cong ổn định từ thay đổi tay đòn phục hồi lớn nhất đến dải rộng của đường cong đó, kết quả sẽ ảnh hưởng nghiêm trọng tới an toàn ổn định của tàu, xem hình 3.24.



Hình 3.22. Sự thay đổi đường cong ổn định khi thay đổi mạn khô.



Hình 3.23. Ảnh hưởng của thượng tầng tới đường cong ổn định.

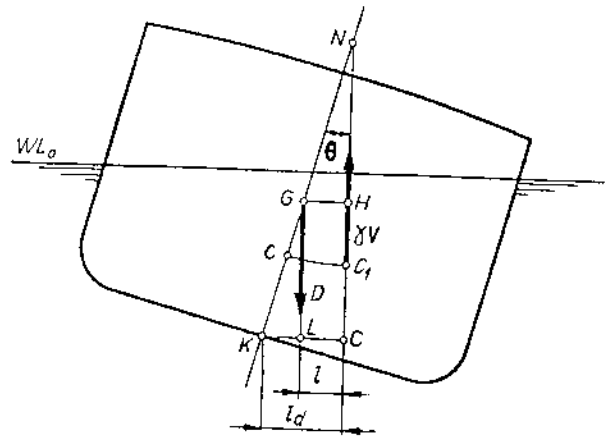


Hình 3.24. Sự thay đổi tay đòn phục hồi phụ thuộc vào chiều cao ổn định ban đầu.

3.2.4. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TAY ĐÒN PHỤC HỒI $l = f(\theta)$

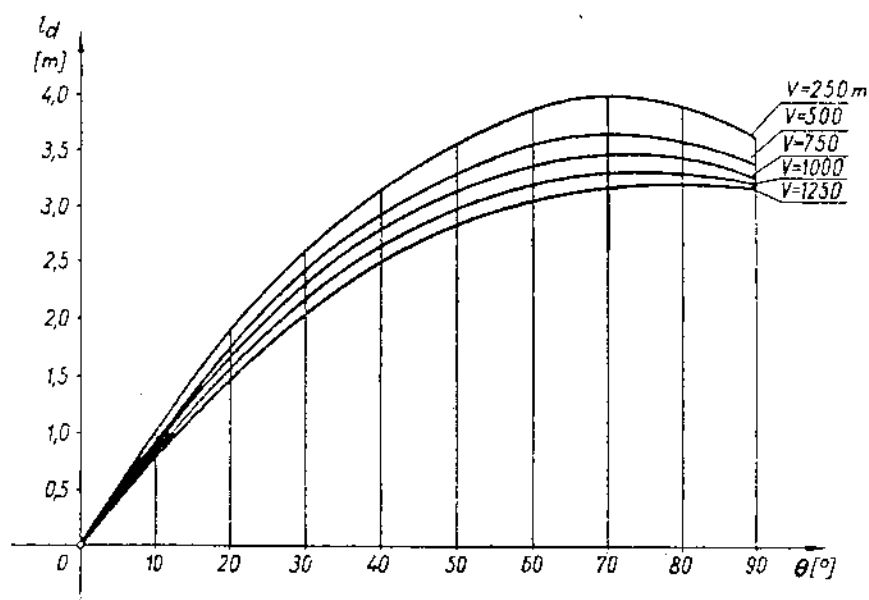
1. Đường cong Pantokaren

Theo công thức (3.37) tay đòn phục hồi gồm tay đòn hình dáng, được ký hiệu là l_d và tay đòn phục hồi trọng lượng l_w , l_w hoàn toàn phụ thuộc vào trọng tâm của tàu và tâm nổi ban đầu C_0 . Để có được tay đòn phục hồi l , trước hết ta phải tính được tay đòn hình dáng l_d ở các góc khác nhau. Trên hình 3.25 trình bày một con tàu với góc nghiêng θ , tay đòn phục hồi hình dáng phụ thuộc vào góc nghiêng θ và hình dáng thân tàu, ta có thể tính thể tích chiếm nước bằng đường hình dáng thân tàu. Rõ ràng đối với một con tàu nhất định thì ở thể tích chiếm nước khác nhau hàm số biến thiên của tay đòn hình dáng $l_d = f(\theta)$ cũng sẽ khác nhau như trên hình 3.26.

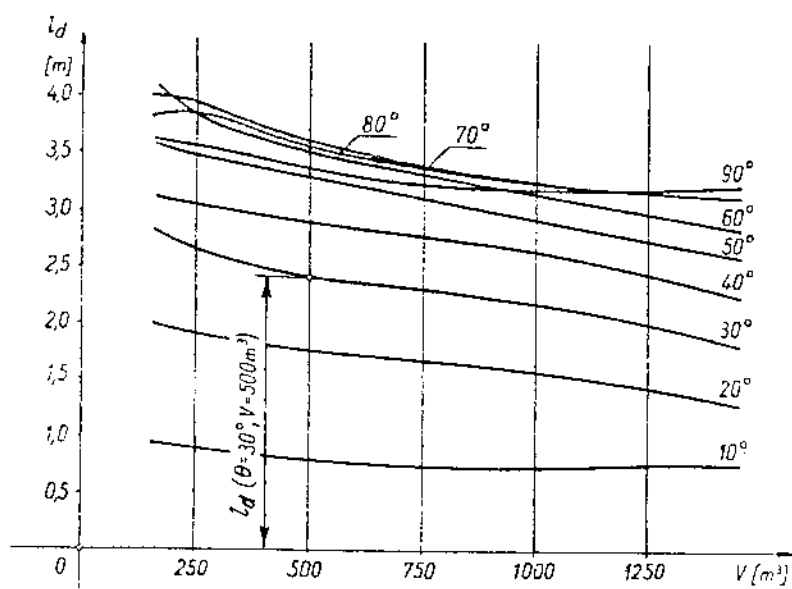


Hình 3.25. Tay đòn phục hồi hình dáng l_d .

Trong thực tế để dễ dàng cho việc tính toán đường cong tay đòn $l = f(\theta)$ cho nhiều thể tích chiếm nước, nên không nên trình bày $l_d = f(\theta)$ ở $V = \text{const}$ như trên hình 3.26 mà trình bày đường cong $l_d(\theta = \text{const}) = f(V)$ lần lượt cho các góc nghiêng $\theta = 10^\circ$ đến $\theta = 90^\circ$ như hình 3.27. Đường cong đó có tên là đường cong Pantokaren.



Hình 3.26. Tay đòn phục hồi hình dáng $l_d = f(\theta, V)$.



Hình 3.27. Đường cong Pantokaren.

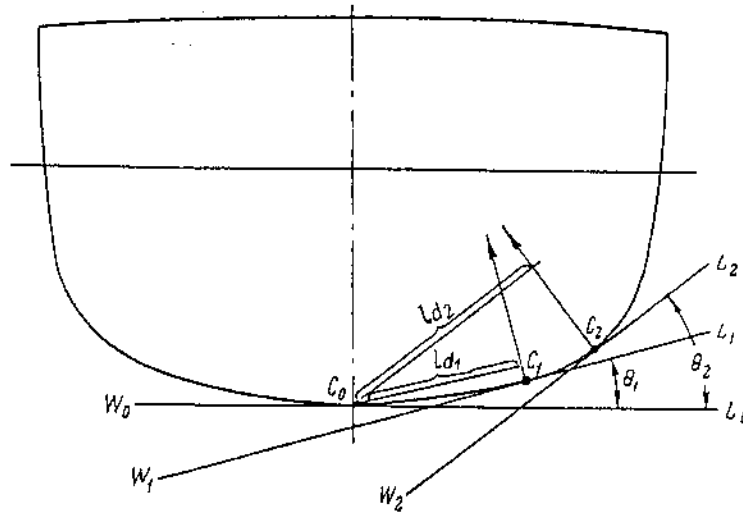
2. Cách vẽ đường Pantokaren

Để vẽ đường Pantokaren, ta dùng đường hình dáng thân tàu đặt nghiêng một góc θ ví dụ trên hình 3.25. Ta vẽ mấy đường nước $WL_1, WL_2 \dots WL_i$ song song với đường nước WL_0 . Đối với một đường nước WL_i ta tính được thể tích chiếm nước V_i và

tay đòn hình dáng l_{di} tương ứng và đặt trong hệ tọa độ l_d OV, nối các điểm $V_1 l_{d1} \dots V_i l_{di}$ với nhau ta sẽ có đường cong:

$$l_{d(\theta=\text{const})} = f(V)$$

đó là một đường cong $l_\theta = f(V)$ của 1 góc nhất định, ta vẽ được các đường cong đối với $\theta = 10^\circ$ đến $\theta = 90^\circ$. Ta sẽ được đường cong Pantokaren hình 3.27. Trong công tác nghiên cứu cũng như trong công tác thiết kế nhiều nhà khoa học đã tìm được các cách tính bằng tay hoặc bằng máy vì tính khoa học và kết quả chính xác, nhưng vấn đề này vượt quá khuôn khổ của sách này. Bạn đọc có thể tìm ở các sách, hoặc sổ tay thiết kế khác. Trong công tác thiết kế thì đường Pantokaren chỉ giới hạn trong phạm vi (ví dụ thể tích chiếm nước thay đổi từ thể tích chiếm nước tàu không đến thể tích chiếm nước quá tải 20 ~ 30%), nhưng trong công tác nghiên cứu khoa học phải xét đến lúc tàu ngập hết, lúc đó tay đòn phục hồi hình dáng đều không còn nữa, nghĩa là $l_{d_{10^\circ}} = l_{d_{20^\circ}} \dots l_{d_{90^\circ}} = 0$ khi $V = V_{ngập}$ có nghĩa là các đường cong l_d phải gặp nhau trên trục hoành ở $V_{ngập}$. Còn tay đòn phục hồi hình dáng khi thể tích chiếm nước bằng 0 thể hiện trên hình 3.28.



Hình 3.28. Tay đòn phục hồi hình dáng khi $V = 0$.

Khi đã có đường cong Pantokaren ta có thể vẽ đường cong tay đòn phục hồi:

$$l = f(\theta)$$

Theo hình 3.25 ta có:

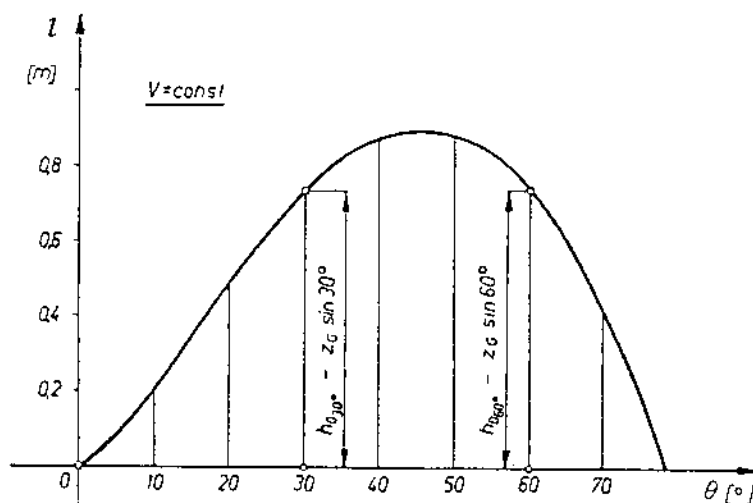
$$l = l_d - \overline{KL} = l_d - \overline{KG} \sin \theta = l_d - z_G \sin \theta \quad (3.46)$$

Dữ kiện đầu vào là thể tích chiếm nước V , z_G trên đường Pantokaren ta có:

$$l_d = f(\theta)$$

Đường cong tay đòn phục hồi $l = l_d - z_G \sin \theta$, như trên hình 3.29.

Trong cơ quan thiết kế thường dùng bảng III.3 dưới hình 3.29 để tính toán đường cong tay đòn phục hồi $l = f(\theta)$.



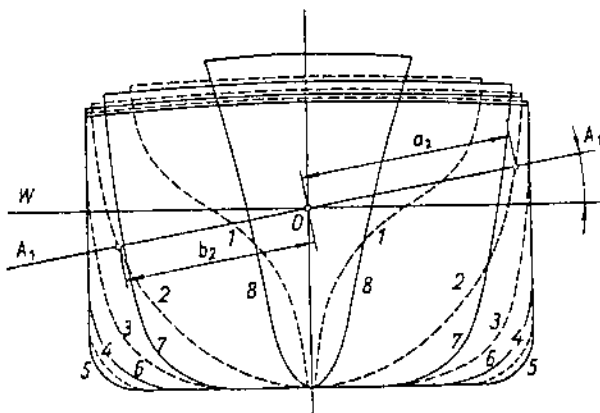
Hình 3.29. Đường cong tay đòn phục hồi $l = f(\theta)$.

Bảng III.3. Tính tay đòn phục hồi $l = f(\theta)$

V = ...	Góc θ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$\overline{KG} = \dots$	$\sin \theta$	0	0,174	0,342	0,500	0,643	0,766	0,866	0,940	0,985	1,000
l_d		0									
$\overline{KG} \sin \theta$		0									
$l = l_d - \overline{KG} \sin \theta$		0									

3. Phương pháp giải tích - đồ họa Krulov – Dargnhiev, cách vẽ đồ thị ổn định độc cực

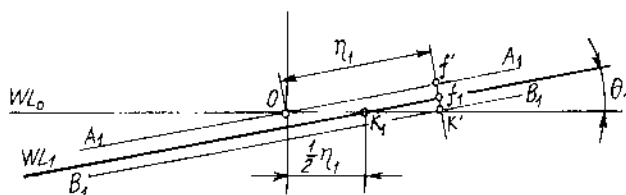
Phương pháp Krulov – Dargnhiev là một phương pháp giải tích và đồ họa đồng thời rất thuận tiện cho việc vẽ đồ thị ổn định độc cực, để tính được bán kính ổn định của tàu ở các góc θ_0 , thì việc đầu tiên là phải tìm được đường nước WL_1 có góc nghiêng θ so với đường nước khi tàu ở tư thế thẳng đứng WL_0 (xem hình 3.30) mà thể tích chiếm nước dưới đường nước WL_1 phải bằng thể tích chiếm nước dưới đường nước ban đầu WL_0 , ta giả thiết đường nước A_1A_1 đi qua điểm O trọng tâm đường nước ban đầu. Phải tính được thể tích chiếm nước dưới đường nước A_1A_1 và sự chênh lệch lượng chiếm nước dưới WL_0 và A_1A_1 . Có phương trình giải tích chứng minh được rằng đường nước tương đương



Hình 3.30.

WL_1 đó phải đi qua điểm K_1 (xem hình 3.31) cách điểm O một đoạn OK_1 (trên đường nước WL_0) $= \frac{1}{2} \eta_1$, η_1 là khoảng cách từ trọng tâm đường nước $A_1A_1(S')$ đến điểm O .

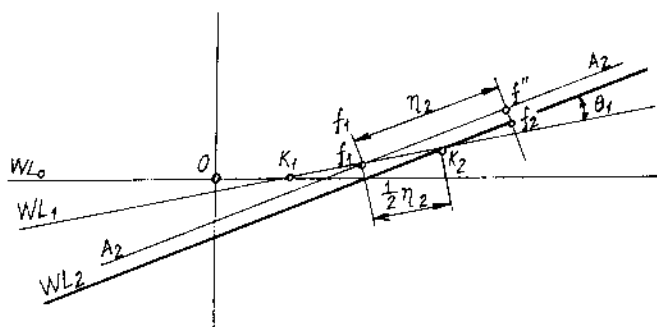
Muốn tìm cách chứng minh điều này ta có thể xem ở nhiều sách chuyên sâu hơn [1]. Ở đây để tìm đường nước tương đương ta giả thiết rằng tâm hình học của đường nước tương đương WL_1 đi qua tâm hình học của đường nước hỗ trợ A_1A_1 là f_1 . Với giả thiết đó đường nước tương đương sẽ nằm giữa đường nước hỗ trợ A_1A_1 và đường nước B_1B_1 song song với A_1A_1 và đi qua điểm K' là hình chiếu của tâm hình học của A_1A_1 là f_1 trên đường nước ban đầu WL_0 . Như vậy đường nước trung bình WL_1 đi qua điểm K_1 cách điểm O một đoạn bằng $\frac{1}{2} \eta_1 \cos \theta_1$, nếu ta giả thiết $\cos \theta_1 \approx 1$ thì khoảng cách giữa điểm O tới K_1 bằng $\frac{1}{2} \eta_1$ là đường nước tương đương ta cần tìm.



Hình 3.31.

Kết quả sẽ là $OK_1 = \frac{1}{2} \eta_1$ như ta trình bày ở trên về cách chứng minh bằng giải tích và như vậy điểm f_1 là tâm hình học của đường nước tương đương WL_1 .

Bây giờ ta lại tiếp tục tìm đường nước tương đương số 2, WL_2 , cũng tương tự như trường hợp tìm WL_1 , trước hết ta vẽ đường nước giả định A_2A_2 đi qua điểm f_1 và tạo thành với đường nước tương đương WL_1 một góc kẹp tương đương θ , đường nước tương đương WL_2 phải song song với A_2A_2 và đi qua điểm K_2 làm sao để $f_1K_2 = \frac{1}{2} \eta_2$, f_2 là tâm hình học của đường nước WL_2 .



Hình 3.32. Cách tìm đường nước tương đương WL_2 .

Để tính được bán kính ổn định r_0 $\left(r_0 = \frac{I_1}{V} \right)$, ta còn phải cần một giả thiết nữa là

mômen quán tính của đường nước tương đương WL_1 là gần (đúng) bằng mômen quán tính của đường nước A_1A_1 vì đường nước tương đương WL_1 rất gần đường nước giả định A_1A_1 . Cũng tương tự như vậy mômen quán tính của đường nước giả định A_2A_2 là gần (đúng) bằng mômen quán tính của đường nước giả định A_2A_2 đối với trục dọc đi qua f_1 . Với những số liệu về tâm đường nước tương đương K_1K_2 và giả thiết vừa nêu về mômen quán tính ta có thể lập qui trình tính toán gần đúng đồ thị ổn định độc cực như sau:

Bảng III.4. Tính toán tính ổn định nghiêng ngang r_0 theo phương pháp Krulov – Dargnliev

Thể tích dưới nước V:												
Sườn Trêbushép Số	$\theta = 10^\circ$						$\theta = 20^\circ$					
	a	a ²	a ³	b	b ²	b ³	a	a ²	a ³	b	b ²	b ³
1												
2												
.												
.												
n												
Hạng mục	Σa	Σa^2	Σa^3	Σb	Σb^2	Σb^3	Σa	Σa^2	Σa^3	Σb	Σb^2	Σb^3
1	$\Sigma a + \Sigma b$											
2	$\Sigma a^2 - \Sigma b^2$											
3	$\Sigma a^3 + \Sigma b^3$											
4	$\eta = \frac{1}{2} \frac{[2]}{[1]}$											
5	$l_0 = \frac{1}{2} \frac{L}{n} [3]$											
6	$S\eta^2 = \frac{L}{n} [1] [4]^2$											
7	$l = [5] - [6]$											
8	$r_0 = \frac{[7]}{V}$											

a. Từ đường hình dáng lý thuyết của tàu, căn cứ vào hoành độ của phương pháp Trêbushev liệt kê trên bảng II.2 ta vẽ được các đường sườn Trêbushev theo yêu cầu các số lượng sườn của ta.

Để tiện cho việc tính toán ta vẽ thêm phần bên trái của các đường sườn, các đường sườn ở phía sau của X ta dùng nét đứt đoạn, còn các sườn ở phía trước X dùng nét liền để vẽ đường sườn, xem hình 3.30.

Qua điểm O của đường nước ban đầu WL_0 ta vẽ đường nước hỗ trợ A_1A_1 tạo thành với đường nước ban đầu WL_0 một góc kẹp $\theta = 10^\circ$. Ta ký hiệu khoảng cách từ điểm O đến mạn phải và mạn trái của đường số 2 bằng a_2 và b_2 , các đường sườn khác ta cũng dùng ký hiệu tương tự.

b. Theo tuần tự sau đây ta tính các đại lượng cần thiết theo bảng III.3

1) Dùng công thức tính diện tích đường nước phụ trợ A_1A_1 theo phương pháp Trêbushev:

$$S_1 = \frac{L}{n} \sum_{i=1}^n (a_i + b_i)$$

trong đó: n – số tọa độ Trêbushev;

L – chiều dài 2 trụ của tàu*.

2) Khoảng cách từ trọng tâm hình học của đường nước nghiêng phụ trợ A_1A_1 tới trục dọc đi qua điểm O:

$$\eta_1 = \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^n (a_i^2 - b_i^2)}{\sum_{i=1}^n (a_i + b_i)}$$

3) Mômen quán tính của đường nước nghiêng phụ trợ A_1A_1 đối với trục dọc đi qua điểm O:

$$I_0 = \frac{1}{3} \frac{L}{n} \sum_{i=1}^n (a_i^3 - b_i^3)$$

4) Mômen quán tính của đường nước nghiêng phụ trợ A_1A_1 đối với trục dọc đi qua trọng tâm hình học:

$$I_1 = I_0 - S_1 \eta_1^2$$

5) Bán kính ổn định ngang đối với góc nghiêng đã chọn θ_1 :

$$r_{\theta 1} = \frac{I_1}{V}$$

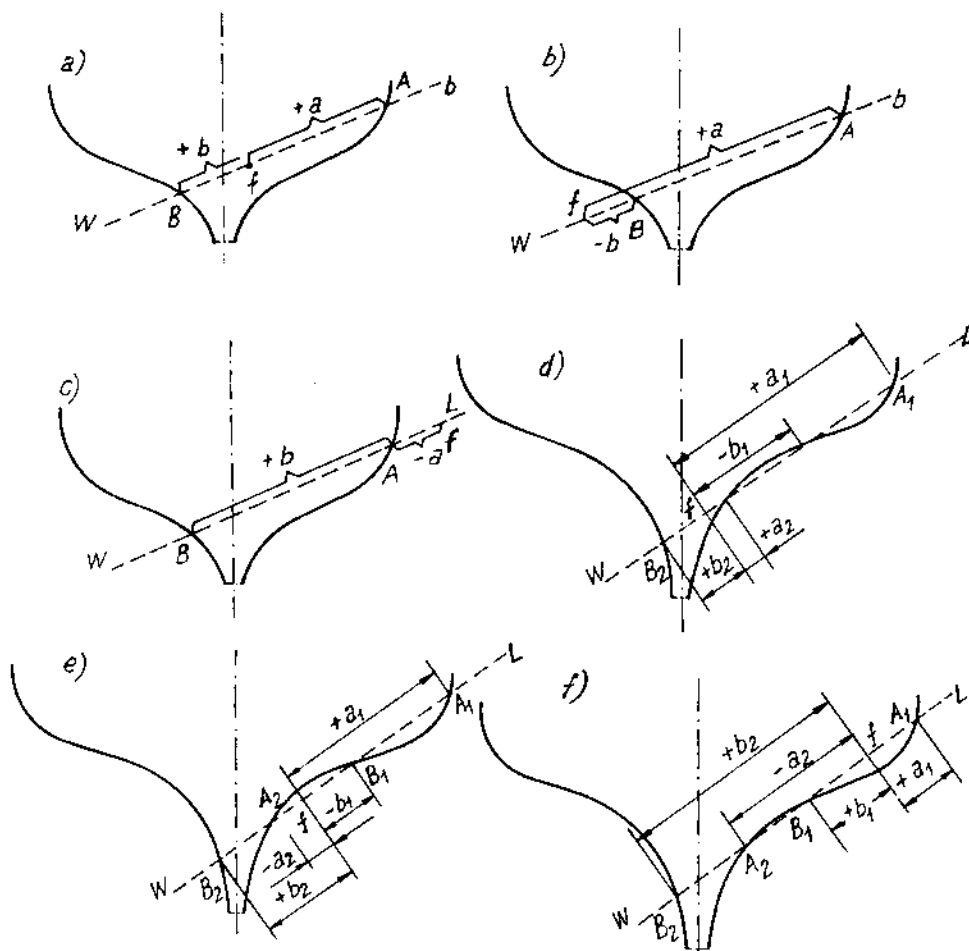
trong đó V là thể tích chiếm nước nằm dưới đường nước ban đầu WL_0 , có thể lấy từ đường cong thủy tĩnh $V = f(T)$.

Sau khi có η_1 (xem hình 3.31), ta vẽ đường vuông góc với đường nước WL_0 và A_1A_1 ta tìm được điểm K' , từ K' ta tìm được điểm K_1 , qua K_1 ta vẽ đường nước WL_1 song song với đường nước A_1A_1 đó chính là đường nước tương đương mà thể tích chiếm nước dưới nó bằng V (bằng thể tích chiếm nước dưới đường nước ban đầu WL_0).

* Về nguyên tắc dùng đường nước giữa hai trụ sẽ có sai số nhất định, mà phải dùng chiều dài đường nước mà ta dùng để tính thể tích chiếm nước mới mang lại kết quả chính xác, ở đây ta làm cho vấn đề được đơn giản hoá.

Bây giờ qua điểm f_1 , trọng tâm đường nước tương đương WL_1 , ta vẽ đường hỗ trợ A_2A_2 tạo thành với đường nước tương đương WL_1 một góc θ_1 , và tương tự như vậy ta tính toán theo bảng III.4 và các bước tính toán tương tự tính được η_2 và ta sẽ vẽ được đường nước tương đương WL_2 và tính được bán kính ổn định ngang r_{20° , và tuần tự như vậy tính được r_θ cho đến $\theta = 90^\circ$.

Để tránh những sai sót khi tính toán phải đặc biệt lưu ý rằng, tọa độ a và b có thể lấy giá trị âm tùy thuộc vào vị trí f (f là giao điểm giữa đường nước tương đương WL_{i-1} với đường nước nghiêng phụ trợ A_iA_i) nằm ở chỗ nào tương đối với hai mạn của sườn. Thông thường f nằm trong vòng bao của sườn thì a và b đều lấy giá trị dương. Nếu f nằm ở bên trái của vòng sườn thì a lấy dương, b lấy giá trị âm ($+a, -b$). Nếu f nằm ở bên phải của vòng sườn thì a lấy giá trị âm, b lấy giá trị dương ($-a, +b$) còn những trường hợp đường nước tương đương gấp thân tàu vượt quá hai lần thì ta không dùng lời để hướng dẫn lấy dấu $\pm$ đối với a, b mà xem cụ thể ở hình 3.33.



Hình 3.33. Cách xác định dấu của tọa độ a và b .

Trên cơ sở đã có các giá trị r_0 ở trên, ta có thể vẽ đồ thị ổn định độc cực với tuân tự như sau:

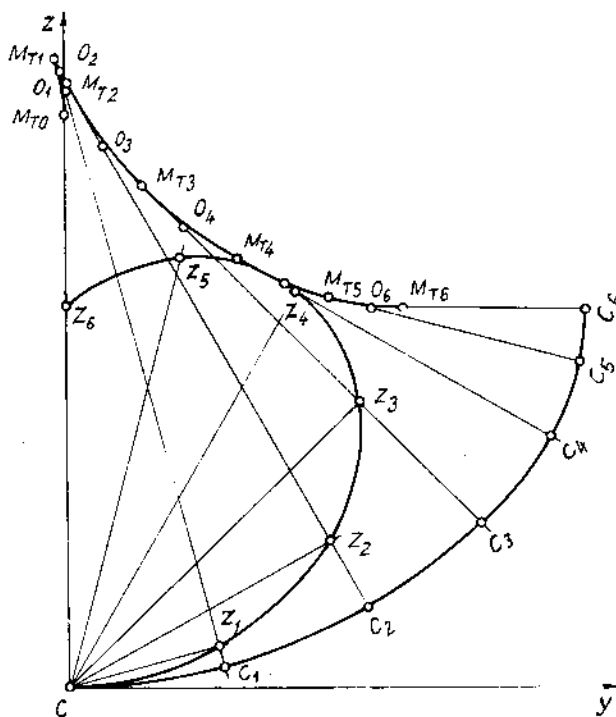
Vẽ một đường thẳng đứng đại biểu cho mặt phẳng đối xứng dọc tàu, bắt đầu từ tâm nổi ban đầu C_0 hướng về phía trên lấy giá trị bán kính ổn định ban đầu r_0 , ta có tâm ổn định M_{T_0} , $C_0 M_{T_0} = r_0$, từ C_0 lấy đoạn

thẳng bằng $\frac{1}{2}(r_0 + r_{0_1})$, ta được

điểm O_1 . Sau đó từ O_1 vẽ một đường thẳng tạo thành với trục Oz một góc bằng θ_1 , điểm cắt giữa đường thẳng đó với cung của vòng tròn tại điểm C_1 , C_1 là trọng tâm lực nổi khi tàu nghiêng θ_1 , từ điểm C_1 trên đường thẳng nghiêng đó lấy bán kính ổn định ngang r_{0_1} , ta có tâm ổn định M_{T_1} , trên đường thẳng đó đi lên ta lấy 1 đoạn

$\overline{C_1 O_2} = \frac{1}{2}(r_{0_1} + r_{0_2})$, ta được điểm O_2 , từ điểm O_2 coi như tâm cung tròn có bán

kính $\overline{C_1 O_2}$, sau đó qua điểm O_2 dẫn một đường thẳng nghiêng tạo thành với trục thẳng đứng một góc θ_2 . Đường cắt của đường nghiêng này với cung tròn gần đó tại điểm C_2 , đó là tâm nổi của tàu khi nghiêng ở góc θ_2 . Lặp lại trình tự như vừa rồi lần lượt các điểm ta sẽ được đồ thị ổn định độc cực tức quỹ đạo tâm lực nổi C và đường quỹ đạo tâm ổn định MT . Trên hình 3.34 giới thiệu đồ thị ổn định độc cực của một con tàu mà ta chia làm 6 điểm ứng với $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ và 90° , trên hình đó ta cũng có thể tìm được tay đòn ổn định hình dáng $C_0 z_1, C_0 z_2$ v.v... (trong hệ tọa độ ta lấy C_0 làm gốc). Ta nên lưu ý, nếu ta nối C_6 với M_{T_6} và kéo dài sẽ gặp z_6 và đường thẳng đó phải vuông góc với trục Oz . Nếu ta so sánh hình 3.14 với hình 3.34 ta sẽ thấy, nếu ta tiếp tục cho tàu nghiêng tới 180° thì quỹ đạo của tâm nổi và tâm ổn định sẽ đối xứng với đường $C_6 M_{T_6} z_6$, và quỹ đạo của tâm nổi gần như là một hình bầu dục.



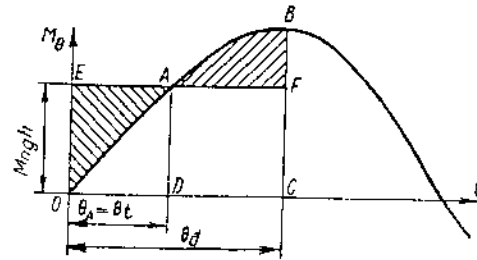
Hình 3.34. Dùng phương pháp đồ họa để vẽ đồ thị ổn định độc cực.

3.2.5. ỔN ĐỊNH ĐỘNG

Góc nghiêng có được khi mômen phục hồi và mômen nghiêng bằng nhau, việc này chỉ xảy ra trong quá trình nghiêng do mômen nghiêng thay đổi dần dần từ 0 theo qui luật tăng dần của mômen phục hồi. Trong thực tế mômen nghiêng tác dụng tức thời đạt

tới mômen nghiêng khi tàu đang ở tư thế thẳng đứng. Ta phải nghiên cứu ổn định của tàu trong các trường hợp đó, tức khả năng chịu đựng được sự tác dụng động của mômen nghiêng.

Chúng ta nghiên cứu trường hợp có một mômen nghiêng không đổi (mômen cố định) M_{ng} tác dụng đột ngột lên tàu. Trong quá trình nghiêng mômen nghiêng và mômen phục hồi đều gây công. Trong quá trình gây nghiêng ban đầu mômen nghiêng lớn hơn mômen phục hồi, tàu sẽ có gia tốc góc nhất định. Sau khi góc nghiêng đạt đến góc nghiêng θ_A



Hình 3.35. Tìm góc nghiêng động trên đường cong ổn định tĩnh.

(xem hình 3.35) tàu sẽ không dừng ở đó mà tiếp tục nghiêng theo quán tính. Nhưng bây giờ mômen phục hồi lớn hơn mômen gây nghiêng, do đó tốc độ góc giảm đến không. Tại vị trí này ứng với góc nghiêng lớn nhất, mà ở đó dự trữ động năng tiêu hao hết vào việc khắc phục tác dụng của mômen phục hồi. Vì trong lúc đó mômen phục hồi lớn hơn mômen gây nghiêng, tàu bắt đầu quay ngược lại vị trí ban đầu mà không dừng lại ở vị trí nghiêng tĩnh A, quá trình dao động như vừa nêu cứ tiếp tục như vậy chung quanh điểm A, nhưng vì trong quá trình dao động có lực cản của nước, dao động sẽ tắt dần và tàu sẽ dừng lại ở điểm A. Đối với ổn định của tàu, ta quan tâm nhất là điểm tàu nghiêng tới góc lớn nhất mà ở đó công của mômen gây nghiêng bằng công của mômen phục hồi $A_{ng} = A_{ph}$, ứng với điểm B trên hình 3.35, góc nghiêng đạt tới ở điểm đó là góc nghiêng động θ_d .

1. Tay đòn ổn định động

Thước đo ổn định động của tàu là công của mômen phục hồi. Giá trị của công đó trong quá trình nghiêng được xác định bằng biểu thức dưới đây:

$$A_{ph} = \int_0^{\theta} M_{\theta} d\theta = D \int_0^{\theta} l d\theta \quad (3.47)$$

Thương số giữa công mômen phục hồi và lượng chiếm nước gọi là tay đòn ổn định động, nó là một đặc trưng quan trọng ổn định động của tàu.

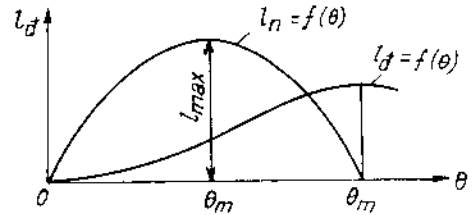
$$l_d = \frac{A_{ph}}{D} = \int_0^{\theta} l d\theta \quad (3.48)$$

Tay đòn ổn định động có thể tính được theo diện tích dưới đường cong ổn định tĩnh, vì $l d\theta$ là một phần tử của diện tích đó. Ta có thể dùng tích phân gần đúng để vẽ đường cong tay đòn ổn định động theo công thức (3.47). Trên hình 3.35 là một dạng điển hình của đường cong tay đòn ổn định động. Ta khảo sát qua vài đặc điểm của đường cong đó.

$$\text{Vì } l_d = \int_0^\theta l(\theta) d\theta.$$

$$\text{nên } \frac{dl_d}{d\theta} = l_\theta$$

Tại $\theta = 0$, $\frac{dl_d}{d\theta} = 0$, ta thấy đường cong $l_d = f(\theta)$ tiếp tuyến với trục hoành.



Hình 3.36. Đường cong ổn định động.

Góc ứng với tay đòn ổn định tĩnh $l_{\max}$ được ký hiệu θ_m , góc mà tại đó tay đòn ổn định tĩnh bằng không được ký hiệu θ_v và có tên là góc lặn. Khi $\theta = \theta_v$ (góc lặn) $l_d \rightarrow l_{d\max}$.

Ngoài ra còn một đặc điểm nữa, tại điểm ứng với θ_m trên đường cong ổn định động, đường cong chuyển hướng cong từ lõm $\cup$ sang lồi $\cap$ (xem hình 3.36).

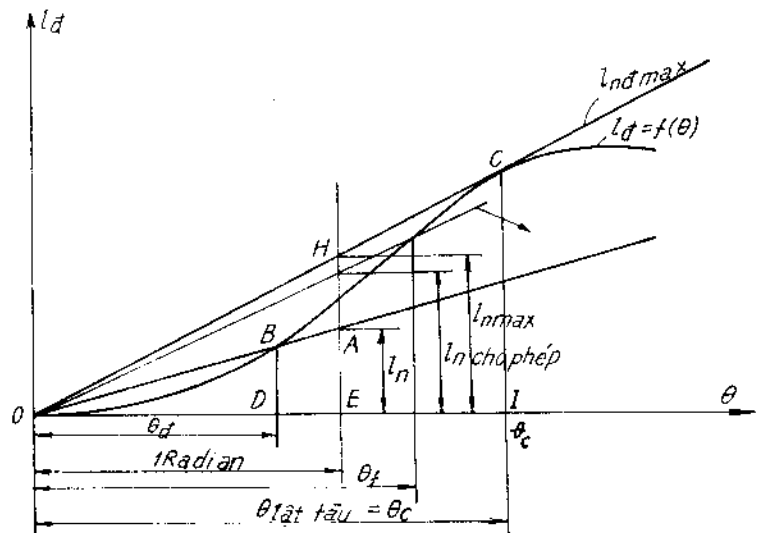
2. Tìm góc nghiêng động θ_d

Ta có một con tàu với đường cong tay đòn $l_d = f(\theta)$ như trên hình 3.37, giả sử có một tay đòn nghiêng l_n tác dụng động lên tàu, ta phải tìm góc nghiêng động θ_d .

Trước hết ta phải tìm tay đòn động l_{nd} . Tương tự như công thức (3.48) ta có:

$$l_{nd} = \int_0^\theta l_n d\theta \quad (3.49)$$

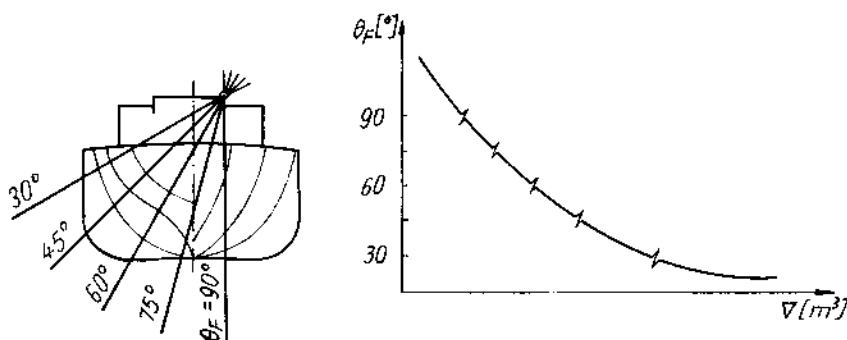
Vì ngoại lực không thay đổi trong quá trình nghiêng $l_n = \text{const}$ nên công thức (3.49) biến thành $l_{nd} = l_n \cdot \theta$, đường biểu diễn của nó là một đường thẳng đi qua 2 điểm: một điểm là tọa độ gốc O, một điểm với hoành độ $\theta = 1$ radian và tung độ bằng l_n (hình 3.37), đó là điểm A. Nối OA thành đường thẳng $l_{nd} = l_n \cdot \theta$, đường thẳng $l_{nd} = l_n \cdot \theta$ gặp đường cong ổn định $l_d = f(\theta)$



Hình 3.37. Tìm góc nghiêng động θ_d trên đường $l_d = f(\theta)$.

tại điểm B, ở đó $l_{nd} = l_d$, do đó góc nghiêng động là hoành độ của điểm B tức OD (tính bằng radian); $OD = \theta_d$.

Tay đòn càng lớn thì đường thẳng $l_{nd} = l_n \cdot \theta$ càng dốc và θ_d càng dịch về phía phải, có nghĩa là góc nghiêng động càng lớn, nhưng tay đòn ngoại lực giới hạn là đường thẳng CI, ở đây C là điểm tiếp tuyến giữa đường thẳng xuất phát từ điểm O và đường cong tay đòn ổn định động $l_d = f(\theta)$, góc θ_c là góc lật tàu, vì nếu có tay đòn $l_{n \max}$ tác dụng lên tàu sẽ nghiêng cho tới khi lật tàu. Trong trường hợp trên thân tàu có lỗ nước vào được tạo thành góc vào nước $\theta_f < \theta_{\text{lật tàu}} (\theta_c)$, thì ta phải lấy góc đó làm chuẩn để xác định tay đòn nghiêng cho phép. Cách xác định góc vào nước phải dựa vào trước hết là vị trí của lỗ nước vào được, lượng chiếm nước D (hay là thể tích chiếm nước), và cuối cùng là phải có đường hình dáng của tàu, ta sẽ vẽ đường cong về sự biến thiên $\theta_f = f(V)$ như trên hình 3.38.



Hình 3.38. Cách xác định góc vào nước $\theta_f = f(V)$.

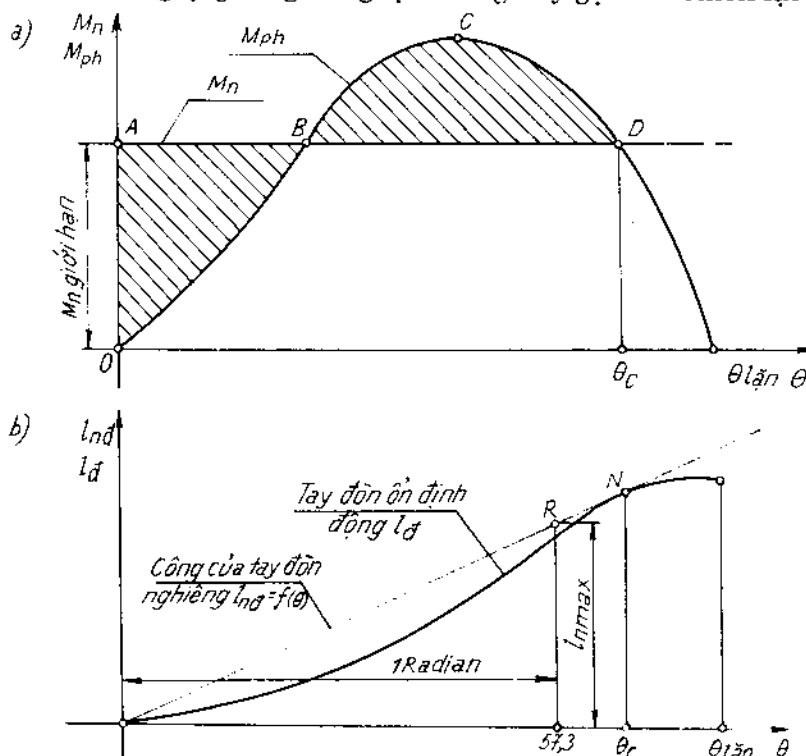
Trên hình 3.37 ta dùng đường cong ổn định động để tìm tay đòn nghiêng lớn nhất $l_{n \max}$ tác dụng lên tàu gây nên góc lật tàu θ_c . Để bạn đọc hiểu sâu hơn nữa bản chất vấn đề trên hình 3.39 trình bày so sánh cách tìm mômen nghiêng giới hạn (mômen lớn nhất) và tay đòn nghiêng lớn nhất $l_{n \max}$ tác dụng lên tàu tạo thành góc nghiêng lật tàu θ_c trên đường cong ổn định tĩnh và động.

Ta vừa nghiên cứu mômen nghiêng M_n tác dụng đột ngột lên tàu ở vị trí thẳng đứng. Bây giờ ta nghiên cứu tàu đã nghiêng về bên trái (ví dụ tàu đã lắc đến biên độ θ_r) tàu bị M_n đột ngột tác dụng lên tàu về bên phải, ta cũng có thể dùng đường cong ổn định tĩnh và động cùng với công của tay đòn (mômen) nghiêng l_{nd} để tìm được góc lật tàu θ_c và tay đòn nghiêng giới hạn ($l_{n \max}$) trên hình 3.40. Phương pháp tác nghiệp như sau:

1) Kéo dài mômen phục hồi sang bên trái tới điểm H mà hoành độ bằng $-\theta_r$ (biên độ lắc).

2) Vẽ đường nằm ngang làm sao để diện tích ABCOH = diện tích CE (phần gạch chéo) phải bằng nhau, chú ý điểm E phải nằm trên đường cong mômen phục

hồi. Chính hoành độ của điểm E là góc nghiêng lật tàu, và $OB = M_{n \max}$ mômen gây nghiêng lớn nhất để gây góc nghiêng lật tàu θ_c , hay gọi là mômen lật tàu.



Hình 3.39. So sánh cách tìm M_n giới hạn và góc lật tàu trên đồ thị ổn định tĩnh a và đồ thị ổn định động b.

Trên đường cong ổn định động $l_d = f(\theta)$ ta cũng kéo dài sang trái tới điểm K với hoành độ $-\theta_c$. Từ điểm K vẽ đường cong $l_0 = f(\theta)$ tại điểm N. Hoành độ của điểm N chính là góc lật tàu θ_c . Còn về tay đòn nghiêng lớn nhất $l_{n \max}$ ta phải chú ý điểm xuất phát để đo góc 1 radian, phải từ điểm K chứ không phải điểm O.

$$l_{n \max} = RS$$

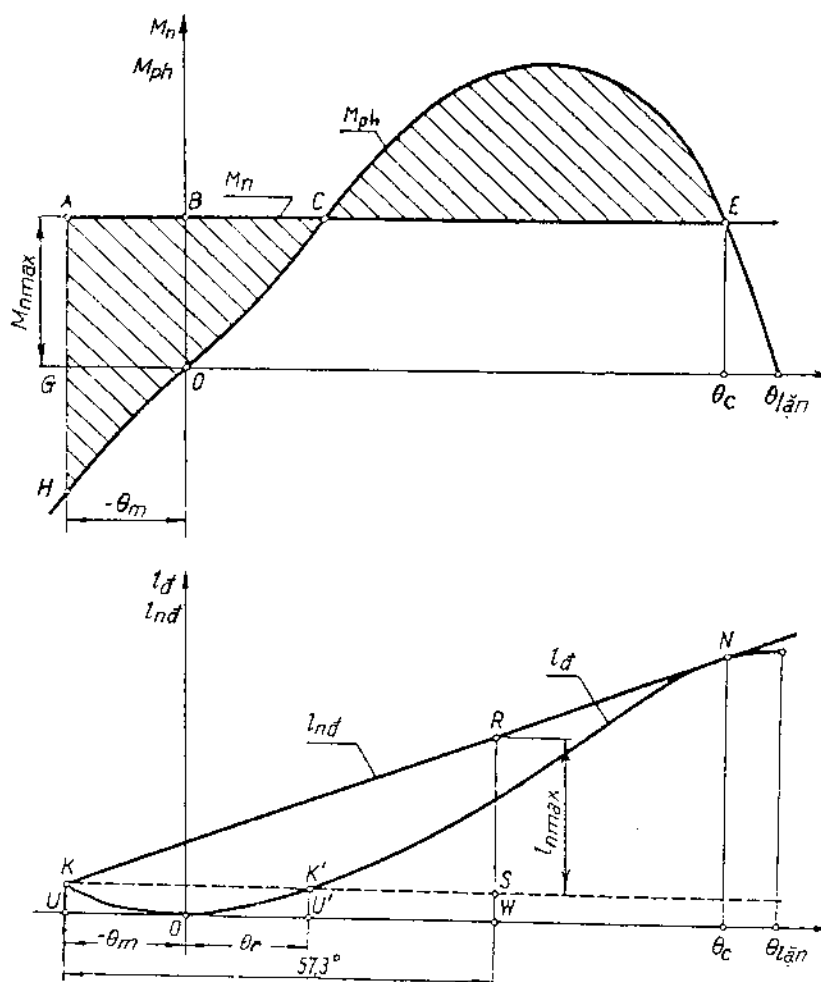
Mômen lật tàu:

$$M_{lật} = D l_{n \max}$$

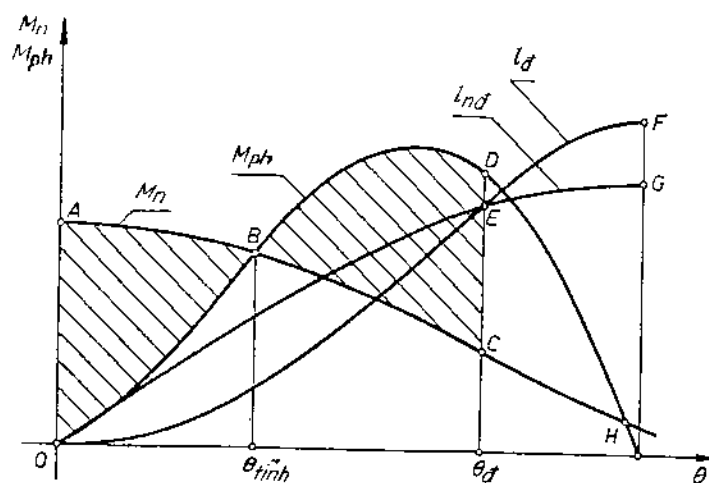
Trong mục này ta đều giả thiết $M_n = \text{const}$. Trong thực tế $M_n = f(\theta)$ ví dụ tàu gấn buồm, khi θ tăng lên thì M_n sẽ giảm xuống. Về nguyên tắc phương pháp tính góc động vẫn không thay đổi, đó là công của mômen phục hồi bằng công của mômen góc nghiêng. Trên hình 3.41 là một ví dụ.

Tại điểm B, mômen phục hồi M_{ph} bằng mômen nghiêng M_n .

Tại điểm E, tay đòn ổn định động l_d bằng tay đòn nghiêng động $l_{nđ}$, nghĩa là công của mômen phục hồi bằng công của mômen nghiêng, và hoành độ của điểm E là góc nghiêng động θ_d , ta thấy công của tay đòn nghiêng động $l_{nđ} = f(\theta)$ không phải là một đường thẳng mà là đường cong OEG.



Hình 3.40. Tìm góc lật $\theta_{l\grave{a}t}$ và tay đòn lớn nhất $l_{n\max}$ của mômen gây lật tàu khi tàu đã lắc tới biên độ lắc θ_m .



Hình 3.41. Cách tìm góc nghiêng động trong trường hợp mômen nghiêng thay đổi theo θ .

3.2.6 ĐÁNH GIÁ MỨC ĐỘ ỔN ĐỊNH CỦA TÀU - QUI PHẠM ỔN ĐỊNH

Ở các mục trên của chương này ta đã mô tả hầu hết những tính năng của bản thân tàu liên quan đến ổn định như chiều cao ổn định ban đầu (trong Qui phạm ổn định Việt Nam gọi là chiều cao tâm nghiêng), đồ thị ổn định tĩnh hay đường cong ổn định tĩnh $l = f(\theta)$ và góc nghiêng gây ra dưới tác dụng tĩnh và động của ngoại lực gây nên. Trong mục này ta nghiên cứu những ngoại lực gây ra trong quá trình khai thác của tàu và cách đánh giá ổn định của tàu dưới tác dụng của những lực đó.

Trong thế kỷ thứ 19 con người đã nhận thức được sự an toàn phụ thuộc rất nhiều tới ổn định của tàu. Từ khi tàu gắn máy hơi nước ra đời người ta đã thấy những yếu tố liên quan đến ổn định của tàu như: chiều cao ổn định ban đầu, đường cong ổn định tĩnh phải đưa thành tiêu chuẩn mà mọi chủ tàu phải tôn trọng, ví dụ l_{max} , θ_n góc ứng với l_{max} , góc lặn θ_v , chiều cao ổn định ban đầu đã có qui định và đòi hỏi chủ tàu phải tôn trọng. Còn về ngoại lực thì việc đầu tiên là gió và sóng biển, con người đã hiểu biết dần dần nhưng phản ứng của con tàu dưới tác dụng của sóng gió thì Khoa học công nghệ chưa phát triển, không đáp ứng được yêu cầu của thực tiễn hàng hải và đóng tàu nên cũng chỉ đưa ra một số chỉ tiêu mang tính kinh nghiệm, đòi hỏi các chủ tàu phải thực hiện, như mãi cho đến thập kỷ 40 của thế kỷ 20 người ta cũng chỉ yêu cầu tàu phải chịu được sức gió tác dụng lên mà không lật, chìm tàu, mà chưa xét đến tác dụng đồng thời của gió và sóng. Để đảm bảo an toàn của con tàu các cơ quan đăng kiểm các nước đã nâng áp lực của gió lên hơn nhiều lần thực tế để nghiệm lại ổn định của tàu. Nhờ sự phát triển của khoa học công nghệ, con người đã hiểu sâu về ngoại lực và sự ứng xử của con tàu đối với sóng, gió biển, nên đến thập kỷ 60 của thế kỷ 20 qui phạm của các nước đã có cách để tính được chòng chành trên biển một cách khá chính xác, người ta đã hạ áp lực gió xuống nhiều và có cách để nghiệm ổn định của tàu dưới tác dụng đồng thời của sóng gió, nhưng cũng chỉ xét đến gió giật tác dụng lên con tàu đang chòng chành trên biển, chỉ có qui phạm của Nhật Bản mới tính đến trường hợp con tàu bị tác dụng gió tĩnh nghiêng theo chiều gió một góc nghiêng θ_0 và lúc chòng chành xung quanh góc tĩnh đó, đột ngột bị gió giật với áp lực lớn hơn áp lực gió tĩnh nhiều mà tàu vẫn an toàn, đến nay cơ quan Hàng hải Quốc tế (IMO) đã chấp nhận mô hình tính toán như Nhật đã dùng, tất nhiên có đóng góp của nhiều nhà khoa học hàng đầu về hàng hải và đóng tàu, nay đã thành Qui phạm ổn định của IMO, xin giới thiệu để bạn đọc tham khảo, ở đây IMO đã dùng tay đòn (đại biểu cho cả áp lực gió) gió giật $l_{w2} = 1,5 l_{w1}$, nghĩa là con tàu bị nghiêng theo gió tĩnh 1 góc θ và chòng chành chung quanh góc θ_0 đó tới biên độ θ_n , đột nhiên bị gió giật áp lực bằng 1,5 áp lực gió tĩnh tác dụng mà tàu vẫn không lật, cách tính toán được giới thiệu dưới đây dùng để bạn đọc tham khảo, đây là một tiến bộ lớn khiến mô hình tính toán tiếp cận dần dần nội lực và ngoại lực trong thực tế vận hành của tàu trên biển.

Còn những vấn đề liên quan tới ổn định thì rất nhiều, ví dụ đối với tàu kéo thì phải xét ổn định của nó khi bị lực giạt của dây kéo khi tàu nằm vuông góc với dây kéo, đối với tàu khách thì phải xét trường hợp hành khách tập trung bên một mạn lúc rời bến hoặc khách tập trung một bên đồng thời tàu đang quay vòng v.v... Những vấn đề này bạn đọc có thể vận dụng các kiến thức đã học thì có thể hiểu được các điều qui định trong bất kỳ Qui phạm ổn định nào, chỉ riêng những vấn đề liên quan tới tàu cần trục (cần trục nổi), có nhiều vấn đề học thuật phức tạp, nên đành chấp nhận những qui định của Qui phạm. Dưới đây xin giới thiệu các yêu cầu về ổn định đối với tàu có vùng hoạt động không hạn chế để bạn đọc tham khảo. Nhưng phải ghi chú mấy điểm: vì tác giả trích từ Qui phạm ổn định của Cục Đăng kiểm Việt Nam, không dám tự ghi thêm hoặc bớt, nhưng theo ý kiến của tác giả thì trong bản vẽ kiểm tra ổn định thì thiếu trường hợp góc vào nước θ_r khác 50° thì xử lý thế nào. Trong Qui phạm ổn định của Đăng kiểm Nhật N.K, trường hợp $\theta_r > 50^\circ$, thì cũng chỉ lấy 50° làm chuẩn để nghiệm ổn định, nếu $\theta_r < 50^\circ$ thì phải kiểm tra diện tích  (xem hình 3.42) chứ không được tính đến 50° , như vậy chỉ cho phép tàu nghiêng đến 50° . Qui định như vậy có lẽ hợp lý hơn.

CÁC YÊU CẦU VỀ ỔN ĐỊNH ĐỐI VỚI TÀU CÓ VÙNG HOẠT ĐỘNG KHÔNG HẠN CHẾ

(Các yêu cầu phần này dựa theo nghị quyết của IMO về ổn định của mọi kiểu tàu)

1. Qui định chung

1.1. Những yêu cầu của Chương này có thể áp dụng thay thế cho những yêu cầu ở 2.1, 2.2, 2.3 và 2.4.7 đối với những tàu có vùng hoạt động không hạn chế bao gồm: tàu khách, tàu hàng khô, tàu côngtennơ, tàu chở gỗ, tàu đánh cá, tàu có công dụng đặc biệt (trừ những tàu giống kiểu tàu phục vụ).

1.2. Những yêu cầu của Chương này được áp dụng cho những trạng thái tải trọng nêu ở 1.4.6 và phần 3, trừ trạng thái nêu ở 3.5.4 cho tàu đánh cá ở ngư trường.

2. Đồ thị ổn định tĩnh

2.1. Đồ thị ổn định tĩnh phải thỏa mãn các yêu cầu dưới đây:

- 1) Diện tích dưới đường cong tay đòn hồi phục không được nhỏ hơn $0,055 \text{ m.rad}$ đến góc nghiêng 30° và không nhỏ hơn $0,09 \text{ m.rad}$ đến góc nghiêng 40° hoặc các góc vào nước θ_r nếu $\theta_r < 40^\circ$. Ngoài ra, diện tích dưới đường cong tay đòn hồi phục giữa góc 30° và 40° (hoặc góc vào nước θ_r chọn góc nào nhỏ hơn) không được nhỏ hơn $0,03 \text{ m.rad}$.
- 2) Tay đòn lớn nhất không được nhỏ hơn $0,2$ mét khi góc nghiêng không nhỏ hơn 30° . Trong những trường hợp có lý do xác đáng góc đó có thể giảm bớt nhưng không nhỏ hơn 25° .

3. Góc lặn của đồ thị không được nhỏ hơn 60° . Tuy nhiên có thể giảm xuống đến 50° với điều kiện là cứ giảm một độ thì phải tăng tay đòn ổn định tĩnh lớn nhất lên 0,01 mét cao hơn 0,20 mét.

2.2. Góc vào nước làm ngất quãng đồ thị ổn định tĩnh không được nhỏ hơn góc nêu ở 2.1.3

2.3. Đồ thị ổn định tĩnh của tàu chở gỗ trong các trạng thái tải trọng có hàng trên boong thay cho nội dung ghi ở 5.2.1.1 và 5.2.1.2 cần phải thỏa mãn các yêu cầu sau đây:

1) Diện tích dưới đường cong tay đòn hồi phục không được nhỏ hơn 0,08 m.rad khi tính đến góc nghiêng 40° .

2) Tay đòn lớn nhất không được nhỏ hơn 0,25 mét.

2.4. Đồ thị ổn định tĩnh của tàu phải thỏa mãn các yêu cầu nêu trên có tính đến lượng hiệu chỉnh mặt thoáng của hàng lỏng phù hợp với 1.4.7 của Quy phạm ổn định Việt Nam.

3. Chiều cao tâm nghiêng (tức chiều các ổn định ban đầu h_0).

3.1. Chiều cao tâm nghiêng ban đầu đã hiệu chỉnh ở mọi trạng thái tải trọng, ngoại trừ tàu chở gỗ và đánh cá, không được nhỏ hơn 0,15 mét.

3.2. Chiều cao tâm nghiêng ban đầu đã hiệu chỉnh của tàu đánh cá không được nhỏ hơn 0,35 mét đối với tàu một boong. Đối với những tàu có thượng tầng liên tục hoặc đối với những tàu có chiều dài từ 70 mét trở lên trị số này có thể giảm xuống không dưới 0,15 mét, nếu được Đăng kiểm chấp nhận.

3.3. Chiều cao tâm nghiêng ban đầu của tàu chở gỗ không được nhỏ hơn trị số yêu cầu ở 3.3.5 của Quy phạm ổn định Việt Nam.

4. Tiêu chuẩn thời tiết

4.1. Ổn định của tàu theo tiêu chuẩn thời tiết được coi là đảm bảo khi nó có đủ sức để chịu được tác dụng đồng thời của gió và sóng phù hợp với yêu cầu dưới đây:

1) Tàu chịu tác dụng của gió liên tục thổi vuông góc với mặt phẳng đối xứng của tàu tương ứng với tay đòn mômen nghiêng do gió l_{w1} xem hình vẽ 3.42 dưới đây.

2) Từ góc nghiêng θ_0 sinh ra do gió liên tục, tàu dưới tác dụng của sóng bị nghiêng sang mạn theo chiều gió một góc bằng biên độ θ_r .

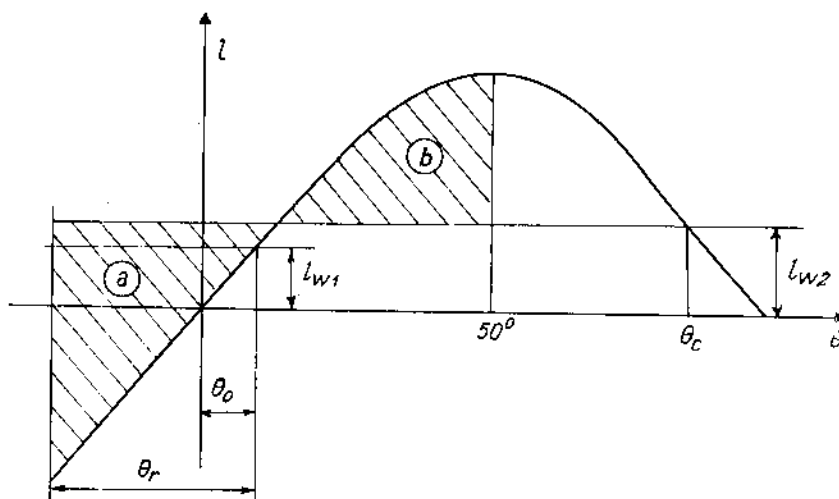
3) Tàu đang nghiêng chịu tác động gió giật ứng với tay đòn l_{w2} .

4) So sánh diện tích a và b được gạch chéo trên hình 3.42.

Diện tích b được hạn chế bởi đường cong tay đòn hồi phục, đường thẳng ứng với l_{w2} và góc nghiêng 50° hoặc góc nghiêng θ_c ứng với giao điểm thứ hai giữa đường thẳng l_{w2} và đường cong tay đòn hồi phục, lấy góc nào nhỏ hơn.

Diện tích a được hạn chế bởi đường cong tay đòn hồi phục, đường thẳng ứng với l_{w2} và góc nghiêng tương ứng với biên độ chòng chành θ_r .

Ổn định của tàu được coi là đảm bảo theo tiêu chuẩn thời tiết nếu diện tích b bằng hoặc lớn hơn diện tích a.



Hình 3.42. Kiểm tra ổn định.

4.2. Góc nghiêng cho phép do tác dụng của gió liên tục θ_0 phải được Đăng kiểm chấp thuận. Để đánh giá sơ bộ cần phải giả thiết sao cho θ_0 không lớn hơn 0,8 góc mà mép boong nhúng nước hoặc 15° , lấy góc nào nhỏ hơn.

4.3. Tay đòn nghiêng l_{w1} (m) được lấy cố định cho mọi góc nghiêng và tính theo công thức:

$$l_{w1} = \frac{p_v A z_v}{1000 g \Delta}$$

trong đó: $p_v = 504$ Pa – áp lực gió.

z_v – tay đòn hứng gió là đoạn thẳng đứng đo từ tâm hứng gió tới tâm diện tích hình chiếu phần chìm của thân tàu lên mặt đối xứng, hoặc gần đúng tới nửa chiều chìm của tàu.

A – diện tích hứng gió, (m^2) tính theo 1.4.6.

Δ – lượng chiếm nước của tàu (T).

$g = 9,81$ (m/s^2)

$l_{w2} = 1,5 l_{w1}$ – tay đòn nghiêng.

4.4. Đối với các tàu cá chiều dài từ 24 mét tới 45 mét áp lực gió trong công thức 4.3 lấy theo bảng 1 phụ thuộc vào khoảng cách z từ tâm diện tích hứng gió tới đường nước (m).

4.5. Biên độ chòng chành của tàu hông tròn (độ) tính theo công thức:

$$\theta_{tr} = 109X_1X_2\sqrt{rS}$$

trong đó: X_1, X_2 – hệ số lấy theo bảng 10/2.3 và 10/2.4 Quy phạm ổn định của Việt Nam:

$$r = 0,73 + 0,6 \frac{(z_s - d)}{d}$$

S – hệ số lấy theo bảng 2 phụ thuộc vào chu kỳ chòng chành T (giây)

$$T = 2CB/\sqrt{h}$$

trong đó: $C = 0,373 + 0,023 \frac{B}{d} - 0,043 \frac{L}{100}$

Bảng 1. Áp lực gió đối với tàu cá (chiều dài 24 m đến 45 m)

Z (m)	1	2	3	4	5	≥ 6
p_v (Pa)	316	386	429	460	485	504

Bảng 2. Hệ số S

T (giây)	≤ 6	7	8	12	14	16	18	≥ 20
S	0,10	0,098	0,093	0,065	0,053	0,044	0,038	0,035

4.6. Đối với tàu có vây hông, biên độ chòng chành θ_{2r} xác định theo 2.1.3.2 Quy phạm ổn định của Việt Nam.

4.7. Biên độ chòng chành của tàu có hông gãy góc được lấy bằng 70% biên độ chòng chành tính theo 4.5.

4.8. Biên độ chòng chành của tàu lắp thiết bị giảm chòng chành phải xác định khi không cho thiết bị giảm chòng chành làm việc.

Chương 4

TÍNH KHÔNG CHÌM

4.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Tàu vẫn đảm bảo tính nổi, tính ổn định sau khi bị tai nạn nước tràn vào một hoặc một vài khoang kín nước của tàu, đó là tính không chìm của tàu. Như vậy tàu phải đảm bảo tính nổi và tính ổn định, để có thể cứu được người, hàng hóa, tránh được ô nhiễm môi trường (những tai nạn tràn dầu do các tàu chở dầu trên thế giới gây ra trên biển đã nói lên sự quan trọng của việc đảm bảo tính không chìm của các tàu chở dầu hiện nay).

Trước hết để đảm bảo tính không chìm của tàu, người ta đã chia không gian phía dưới boong kín nước của tàu thành nhiều khoang kín nước, để đảm bảo nước phải được giới hạn trong khoang (hoặc một vài khoang trường hợp nhiều khoang bị thủng). Nhưng nếu người ta chia ra nhiều khoang kín nước quá, thì cùng một chiều dài lỗ thủng có thể gây nên thủng nhiều khoang. Nghiên cứu chia khoang như thế nào phải dựa trên kết quả nghiên cứu điều tra của nhiều lĩnh vực trong đó có việc thống kê chiều dài các lỗ thủng khi tàu bị nạn trên biển v.v.

4.2. PHÂN LOẠI CÁC KHOANG VÀ HỆ SỐ NGẬP NƯỚC

(hệ số ngập nước về thể tích, về diện tích)

– *Khoang loại một*: Nước trong khoang không thông với nước bên ngoài, mặt trên của khoang kín và nằm dưới đường nước thiết kế.

– *Khoang loại hai*: Nước trong khoang không thông bên ngoài, nhưng có mặt thoáng, ví dụ các két sau khi bị thủng nhưng đã có cách nút chặt không cho nước vào nữa.

– *Khoang loại ba*: Nước trong khoang lên xuống theo nước bên ngoài (thông bên ngoài).

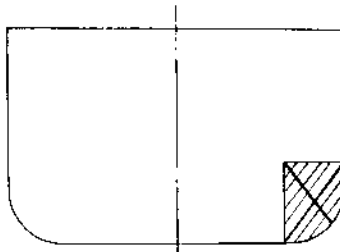
Hệ số ngập nước (về thể tích cũng như diện tích).



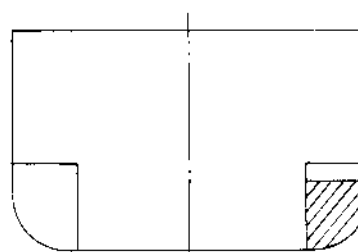
a) Một khoang bị thủng;



b) Hai khoang bị thủng.



Khoang loại 1.



Khoang loại 2.

Trong các khoang của tàu đều có các vật như hàng hoá, thiết bị, trang thiết bị sinh hoạt, nên khi khoang bị thủng, lượng nước tràn vào khoang (tính bằng thể tích) sẽ nhỏ hơn dung tích của khoang:

$$v = \mu v_t$$

v – dung tích nước vào khoang,

v_t – dung tích lý thuyết của khoang,

μ – hệ số ngập thể tích;

$$S = \mu_s \cdot S_t$$

trong đó: S_t – diện tích mặt thoáng lý thuyết của khoang,

S – diện tích mặt thoáng thực tế của khoang,

μ_s – hệ số ngập diện tích.

Tất nhiên μ và μ_s có liên quan nhất định với nhau, nhưng ta có thể giả thiết chúng độc lập với nhau. Trị số thực tế của chúng được thống kê thực tế và quyết định bởi vật liệu làm khoang, hàng hoá và cách sắp xếp trong khoang. Ví dụ:

Khoang máy, thiết bị $\mu = 0,85$

Khoang chứa thực phẩm $\mu = 0,95$

Hàng hoá trong khoang:

Hàng bao (gạo, bột mỳ, v.v...) $\mu = 0,29$

Hàng gỗ (tùng bó một) 0,24

Hàng rời: than đá, máy móc 0,65

Buồng ở $\mu = 0,85$

Khoang chở hàng lỏng 0,000

4.3. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN TƯ THẾ VÀ ỔN ĐỊNH KHI BỊ TAI NẠN

Có hai phương pháp để tính toán.

4.3.1. PHƯƠNG PHÁP NHẬN THÊM HÀNG LỎNG

Lúc đó lượng chiếm nước D , trọng tâm của tàu $G (x_G, y_G, z_G)$, tâm nổi (x_c, y_c, z_c) sẽ thay đổi và dẫn đến tính nổi và ổn định sẽ thay đổi.

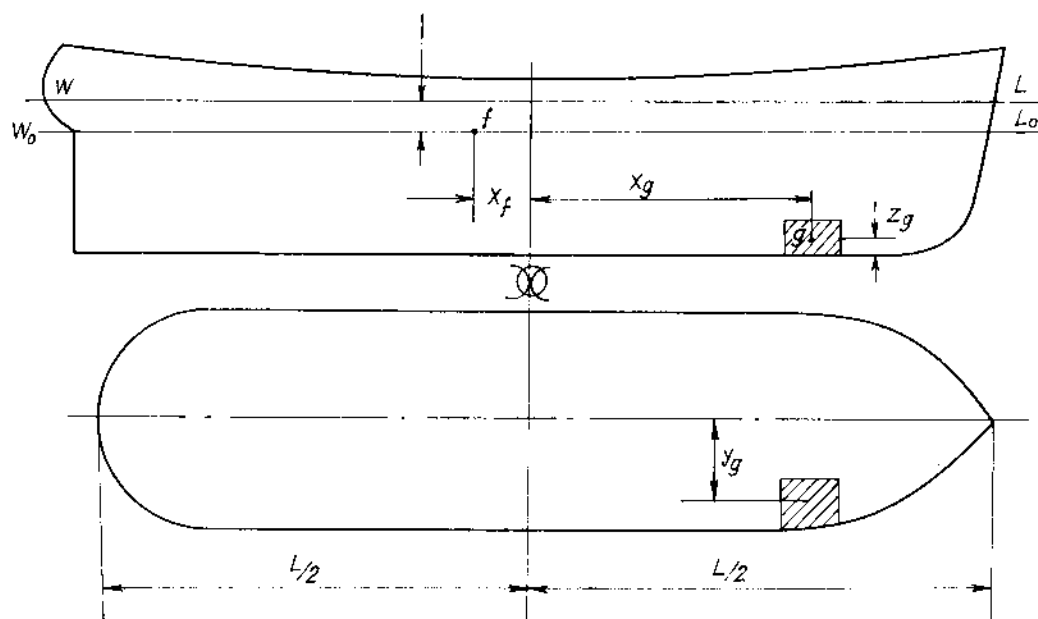
Đối với khoang loại 1, 2 ta sử dụng phương pháp này để xử lý là tốt nhất.

Tính tư thế và ổn định của tàu sau khi bị nạn theo phương pháp nhận hàng lỏng.

Trước hết ta phải có một số giả thiết:

- 1) Số lượng nước vào trong khoang so với lượng chiếm nước là nhỏ;
- 2) Trong phạm vi thay đổi của mớn nước, thành tàu là thành thẳng đứng, việc này đảm bảo các đường nước không thay đổi;
- 3) Trọng tâm của khối nước vào khoang thủng là trọng tâm của khoang;
- 4) Để đơn giản việc tính toán ta giả thiết

$$\mu_s = \mu$$



Hình 4.1.

Trước lúc tàu xảy ra tai nạn, tàu có:

Lượng chiếm nước của tàu $D_{tấn}$;

Mớn nước của tàu T ; trong đó mớn nước mũi T_m ; mớn nước lái T_l ;

Diện tích đường nước S_2 ; trọng tâm đường nước ở $f(x_f, O, z_g)$;

Trọng tâm khoang bị thủng ở điểm $g(x_g, y_g, z_g)$; dung tích khoang v_t ; hệ số ngập nước μ . Thể tích nước tràn vào khoang v ; trọng lượng nước tràn vào p , trọng lượng riêng của nước γ ; mômen quán tính thực tế của mặt thoáng khoang i_B và i_L ; mômen quán tính tương ứng của mặt thoáng khoang (chưa xét đến hệ số ngập diện tích μ) i_{xt} và i_{yt} , $i_B = i_{Bt} \cdot \mu$ và $i_L = i_{Lt} \cdot \mu$.

Sau khi nước vào khoang ta có:

1. Trọng lượng nước vào khoang: $p = \gamma v = \gamma v_t \cdot \mu$ (4.1)

2. Lượng tăng mớn nước: $\Delta T_n = \frac{p}{\gamma S_2}$ (4.2)

3. Chiều cao ổn định ngang ban đầu mới:

$$\overline{G_u m_u} = \overline{Gm} + \frac{p}{D+p} \left(T + \frac{\Delta T_n}{2} - z_g - \overline{Gm} \right) \quad (4.3)$$

Trường hợp nước không vào hết khoang, ta phải xét đến diện tích mặt thoáng của khoang thủng:

$$\overline{G_u m_u} = \overline{Gm} + \frac{p}{D+p} \left(T + \frac{\Delta T_n}{2} - z_g - \overline{Gm} \right) - \frac{\gamma i_B}{D+p} \quad (4.4)$$

trong đó $i_B = i_{Bt} \cdot \mu$, $\overline{G_u m_u}$. Chiều cao ổn định ngang ban đầu sau khi khoang thủng.

4. Chiều cao ổn định dọc ban đầu mới:

$$\overline{G_u M_u} = \overline{GM} \cdot \frac{D}{D+p} \quad (4.5)$$

$\overline{GM}$ chiều cao ổn định dọc ban đầu trước lúc nước vào khoang.

Ở đây ta bỏ qua ảnh hưởng của mặt thoáng khoang thủng đối với chiều cao ổn định dọc ban đầu.

5. Góc nghiêng ngang θ :

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{P y_g}{(D+p) \overline{G_u m_u}} \quad (4.6)$$

6. Góc chúi ψ :

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{p(x_g - x_f)}{(D+p) \overline{GM_L}} \quad (4.7)$$

7. Tương tự ta có thể tính được tăng lượng mớn nước ở mũi và lái:

$$\Delta Tm_u = \left(\frac{L}{2} - x_f \right) \frac{p(x_g - x_f)}{D \cdot GM} \quad (4.8)$$

$$\Delta Tl_u = \left(-\frac{L}{2} - x_f \right) \frac{p(x_g - x_f)}{D \cdot GM}.$$

8. Mòn nước mũi lái sau khi nước vào khoang (đã xét đến chúi).

$$\left. \begin{aligned} \text{Mòn nước mũi } Tm_u &= T_m + \Delta T_n + \Delta Tm_u = T_n + \frac{p}{\gamma S_z} + \left(\frac{L}{2} - x_f \right) \frac{p(x_g - x_f)}{D \cdot GM} \\ \text{Mòn nước lái } Tl_u &= T_l + \Delta T_n + \Delta Tl_u = T_l + \frac{p}{\gamma S_z} + \left(-\frac{L}{2} - x_f \right) \frac{p(x_g - x_f)}{D \cdot GM} \end{aligned} \right\} \quad (4.8a)$$

4.3.2. TÍNH TỰ THỂ VÀ ỔN ĐỊNH CỦA TÀU SAU KHI BỊ TAI NẠN THEO PHƯƠNG PHÁP TỔN THẤT SỨC NỔI

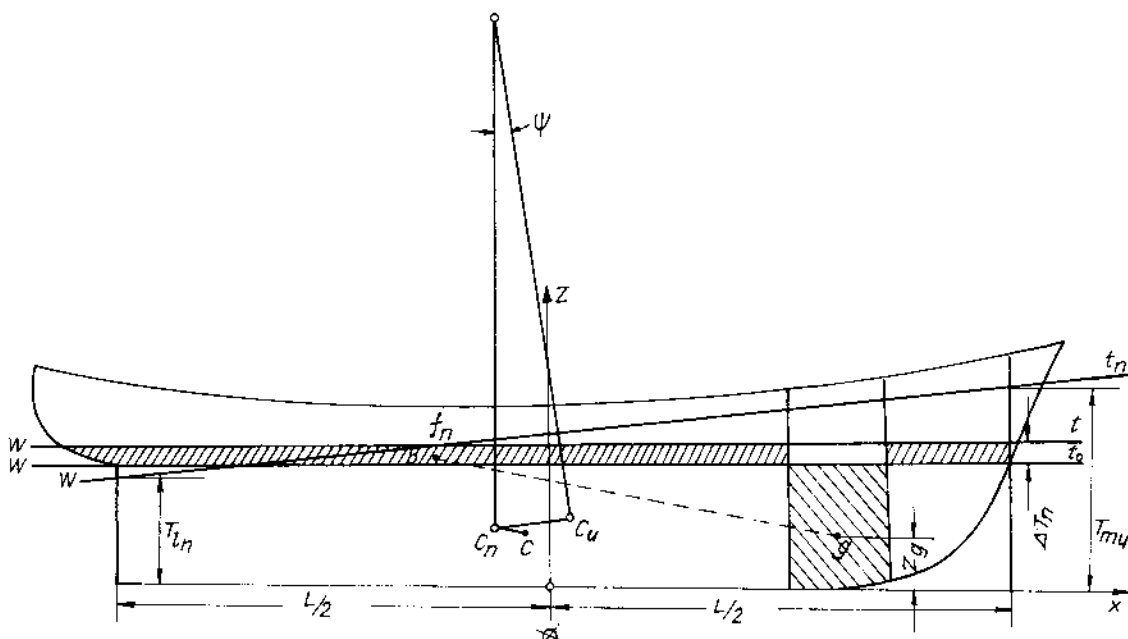
Phương pháp tổn thất sức nổi thích hợp cho trường hợp nước vào khoang loại ba khi mà mức nước trong khoang ngang với mức nước bên ngoài và mặt nước trong khoang cũng nghiêng theo tàu.

- Lượng chiếm nước của tàu D , trọng tâm của tâm G không thay đổi,
- Khoang bị nước vào có dung tích v_t , nhưng trong khoang có thể có hàng hoá thiết bị nên lực nổi bị tổn thất sẽ nhỏ hơn v_t , $v = \mu v_t$;
- Để bổ sung lượng chiếm nước bị tổn thất, tàu phải chìm xuống ΔT_n tới đường nước WL_n . Một phần diện tích của đường nước WL_n mất tác dụng do nước vào khoang và các yếu tố tương ứng cũng như vậy I_{Bn} và I_{Ln} trọng tâm của đường nước chuyển sang $f_n (x_{fn}, y_{fn}, z_{fn})$ mà trước khi nước vào khoang nó ở f (hình 4.2a).
- Sự thay đổi của khối nước hình thành lực nổi ứng với WL_n , khiến tâm nổi từ C chuyển tới C_n , sở dĩ có việc di chuyển đó là do sự di chuyển của lực nổi mất đi $v_t \mu$ từ g chuyển đến B (hình 4.2). Cũng như ta đã nói trước kia, điểm B nằm giữa tầng nước có chiều dày ΔT_n và cùng chiều đứng với trọng tâm đường nước mới f_n (trọng tâm của WL_n).
- Sự giảm sút (do nước vào khoang) của mômen quán tính ngang I_{Bn} và I_{Ln} khi $V = \text{const}$ sẽ dẫn đến giảm bán kính ổn định ngang và dọc:

$$r_{Bn} = \frac{I_{Bn}}{C_n m_n} = \frac{I_{Bn}}{V} \quad \text{và} \quad r_{Ln} = \frac{I_{Ln}}{C_n M_n} = \frac{I_{Ln}}{V};$$

- Sự di chuyển đi lên của tâm nổi và sự giảm sút của bán kính ổn định ngang và dọc ban đầu sẽ ảnh hưởng đến ổn định (giảm xuống) của tàu;

– Việc di chuyển tâm nổi trong lúc trọng tâm của tàu không đổi sẽ tạo thành một mômen gây nghiêng ngang và chúi. Lượng và chiều của mômen đó sẽ quyết định bởi vị trí và khối lượng của khoang bị nước vào. Bạn đọc lưu ý rằng C_n là vị trí tâm nổi khi nước vào khoang, nhưng chưa xét đến chúi, nếu xét đến chúi (vì khoang bị thủng ở phía trước), nên tàu bị chúi mũi đến WL_{tn} và tâm nổi sẽ chuyển từ C_n đến C_u .



Hình 4.2.

Để tính toán tư thế và ổn định mới, ta cần phải có đường hình dáng của tàu cũng như các đường cong thủy tĩnh của tàu.

Giả thiết khoang bị thủng là không lớn, và việc dẫn ra các công thức dưới đây để tính tư thế tàu, cũng trên cơ sở những giả thiết ở mục 4.3.1, ta còn giả thiết thêm, theo hình 4.2a, diện tích mặt thoáng trong khoang bị thủng có trọng tâm ở A (x_A, y_A, z_A), với diện tích mặt thoáng (tự do) $f_z = f_x \cdot \mu$. Vì quá trình dẫn giải vô cùng phức tạp, nên ở đây chỉ đưa ra kết quả cuối cùng.

Sau khi nước vào khoang vì bị thủng, ta có:

1. Lượng tăng môn nước ΔT_n :

$$\Delta T_n = \frac{\mu v_t}{S_z - \mu f_z} = \frac{v}{S_z - f_z} \quad (4.9)$$

2. Chiều cao ổn định ngang ban đầu sau khi khoang thủng:

$$\overline{Gm}_n = \overline{Gm} + \frac{v}{V} \left(T + \frac{\Delta T_n}{2} - z_g \right) - \frac{i_B + f_z \cdot y_A^2}{V} \quad (4.10)$$

3. Góc nghiêng θ :

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{v(y_{fn} - y_g)}{V \overline{Gm}_n} \quad (4.11)$$

4. Chiều cao ổn định dọc sau khi khoang thủng:

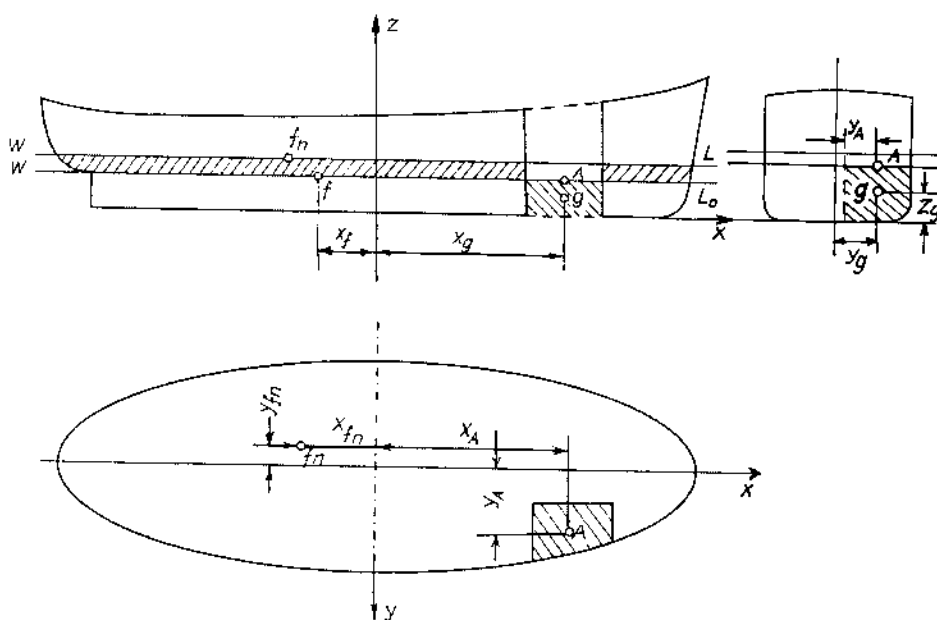
$$\overline{GM}_n = \overline{GM} - \frac{i_L + f_z (f_{fn} - x_A)^2}{V} \quad (4.12)$$

5. Góc chúi:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{v(x_{sn} - x_g)}{V \overline{GM}_n}$$

6. Lượng tăng mớn nước lái:

$$\Delta t_{lu} = \left(-\frac{L}{2} - x_{sn} \right) \operatorname{tg} \psi \quad (4.13)$$



Hình 4.2a.

7. Lượng tăng mớn nước ở mũi:

$$\Delta T_{mu} = \left(\frac{L}{2} - x_{sn} \right) \text{tg}\psi \quad (4.14)$$

8. Mớn nước sau khi xảy ra tai nạn:

$$T_{mu} = T_m + \Delta T_n + \Delta T_{mu} \quad (4.15)$$

$$T_{lu} = T_l + \Delta T_n + \Delta T_{lu} \quad (4.16)$$

Trong các công thức từ (4.9) đến (4.16) các ký hiệu sau đây:

v, f_{zt}, x_e, y_e – dựa vào đường hình dáng của tàu;

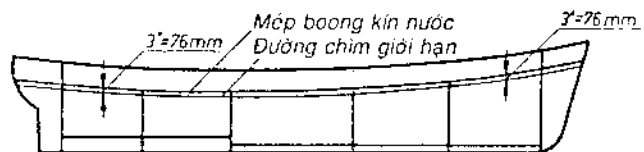
S_z, x_f – diện tích và trọng tâm đường nước được tính từ đường nước có mớn nước là T (trước khi xảy ra tai nạn);

x_{sn}, y_{sn} – diện tích tính theo công thức:

$$x_{sn} = \frac{x_f S_z - x_A f_z}{S_z - f_z}; \quad y_{sn} = \frac{y_A f_z}{S_z - f_z}$$

4.4. ĐƯỜNG CONG CHIỀU DÀI GIỚI HẠN KHOANG VÀ PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN XÂY DỰNG ĐƯỜNG CONG ĐÓ

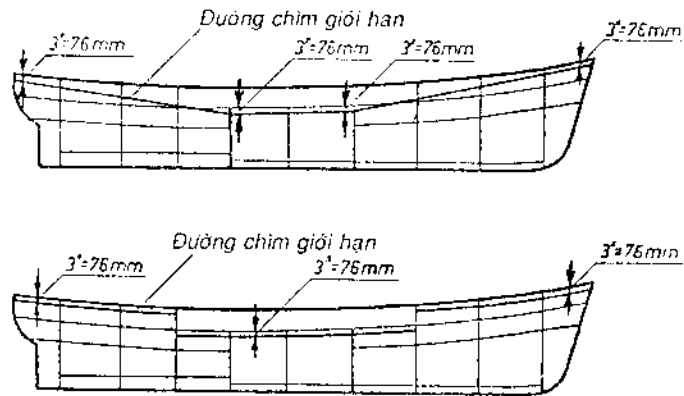
Như đã trình bày ở đầu chương 4, để đảm bảo tính chống chìm, trên tàu phải bố trí các vách ngang kín nước để đảm bảo khi 1 khoang bị thủng, nước không chảy sang khoang khác. Chiều cao của các vách kín nước đó phải cao hơn mớn nước tai nạn. Thông thường các vách ngang kín nước đó phải tới boong kín nước. Khi xảy ra tai nạn, đường nước (hoặc bất kỳ điểm nào của đường nước đó) phải nằm dưới mép boong kín nước một khoảng cách. Tổ chức an toàn hàng hải (IMO) qui định khoảng cách đó bằng 3”



Hình 4.3.

(3 inch) = 76 mm. Đường cong song song với đường mép boong và cách đều 76 mm gọi là đường chìm giới hạn, có nghĩa là bất kỳ đường nước tai nạn nào cũng chỉ được tiếp tuyến với đường chìm giới hạn, không thể cắt với đường chìm giới hạn đó.

Trên hình 4.3 thể hiện đường boong kín nước và đường chìm giới hạn, nhưng trong thực tế do yêu cầu của sử dụng, kết cấu nhiều lúc boong kín nước không phải là đường cong liên tục như hình 4.3 mà là đường gãy khúc, trường hợp đó đường chìm giới hạn cũng sẽ là một đường gãy khúc song song với đường mép boong như hình 4.4.

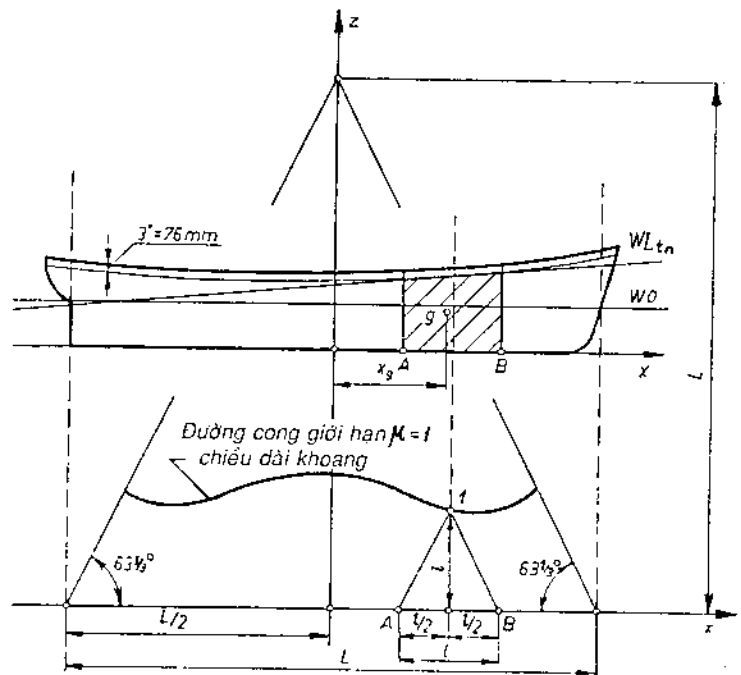


Hình 4.4. Đường chìm giới hạn của loại tàu cổ điển.

Đường nước tai nạn là đường nước cân bằng của tàu sau khi nước vào khoang, đường nước đó tiếp tuyến với đường chìm giới hạn.

4.4.1. ĐƯỜNG CONG GIỚI HẠN CHIỀU DÀI KHOANG

Đường cong giới hạn chiều dài khoang là đường cong trải theo chiều dài L , mà bất kỳ một điểm nào trên đường cong đó, ví dụ điểm 1 trên hình 4.5, thì tung độ của 1 sẽ đại biểu chiều dài l là chiều dài tối đa của khoang kín nước (được chia đều trên trục hoành đối xứng với hoành độ của điểm 1, $\frac{l}{2}$ và $-\frac{l}{2}$) mà khi nước vào đầy khoang thì đường nước bên ngoài tàu sẽ là đường nước tai nạn WL_{tn} ; như đã chỉ rõ trên hình 4.5.

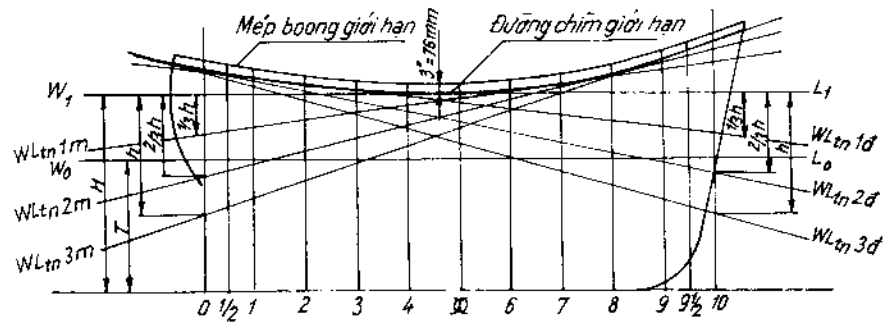


Hình 4.5.

4.4.2. PHƯƠNG PHÁP XÂY DỰNG ĐƯỜNG CONG CHIỀU DÀI GIỚI HẠN KHOANG

Trong mục nhỏ này ta sẽ trình bày một thuật toán để xây dựng đường cong chiều dài giới hạn khoang, trình tự xây dựng như sau:

1. Xây dựng đường cong Bonjean của tàu.
2. Chọn các đường nước tai nạn. Số lượng và phân bố đường nước tai nạn thế nào để các điểm được tính toán trên đồng cong chiều dài khoang giới hạn được rải đều trên trục hoành. Theo giáo sư Stalinski (Ba Lan) thì nên chọn 7 đường, 3 phía mũi, 3 phía lái và một đường tiếp xúc với điểm thấp nhất đường chìm giới hạn (thường là điểm ở $\varnothing$) như trên hình 4.6.



Hình 4.6.

Trị số h trên hình 4.6 được tính theo:

$$h = 1,6H - 1,5T$$

3. Tính thể tích ngập V_i dưới đường nước WL_{tni} :

$$V_i = \int_{-L/2}^{L/2} \omega_i dx \quad (4.17)$$

Mômen của thể tích ngập V_i đối với mặt yoz:

$$M_{yzi} = \int_{-L/2}^{L/2} \omega_i x_i dx \quad (4.18)$$

Để tính gần đúng (4.17) và (4.18) ta có thể lập bảng tính sau đây:

Sườn số 1 №	Diện tích sườn dưới WL_{tn} , ω_i	$K_i \omega_i$	i	$K_i \omega_i \cdot i$
0	ω_0	ω_0	5	
1/2	$\omega_{\frac{1}{2}}$	$2\omega_{\frac{1}{2}}$	$\frac{4}{2}$	
1			$\vdots$	
5	ω_5	$4\omega_5$	0	

$9\frac{1}{2}$ 10	ω_{10}	$\frac{1}{2}\omega_{10}$ $\Sigma K_i \omega_i$	$4\frac{1}{2}$ 5	$\Sigma K_i \omega_i$
$V_i = \frac{\Delta L}{2} \Sigma K_i \omega_i$		$M_i = \frac{\Delta L^2}{2} \Sigma K_i \omega_i$		

4. Tính nước vào khoang khiến mớn nước ngoài tàu (mạn) đạt WL_{tni} và trọng tâm khoang đó x_i :

$$V_i = V_i - V_o; \quad (4.19)$$

$$x_i \approx \frac{M_{yzi} - V_o \cdot x_c}{V_i - V_o} \quad (4.20)$$

Lần lượt tính cho tất cả các trường hợp WL_{tn} (ở đây ta chọn 7 đường) và vẽ lên hình $v_i = f(x_i)$ như trên hình 4.7.

5. Xây dựng diện tích mặt cắt ngang tới đường chìm giới hạn ω_s , vẽ đường cong $\omega_s = \omega_s(x)$ trên hình 4.7 và xây dựng đường cong tích phân $V_x = f(x)$;

$$V_x = \int_{-L/2}^x \omega_s \cdot dx = V_x(x) \quad (4.21)$$

Kết quả tính toán cùng vẽ trên hình 4.7.

Ta cũng có thể dùng bảng để tính gần đúng biểu thức (4.21).

Bảng tính $V_x(x)$

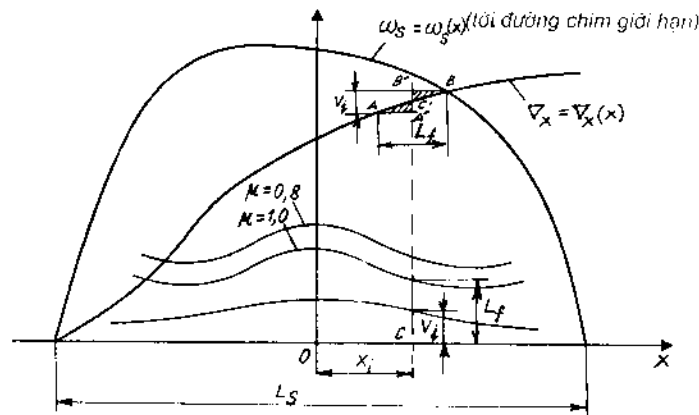
Sườn số N ^o	Diện tích sườn dưới ωL_{tn} ω_i	Cộng từng đôi và cộng dồn Σ	$V_i = \frac{\Delta L}{2} \Sigma$
0	ω_0	— 0	
1	ω_1	$\omega_0 + \omega_1$	
2	ω_2	$\omega_0 + 2\omega_1 + \omega_2$	
.	.	.	
.	.	.	
20	ω_{20}	$\omega_0 + 2\omega_1 + 2\omega_2 + \dots + \omega_{20}$	

6. Tìm chiều dài khoang giới hạn l_{gh} có dung tích khoang V_i và trọng tâm khoang x_i bằng phương pháp đồ giải trên hình 4.7. Sau đây là lý giải của quá trình đồ giải:

- 1) Giả thiết để tàu có thể chìm tới đường nước tại nạn ωL_{tni} , cần có một lượng nước vào khoang v_i (theo 4.19) và trọng tâm khoang x_i (theo 4.20). Trên hình

4.7 ta lấy hoành độ x_i và lấy tung độ v_i (nối 7 điểm của 7 đường nước tai nạn), ta có $v_i = f(x)$.

- 2) Từ điểm $C(x_i, 0)$ ta vẽ đường vuông góc với trục hoành gặp đường cong $V_x = V_x(x)$ tại điểm C' . Trên đường cong $V_x = V_x(x)$ ta tìm 2 điểm A' và B' làm sao để diện tích $\triangle AA'C' =$ diện tích $\triangle BB'C'$ với điều kiện $A'B' = v_i$, thì khoảng cách AB đo theo đường song song với trục hoành l_f sẽ là giới hạn chiều dài khoang. Thuật toán vừa trình bày vẫn là dạng gần đúng và trong quá trình tìm chiều dài khoang giới hạn ta đã giả thiết, điểm tiếp tuyến giữa đường nước tai nạn và đường chìm giới hạn có hoành độ bằng x_i .



Hình 4.7.

Pháp đồ giải trên hình 4.7. Sau đây là lý giải của quá trình đồ giải:

1. Giả thiết để tàu có thể chìm tới đường nước tai nạn ωL_{tai} , cần có một lượng nước vào khoang v_i (theo 4.19) và trọng tâm khoang x_i (theo 4.20). Trên hình 4.7 ta lấy hoành độ x_i và lấy tung độ v_i (nối 7 điểm của 7 đường nước tai nạn, ta có $v_i = f(x)$).

2. Từ điểm $C(x_i, 0)$ ta vẽ đường vuông góc với trục hoành độ và gặp đường cong $V_x = V_x(x)$ tại điểm C' . Trên đường cong $V_x = V_x(x)$ ta tìm 2 điểm A' và B' làm sao để diện tích $\triangle AA'C' =$ diện tích $\triangle BB'C'$ với điều kiện $A'B' = v_i$, thì khoảng cách AB theo đường song song với trục hoành l_f sẽ là giới hạn chiều dài khoang. Thuật toán vừa trình bày vẫn là dạng gần đúng và trong quá trình tìm chiều dài khoang giới hạn ta đã giả thiết, điểm tiếp tuyến giữa đường nước tai nạn và đường chìm giới hạn có hoành độ bằng x_i .

Chương 5

HẠ THỦY

5.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Đưa tàu từ trên bờ xuống nước sau khi đóng xong, gọi là hạ thủy, thông thường hạ thủy được tiến hành trên đà (triền nghiêng).

Người ta chia hạ thủy ra làm hai loại:

- Hạ thủy dọc, dùng cho tàu biển;
- Hạ thủy ngang, dùng cho tàu sông, hoặc tàu nhỏ. Ở nước ta, Nhà máy đóng tàu Hạ Long (do nước Cộng hoà Nhân dân Ba Lan giúp đỡ xây dựng) có một hệ thống hạ thủy ngang khá hoàn chỉnh hiện đại.

Hạ thủy dọc có những nhược điểm sau:

1. Phải gia cố nền đà vì áp lực nén lớn trên nền.
2. Trong khi hạ thủy gây nên áp lực trên các kết cấu của tàu, tàu bị uốn bổ sung.
3. Yêu cầu có mặt bằng nước đủ rộng (cả đủ sâu) cho việc hạ thủy, chiều dài ít nhất bằng $2 \div 2,5$ lần chiều dài tàu.

Chính những nhược điểm này khiến người ta tìm cách tiến hành hạ thủy ngang nếu được. Lễ hạ thủy là ngày hội lớn của người đóng tàu, có sự tham gia của nhiều quan chức các cấp, ở đâu cũng tổ chức rất long trọng, nhưng công việc chính của lễ hạ thủy lại chỉ xảy ra trong 40 – 60 giây khi hạ thủy dọc, và 12 giây (cũng có trường hợp lâu hơn) khi hạ thủy ngang. Phải tính toán thật cẩn thận và chuẩn bị thật chu đáo để không xảy ra sự cố, ví dụ tàu nằm ì trên đà không chịu xuống nước, hoặc xảy ra hư hại tàu hoặc khung trượt. Việc hạ thủy an toàn nhất được tiến hành khi tàu được đóng trong âu khô hoặc âu nổi, khi đóng xong người ta đóng cửa âu và bơm nước vào cho tàu nổi lên và mở cửa để kéo tàu ra. Nhưng không phải nhà máy nào cũng có âu khô, âu nổi.

5.2. HẠ THỦY DỌC

5.2.1. CÔNG VIỆC CHUẨN BỊ HẠ THỦY

Khi đóng tàu trên đà người ta đặt tàu vuông góc với bờ sông, lái tàu hướng về bờ sông, vì sức nâng (nổi) của phía lái tàu lớn khi tàu bắt đầu chớm nước, ngoài ra làm

như vậy lái sẽ được bảo vệ tốt hơn khi hạ thủy. Bộ phận cố định trên đà thường là hai đường trượt để cho tàu và khung trượt khi hạ thủy. Đường trượt thường có độ dốc 1:12 đến 1:24, hẳn hủ cũng có trường hợp đà cong có đường kính 5.000 ~ 15.000 m, gặp trường hợp áp lực trên đường trượt lớn quá phải làm 3 đường trượt để giảm áp lực, nhưng khó điều chỉnh sự cân bằng khi kê kích. Trước khi hạ thủy người ta dùng mỡ bò bôi lên mặt đường trượt để giảm ma sát, ở các nước công nghiệp, người ta dùng mỡ công nghiệp.

5.2.2. QUÁ TRÌNH HẠ THỦY

Hạ thủy được chia làm các giai đoạn sau đây:

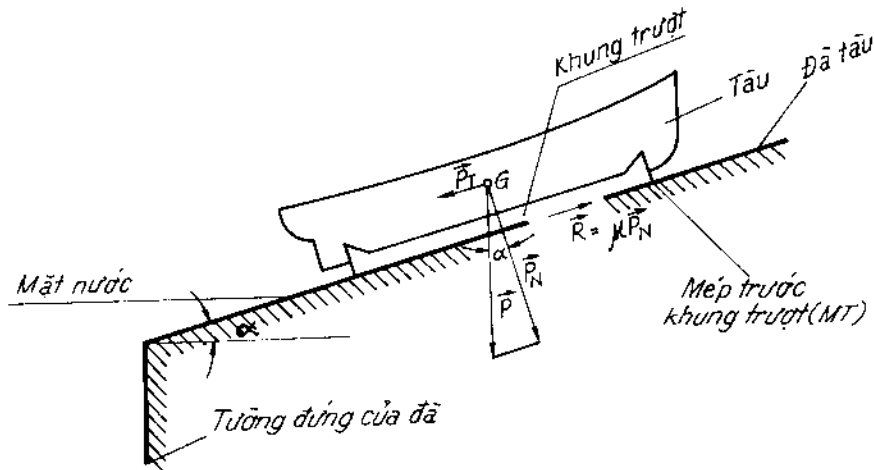
Giai đoạn I. Tính từ lúc bỏ tời hãm cho tới lúc vỏ tàu bắt đầu chạm nước;

Giai đoạn II. Từ lúc kết thúc giai đoạn I cho tới lúc tàu quay quanh mép trước khung trượt;

Giai đoạn III. Khi bắt đầu quay cho đến lúc tàu hoàn toàn nổi;

Giai đoạn IV. Từ khi tàu nổi hoàn toàn cho đến lúc tàu dừng hẳn.

Để mô tả quá trình hạ thủy ta có thể xem hình 5.1.



Hình 5.1.

Trong giai đoạn I, trên tàu có hai lực tác dụng:

1) Lực $\vec{P}_T$ song song với đường trượt:

$$P_T = P \sin \alpha,$$

trong đó P – trọng lượng tàu hạ thủy cộng trọng lượng khung trượt;

α – góc nghiêng dọc của đường trượt.

2) Lực ma sát $\vec{R}$:

$$R = \mu P_N = \mu P \cos \alpha$$

trong đó: μ – hệ số ma sát giữa khung trượt và đường trượt;

P_N – phân lực nén vuông góc với đường trượt.

Trong hai lực trên; lực P_T đẩy tàu và khung trượt xuống nước,

lực R chống lại sự vận động của tàu.

Tàu có thể chuyển động được khi $P_T > R$

$$\text{hoặc } P \sin \alpha > \mu P \cos \alpha$$

$$\text{hay là } \operatorname{tg} \alpha > \mu.$$

Thật khó mà xác định chi tiết hệ số ma sát giữa khung và đường trượt μ , vì giá trị của μ không những chỉ phụ thuộc vào thành phần chất bôi trơn và áp lực đè lên đường trượt, mà còn phụ thuộc vào các nhân tố khác ví dụ nhiệt độ môi trường, mà các nhân tố này chúng ta không thể khống chế được. Thông số của hệ số bôi trơn được trình bày trên bảng 5.1.

Bảng 5.1. Giá trị hệ số bôi trơn giữa khung và đường trượt

Trạng thái tàu	Áp lực bình quân lên chất bôi trơn p [kG/m ²]	Hệ số ma sát μ
Đứng yên	–	0,04 ÷ 0,08
Vận động	10.10 ³	0,033 ÷ 0,046
	20.10 ³	0,025 ÷ 0,038
	30.10 ³	0,018 ÷ 0,030

Trong bảng trên, giá trị dưới ứng với nhiệt độ cao của môi trường.

Khi tính áp lực trên đường trượt ta giả thiết trọng lượng vỏ tàu cộng với trọng lượng khung trượt được phân bố đồng đều lên đường trượt:

$$p = \frac{P}{F}$$

P – trọng lượng của tàu và khung trượt [kG],

F – diện tích tiếp xúc giữa khung và đường trượt [m²].

Về chọn kích thước khung trượt, ta chọn áp lực quân bình trong giới hạn $p = 10 \div 10^3$ [kG/m²]; chọn áp lực quá cao sẽ làm hỏng chất bôi trơn, và làm cho tàu không trượt được.

Hợp lực tác dụng lên khung trượt trong giai đoạn I là lực $\vec{K}$ với trị số:

$$K = P \sin \alpha - \mu P \cos \alpha = P \cos \alpha (\operatorname{tg} \alpha - \mu)$$

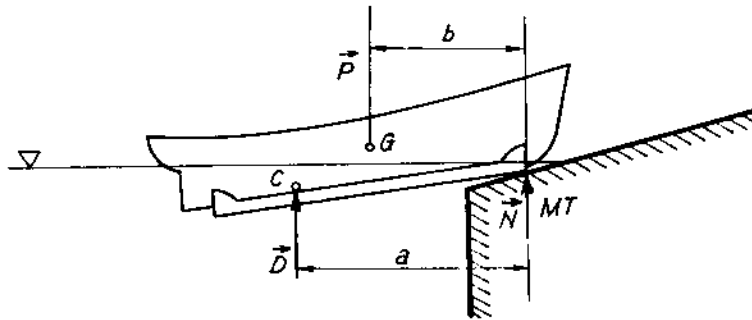
Vì α không lớn, có thể giả thiết $\cos \alpha \approx 1$. Từ đó:

$$K = P(\operatorname{tg} \alpha - \mu) \quad (5.1)$$

Vì áp lực khá lớn nên phải gia cố ~~xe~~ trượt ở đoạn cuối (MT), ở đó áp lực tập trung đạt $100 \div 110.10^3$ kG có thể phá hỏng chất bồi trơn, khiến tàu đang hạ thủy phải ngừng lại trên đường trượt, cũng với lý do kể trên người ta phải gia cường đường trượt và mặt đà ở đoạn giáp mặt nước, khoảng $15 \div 20\%$ chiều dài đường trượt, người ta cũng phải gia cường khung trượt và kết cấu đoạn mũi của tàu.

Ở giai đoạn III, điều kiện ổn định của tàu phải hết sức lưu ý vì khung trượt chỉ dựa vào điểm tựa ở mũi, khả năng chịu lực ngang rất kém, như trường hợp tàu mắc cạn. Nếu chiều sâu mức nước ở đoạn cuối đường trượt (giáp đường đứng của đà trên hình 5.1) quá cạn, thì trước lúc tàu nổi hoàn toàn, đoạn mũi sẽ chúi xuống chạm vào đường trượt hoặc đà (hình 5.4), đó là điều phải kiểm tra kỹ khi tính toán hạ thủy.

Giai đoạn thứ IV kéo dài từ thời điểm khung trượt rời đường trượt tới lúc tàu dừng lại trên nước. Trong thời kỳ này, tàu nổi tự do và đi tiếp được một đoạn nữa do động năng được tích tụ ở trong thời gian trước. Việc hãm tàu lại là do lực cản của nước. Trường hợp vùng nước trước đường quá hẹp, để tăng lực cản tàu người ta thả neo thêm.



Hình 5.3.

5.2.3. NHỮNG ĐIỀU KHÔNG AN TOÀN CÓ THỂ XẢY RA TRONG QUÁ TRÌNH HẠ THỦY DỤC

Khi hạ thủy dọc, hàng loạt vấn đề không an toàn sẽ uy hiếp con tàu, để tránh, chúng ta phải tính toán bổ sung và phải chứng minh được khả năng xảy ra và tìm cách để phòng ngừa. Việc mũi tàu đập vào mút đà (hoặc đường trượt) có thể xảy ra khi MT vượt tường đứng của đà trước khi tàu nổi hoàn toàn. Để chứng minh sự tồn tại của vấn đề không an toàn này, cần phải tính giá trị rơi h của điểm A (xem hình 5.4) ở mũi với công thức:

$$h = \frac{gt^2}{2} \quad (5.5)$$

trong đó g – gia tốc trọng trường = $9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$;

t – thời gian rơi tính bằng [s].

Giả thiết vận tốc hạ thủy v đồng đều trong quá trình rơi trong quãng chạy S (xem hình 5.4) (rõ ràng giả thiết này không chặt chẽ lắm) ta có:

$$t = \frac{S}{v} \quad (5.6)$$

Thay t từ (5.6) vào (5.5) ta có:

$$h = \frac{gS^2}{2v^2} \quad (5.7)$$

Vận tốc hạ thủy v ta sẽ tính theo công thức (5.15) sau đây.

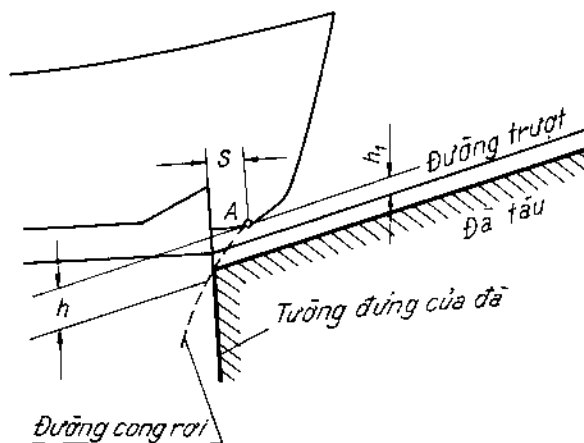
Nếu trị số h tính được nhỏ hơn khoảng cách h_1 từ điểm A tới mặt trên của đường trượt, lúc đó thì không có khả năng mũi bị va đập. Trái lại thì phải dùng một trong các cách phòng ngừa sau đây:

- 1) Dịch khung trượt về phía mũi, trong đó có MT;
- 2) Bơm đầy các kết nước dần có ở phía đuôi tàu.

Việc dịch khung trượt về phía mũi rất khó khăn vì ở gần mũi có vách mũi, ở đó có nhiều kết cấu chịu lực có thể chịu được lực tập trung trong quá trình hạ thủy, nếu dời khung trượt xa vùng vách đó, khó có thể chấp nhận được; như vậy việc bơm đầy kết nước dần về phía lái là dễ hơn, việc này làm tăng nghiêng dọc của tàu khi nổi tự do, và cũng từ đó rút ngắn thời gian hạ thủy trong giai đoạn thứ ba và làm cho MT rời đường trượt sớm hơn. Đồng thời việc áp lực tập trung trên MT giảm cũng như các mômen uốn tàu giảm xuống. Nhưng việc làm đầy các kết dần ở phía lái uy hiếp việc quay tàu quanh tường đứng của đà do việc đẩy trọng tâm tàu về phía lái (hình 5.5). Sự quay đó diễn ra khi trọng tâm đã ở phía sau tường đứng của đà, và mômen của trọng lượng tàu đối với thành đứng đà sẽ lớn hơn mômen của lực nổi cũng đối với thành đứng đà; trong trường hợp đó:

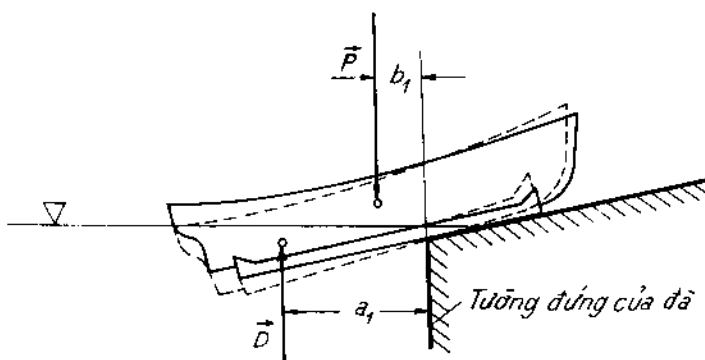
$$Pb_1 > D.a_1$$

Sự quay quanh tường đó cứ tiếp tục cho đến khi do việc chìm thêm ở lái làm cho hai mômen vừa kể cân bằng nhau. Kết quả của việc quay đó làm cho khung trượt có



Hình 5.4.

thể rời khỏi đường trượt, khiến công việc hạ thủy không tiến hành bình thường nữa. Ngoài ra, việc quay đó cũng tăng lực tập trung tại tường đứng có thể phá hoại khung trượt và cả đà ở chỗ quay, thậm chí bẻ gãy tàu. Lực tập trung quá cao có thể tăng lực cản làm cho tàu dừng hẳn trên đường trượt. Cho nên việc nghiên cứu tính toán các nguy hiểm xảy ra đối với tàu quay quanh tường đứng đà sẽ được tiến hành trong mục 5.2.4.



Hình 5.5.

Nguy hiểm tương tự có thể xảy ra trong trường hợp độ sâu quá bé ở tường đứng, gây nên bởi đoạn dưới nước của đường trượt quá ngắn, hoặc mức nước xuống quá (nước thủy triều). Cũng với lý do đó nên người ta chọn ngày thủy triều lên cao làm ngày hạ thủy.

Khả năng tàu bị hãm trên đường trượt lớn nhất xảy ra trong giai đoạn thứ ba, khi quay quanh MT với áp lực tập trung lớn tại MT lên đường trượt. Cũng có thể giảm áp lực đó bằng tăng chênh lệch môn nước về phía lái.

Việc không an toàn do áp lực tập trung lớn tại MT lên đường trượt cũng trong giai đoạn hạ thủy thứ hai, khi đuôi tàu chạm nước mà không nhận được lực nổi đủ lớn, làm đuôi treo trên thành đứng. Để khắc phục hiện tượng này ta phải kéo dài đường trượt để tăng lực nổi, hoặc gia cường phần đuôi nhất là phần đáy.

5.2.4. TÍNH TOÁN THỦY TĨNH KHI HẠ THỦY

Để loại trừ sự mất an toàn đối với tàu trong quá trình hạ thủy, ta phải tính các đặc trưng thủy tĩnh ứng với các vị trí tàu trên đường trượt. Ngoài ra phải tính tải trọng tác dụng trên đường trượt và khung trượt.

Việc tính toán được bắt đầu khi vỏ tàu chạm nước, tức là bắt đầu giai đoạn thứ hai của quá trình hạ thủy. Tính toán trên đường cong Bonjean bằng cách vẽ 4 ~ 5 đường nước có góc nghiêng dọc (so với mặt nước tĩnh) một góc nghiêng dọc của đà α , như trên hình 5.6. Ta phải tính được thể tích chiếm nước V dưới đường WL và tâm nổi C . Để thuận tiện cho việc sắp xếp ta vẽ các đường WL đi qua giao điểm giữa đường chuẩn và mặt cắt ngang (đường sườn lý thuyết) ví dụ các điểm 4, 6, 8, 10 trên hình 5.6.

Khoảng cách từ tâm nổi C đến MT a tính bằng:

$$a = L' - x_{Ac} \quad (5.8)$$

Lúc tính phải tính cả thể tích và tâm nổi của khung trượt.

Đường đi của tàu trên đường trượt S tính theo công thức sau đây:

$$S = S_0 + \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha} - l \quad (5.9)$$

trong đó: S_0 – đoạn đường khô của mép trước trên đường trượt;

h – chiều cao khung trượt [m];

l – chiều dài từ mép trước tới điểm gặp nước của mặt trên của khung trượt xem hình 5.7;

α – góc nghiêng của đà trượt.

Trên cơ sở tính toán có thể vẽ các đường cong trên hình 5.11.

1) Đường cong $\bar{D} = \gamma V$;

2) Mômen $\bar{D}_a$ đối với MT;

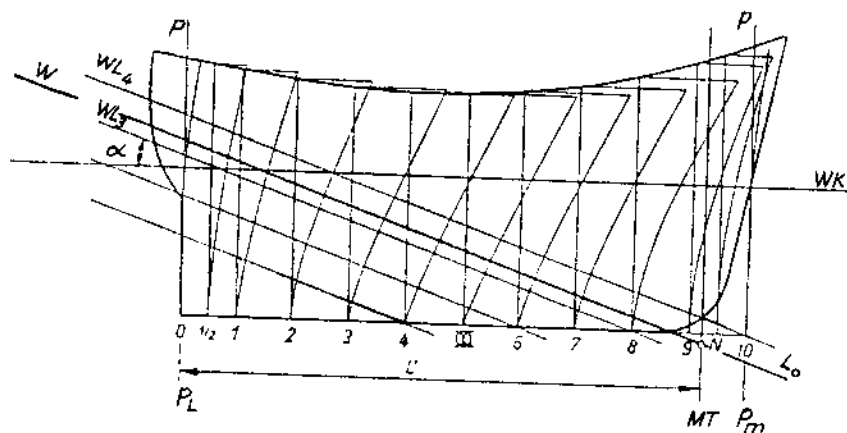
3) Mômen trọng lượng $\bar{D}_b = \text{const}$ đối với MT.

Điểm cắt giữa đường cong $\bar{D}_a$ và đường thẳng $\bar{P}_b$ là điểm quay quanh MT và kết thúc giai đoạn thứ II của hạ thủy.

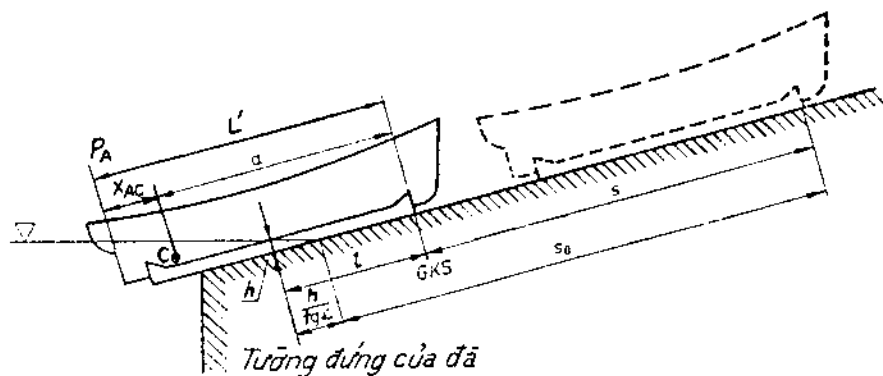
Việc tính toán ở giai đoạn thứ III của hạ thủy cũng tiến hành dựa vào đường cong Bonjean. Ta đã biết WL_0 ứng với thời điểm quay quanh MT và WL_p khi tàu hoàn toàn nổi. Các đường nước WL ứng với các thời điểm khác trong giai đoạn III sẽ nằm kẹp giữa WL_0 và WL_p (xem hình 5.8). Trên đường thẳng đứng xuất phát từ MT, ta chia đoạn MN ra làm 3 phần bằng nhau và qua hai điểm I và II ta dẫn 2 chùm đường nước, ví dụ mỗi chùm 4 đường nước, một đường song song với PL_0 , một đường song song với PL_p , còn lại 2 đường nữa thì chia đều góc kẹp như trên hình 5.8. Sau đó dùng một trong những phương pháp tính toán gần đúng đối với mỗi một đường nước của 2 chùm đường nước đó, trị số thể tích dưới nước V và mômen Va đối với MT và nhân với tỷ trọng nước γ những số liệu có được ta sẽ có $\bar{D}$ và $\bar{D}_a$ đối với MT. Để có được số liệu chính xác hơn ta có thể chọn 3 chùm đường nước thay cho 2 chùm, trong trường hợp đó mỗi chùm chỉ cần vẽ 3 đường nước.

Để xác định vị trí tuần tự di chuyển trên đường trượt, ta phải vẽ thêm hình 5.9, trên tọa độ vuông góc đó ta lấy kết quả tính lực nổi $\bar{D}$ và mômen $\bar{D}_a$ đối với MT là hàm số của trị số chúi và ta vẽ các đường cong đối với điểm I và II. Vì trong giai đoạn thứ III phải luôn luôn thỏa mãn phương trình (5.4), bởi vậy các điểm giao cắt A' và B' của đường cong mômen lực nổi $\bar{D}_a = f(t)$ với $\bar{P}_b = \text{const}$ cho ta biết các vị trí cần tìm của tàu. Các điểm cắt A' và B' xác định trị số chúi của tàu ở các vị trí cân bằng, việc này cho phép tìm được các đường nước qua các đường nước đã vẽ qua 2 điểm I và II trên hình 5.8. Hai đường thẳng vuông góc đi qua 2 điểm A' và B' gặp đường cong lực

nổi $\bar{D} = \varphi(t)$ tại các điểm A và B; tung độ của chúng xác định trị số lực nổi ứng với các trị số chúi. Ta đưa lên hình 5.9 trị số lực nổi ở độ chúi t_0 khi tàu bắt đầu quay (điểm N), còn ứng với độ chúi t_p ở thời điểm tàu nổi tự do (điểm M). Nổi đường cong liên tục qua 4 điểm M, A, B và N ta có quá trình sự thay đổi của lực nổi phụ thuộc vào độ chúi trong quá trình hạ thủy $\bar{D} = \rho(t)$.



Hình 5.6.



Hình 5.7.

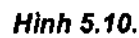
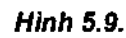
Để thấy được sự thay đổi của lực nổi nói chung, như trên hình 5.11, ta phải có được lực nổi ở các điểm chuyển giai đoạn hạ thủy. Từ hình 5.10 đường đi của tàu trên đường trượt trong thời kỳ thứ ba có thể tính theo công thức:

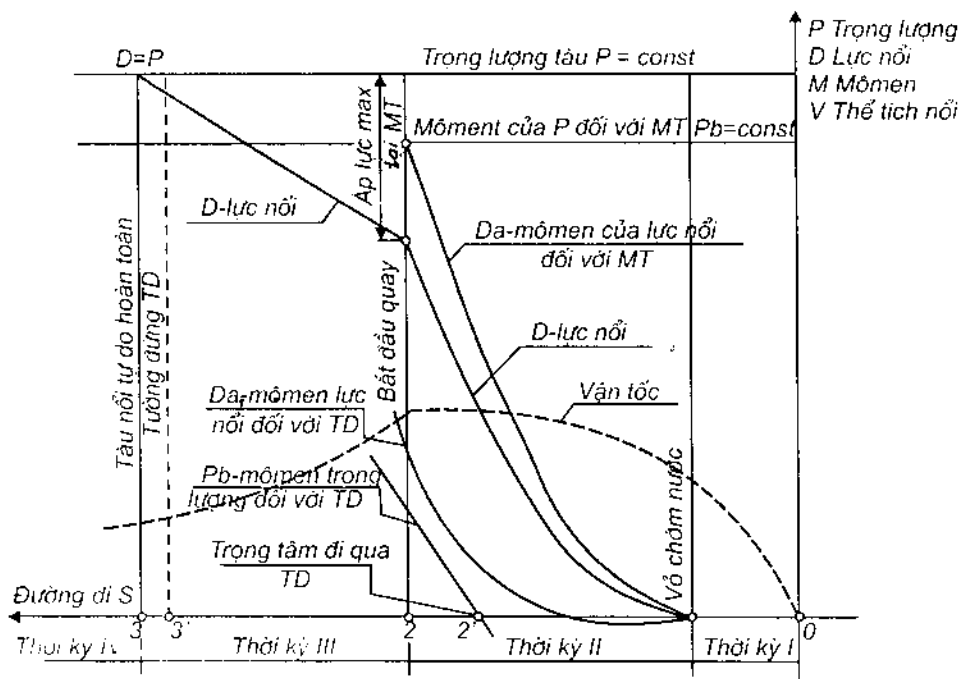
$$S = S_0 + \frac{T'}{\sin \alpha} \quad (5.10)$$

trong đó T' – khoảng cách từ mặt nước tới bờ dưới khung trượt, đo trên đường MT [m].

Qua các điểm I và II trên hình 5.8 ta sẽ vẽ tia (đường nước) với độ chúi môn nước tương ứng với điểm A và B trên hình 5.9. Đối với các tia (đường nước) đó, cùng với WL_0 và WL_p , ta tìm trị số T' trên bản vẽ hạ thủy và dùng biểu thức (5.10) ta sẽ tính được

144





Hình 5.11.

Ta chuyển từng cặp lực nâng $\vec{D}$ và đường đi qua S ứng với trị số chủi t lên trên hình 5.11, chúng ta sẽ có đường cong mối quan hệ giữa lực nổi và đường đi qua S trong giai đoạn thứ III của hạ thủy.

Như ta thấy trên hình 5.11, đường cong lực nâng tăng từ O khi tàu chạm nước cho tới khi đạt tới $D = P$. Hiệu số giữa $P = \text{const}$ và đường cong lực nổi, chính là lực nén trên khung trượt. Trong giai đoạn II, lực nén đó phân bố trên toàn bộ bề mặt tiếp xúc giữa khung và đường trượt. Trong giai đoạn III, lực nén thành lực tập trung tác dụng trên MT và nó đạt trị số cực đại khi tàu bắt đầu quay quanh MT.

Nếu ở thời điểm MT đi qua TD (tường đứng đà), lực này nhỏ hơn trọng lượng (như đã trình bày trên 5.11 điểm 3'), lúc đó tàu sẽ bị "rơi" từ mép tường đứng trước lúc nổi hoàn toàn. Ta nói trong trường hợp đó tàu "gật chào", mũi tàu có khả năng va vào TD, và ta phải tính toán cẩn thận việc xảy ra hiện tượng đó như đã trình bày trong mục (5.2.3) để tránh.

Để nghiên cứu tình huống tàu, có quay xung quanh TD (mục 5.2.3) hay không trong giai đoạn II lúc hạ thủy (xem lại hình 5.5), ta phải xem lại hai mômen: $\vec{Pb}_1$, đây là một đường thẳng xuất phát từ điểm 2' trên trục hoành, và đường cong $\vec{D}_a$ (đối với TD) nếu hai đường không gặp nhau thì sẽ không xảy ra hiện tượng tàu quay quanh TD. Trong trường hợp xảy ra thì phải đẩy trọng tâm G về phía mũi tàu.

5.2.5. TÍNH VẬN TỐC KHI HẠ THỦY

Cho đến nay ta vẫn giả thiết, sự hạ thủy là quá trình tĩnh, nhưng trong thực tế, dưới tác dụng của các lực, tàu sẽ nhận được gia tốc tùy theo vào thời điểm trong quá trình hạ thủy. Vận tốc tàu lúc hạ thủy có thể đạt tới 8 m/s.

Ở giai đoạn I, vận tốc hạ thủy tức thời của tàu v [m/s] có thể tính nếu biết được đường đi qua của tàu S [m] với giả thiết rằng, hợp lực tác dụng lên tàu khi hạ thủy trên đà tính theo công thức (5.1) nếu không thay đổi, thì sự vận động của tàu trong thời gian này là tốc độ tăng dần theo thời gian:

$$v = bt \quad (5.11)$$

trong đó b – gia tốc của tàu [m/s^2];

t – thời gian tàu đã đi qua [s];

Quãng đường đi qua S sẽ tính theo công thức:

$$S = \frac{bt^2}{2}$$

Từ đó:

$$v = \sqrt{2bS} \quad (5.12)$$

Gia tốc của tàu có thể từ phương trình Newton:

$$K = mb = \frac{P}{g} b$$

trong đó: m – khối lượng của tàu và khung trượt [$\text{kG s}^2/\text{m}$];

g – gia tốc trọng trường = 9,81 [m/s^2].

Từ đó, ta thay K trong (5.1) và được:

$$b = \frac{Kg}{P} = g \frac{P(\text{tg}\alpha - \mu)}{P} = g(\text{tg}\alpha - \mu) \quad (5.13)$$

Trong thời kỳ thứ II và thứ III trong công thức (5.13) phải xét đến lực nổi tăng lên, và ta sẽ có:

$$b = g \frac{(P - D)(\text{tg}\alpha - \mu)}{P} = g \frac{N}{P} (\text{tg}\alpha - \mu) \quad (5.14)$$

Trong công thức trên chưa xét đến ảnh hưởng của lực cản nước, do đó chưa xét đến ảnh hưởng của chúng đến gia tốc. Giá trị lực N có thể tính tại mỗi vị trí của tàu từ công thức (5.12), ta có thể tính được đường cong gia tốc là hàm của quãng đường MT đi.

Vận tốc tức thời của tàu trong giai đoạn thứ III và IV được biểu thị bằng công thức:

$$v = \sqrt{2 \sum_{i=1}^n b_i \Delta S}$$

trong đó $\sum_{i=1}^n b_i \Delta S$ đối với đường đi S, ta tính như diện tích được giới hạn bởi trục tọa độ và đường cong gia tốc, được xác định S tăng từ 0 trên cơ sở các công thức (5.13) và (5.14) và số liệu S.

Từ công thức (5.14) ta thấy việc tính gia tốc b vô cùng phức tạp vì phụ thuộc vào $\bar{N}$, $\bar{N}$ lại phụ thuộc vào lực nâng $\bar{D}$ và μ cũng phụ thuộc vào $\bar{N}$. Vì thế ở đây chỉ giới thiệu sơ lược còn khi tính toán ở các Nhà máy đóng tàu phải tính toán chi tiết hơn nhiều.

Sau khi tàu xuống đà (TD) tốc độ của tàu sẽ giảm dần do lực cản của nước. Thông thường người ta còn dùng neo để hãm tàu. Ở những nơi mà vùng phía trước đà tàu quá hẹp người ta còn gắn các thiết bị để hãm tàu khi hạ thủy.

Kết quả tính toán vận tốc tàu khi hạ thủy phụ thuộc vào đường đi S thể hiện trên hình 5.11.

5.3. HẠ THỦY NGANG

Hạ thủy ngang được dùng từ lâu ở các nhà máy đóng tàu sông, gần đây cũng có nhà máy đóng tàu biển dùng phương pháp hạ thủy này. Khoảng cách các đường trượt ngang khoảng 8 ÷ 10 m, đối với tàu nhỏ thì dùng 5 ÷ 6 m; độ dốc từ 1:5 đến 1:18, cũng có nơi dùng đường cong với bán kính từ 1500 ÷ 2500 m.

Thời gian hạ thủy ngang ngắn hơn khi hạ thủy dọc nhiều, thường chỉ mấy giây đến mấy chục giây. Ở đây chỉ giới thiệu một loại hạ thủy trên đường trượt có thành thẳng đứng, như hình 5.12. Mặt trên của nút cuối của đường trượt có thể cách mặt nước tới 2,5 m, nhưng thường chỉ mấy chục cm.

Quá trình hạ thủy ngang có thể chia làm 4 giai đoạn:

Giai đoạn I từ lúc nhả tời hãm tới lúc khung trượt bắt đầu quay quanh thành đứng đà.

Giai đoạn II từ lúc khung trượt quay tới lúc tàu (vỏ tàu) chạm nước.

Giai đoạn III từ lúc vỏ tàu chạm nước tới lúc mép trên khung trượt rời khỏi đà.

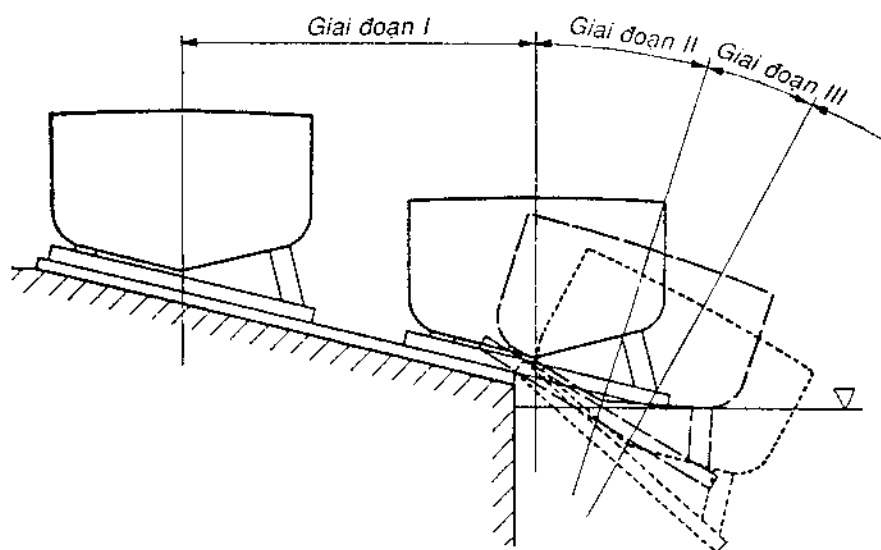
Giai đoạn IV tàu nổi tự do hoàn toàn.

Góc quay của xe trượt quanh thành đứng có thể đạt tới 35° hoặc hơn nữa.

Các giai đoạn hạ thủy ngang xem hình 5.12.

Ở giai đoạn I, người ta muốn tàu chuyển nhanh xuống nước, nhưng cũng không nên vượt quá $6 \div 7 \text{ m/s}$ vì sợ sự va đập lớn đối với tàu khi quay ở giai đoạn II.

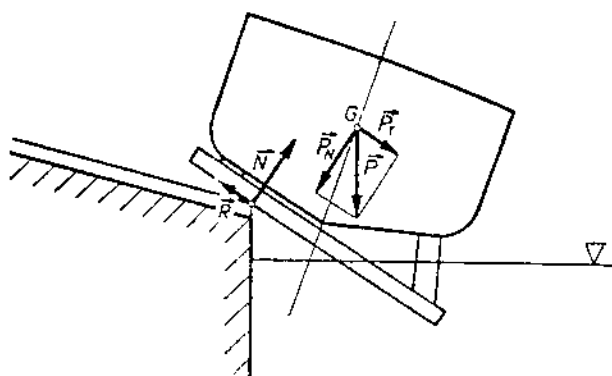
Ở giai đoạn II, các lực tác dụng như trên hình 5.13, những lực này làm tăng tàu quay ra phía phải.



Hình 5.12.

Ở giai đoạn III, từ khi vỏ tàu chạm nước tới lúc khung trượt rơi xuống nước, ngoài các lực kể trên còn lực nâng $\vec{D}$ và lực cản $\vec{R}_w$ (hình 5.14), do đó phản lực $\vec{N}$

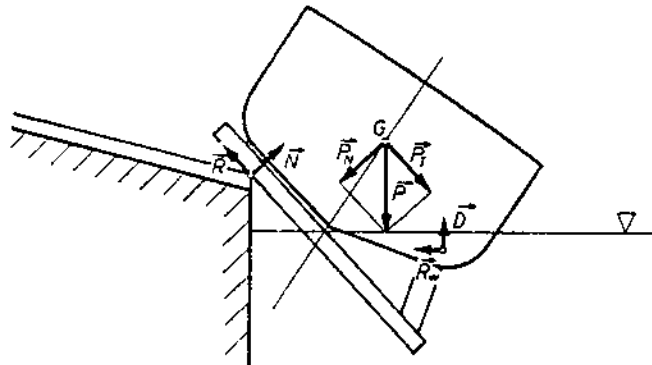
và mômen nghiêng cũng giảm dần, làm cho tốc độ nghiêng sẽ giảm, tuy nhiên góc nghiêng vẫn tiếp tục tăng. Khi mép trên của khung trượt rơi xuống nước thì lực $\vec{N}$ mất đột ngột và tàu trở lại thể đứng (không nghiêng ngang), có lúc làm mép trước va đập với thành đứng đà. Khi mép trước của khung rơi xuống nước coi như tàu bị rơi, tàu sẽ chìm hơn khi nổi thông thường, cho nên phải có dự trữ 50 – 60% chiều sâu nước thông thường.



Hình 5.13.

Khi hạ thủy ngang, trường hợp xấu nhất là tàu xuống nước không đều, tàu sẽ không song song với bờ nước, có thể dẫn đến hỏng các bộ phận hãm đường trượt và hỏng cả kết cấu tàu. Gặp trường hợp này thì phải điều chỉnh lại các đường trượt.

Khi tàu có góc nghiêng ngang quá lớn dẫn đến không an toàn, thì nên bố trí dầm ở đáy để đảm bảo độ ổn định của tàu đủ cao, để đảm bảo an toàn khi hạ thủy.



Hình 5.14.

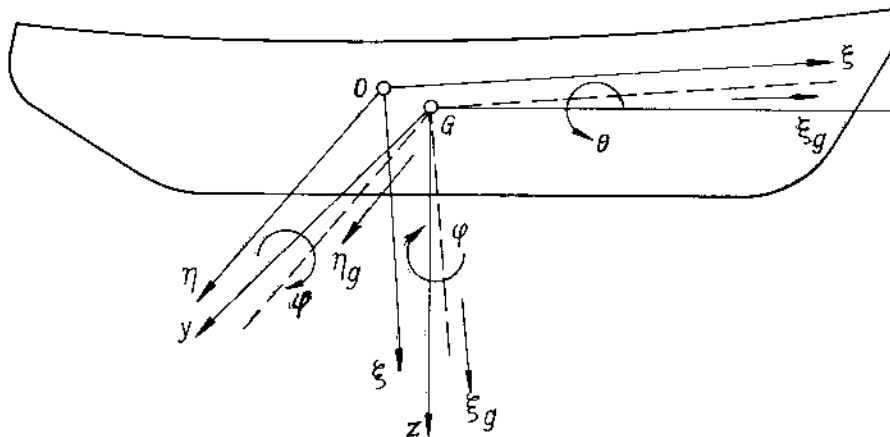
Chương 6

LẮC CỦA TÀU

6.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Từ chương 1 – 5 ta nghiên cứu tĩnh học của tàu. Trong chương này ta nghiên cứu động và động lực học của tàu. Sự vận động cũng như các lực tác dụng lên tàu (ngoại lực cũng như lực do sự vận động của tàu gây nên) đều gắn chặt với thời gian.

Trong lý thuyết tàu, tàu coi như vật thể cứng vận động trên biển, có 6 độ tự do trong đó 3 vận động tuyến tính và 3 chuyển động góc. Vận động tuyến tính của ξ , η và z đối với hệ tọa độ cố định trong không gian $O\xi$, $O\eta$ và Oz và 3 chuyển động góc θ , ψ và φ quay quanh 3 trục Gx , Gy và Gz gắn chặt với tàu. Ở trạng thái cân bằng ban đầu hai hệ tọa độ hoàn toàn trùng nhau (xem hình 6.1).



Hình 6.1.

Trong sáu sự vận động trên, chỉ có ba sự vận động quanh trục Gx , Gy và thẳng đứng theo trục Oz là sự vận động có chu kỳ quanh vị trí thẳng bằng ban đầu của tàu và chỉ có 3 sự vận động đó mới có lực (hoặc mômen) hồi phục, đó là:

Sự vận động của tàu quay quanh trục Gx , tức lắc ngang của tàu $\theta \geq 0$;

Sự vận động của tàu quay quanh trục Gy , tức lắc dọc của tàu $\psi \geq 0$;

Vận động của G dọc theo trục Oz , tức dập dềnh của tàu $z_G \geq 0$.

Ba sự vận động này có ảnh hưởng lớn đến tính năng của con tàu, dễ quan sát thấy nhất là lắc ngang của tàu khi chạy ngang sóng, biên độ lắc ngang lớn là một nguyên nhân quan trọng gây nên lật tàu vì sóng + gió sẽ dẫn đến hệ số an toàn ổn định của tàu giảm xuống rõ rệt, lắc dọc và dập dềnh, nhất là khi tàu chạy ngược sóng là nguyên nhân chủ yếu gây tổn thất vận tốc của tàu khi chạy trong sóng, cũng như gây nước tràn lên mặt boong, đặc biệt nguy hiểm là hiện tượng dập mũi trên sóng khi tàu chạy ngược sóng (Slaming). Nói chung lắc trên sóng của tàu gây mất an toàn cho hành khách, đặc biệt làm khó chịu cho hành khách khi đại bộ phận khách bị say sóng trong những ngày đầu tiên trong hành trình đi biển của các tàu khách lớn. Lắc cũng làm xê dịch hàng hoá, đặc biệt các container đặt trên boong lộ thiên, tóm lại giảm bớt lắc trên tàu làm cho tàu trở nên êm dịu trên biển là chỉ tiêu tính đi biển cao của tàu khách ngày nay.

Phương trình tổng hợp để mô tả sự vận động điều hoà của vật thể là:

$$S = S_m \sin(\omega_s t + \delta_s) \quad (6.1)$$

trong đó: S – lượng chuyển dịch từ vị trí thẳng bằng tới vị trí tức thời của vật thể đang dao động;

S_m – biên độ dao động của vật thể;

$\omega_s = \frac{2\pi}{\tau_s}$ – tần số dao động, tỷ lệ nghịch với chu kỳ dao động;

δ_s – pha của dao động.

Vận tốc và gia tốc của sự vận động điều hoà được tính theo:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= \omega_s S_m \cos(\omega_s t + \delta_s) \\ \frac{d^2S}{dt^2} &= -\omega_s^2 S_m \sin(\omega_s t + \delta_s) \end{aligned} \right\} \quad (6.2)$$

Từ đó ta thấy tần số ω_s (hoặc chu kỳ) đặc trưng nhịp độ của dao động, mà trị số $\omega_s^2 = \left(\frac{2\pi}{\tau_s}\right)^2$ đặc trưng cho sự tác động quán tính lên vật thể.

6.2. PHÂN LOẠI CÁC LỰC TÁC DỤNG LÊN TÀU KHI LẮC, PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CỦA DAO ĐỘNG

Trên tàu đang lắc có nhiều lực và mômen tác dụng, trong đó có trọng lực, lực quán tính và lực thủy động tác dụng lên phần ngâm nước của vỏ tàu. Sau này ta vẫn giả thiết trọng lực (trọng lượng của tàu) sẽ được cân bằng bởi lực nổi Ácsimét như khi tàu cân bằng tĩnh.

Lực quán tính của tàu cũng tương tự như bất kỳ vật thể nào dao động theo phương trình 6.1. Nếu ta giả thiết, các loại dao động đều độc lập thì:

$$Z_{qt} = -\frac{D}{g} \frac{d^2 z_g}{dt^2}; M_{xqt} = I_x \frac{d^2 \theta}{dt^2}; M_{yqt} = I_y \frac{d^2 \psi}{dt^2}; \quad (6.3)$$

Trong đó $\frac{D}{g}$, $I_x = \frac{D}{g} r_x^2$; $I_y = \frac{D}{g} r_y^2$ là khối lượng và mômen quán tính trọng lượng đối với G_x , G_y . Còn r_x và r_y là bán kính quán tính của tàu đối với các trục tương ứng. Khi xác định lực thủy động học tác dụng lên tàu ta giả thiết, lắc của tàu tuân trọng qui luật tuyến tính, có nghĩa là chuyển dịch của tàu khỏi vị trí cân bằng là rất bé. Trên cơ sở đó ta chia lực thủy động ra các thành phần sau đây:

6.2.1. NHỮNG LỰC PHỤC HỒI (THỦY TÍNH) ĐẶC TRƯNG CHO XU THẾ TÀU TRỞ VỀ VỊ TRÍ CÂN BẰNG BAN ĐẦU

Sự phát sinh các lực này là do sự thay đổi lượng và hình dáng của khối nước tàu choán, và tỷ lệ tuyến tính với chuyển vị của tàu, cụ thể:

$$\text{Dập dềnh} \quad Z_s = -K_s \zeta_g; \quad M_{xs} = -K_\theta \theta; \quad M_{ys} = -K_\psi \psi \quad (6.4)$$

Trong công thức trên M_{xs} – mômen phục hồi của tàu lắc ngang;

M_{ys} – mômen phục hồi của tàu lắc dọc.

Lực thủy động bản chất phi quán tính (hay là lực cản và suy giảm).

Khi tàu dao động hình thành sóng nước và do độ nhớt của nước hệ sóng đó sẽ gây nên dòng xoáy. Tương tự như trên, nếu dao động có biên độ bé, thì giữa lực cản và vận tốc sẽ có quan hệ tuyến tính:

$$Z'_d = -N_z \frac{d\zeta_g}{dt}; \quad M'_{xd} = -N_\theta \frac{d\theta}{dt};$$

$$M'_{yd} = -N_\psi \frac{d\psi}{dt}. \quad (6.5)$$

Z'_d – lực cản khi tàu dập dềnh;

M'_{xd} – lực cản khi tàu lắc ngang;

M'_{yd} – lực cản khi tàu lắc dọc.

6.2.2. LỰC THỦY ĐỘNG BẢN CHẤT QUÁN TÍNH

Khi tàu dao động, động năng của tàu luôn luôn thay đổi, sự thay đổi động năng đó sẽ truyền cho các phân tử của lớp nước chung quanh phần ngâm nước của vỏ tàu, đó là lớp nước có tên là khối nước kèm. Khối nước kèm này sẽ vận động theo tàu. Như vậy, giống như đối với lực quán tính khác ta có:

$$Z''_d = -\lambda_\zeta \frac{d^2 \zeta_g}{dt^2} ; \quad M''_{xd} = -\lambda_\theta \frac{d^2 \theta}{dt^2} ; \quad M''_{yd} = -\lambda_\psi \frac{d^2 \psi}{dt^2} \quad (6.6)$$

trong đó: Z''_d – lực quán tính của khối nước kèm khi tàu dập dềnh;

M''_{xd} – mômen quán tính của khối nước kèm khi tàu lắc ngang;

M''_{yd} – mômen quán tính của khối nước kèm khi tàu lắc dọc.

6.2.3. NGOẠI LỰC

Diễn hình nhất là sóng biển, hoặc một nguồn năng lượng khác nào, sẽ truyền năng lượng cho tàu, đó là nguồn gây nên dao động của tàu. Rõ ràng các lực đó là hàm số của thời gian:

$$Z_w = Z_w t ; \quad M_{wx} = M_{wx}(t) ; \quad M_{wy} = M_{wy}(t) \quad (6.7)$$

trong đó Z_w – ngoại lực tác dụng gây nên dập dềnh;

Z_{xw} – ngoại lực tác dụng gây nên lắc ngang;

Z_{yw} – ngoại lực tác dụng gây nên lắc dọc.

Những lực và mômen đã kể từ (6.3) đến (6.7) sẽ tham gia vào các vế của các phương trình vi phân của dao động tàu, các phương trình đó sẽ xác định chuyển dịch, vận tốc, gia tốc của dao động. Ví dụ, đối với lắc ngang của tàu ta có:

$$(I_x + \lambda_\theta) \frac{d^2 \theta}{dt^2} + N_\theta \frac{d\theta}{dt} + K_\theta \cdot \theta = M_{xw}(t) \quad (6.8)$$

Để so sánh các sự vận động của tàu ta có thể tham khảo bảng 6.1 sau đây:

Bảng 6.1. So sánh các phương thức vận động của tàu

Hệ tọa độ	Phương thức vận động của tàu	Lực phục hồi	Suy giảm	Quán tính nước kèm Quán tính của tàu	Chu kỳ vận động
Trục ξ	Tịnh tiến: tiến lùi	không	nhỏ	nhỏ	không
η	Tịnh tiến: dạt ngang	không	lớn	lớn	không
ζ	Tịnh tiến: dập dềnh	lớn	lớn	lớn	có (ngắn)
x	Quay quanh trục x có chu kỳ: lắc ngang	nhỏ	nhỏ	nhỏ	có (dài)
y	Quay quanh trục y có chu kỳ: lắc dọc	lớn	lớn	lớn	có (ngắn)
z	Quay quanh trục z : vây mũi	không	lớn	lớn	không

6.3. LẮC NGANG TỰ DO TRÊN NƯỚC TĨNH HAY LÀ LẮC TỰ NHIÊN

Khi có một ngoại lực (hoặc mômen) tác dụng, tàu sẽ nghiêng ngang một góc θ_1 , nếu có một lý do nào đấy ngoại lực không còn, nhưng do có thế năng tàu sẽ quay về thế thăng bằng (vị trí thăng bằng) ban đầu, nhưng khi tới vị trí thăng bằng ban đầu, động năng của tàu đã đạt tới trị số lớn nhất, do đó tàu sẽ tiếp tục nghiêng về phía ngược lại, nếu không có lực cản thì tàu sẽ tới góc θ_2 ($-\theta_1$) đến lúc đó tuy động năng của tàu đã tiêu hết, thế năng của tàu đã tới cực trị, tàu lại quay về vị trí cân bằng cũ, và sự vận động tuần hoàn ấy sẽ tiếp diễn, nhưng trong thực tế $|\theta_2| < |\theta_1|$ và dao động sẽ tắt dần vì lực cản của nước đối với sự dao động của tàu. Những lực tác dụng lên tàu khi lắc ngang trên nước tĩnh cũng hoàn toàn như ta đã phân tích trong mục 6.2, chỉ có một điều, trong phương trình vi phân (6.8) không còn mômen ngoại lực tác dụng nữa, (6.8) sẽ trở thành:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + 2.v_\theta \frac{d\theta}{dt} + \omega_\theta^2 \theta = 0 \quad (6.9)$$

trong đó: v_θ – hệ số suy giảm tương đối; $v_\theta = \frac{1}{2} \frac{N_\theta}{I_x + \lambda_\theta}$;

$$\omega_\theta = \frac{2\pi}{\tau_\theta} \text{ – tần số lắc ngang tự do; } \omega_\theta^2 = \frac{Dh_\theta}{I_x + \lambda_\theta}.$$

Thông thường $v_\theta \ll \omega_\theta$ là giải chung của phương trình vi phân bậc 2 (6.9) có dạng:

$$\theta_s = e^{-v_\theta t} \theta_m \cos(\omega'_\theta t + \delta_\theta), \quad (6.10)$$

Trong đó:

$$\omega'_\theta = \sqrt{\omega_\theta^2 - v_\theta^2} \approx \omega_\theta \left(1 - \frac{1}{2} \mu_\theta^2\right)$$

sẽ không khác mấy với ω_θ vì hệ số suy giảm không thứ nguyên $\mu_\theta = \frac{v_\theta}{\omega_\theta} \ll 1$.

Từ biểu thức (6.10) ta thấy, biên độ lắc ngang tự do θ_m , phụ thuộc vào điều kiện ban đầu (khi $t = 0$) và sẽ suy giảm phụ thuộc vào hàm $e^{-v_\theta t}$, hàm số này tương trưng cho lực cản. Nhưng trong thực tế, dao động sẽ điều hoà với chu kỳ gần như không đổi ($\omega'_\theta \approx \omega_\theta = \text{const}$ hoặc $\tau_\theta = \frac{2\pi}{\omega_\theta} = \text{const}$). Chu kỳ τ_θ là một thông số quan

trọng của con tàu, trước hết nó nói lên mức độ (hay chất) của lắc ngang nếu τ_θ lớn lắc sẽ dịu, trái lại τ_θ bé, lắc gần như dật, τ_θ gắn chặt với tính đi biển của con tàu. Nếu không có bảng ghi lắc ngang của tàu hoặc của mô hình, thì có thể sử dụng các công thức tính toán gần đúng để tính τ_θ . Sau đây là một công thức loại đó.

Vì:

$$\tau_\theta = 2\pi \sqrt{\frac{I_x + \lambda_\theta}{Dh_\theta}} = \frac{2\pi r'_x}{\sqrt{gh_\theta}}$$

Nếu ta xét rằng bán kính khối lượng quán tính của tàu và lượng nước kèm là một phần của chiều rộng tàu $B(m)$ thì:

$$r'_x = \sqrt{\frac{I_x + \lambda_\theta}{D/g}} \approx c_\theta B$$

$$\text{Từ đó:} \quad \tau_\theta = \frac{2\lambda r'_x}{\sqrt{gh_\theta}} \approx 2c_\theta \frac{B}{\sqrt{h_\theta}} \quad (6.11)$$

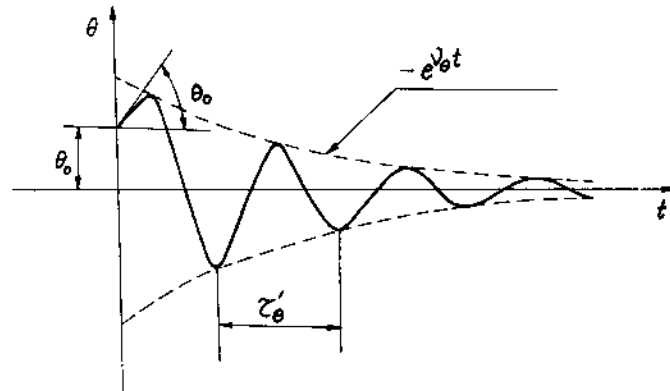
$$\text{Vì} \quad \pi \approx \sqrt{g}.$$

Hệ số kinh nghiệm $C_\theta = \frac{2r'_x}{B} \approx 0,78 + 0,82$ đối với các tàu buôn bình thường

và ít phụ thuộc vào đường hình dáng cũng như sự phân bố tải trọng của tàu. Từ công thức (6.11) ta thấy với việc giảm chiều rộng tàu B hoặc tăng chiều cao ổn định ban đầu h_θ thì chu kỳ lắc ngang tự do τ_θ sẽ giảm và dẫn tới lắc ngang của tàu sẽ dật và tác dụng của quán tính lên tàu sẽ tăng lên.

Lời giải theo biểu thức (6.10) được quyết định bởi điều kiện ban đầu của dao động. Trên hình (6.1) trình bày trường hợp lắc tự do trên nước tĩnh, với điều kiện ban đầu θ_0 và $\dot{\theta}_0$ (góc lắc θ_0 ban đầu θ_0 và tốc độ quay ban đầu $\dot{\theta}_0$). Đường bao $e^{-v_\theta t}$ là đường bao của biên độ lắc ngang tự do chu kỳ lắc τ'_θ được thể hiện trên hình 6.1, như đã nói ở trên không khác gì τ_θ mấy. Chu kỳ τ_θ theo công thức (6.11), nếu ta đo được chu kỳ lắc tự do τ_θ của tàu trên biển thì ta sẽ biết được chiều cao ổn định ban

đầu h_0 của con tàu. Đây là điều cực kỳ quan trọng trong ngành hàng hải, vì h_0 sẽ quyết định rất nhiều sự an toàn của con tàu trên biển.



Hình 6.1*

Trên bảng 6.2 trình bày chu kỳ lắc tự nhiên của một số tàu để tham khảo:

Bảng 6.2. Chu kỳ lắc tự nhiên của một số tàu

Loại tàu	Phạm vi chu kỳ lắc tự nhiên τ_θ
Tàu khách: $\Delta = 10.000 - 30.000$ tấn	16 ~ 20 giây
$\Delta = 1.000 - 10.000$ tấn	9 ~ 15 giây
$\Delta = 500 - 1.000$ tấn	6 ~ 9 giây
Tàu hàng: Tàu dầu trọng tải 20.000 ~ 45.000 tấn	11 ~ 13 giây
Tàu dầu trọng tải 5.000 ~ 20.000 tấn	9 ~ 12 giây
Tàu dầu trọng tải 1.000 ~ 5.000 tấn	7 ~ 10 giây
Tàu đánh cá (kéo lưới), tàu kéo	6 ~ 8 giây
Tàu cá có loại bé ($L < 20$ m)	4 ~ 5 giây

6.4. LẮC NGANG CỦA TÀU TRÊN SÓNG

6.4.1. MỘT VÀI KIẾN THỨC VỀ SÓNG VÀ GIÓ

Gió: Theo Tổ chức Khí tượng Quốc tế, gió được chia làm 12 cấp Bôpho, như ghi trên bảng 6.3.

Sóng: Ở đây chỉ giới thiệu sóng ở nước sâu, có hai loại: sóng do gió gây nên hình thành bởi áp lực của gió và lực ma sát giữa gió và bề mặt nước gây nên sóng, thường có chiều dài sóng ngắn. Loại thứ hai là sóng lừng, do sóng được truyền từ

vùng biển có gió lớn ở xa truyền đến. Thường sóng có chiều dài lớn và thoải, thường sóng này có dạng qui tắc. Loại trên thì phải có gió mới có sóng thường hướng gió và sóng trùng nhau, trái lại loại sóng lừng nhiều lúc không có gió nhưng vẫn có sóng, hướng gió và hướng sóng có lúc khác nhau. Sóng gió và sóng lừng có thể cộng hưởng, hai loại sóng cùng chiều hình thành một loại sóng có bước sóng dài và cao. Trường hợp nhiều lớp sóng từ nhiều hướng hợp thành sóng hình Kim tự tháp, cực kỳ nguy hiểm đối với tàu nhỏ, nhiều tàu nhỏ đã bị lật khi gặp loại sóng này.

Bảng 6.3. Cấp gió

Cấp gió	Tên	Tốc độ gió (cách mặt biển 6m) m/s		Biểu hiện của tàu	Biểu hiện ở trên đất liền
		Trong khoảng	Gió dạt		
0	Lặng gió	0 ~ 0,5	1,0	Đứng yên	Cột khói lên thẳng
1	Gió yếu	0,6 ~ 1,7	3,2	Trên tàu cá, cảm thấy lắc nhẹ	Khói theo gió, nhưng cột tiêu góc đứng yên
2	Gió nhẹ	1,8 ~ 3,3	6,2	Nếu căng buồm tàu cá có thể chạy được 2~3 km/h	Trên mặt người cảm thấy có gió, cột tiêu gió quay được
3		3,4 ~ 5,2	9,6	Tàu lắc nhẹ, có thể chạy được 5~6 km/h nếu xuôi gió	Thấy lá rung; lá cờ tung bay
4	Gió vừa	5,3 ~ 7,4	13,6	Nếu căng buồm, tàu nghiêng về một mạn	Bụi trên đường bị thổi lên
5	Gió hơi mạnh	7,5 ~ 9,8	17,8	Tàu cá phải cuốn bớt buồm	Các cành nhỏ có lá bắt đầu dao động, nước trên hồ có sóng nhỏ
6	Gió mạnh	9,9 ~ 12,4	22,2	Tàu cá thu buồm, đánh cá phải phòng nguy hiểm	Các cành lớn trên cây dao động, có tiếng reo trên cột điện, dương ô khó
7	Gió rất mạnh	12,5~15,2	26,8	Tàu cá cập bến, ngoài biển thì phải thả neo	Toàn cây nghiêng ngả, cành lớn cong, người đi bộ ngược gió rất khó
8	Gió cực mạnh	15,3~18,2	31,6	Tàu cá không rời bến	Có thể làm đổ cây rất khó đi ngược gió
9	Bão	18,3~21,5	36,7	Tàu khó hành hải	Các mái nhà nhỏ bị hư hỏng lớn
10	"	21,6~25,1	42	Tàu rất khó hành hải	Cây cối đổ, bật rễ, nhà đổ.
11	"	25,2 ~ 29	47,5	Tàu gặp bão rất nguy hiểm	Ít thấy, tổn thất lớn
12	"	> 29	53,0	Sóng bạc cực hiếm	Phá hủy nghiêm trọng

Ngành hàng hải và đóng tàu nước Anh phân trạng thái biển ra 4 cấp như trên bảng 6.4.

Bảng 6.4. Phân cấp trạng thái biển

Tên	Ký hiệu	Chiều cao sóng (m)	Vận tốc gió hải lý/giờ	Ứng với cấp gió
Biển lặng	S	0,915	0 ~ 10	0 ~ 3
Biển hơi động	M	0,915 ~ 3,05	10 ~ 25	4 ~ 6
Biển động	R	3,05 ~ 9,15	25 ~ 45	7 ~ 9
Biển động dữ dội	VR	> 9,15	< 45	> 9

Sóng hình thành trên biển là một tổ hợp của rất nhiều sóng hợp thành, thường là sóng 3 chiều, không qui tắc. Một nhà hải dương học đã từng phát biểu: “Qui luật của sóng biển là không qui luật”, câu nói đó nói lên tính phức tạp của sóng biển. Ở đây ta chỉ hạn chế nghiên cứu sóng 2 chiều, có qui tắc. Về hình dáng của sóng qui tắc, hai chiều có 4 loại: loại cosin (hoặc sin) loại sóng có chân sóng thoải, loại con lắc bầu dục, và sóng có đỉnh nhọn.

6.4.2. DÙNG PHƯƠNG TRÌNH TOÁN HỌC ĐỂ MÔ TẢ SÓNG

Ở đây chỉ trình bày tóm tắt những kết luận về lý thuyết sóng qui tắc 2 chiều.

1) Trong hệ tọa độ cố định, phương trình mô tả sóng hình sin được biểu diễn bằng biểu thức:

$$\zeta_{\omega} = r_{\omega} \cos(k_{\omega}\eta - \sigma_{\omega}t) \quad (6.12)$$

trong đó: $k_{\omega} = \frac{2\pi}{\lambda_{\omega}} = \frac{6^2}{g}$; λ_{ω} và r_{ω} là chiều dài và $\frac{1}{2}$ chiều cao sóng. Chu kỳ sóng

$$\tau_{\omega} = \frac{2\pi}{\sigma_{\omega}} = \sqrt{\frac{2\pi}{g} \lambda_{\omega}} \approx 0,8 \sqrt{\lambda_{\omega}}.$$

$$\text{Tần số vòng của sóng } \sigma_{\omega} = \sqrt{\frac{2\pi g}{\lambda_{\omega}}} \approx \frac{7,85}{\sqrt{\lambda_{\omega}}}.$$

$$\text{Tốc độ truyền sóng } C_{\omega} = \sqrt{\frac{g}{2\pi} \lambda_{\omega}} \approx 1,25 \sqrt{\lambda_{\omega}}.$$

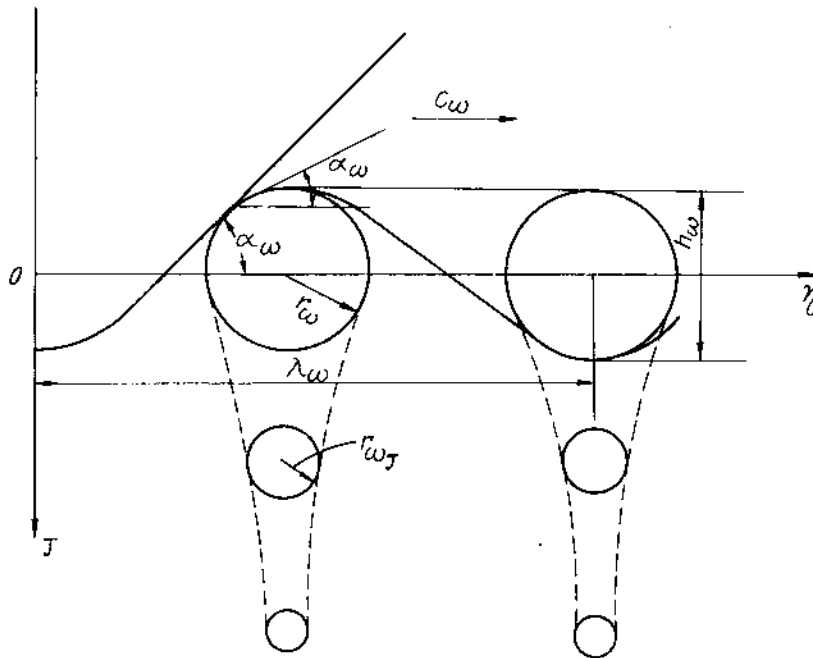
Ở đây, chiều dài tính bằng m, thời gian tính bằng giây (s). Trong phương trình (6.12) nếu lấy $t = \text{const}$, thì coi như ta chụp ảnh sóng tại một thời điểm trong không gian như trên hình 6.2.

Còn tại một điểm trong không gian thì phương trình sóng được diễn đạt bằng:

Còn góc nghiêng của sóng (góc kẹp giữa trục $O\eta$ và tiếp tuyến với mặt sóng)
 α_ω :

$$\alpha_{\omega} = \frac{\gamma \zeta_{\omega}}{\gamma \eta} = -\alpha_{\omega_0} \sin(k_{\omega} \eta - \sigma_{\omega} t) \quad (6.13)$$

trong đó $\alpha_{\omega_0} = k_{\omega} \cdot r_{\omega} = \frac{2\pi r_{\omega}}{\lambda_{\omega}}$ – góc nghiêng lớn nhất của sóng.



Hình 6.2.

Thông thường chiều cao sóng h_ω thường tính $\left(\frac{1}{20} - \frac{1}{10}\right)$ chiều dài sóng, hay dùng ký hiệu $\bar{h}_\omega = \frac{h_\omega}{\lambda_\omega} = \left(\frac{1}{20} - \frac{1}{10}\right)$.

2) Phải phân biệt tốc độ truyền sóng C_ω mà ta đã nói ở trên là tốc độ chuyển động của hình dáng sóng như cả hình sin trên hình 6.2, nó sẽ được di chuyển từ trái sang phải với vận tốc C_ω . Còn các phân tử nước tạo thành sóng bởi các phân tử được quay tròn với vận tốc góc ω , ví dụ lớp nước ngang trên bề mặt sóng sẽ vận động trên vòng tròn có bán kính r_ω , các điểm (các phân tử nước) ở các tầng ở cách mặt nước càng xa, thì bán kính vòng tròn vận động các phân tử càng bé, và đạt tới không ở đáy biển (cách mặt xa), ở đó không còn ảnh hưởng của sóng nữa. Sự suy giảm bán kính theo qui luật:

$$r_{\omega_z} = r_{\omega} e^{-k_{\omega} \zeta} \quad (6.14)$$

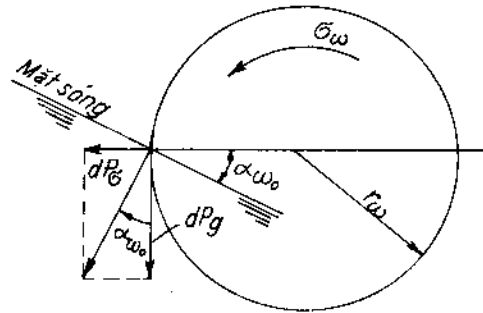
và áp lực bổ sung do vận động sóng của các phân tử nước có tỷ trọng $\gamma = \rho g$ được tính theo công thức sau đây:

$$\Delta P_{\omega} = -\gamma r_{\omega} e^{-k_{\omega} \zeta} \cos(k_{\omega} \eta - \sigma_{\omega} t) \quad (6.15)$$

Trên một phân tử (chất điểm) nước có khối lượng $dm_{\omega} = \rho dV_{\omega}$ (dV_{ω} thể tích phân tử nước) khi vận động trên sóng sẽ chịu hai lực: trọng lực $dP_g = dm_{\omega} \cdot g$ và lực quán tính ly tâm $dP_{\sigma} = dm_{\omega} \sigma_{\omega}^2 r_{\omega}$ (trên mặt $\zeta_{\omega} = 0$) (xem hình 6.3).

$$\begin{aligned} dP'_g &= \sqrt{(dP_g)^2 + (dP_{\sigma})^2} = \\ &= dP_g \sqrt{1 + \alpha_{\omega}^2} \approx dm_{\omega} \cdot g \quad (6.16) \end{aligned}$$

Có nghĩa là chẳng khác bao nhiêu trọng lực dP_g (vì $\alpha_{\omega}^2 \ll 1$; α_{ω} – góc nghiêng lớn nhất của sóng), nhưng phương tác dụng không phải thẳng đứng mà vuông góc với mặt sóng; như trên hình 6.3.



Hình 6.3. Lực tác dụng lên phân tử nước vận động theo quỹ đạo khép kín.

Năng lượng toàn bộ (thế năng và động năng) tích tụ trên một đoạn sóng có chiều dài $\lambda_{\omega} = 1$ và chiều rộng $b_{\omega} = 1$ (vuông góc với hướng truyền sóng) bằng:

$$dE_{\omega} = \frac{1}{2} \gamma r_{\omega}^2$$

Công thức trên chỉ đúng với trường hợp sóng biên độ nhỏ.

6.4.3. LẮC NGANG CỦA TÀU TRÊN SÓNG QUI TẮC

Để đơn giản vấn đề, ta giả thiết kích thước của tàu (trường hợp tàu lắc ngang trên sóng ngang, thì cụ thể là chiều rộng B , môn nước tàu T) là rất bé so với chiều dài sóng L_{ω} (và cùng với chiều cao sóng h_{ω}) vấn đề coi như lắc ngang của tàu (một điểm G). Trên tàu (xem hình 6.4) sẽ tác dụng trọng lực, nhưng do sự vận động của tàu (điểm) tác dụng vuông góc với mặt sóng (ωL_{ω}) chứ không phải vuông góc với mặt nước tĩnh ωL_{ω} , cũng tương tự như vậy, lực đẩy trong nước (có sóng) cũng vuông góc với ωL_{ω} .

Do kích thước của tàu bé so với sóng, nên góc nghiêng của mặt sóng (trong công thức (6.13)) ta có thể giả thiết $\eta = \eta_G = 0$, nghĩa là ta không xét đến dạt ngang của tàu, và tất nhiên ta cũng giả thiết sự tồn tại của tàu (điểm) không ảnh hưởng đến sóng, do đó:

$$\alpha_\omega = \alpha_{\omega_0} \sin \sigma_\omega t = -k_\omega r_\omega \sin \sigma_\omega t \quad (6.17)$$

Từ đó, mômen tác dụng trên tàu (điểm) sẽ là:

$$M_x = -Dh_0 (\theta - \alpha_\omega) = M_{x_1} + M_{x_\omega}^\circ \quad (6.18)$$

$M_{x_1} = -Dh_0 \theta$ mômen hồi phục của tàu ứng với góc nghiêng θ .

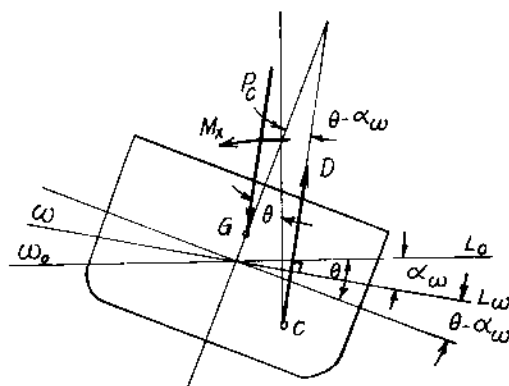
$$M_{x_\omega}^\circ = -Dh_0 \alpha_\omega = A_{x_\omega}^\circ \sin \sigma_\omega t \quad (6.19)$$

Trong đó biên độ $A_{x_\omega}^\circ = Dh_0 \alpha_{\omega_0}$ là biên độ của ngoại lực gây nhiễu, tức mômen khi góc nghiêng của sóng lớn nhất α_{ω_0} (xem hình 6.2), và $M_{x_\omega}^\circ$ là mômen ngoại lực tác dụng lên tàu (điểm) trên sóng.

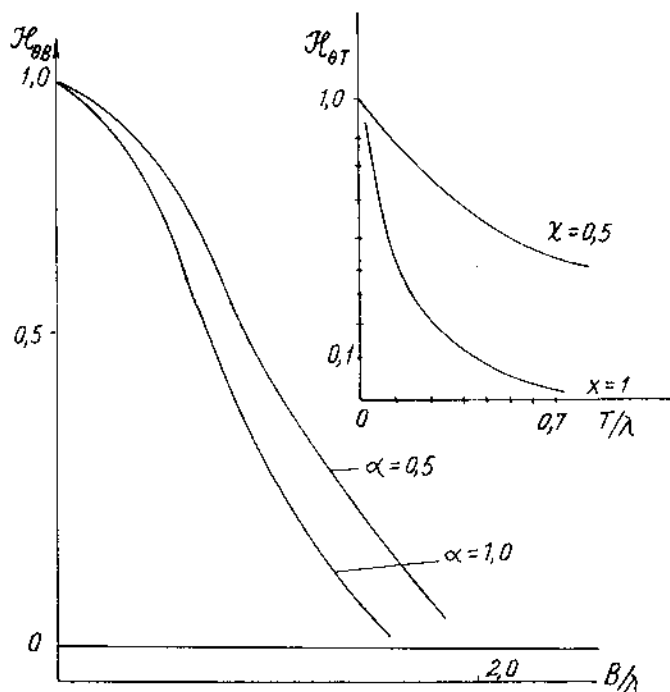
Trong thực tế, kích thước của tàu (B , T) sẽ đáng kể so với sóng (λ_ω và h_ω) thì phải dẫn thêm hệ số $\mathcal{H}_{\theta B}$ và hệ số $\mathcal{H}_{\theta T}$ để điều chỉnh ảnh hưởng của B và T đối với mômen nhiễu trong công thức 6.19. Rõ ràng $\mathcal{H}_{\theta B} = f(B/\lambda)$

và $\mathcal{H}_{\theta T} = f(T/\lambda)$, và $\mathcal{H}_{\theta B} = \mathcal{H}_{\theta T} = 1$ khi $B/\lambda \rightarrow 0$ và $T/\lambda \rightarrow 0$.

Trên hình 6.5 trình bày hai đường cong $\mathcal{H}_{\theta T} = f(B/\lambda, \alpha)$



Hình 6.4.



Hình 6.5.

và $\mathcal{H}_{\theta T} = f(T/\lambda, \chi)$

trong đó α – hệ số béo đường nước;

$$\chi - \text{hệ số béo chiều đứng } \chi = \frac{\delta}{\alpha}.$$

Sau khi điều chỉnh do ảnh hưởng của B, T thì mômen nhiễu từ (6.19) sẽ biến thành:

$$M_{x_\omega} = A_{x_\omega} \sin \sigma_\omega t = Dh_\omega \alpha'_\omega \sin \sigma_\omega t \quad (6.20)$$

trong đó $A_{x_\omega} = Dh_\omega \alpha'_\omega$ – biên độ của mômen nhiễu của tàu (có kích thước B, T mà không phải là một điểm); $\alpha'_\omega = \chi_{\theta B} \chi_{\theta T} \alpha_\omega$ – thường được gọi là góc nghiêng có hiệu của sóng.

Sau khi xét những điều đã xét từ (6.12) đến (6.20), thì phương trình vi phân mô tả lắc ngang trên sóng (6.8) sẽ trở thành:

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} + 2\nu_\theta \frac{d\theta}{dt} + \omega_\theta^2 \theta = \omega_\theta^2 \alpha'_\omega \sin \sigma_\omega t \quad (6.21)$$

Các hệ số ν_θ và ω_θ đã được giải thích trước trong mục lắc ngang trên nước tĩnh.

Lời giải của (6.21) sẽ là giải của (6.9) cộng với lời giải đặc biệt:

$$\theta_\omega = \theta_{m\omega} \sin(\sigma_\omega t - \varepsilon_\omega), \quad (6.22)$$

$\theta_{m\omega}$ – biên độ lắc trên sóng và pha ε_ω (đối với profin sóng) được xác định theo:

$$\bar{\theta}_{m\omega} = \frac{\theta_{m\omega}}{\alpha'_\omega} = \frac{1}{\sqrt{(1 - \bar{\sigma}^2)^2 + (2\mu_\theta \bar{\sigma})^2}}; \quad (6.23)$$

$$\text{tg} \varepsilon_\omega = \frac{2\mu_\theta \bar{\sigma}}{1 - \bar{\sigma}^2}, \quad (6.24)$$

trong đó: $\mu_\theta = \frac{\nu_\theta}{\omega_\theta}$; $\bar{\sigma} = \frac{\sigma_\omega}{\omega_\theta} = \frac{\tau_\theta}{\tau_\omega}$.

Như vậy, lời giải chung của phương trình (6.21) sẽ là:

$$\theta = \theta_s + \theta_\omega = e^{-\nu_\theta t} \theta_{m_s} \cos(\omega'_\theta t + \delta_\theta) + \bar{\theta}'_{m_\omega} \alpha'_\omega \sin(\delta_\omega t - \varepsilon_\omega) \quad (6.25)$$

Lắc ngang tự do θ_s có biên độ θ_{m_s} , quyết định bởi điều kiện ban đầu (θ_0 và $\dot{\theta}_0$) tần số dao động $\omega'_\theta \simeq \omega_\theta$, nhưng dao động này sẽ tắt dần theo thời gian vì $e^{-\nu_\theta t}$. Còn lại là dao động cưỡng bức với biên độ lắc ngang θ_{m_ω} , biên độ lắc ngang cưỡng bức được biểu thị bằng:

$$\theta_{m_\omega} = \bar{\theta}_{m_\omega} \cdot \alpha'_\omega. \quad (6.26)$$

trong đó $\bar{\theta}_{m_\omega}$ – hệ số truyền được tính theo (6.23);

α'_ω – góc nghiêng có hiệu của sóng.

Như vậy biên độ lắc ngang cường bức θ_{m_n} gồm 2 thành phần, góc nghiêng có hiệu α'_ω của sóng vào và hệ số truyền $\bar{\theta}_{m_n}$ (cũng có người gọi là hệ số phóng đại).

Từ hệ truyền θ_{m_n} (6.23) ta thấy:

Trị số của hệ số truyền phụ thuộc vào 2 nhân tố: $\bar{\sigma}$, tỷ lệ giữa tần số lắc tự nhiên của tàu ω_0 và tần số của sóng gây nhiễu σ_ω và hệ số suy giảm μ_0 . Khi $\omega_0 = \sigma_\omega$, thì xảy ra cộng hưởng, biên độ lắc ngang đạt cực trị; nhưng giá trị của nó cũng sẽ quyết định bởi hệ số suy giảm μ_0 , suy giảm càng lớn thì biên độ lắc cộng hưởng sẽ giảm theo. Cộng hưởng của tàu sẽ rất nghiêm trọng trong trường hợp $\mu_0 = 0$, theo (6.23) lúc đó biên độ lắc cộng hưởng sẽ đạt tới ∞ . Vì trường hợp $\mu_0 = 0$, hệ số truyền (6.23) sẽ trở thành:

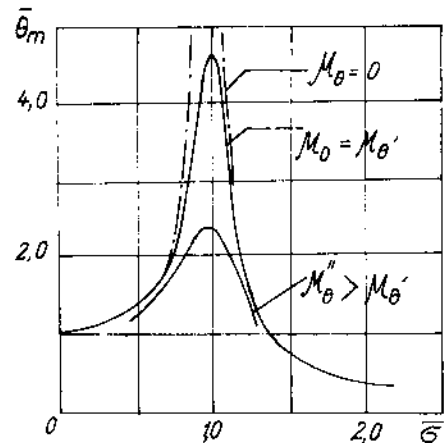
$$\bar{\theta}_m = \frac{1}{1 - \bar{\sigma}^2} ; \quad (6.27)$$

Nếu xảy ra cộng hưởng, $\bar{\sigma} = 1$ thì $\bar{\theta}_m = \frac{1}{1-1} \rightarrow \infty$.

Nếu xảy ra cộng hưởng có sự suy giảm thì hệ số truyền sẽ thành:

$$\bar{\theta}_m = \frac{1}{2\mu_0} \quad (6.28)$$

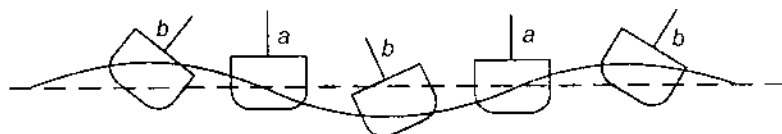
Hệ số truyền đạt lớn nhất khi $\bar{\sigma} = 1$ nhưng trị số cực đại đó tùy theo μ_0 , μ_0 càng lớn thì trị số cực đại đó giảm xuống. Ở các trị số $\bar{\sigma} \neq 1$, thì ở trong phạm vi $0,7 < \bar{\sigma} < 1,2$ thì cùng một $\bar{\sigma}$, nhưng $\bar{\theta}_m$ càng lớn khi μ_0 nhỏ. Khi $\bar{\sigma} < 0,7$ và $\bar{\sigma} > 1,2$, thì sự chênh lệch do μ_0 thay đổi không đáng kể (xem hình 6.6a).



Hình 6.6a. Hệ số truyền khi lắc ngang.

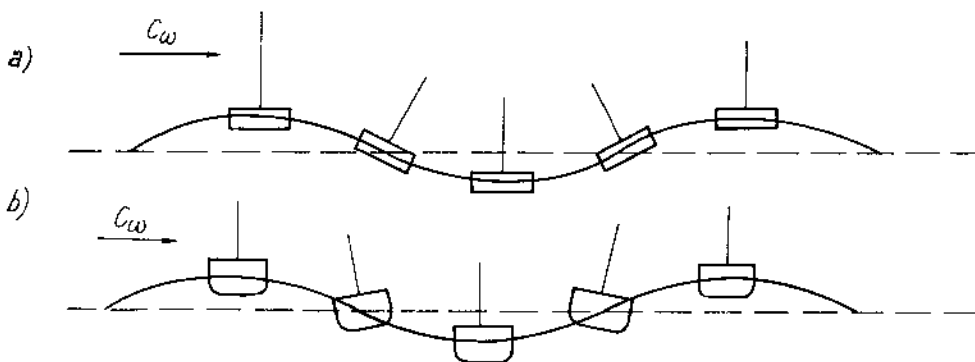
Từ công thức lệch pha giữa góc lắc và góc sóng (6.24) ta thấy, trong trường hợp cộng hưởng ($\tau_0 = \tau_\omega$), góc lệch $\varepsilon_\omega \cong \frac{\pi}{2}$, sự

tương quan giữa góc nghiêng (lắc) của tàu và góc nghiêng sóng thể hiện hình 6.6, ta thấy góc nghiêng của tàu sẽ bé nhất khi tàu nằm chỗ góc sóng lớn nhất, các điểm a trên hình 6.6, trái lại góc lắc của tàu sẽ lớn nhất lúc góc nghiêng sóng bằng 0 như tại b trên hình 6.6.



Hình 6.6. Sự lệch pha khi tàu cộng hưởng.

Như trên đã nói, hệ số suy giảm ảnh hưởng lớn tới biên độ lắc, nhưng trong phạm vi $0,7 \omega_0 < \sigma_\omega < 1,2\omega_0$ thì ảnh hưởng lớn nhất. Trong dao động, nếu tần số lực nhiễu σ_ω nhỏ hơn tần số lắc tự nhiên của tàu, ta gọi là tiểu cộng hưởng, trái lại ta gọi là trên cộng hưởng (siêu cộng hưởng), ở tiểu cộng hưởng pha $\varepsilon_\omega | \sigma_\omega < \omega_0 \approx 0$, trái lại, ở siêu cộng hưởng $\varepsilon_\omega | \sigma_\omega \approx \pi$. Trường hợp tàu có chiều cao ổn định ban đầu h_0 lớn, tần số lắc tự nhiên ω_0 lớn, trường hợp đó người ta gọi là tàu theo sóng, như là trường hợp bè mẳng của nhân dân ta. Trong trường hợp này cũng không tốt vì tăng gia tốc góc và do đó lực quán tính sẽ rất lớn. Trường hợp tàu có chiều cao ổn định ban đầu h_0 bé, tần số lắc tự nhiên ω_0 bé, lúc đó tàu sẽ nghiêng gần như ngược lại nghiêng của sóng.



Hình 6.7.

a) h_0 rất lớn (bè mẳng) tàu lắc rất cứng, ở dưới (tiểu) cộng hưởng $\bar{\sigma} \ll 1$, $\bar{\theta}_m \rightarrow 1$ xem hình 6.7a;

b) h_0 rất bé tàu lắc rất mềm, ở trên cộng hưởng (siêu) khi $\sigma \rightarrow \alpha$ thì $\bar{\theta}_m \rightarrow 0$, xem hình 6.7b.

6.4.4. ẢNH HƯỞNG CỦA LẮC NGANG

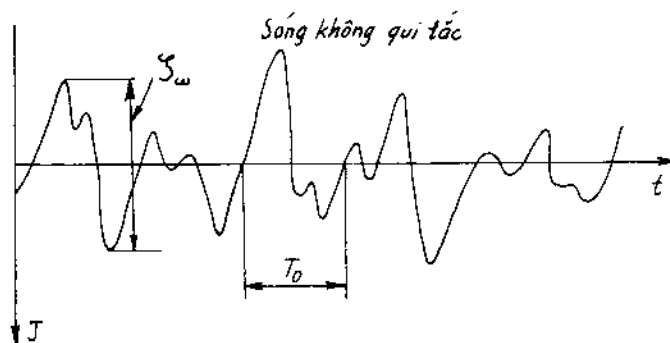
1. Đối với an toàn của tàu

Lắc ngang của tàu khiến góc nghiêng của tàu dưới tác dụng của cùng một áp lực gió sẽ lớn hơn nhiều. Ví dụ trên một tàu có tay đòn ổn định động như hình 6.8.

Góc nghiêng của tàu trên sóng $\theta_0 = 21^\circ$, đột nhiên gặp gió dật, nếu trên nước tĩnh thì góc nghiêng động $\theta_1 = 13^\circ$, nhưng cùng một tay đòn nghiêng động d_0 đó nhưng tác động khi tàu đã lắc $\theta_0 = 21^\circ$, thì góc nghiêng động sẽ là 33° ($54^\circ - 21^\circ$), góc nghiêng lớn có thể gây nên hàng hoá bị xô dịch, nước vào các lỗ (miệng) không kín nước, thậm chí gây lật tàu. Ngoài ra nếu chiều cao ổn định ban đầu quá lớn, sẽ dẫn đến lắc ngang nghiêm trọng trên sóng ngang, tàu sẽ không được an toàn. Ngoài ra

166

tranh về tần suất xuất hiện các loại chu kỳ sóng và ta cũng sẽ có hàm mật độ phân bố chu kỳ sóng $f(T_0)$ như trên hình 6.10. (Những kiến thức ở đây về thống kê cũng như sóng biển phải tham khảo thêm các sách chuyên môn sâu, ở đây không có thời gian và vượt ra ngoài phạm vi về môn Lý thuyết tàu).

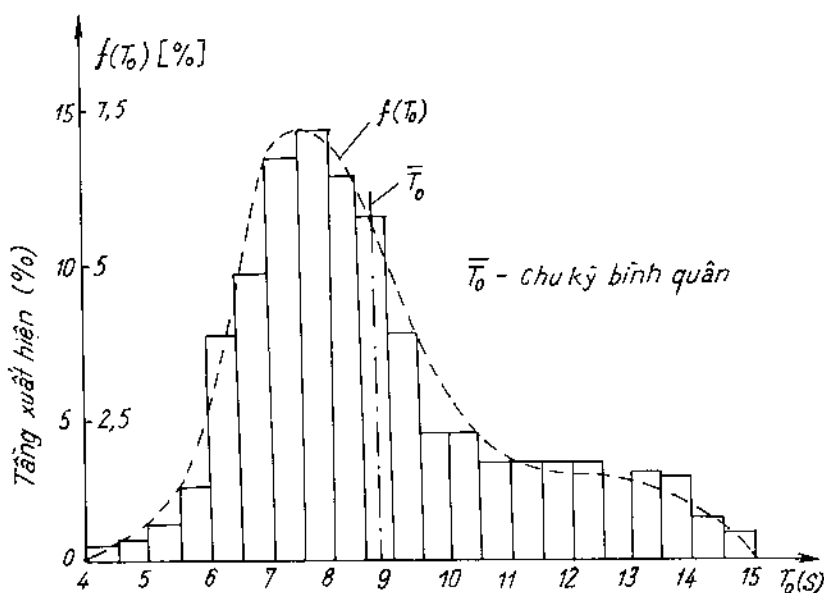


Hình 6.9.

Để phân tích thêm về sóng không qui tắc, ta coi hàm $\zeta(t)$ trong khoảng $[0, T]$ trên hình 6.11, ta khai triển hàm $\zeta(t)$ thành dãy Fourier:

$$\zeta(t) \approx \sum_{n=0}^N a_n \cos n\sigma t + \sum_{n=1}^N b_n \sin n\sigma t \quad (6.29)$$

trong đó: $\sigma = \frac{2\pi}{T}$



Hình 6.10. Đồ thị xuất hiện và hàm mật độ phân bố của chu kỳ sóng tự nhiên $f(T_0)$.

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T \zeta(t) dt = 0 ;$$

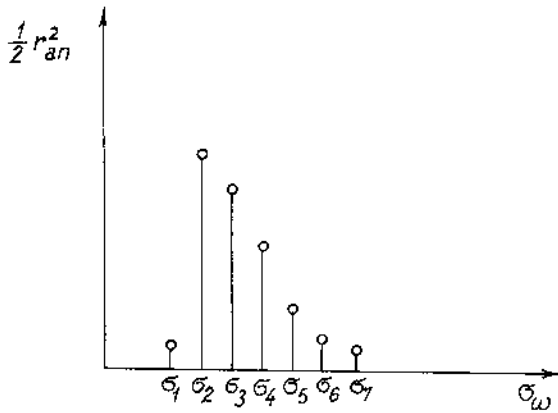
$$a_n = \frac{1}{T} \int_0^T \zeta(t) \cos n\omega t dt$$

$$b_n = \frac{1}{T} \int_0^T \zeta(t) \sin n\omega t dt.$$

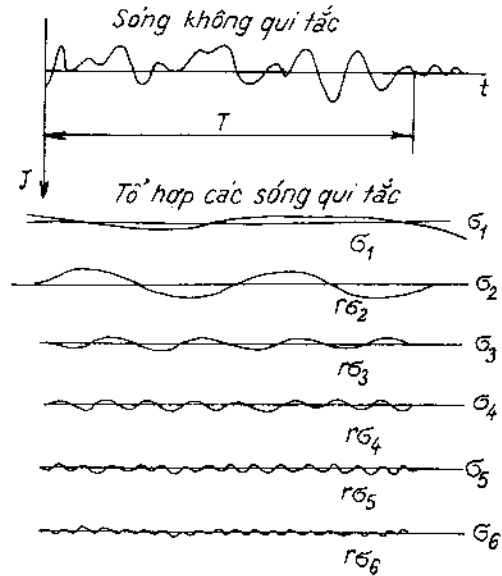
Dãy Fourier (6.9) có thể viết thành:

$$\zeta(t) = \sum_{n=1}^N r_{an} \cos(n\omega t - \varepsilon_n) \quad (6.30)$$

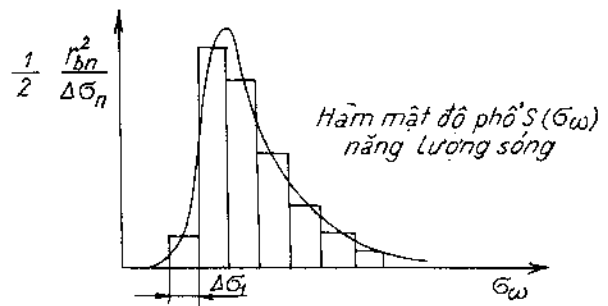
Ví dụ trên hình 6.11 sóng cao nhất có biên độ sóng r_{σ_2} và sóng thấp nhất r_{σ_7} , mỗi sóng đều có năng lượng tương ứng $E_n = \frac{1}{2} \rho g r_{\sigma n}^2$.



Hình 6.12.



Hình 6.11.



Hình 6.13. Tìm hàm số mật độ phổ năng lượng bằng khai triển dãy Fourier.

Ta đưa năng lượng của từng sóng con sắp xếp trên hình 6.12, ta sẽ có hình ảnh về năng lượng con sóng $\zeta(t)$ từ 6.11 được trình bày trên 6.12. Nếu ta thay $\frac{1}{2} r_{\sigma n}^2$

bằng $\frac{1}{2} \frac{r_{\sigma n}^2}{\Delta \sigma_n}$ và trình bày trên hình 6.13 ta sẽ được hình bậc thang và thay các hình bậc thang (Histogram) bằng đường cong đại diện cho hàm số mật độ phổ năng

lượng của sóng. Đó là $S_{\zeta}(\sigma_{\omega}) = \frac{1}{2} \frac{r_{an}^2}{\Delta \sigma_n}$, ta sẽ có năng lượng con sóng trên hình 6.11

bằng cách tích phân hàm số mật độ phổ năng lượng trong phạm vi $0 < \sigma_{\omega} < \infty$:

$$D_{\zeta} = \int_0^{\infty} S_{\zeta}(\sigma_{\omega}) d\sigma_{\omega} \quad (6.31)$$

Phổ năng lượng sóng có thứ nguyên $[L^2.s]$ đại biểu cho một trạng thái biển. Nếu phổ sóng hẹp và dốc thì chứng tỏ sóng tương đối có qui tắc. Trái lại nếu phổ rộng và thoải thì tính không qui tắc của sóng càng rõ nét.

2. Sự liên quan giữa phổ năng lượng và một số số liệu thống kê của sóng biển

Các số liệu của sóng biển đều mang tính ngẫu nhiên, đối với một đại lượng ngẫu nhiên nào đều có hàm phân bố của nó $f(x)$. Từ hàm phân bố ta có thể tính được xác suất xuất hiện của đại lượng đó từ a đến b bằng tích phân:

$$p(a < x < b) = \int_a^b f(x) dx \quad (6.32)$$

Việc nghiên cứu hàm phân bố của một đại lượng liên quan đến sóng biển là công việc của các nhà hải dương học, ví dụ đại lượng ζ (chiều cao của mặt sóng cách mức nước tĩnh) sẽ tôn trọng luật phân bố Gauss (hình 6.14):

$$f(\zeta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_{\zeta}}} \exp\left(-\frac{\zeta^2}{2D_{\zeta}}\right), \quad -\infty < \zeta < +\infty \quad (6.33)$$

Trong lúc đó, chiều cao sóng h_{ω} lại tôn trọng sự phân bố Rayleigh (hình 6.15)

$$f(h_{\omega}) = \frac{h_{\omega}}{4D_{\zeta}} \exp\left(-\frac{h_{\omega}^2}{8D_{\zeta}}\right), \quad 0 < h_{\omega} < +\infty \quad (6.34)$$

Từ hàm phân bố Rayleigh ta có thể tính được:

$$P\{h_{\omega} > h_{\omega p\%}\} = p = \int_{h_{\omega p\%}}^{+\infty} \frac{h_{\omega}}{4D_{\zeta}} \exp\left(-\frac{h_{\omega}^2}{8D_{\zeta}}\right) dh_{\omega}, \quad (6.35)$$

từ đó:
$$h_{\omega p\%} = \sqrt{8I_n \frac{1}{p}} \sqrt{D_{\zeta}} \quad (6.36)$$

Khi sử dụng công thức 6.36, ta nên hiểu ví dụ trong 100 con sóng đo đạc được ta xếp theo thứ tự của h_ω từ bé đến lớn $h_{\omega_1}, h_{\omega_2}, h_{\omega_3}, h_{\omega_4}, h_{\omega_5}, \dots, h_{\omega_{100}}$, thì chỉ có 3% sóng là chiều cao sóng $h_\omega > h_{\omega_{3\%}}$. Căn cứ 6.36, $h_{\omega_{3\%}} = 5,30 \sqrt{D_\zeta}$; $h_{\omega_{1\%}} = 6,07 \sqrt{D_\zeta}$.

Chiều cao trung bình của sóng:

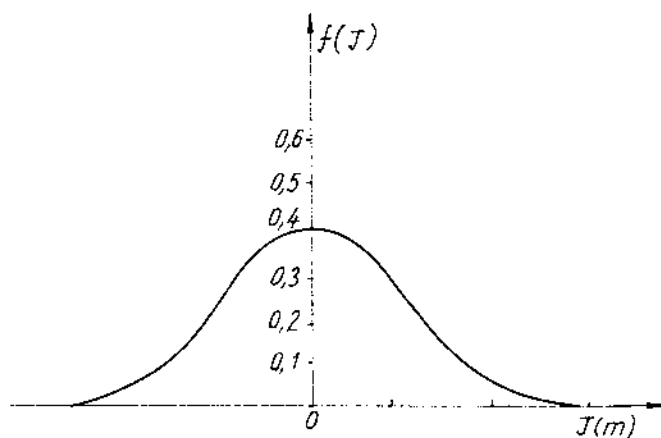
$$h_{\omega p\%} = \bar{h}_\omega = 2,50 \sqrt{D_\zeta} \quad (6.36a)$$

Chiều cao sóng $h_{\omega p\%}$ tính theo 6.36 cũng có tên là chiều cao sóng có độ đảm bảo p%. Nhưng trong hàng hải cũng như trong hải dương học, người ta còn dùng số liệu thống kê $\frac{1}{n}$ được qui định như sau: Lấy N số liệu đã đo đạc của sóng, nếu cần tính $\bar{h}_{\omega \frac{1}{n}}$ ta phải xếp N số liệu theo tuần tự từ h_ω lớn nhất tới h_ω nhỏ nhất, ta chọn ra $\frac{N}{n}$ số sóng có chiều cao sóng ζ_ω lớn nhất và lấy chiều cao trung bình

$$\bar{h}_\omega = \frac{h_{\omega_1} + \dots + h_{\omega_{\frac{N}{n}}} + h_{\omega_n}}{n} = h_{\omega \frac{1}{n}}$$

đó là chiều cao sóng $\bar{h}_{\omega \frac{1}{n}}$. Ta cũng có thể tính được $\bar{h}_{\omega \frac{1}{n}}$ như cách tích phân (6.35), nhưng ở đây ta không đi sâu vào việc tính toán mà chỉ nêu ý nghĩa vật lý của $\bar{h}_{\omega \frac{1}{n}}$, ví dụ:

$$\bar{h}_{\omega \frac{1}{3}} = 4,00 \sqrt{D_\zeta} \text{ và } \bar{h}_{\omega \frac{1}{10}} = 5,10 \sqrt{D_\zeta} \quad (6.36b)$$



Hình 6.14. Hàm phân bố Gauss.

và chiều cao trung bình của sóng thì phải là $\bar{h}_{\omega}^1$ và $\bar{h}_{\omega} = \frac{h_{\omega 1} + \dots + h_{\omega N}}{N}$; và do thật nhiều lần thì phải bằng $\bar{h}_{\omega}$:

$$\bar{h}_{\omega} = 2,50 \sqrt{D_{\zeta}}$$

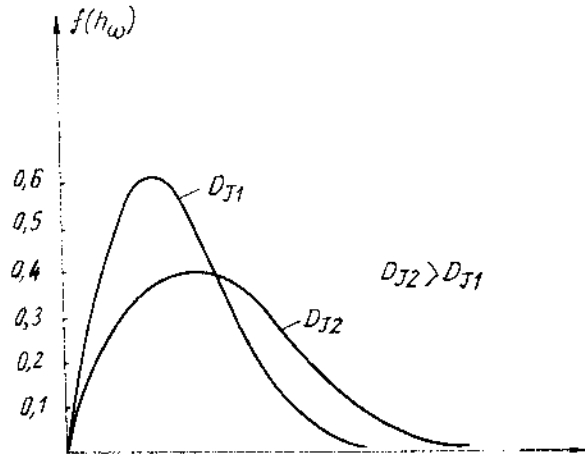
Ngoài ra còn một số số liệu thống kê quan trọng như chu kỳ trung bình của sóng:

$$\bar{T} = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (6.37)$$

trong đó:

$$m_0 = \int_0^{\infty} S_{\zeta}(\sigma_{\omega}) d\sigma_{\omega} = D_{\zeta} \quad (6.38)$$

$$m_2 = \int_0^{\infty} \sigma_{\omega}^2 S_{\zeta}(\sigma_{\omega}) d\sigma_{\omega} \quad (6.39)$$



Qua sự trình bày trên, nếu ta có được mật

Hình 6.15. Hàm phân bố Rayleigh.

độ phổ năng lượng $S_{\zeta}(\sigma)$ của sóng thì ta có thể tính toán các số liệu thống kê của sóng biển. Ở đây xin giới thiệu phổ của ITTC (International Towing Tank Conference):

$$S_{\zeta}(\sigma) = A\sigma^{-5} \exp(-B\sigma^{-4}) [m^2.s] \quad (6.40)$$

Trong đó A và B sẽ quyết định bởi:

a) Nếu ta biết được $\bar{h}_{\omega}^1$ thì $A = 8,10 \cdot 10^{-3} g^2$;

$$B = 3,11 / \bar{h}_{\omega}^2$$

Trong đó thứ nguyên của $g [m/s^2]$, $\bar{h}_{\omega}^1 [m]$.

b) Nếu ta biết được $\bar{h}_{\omega}^1$ và chu kỳ bình quân $\bar{T}$ thì:

$$A = 173 \bar{h}_{\omega}^1 / \bar{T}_1^4,$$

$$B = 691 / \bar{T}_1^4.$$

trong đó thứ nguyên của $\bar{T}_1 [s]$, $\bar{h}_{\omega}^1 [m]$.

c) Nếu ta chỉ biết vận tốc trung bình của gió, thì chiều cao sóng $\bar{h}_{\omega}^1$ sẽ tính theo bảng dưới đây:

Vận tốc gió $V_{\text{hải lý/h}}$	20	30	40	50	60
Chiều cao sóng $\bar{h}_{\omega}^1$	3,05	5,24	8,07	11,13	14,62

Trên hình 6.16 trình bày một số phổ sóng theo đề nghị của ITTC [International Towing Tank Conference].

Ở Liên Xô (cũ) và nước Nga ngày nay, người ta chia trạng thái biển làm 9 cấp như bảng dưới đây:

Cấp sóng	Tên sóng	Chiều cao sóng $h_{\omega 3\%}$ m	Đặc trưng sóng
3	Sóng vừa	0,75 – 1,25	Sóng không to, bắt đầu sóng vỡ ở đỉnh sóng gọi là sóng trắng
4	Sóng to	1,25 – 2,0	Đã thấy hình sóng rõ, ở đâu cũng thấy sóng trắng
5	Sóng mạnh	2,0 – 3,5	Đã thấy đỉnh sóng cao lớn, bọt trắng trên đỉnh chiếm phần lớn đỉnh, gió đã bắt đầu làm vỡ hoa trắng đỉnh
6	Sóng rất mạnh	3,5 – 6,0	Đã thấy loại sóng dài bị vỡ trên đỉnh sóng và chụp xuống chân sóng
7	Sóng dữ dội	6,0 – 8,5	Đã thấy một dải sóng vỡ kéo dài từ đỉnh đến chân
8	Sóng rất dữ dội	8,5 – 11,0	Hoa sóng trắng xóa rất rộng và dày đặc, nằm suốt trên mặt nghiêng, mặt biển thành trắng, chỉ thấy chân sóng
9	Bão	$\geq 11,0$	Mặt biển trắng xóa, trong không khí đầy bọt nước, độ nhìn xa rất kém.

Trong bảng trên $h_{\omega 3\%}$ có quan hệ với D_{ζ} theo công thức:

$$D_{\zeta} = 0,143 \left(\frac{1}{2} h_{\omega 3\%} \right)$$

3. Lắc ngang trên sóng không qui tắc

Khi tàu chạy trên sóng qui tắc, ta đã có phương trình vi phân bậc hai như (6.21), nhưng ta viết dưới dạng điều chỉnh góc nghiêng sóng thì sẽ trở thành:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + 2\nu_{\theta} \frac{d\theta}{dt} + \omega_{\theta}^2 \theta = \chi_{\theta B} \chi_{\theta T} \omega_{\theta}^2 \frac{\sigma_{\omega}^2}{g} \sin \sigma_{\omega} t \quad (6.40)$$

$$\alpha_{\omega_{\theta}} = k_{\omega} r_{\omega} = \frac{\sigma_{\omega}^2}{g} r_{\omega}; \left(k_{\omega} = \frac{2\pi}{\lambda_{\omega}} = \frac{\sigma_{\omega}^2}{g} \right)$$

Từ (6.40) ta thấy trong vế phải của phương trình vi phân (6.40), hệ số $\chi_{\theta B} \chi_{\theta T} \omega_{\theta}^2 \frac{\sigma_{\omega}^2}{g}$, đối với một con tàu cụ thể, và một con sóng nhất định, sẽ không phụ thuộc với thời gian. Trên sóng không qui tắc có mật độ phổ năng lượng ổn định $S_{\zeta}(\sigma_{\omega})$, phản ứng của con tàu sẽ là một quá trình lắc ngang có mật độ phổ năng lượng lắc ổn định $S_{\theta}(\sigma_{\omega})$ với quan hệ như sau:

$$S_{\theta}(\sigma_{\omega}) = |\phi_{\theta}(\sigma_{\omega})|^2 S_{\zeta}(\sigma_{\omega}) \quad (6.41)$$

Trong đó hàm số truyền $|\phi_{\theta}(\sigma_{\omega})|$ được tính như sau:

$$|\phi_{\theta}(\sigma_{\omega})| = \frac{\chi_{\theta T} \chi_{\theta B} \omega_{\theta}^2 \sigma_{\omega}^2}{g \sqrt{(\omega_{\theta}^2 - \sigma_{\omega}^2)^2 + (2\nu_{\theta} \sigma_{\omega})^2}} \quad (6.42)$$

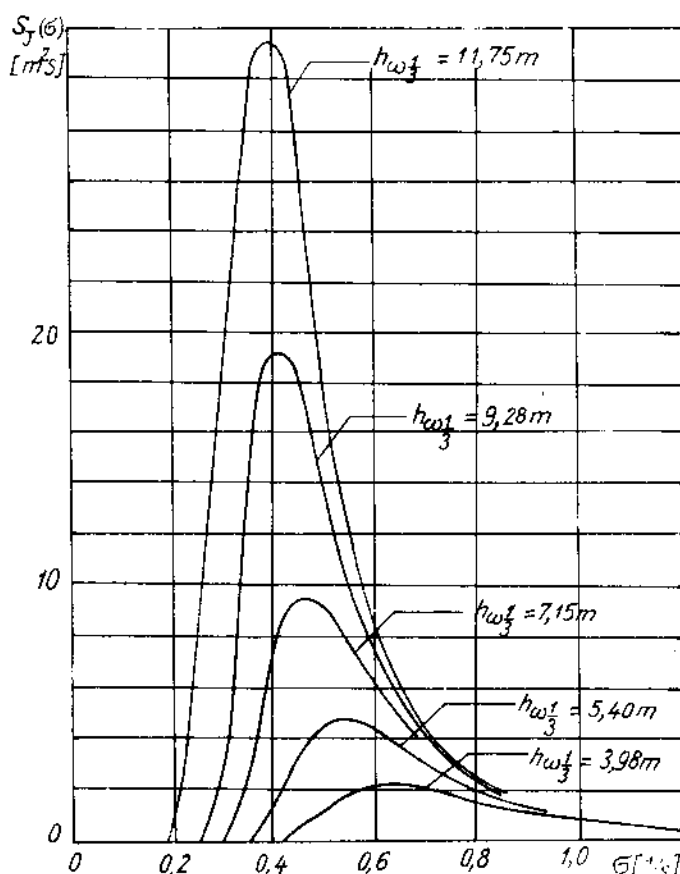
Từ đó ta kết luận, nếu có quá trình sóng không qui tắc với $S_{\zeta}(\sigma_{\omega})$ tác dụng lên tàu, ta coi tàu là bộ lọc, thì qua bộ lọc, đầu ra sẽ là một quá trình lắc ngang θ có mật độ phổ năng lượng $S_{\theta}(\sigma_{\omega})$, như trên hình 6.17.

Từ hình 6.17, ta thấy mặc dầu quan sát phổ sóng $S_{\zeta}(\sigma)$ ta thấy năng lượng tập trung gần σ_m , nhưng qua bộ lọc, thể hiện trên $S_{\theta}(\sigma_{\omega})$ ta thấy năng lượng của lắc ngang cũng tập trung gần ω_{θ} (lắc ngang cộng hưởng trên sóng qui tắc).

Sự quan sát lắc ngang trên biển cũng chứng minh trên cơ bản, tàu lắc ngang theo chu kỳ lắc tự nhiên $\tau_{\theta} = \frac{2\pi}{\omega_{\theta}}$ (trên nước tĩnh).

Sau khi có $S_{\theta}(\sigma_{\omega})$, ta sẽ có các số liệu đặc trưng của lắc ngang ví dụ: trị số trung bình của góc lắc ngang $\bar{\theta} = 1,25 \sqrt{D_{\theta}}$ (từ 6.36a) góc lắc $\bar{\theta}_{1/3} = 2,00 \sqrt{D_{\theta}}$ (từ 6.36b) v.v. Nhưng trong thực tế góc lớn nhất $\theta_{\max}$ rất quan trọng, thường lấy theo kinh nghiệm $\frac{\theta_{\max}}{\bar{\theta}}$ hoặc theo đo đạc. Theo Nogid thì $\frac{\theta_{\max}}{\bar{\theta}} = 2,0 - 2,4$.

Để bạn đọc hiểu thêm vấn đề trên hình 6.17a trình bày các kết quả đo đạc của một tàu nghiên cứu biển về việc lắc ngang trên sóng không điều hoà.

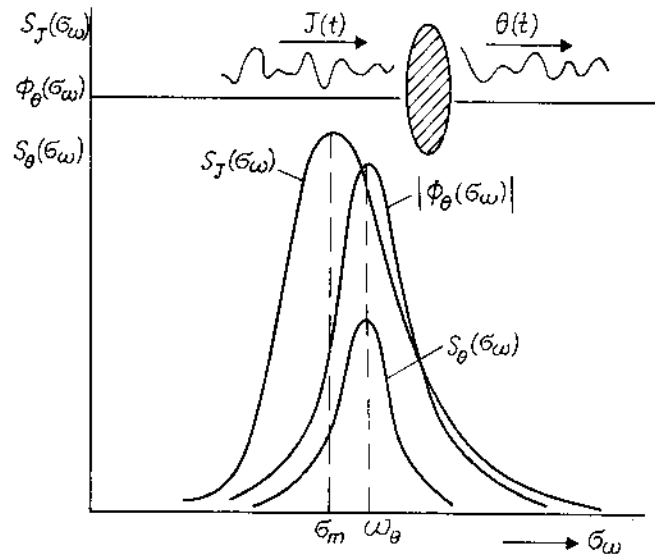


Hình 6.16.

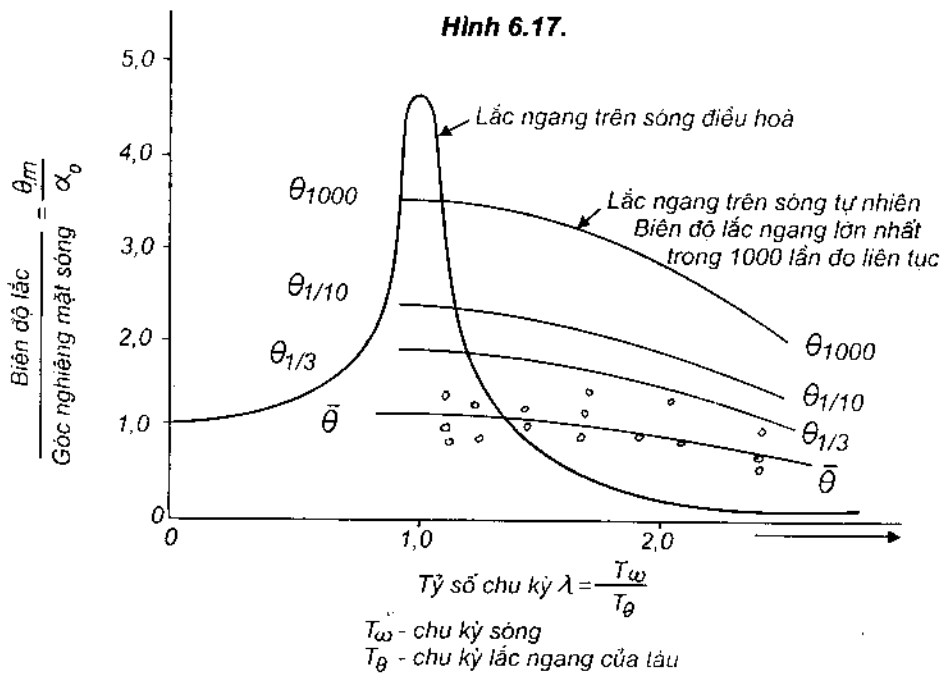
4. Thiết bị giảm lắc

Để giảm biên độ lắc ngang ta phải dùng các thiết bị lắc sau đây:

1) Vây giảm lắc là 2 vây bên hông tàu trên chiều dài 25 – 75% chiều dài tàu, diện tích bằng 2 ~ 4% $L \times B$, chiều rộng 0,3 – 1,2 m, bình quân bằng 3 – 5% B , vị trí đặt ở xa trung tâm lắc ngang nhất.



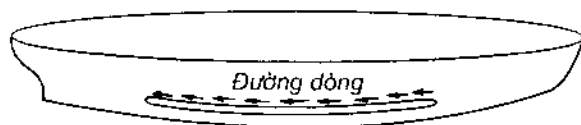
Hình 6.17.



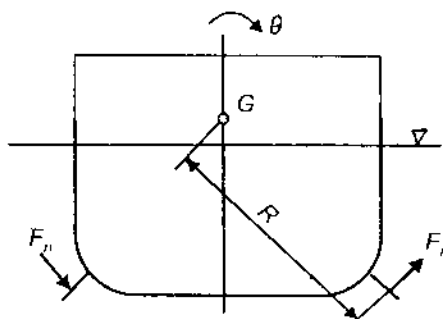
Hình 6.17a. Lắc ngang trên sóng tự nhiên.

Ưu điểm: Kết cấu đơn giản, hiệu quả giảm lắc lớn, có thể giảm 20 – 25% biên độ lắc ngang.

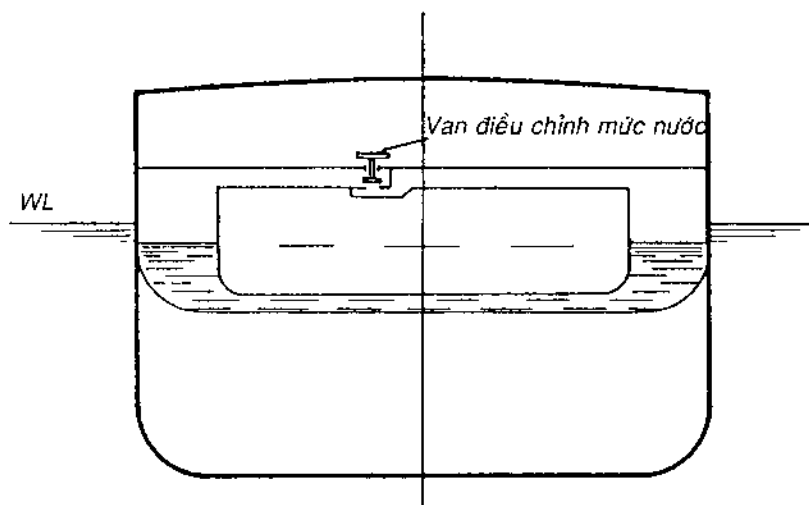
Nhược điểm: Gây thêm lực cản và dễ bị hư hỏng khi cập cảng hoặc cập tàu khác, cho nên khi bố trí phải làm thế nào để vây mạn dọc theo đường dòng (xem hình 6.18).



Hình 6.18



Hình 6.19.

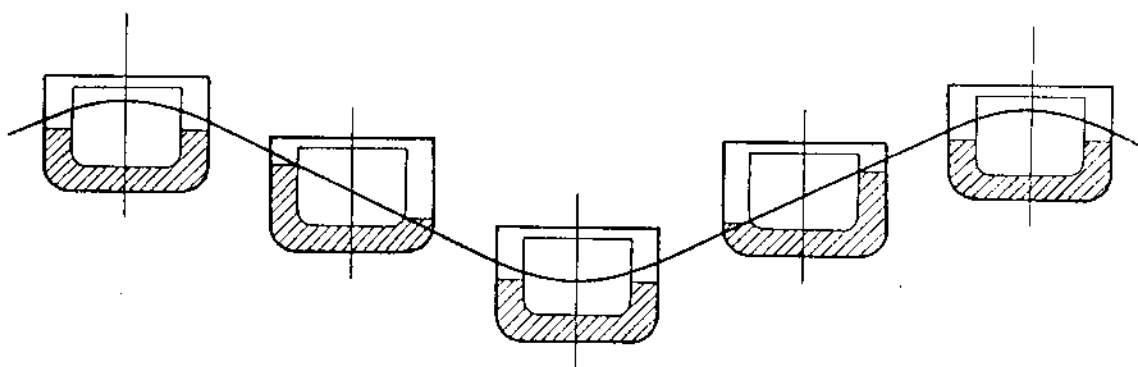


Hình 6.20.

2) Kết giảm lắc

Có hai loại: chủ động và bị động. Loại bị động thì mức nước trong kết (hình chữ U) được để tự do lắc ngang của tàu điều chỉnh và sẽ tạo thành mômen chống

lại lắc ngang của tàu. Loại chủ động thì mức nước do máy móc điều chỉnh. Trên hình 6.20 sự điều chỉnh do một van ở phía trên két điều chỉnh. Ví dụ trên hình 6.21 người ta điều chỉnh để sự dao động của mức nước cũng có chu kỳ bằng chu kỳ lắc tự nhiên của tàu và sự dao động đó sớm hơn sự lắc của tàu là 90° , và lệch pha giữa mức nước trong khoang và sóng biển là 180° , và tạo thành mômen chống lại lắc ngang. Nhưng loại này có hiệu quả nhất trong vùng cộng hưởng, nhưng ở các vùng khác hiệu quả không lớn và cũng do nhiều nhược điểm khác như quá công kênh chiếm chỗ và giảm chiều cao ổn định ban đầu v.v... nên gần đây ít được dùng.



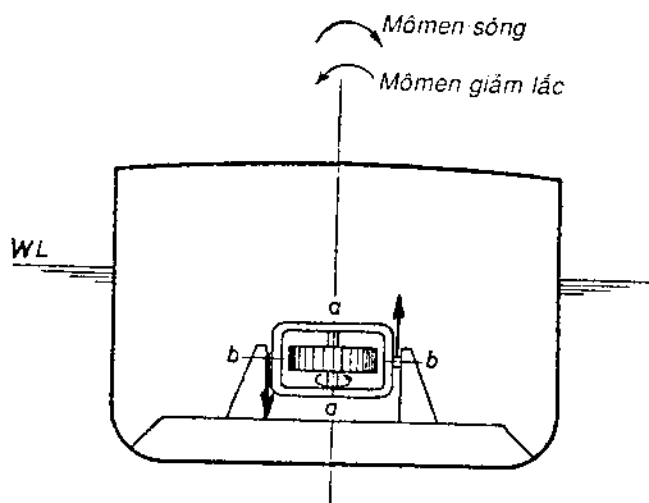
Hình 6.21.

3) Con quay chống lắc như hình 6.22

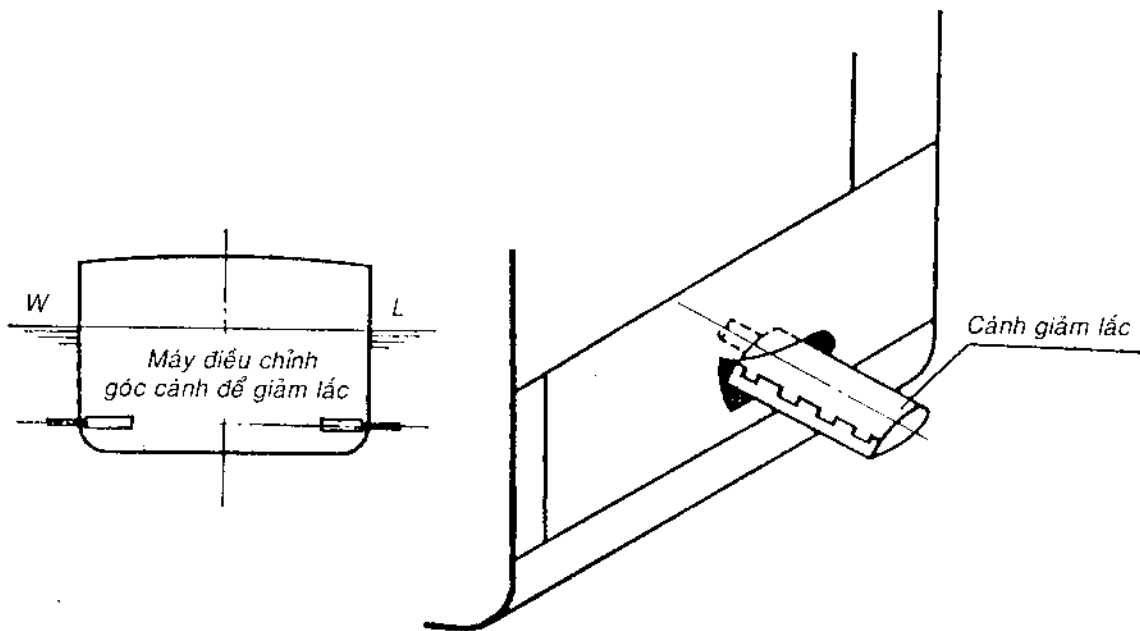
Nguyên lý giảm lắc cũng giống như các loại trên là gây mômen chống lại mômen gây lắc do lực tác dụng trên $b - b$ của con quay.

4) Cánh giảm lắc

Trên hình 6.23 giới thiệu thiết bị cánh giảm lắc. Thiết bị gồm 2 cánh 2 mạn tàu. 2 cánh giống như hai bánh lái, do điều chỉnh góc cánh sẽ tạo thành lực nâng của cánh và lực ở 2 cánh sẽ tạo thành mômen luôn luôn làm cản lắc, gây giảm lắc. Ở Việt Nam đã sử dụng loại cánh giảm lắc trên tàu khách Thống Nhất chạy từ 1976 – 1990. Hiệu quả giảm lắc loại này rất cao, có tài liệu nói tới 90%, nhưng thiết bị này gây giảm tốc độ tàu.



Hình 6.22.



Hình 6.23.

6.5 DẬP DẸNH VÀ LẮC DỌC

6.5.1. DẬP DẸNH TRÊN NƯỚC TĨNH

Phân tích sự vận động tàu và ngoại, nội lực cũng tương tự như đã trình bày trong phần nói về lắc ngang. Chu kỳ dập dềnh của tàu được tính theo công thức:

$$\tau_y = \sqrt{\frac{1 + \lambda_z}{g \gamma S_{\omega L}}} \quad (6.43)$$

trong đó $S_{\omega L}$ – diện tích đường nước thiết kế [m^2]

γ – tỷ trọng nước (kG/m^3)

D – trọng lượng tàu [kG]

g – gia tốc trọng lượng [m/s^2]

λ_z – hệ số khối nước kèm khi tàu vận động theo hướng GZ (dập dềnh).

Theo Pavlenko thì:

$$\lambda_z = 0,375 \frac{B}{T} \quad (6.44)$$

Để tính chu kỳ dập dềnh cũng có thể sử dụng công thức kinh nghiệm:

$$\tau_z = 2,8 \sqrt{\chi T} \quad (6.45)$$

$$\text{hoặc} \quad \tau_z = 2,4 \sqrt{T} \quad (6.46)$$

trong đó T – mớn nước tàu tính bằng [m]

$$\chi - \text{hệ số béo hướng đứng } \chi = \frac{\delta}{\alpha}.$$

6.5.2. LẮC DỌC TRÊN NƯỚC TĨNH

Chu kỳ lắc dọc tính theo công thức:

$$\tau_{\psi} = \sqrt{\frac{J_{\psi}}{DG_M}} = \frac{2\pi r'_{\psi}}{\sqrt{g H_o}} \quad (6.47)$$

trong đó J_{ψ} – mômen quán tính của tàu và nước kèm đối với trục GY [kG.m.s^2];

r_{ψ} – bán kính quán tính của tàu và nước kèm đối với trục GY [m];

H_o – chiều cao ổn định dọc của tàu [m].

Vì $\frac{\pi}{\sqrt{g}} \cong 1$ nên chu kỳ lắc dọc có thể tính theo:

$$\tau_{\psi} = \frac{2\lambda_{\psi}}{\sqrt{H_o}} ; \quad (6.48)$$

Mômen quán tính của tàu cộng nước kèm khi lắc dọc đối với trục GY

$$J_{\psi} = J_y + \Delta J_{\psi} \quad (6.49)$$

J_y – mômen quán tính của tàu đối với trục GY [kG.m.s^2]

ΔJ_{ψ} – mômen quán tính của khối nước kèm đối với trục GY [kG.m.s^2]

Tính các thành phần trong (6.48) là công việc khó và nhàm chán, nên có thể tính theo công thức gần đúng:

$$J_y = 0,07 \frac{\alpha}{g} DL^2 \quad (6.50)$$

$$J_y = \frac{D}{g} (0,24L)^2 \quad (6.51)$$

$$\Delta J_{\psi} = 0,325 \frac{B}{T} J_y \quad (6.52)$$

α – hệ số béo đường nước.

Thông thường $\tau_{\psi} = \tau_z$; $\tau_{\psi} = \left(\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3} \right) \tau_0$

6.5.3. DẬP DẼNH VÀ LẮC DỌC TRÊN SÓNG

Khi tàu vận động theo hướng trùng với hướng truyền sóng, thì dập dềnh cùng lắc dọc sẽ khá lớn, còn lắc ngang thì không đáng kể, lúc đó chu kỳ lực tác dụng của sóng lên tàu sẽ không bằng chu kỳ sóng, khi tàu theo sóng, chu kỳ đó (ta gọi là chu kỳ gặp) sẽ bằng:

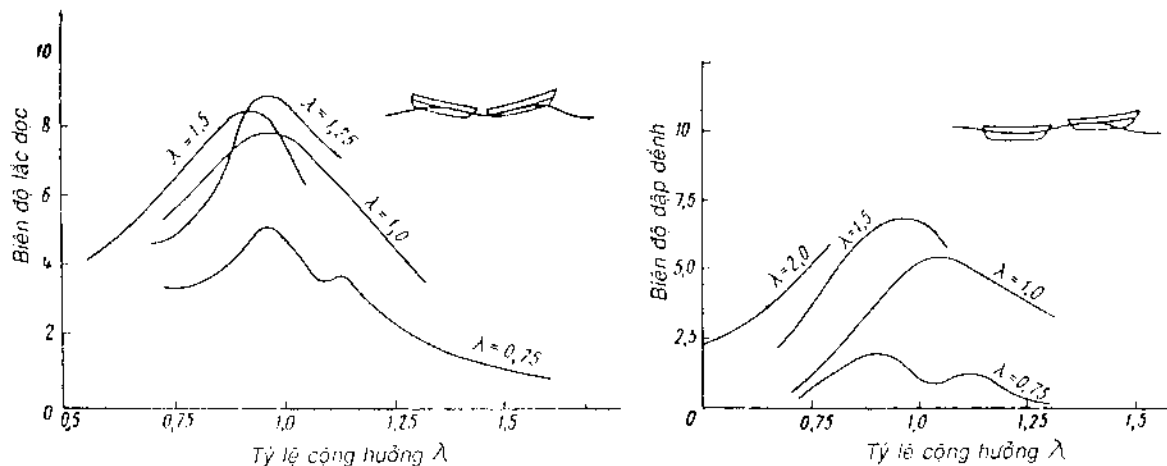
$$\tau_{\omega e} = \frac{\tau_{\omega}}{1 - \frac{v}{C_{\omega}}} \quad (6.53)$$

$$\text{Khi tàu chạy ngược sóng: } \tau_{\omega e} = \frac{\tau}{1 + \frac{v}{C_{\omega}}} \quad (6.54)$$

Từ đó ta thấy khi tàu theo sóng, chu kỳ gặp sẽ lớn hơn chu kỳ sóng τ_{ω} , nếu vận tốc của tàu $v =$ vận tốc truyền sóng C_{ω} , thì $\tau_{\omega} \rightarrow \infty$, có nghĩa là sóng và tàu cùng vận tốc, hình dáng sóng trên tàu không đổi.

Lắc dọc trên sóng là một vấn đề khoa học khá phức tạp, không thể đơn giản hoá như trường hợp lắc ngang. Người ta áp dụng thuyết "Strip Theory" để giải bài toán này: coi sự vận động (lắc dọc) của cả con tàu là cộng lại của sự vận động của từng khối hình trụ có chiều cao bằng dx và đáy hình trụ là các sườn cắt ngang tàu. Mỗi hình trụ vận động theo z_g do dập dềnh và vận động theo z_g do lắc dọc ψ ($+z_g - \psi$ ($x - x_g$)). Ở đây chỉ giới thiệu kết quả nghiên cứu cùng kết quả thí nghiệm. Biên độ dập dềnh cùng lắc dọc tùy thuộc vào tỷ lệ chiều dài sóng λ_{ω} /chiều dài tàu L và tỷ lệ $\lambda = \frac{\tau_z \text{ (hoặc } \tau_{\psi})}{\tau_{\omega e}}$ gọi là tỷ lệ cộng hưởng λ : Khi hệ số cộng hưởng $\lambda \approx 1$, thì biên độ

dập dềnh và lắc dọc đều đạt max và các biên độ đó đều đạt trị số lớn nhất trong phạm vi $\lambda = 1,0 \div 1,25$. Kết quả nghiên cứu được trình bày trên hình 6.24.



Hình 6.24.

6.5.4. ẢNH HƯỞNG CỦA DẬP DẼNH VÀ LẮC DỌC

1. Ảnh hưởng đối với lực cản

Dập dềnh và lắc dọc là nguyên nhân chính gây nên tăng lực cản trên sóng so với chạy trong nước tĩnh. Theo tính toán bằng lý thuyết lượng gia tăng về lực cản do dập dềnh bằng 9 ~ 12,35 lần do lắc dọc gây nên: ở tốc độ cao gấp 9 lần, khi đậu tại chỗ 12,35 lần. Khi sóng dữ dội, toàn bộ công suất tàu dùng để chống lực cản sóng, trong đó 93% do dập dềnh gây nên.

2. Ảnh hưởng đối với sức bền của tàu

Chu kỳ dập dềnh và lắc dọc gần bằng nhau, nhưng hai sự vận động lệch pha. Nếu tần số gặp của sóng gần bằng chu kỳ dập dềnh hoặc lắc dọc, thì lệch pha trên sẽ rất bé, lúc đó lực dập dềnh ở đáy mũi sẽ rất lớn, bằng 5 ~ 6 lần lúc bình thường, gọi là Sleming, dễ gây hư hỏng tàu. Trong chiến tranh chống phá hoại của Mỹ, đội tàu Giải Phóng của ta đã bị hiện tượng này.

3. Ảnh hưởng đối với an toàn

Dập dềnh và lắc dọc gây nên biên độ vận động hướng z ở phần mũi lớn, nếu mạn khô ở đó không đủ cao, mũi tàu sẽ chui vào sóng, có lúc mũi chui vào sóng nhưng nước đã tràn lên boong, trong tình hình đó nếu các lỗ thoát nước không đủ lớn, thì rất có thể tích nước (nước không thoát kịp) mùa đông đóng thành băng, gây ảnh hưởng đến an toàn.

4. Ảnh hưởng đến sinh lý con người

Tuy góc lắc dọc tuy nhỏ hơn góc lắc ngang nhiều, nhưng chu kỳ lắc dọc ngắn, lại cộng với dập dềnh làm cho vận tốc tuyến tại mũi rất lớn làm cho gia tốc tại mũi rất lớn, khiến người ta say sóng. Người ta đã tiến hành đo đạc 4 con tàu đánh cá có tính hàng hải kém và phát hiện, ở trên biển cấp 8 ~ 9, gần giữa tàu (về phía lái) gia tốc đạt 3 m/s^2 , ở mũi do ảnh hưởng của hai thứ dập dềnh và lắc dọc, gia tốc đạt tới 8 m/s^2 , xấp xỉ gia tốc trọng trường g.

5. Ảnh hưởng đến lắc ngang của tàu

Chiều cao ổn định ban đầu của tàu sẽ bị thay đổi, do vị trí tương quan ở trên chiều dài tàu. Khi mặt cắt ngang giữa tàu ở trên đỉnh sóng thì đường cong ổn định sẽ bất lợi về ổn định, ngược lại khi mặt cắt ngang giữa tàu ở đáy sóng, thì đường cong ổn định sẽ tốt hơn, nếu sự thay đổi đó thành chu kỳ và gặp các trường hợp:

$$\frac{\tau_{\omega e}}{\tau_{\theta}} = \frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2}, 2, \dots$$

thì tuy chạy trên sóng dọc, nhưng vẫn có thể gây nên lắc ngang trên sóng qui tắc, nhưng may thay là trên biển sóng đều không qui tắc nên việc lắc ngang đó rất ít. Nhưng vẫn phải chú ý tình hình ổn định khi chạy theo sóng lúc $v \approx C_w$ (vận tốc của tàu bằng vận tốc truyền sóng).

Chương 7

LỰC CẢN ĐỐI VỚI TÀU CHẠY

Khi tàu chạy trên mặt nước, tàu sẽ chịu lực cản của môi trường là nước và không khí. Do tỷ trọng của nước gấp khoảng 800 lần của không khí, cho nên lực cản của nước giữ vị trí quyết định trong tính chạy nhanh của tàu (tất nhiên ta đang giới hạn đối với các phương tiện ở dạng bơi trên nước, đối với tàu chạy nhanh như tàu có cánh ngầm, tàu đệm khí v.v... thì lực cản của không khí là đáng kể).

Nghiên cứu lực cản của nước đối với tàu nhằm trả lời hai câu hỏi:

- Xác định lực cản đối với các loại tàu (với các kích thước khác nhau) ở các điều kiện hàng hải khác nhau.
- Làm thế nào để giảm bớt lực cản khi thiết kế (lựa chọn kích thước, tỷ lệ của chúng, đường hình dáng của tàu v.v...), khi đóng tàu cũng như khi khai thác tàu.

Để trả lời câu hỏi trên, ta phải nghiên cứu bản chất của sự vận động tàu trên mặt nước.

7.1. CÁC THÀNH PHẦN CỦA LỰC CẢN

Khi tàu chạy, người ta quan sát thấy sự thay đổi của mặt nước tự do, hay là sự hình thành sóng như hình 7.1a, nguyên nhân của sự hình thành này là do thay đổi áp lực của nước trên bề mặt thay đổi, khiến các phân tử sẽ vận động lên xuống hình thành sóng. Sự hình thành sóng gắn chặt với sức hút trọng trường đối với phân tử nước. Sự hình thành hệ sóng này đã tiêu hao năng lượng của tàu, đó là lực cản tạo sóng, thể hiện sự phân bố lại áp lực trên thân tàu do vận động của sóng gây nên.

Người ta quan sát thấy một lớp nước không dày quanh bề mặt vỏ tàu đi theo hướng đi tới của tàu như hình 7.1b, lớp nước đó người ta gọi là lớp biên. Dưới tác dụng của tính nhớt của nước (nước trên bề mặt vỏ tàu sẽ chạy theo tàu) và do sự truyền (hướng ngang) của vận tốc, sẽ gây nên lực tiếp tuyến tác dụng lên vỏ tàu. Hợp lực của lực tiếp tuyến chiếu trên hướng vận động của tàu là lực cản ma sát đối với tàu.

Ngoài ra ta quan sát phía sau lái, thấy có một vùng xoáy chạy theo tàu (hình 7.1b) ta gọi là dòng xoáy theo, nguyên nhân cũng giống như lực cản nước đối với tàu là do tính nhớt của nước gây nên. Dòng xoáy này hình thành cũng như cường độ của nó phụ thuộc vào hình dáng phía đuôi tàu. Sự tồn tại của dòng xoáy theo sẽ dẫn đến giảm áp phía thân tàu, từ đó gây nên lực cản xoáy hay là lực cản hình dáng (vì phụ thuộc vào hình dáng đuôi tàu).

Như thế, khi tàu chạy trong nước sẽ gặp ba lực cản: lực cản gây sóng do tác dụng của trọng trường gây nên, lực cản ma sát và lực cản xoáy, hai lực cản này do tính nhớt của nước gây nên.

Trên đây, ta đã quan sát hình ảnh của nước quanh tàu và rút ra các lực cản của nước đối với tàu và nguyên nhân gây nên của chúng, ta cũng hoàn toàn có thể lý giải sự hình thành ba lực cản đó qua sự phân tích từ góc độ thủy động học, ta sẽ quay lại vấn đề này khi nghiên cứu kỹ từng thành phần lực cản.

Tóm lại ta có thể lập bảng 7.1 về phân loại lực cản và nguyên nhân hình thành của chúng.

Bảng 7.1.

Lực cản	Sự vận động của chất lỏng	Tính chất của chất lỏng	Phương tác dụng của chất lỏng vỏ tàu
Gây sóng	Chuyển động sóng	Sức hút của trọng trường	Vuông góc với mặt vỏ tàu
Ma sát	Lớp biên	Tính nhớt của nước	Tiếp tuyến
Hình dáng	Dòng theo	"	Vuông góc với mặt vỏ

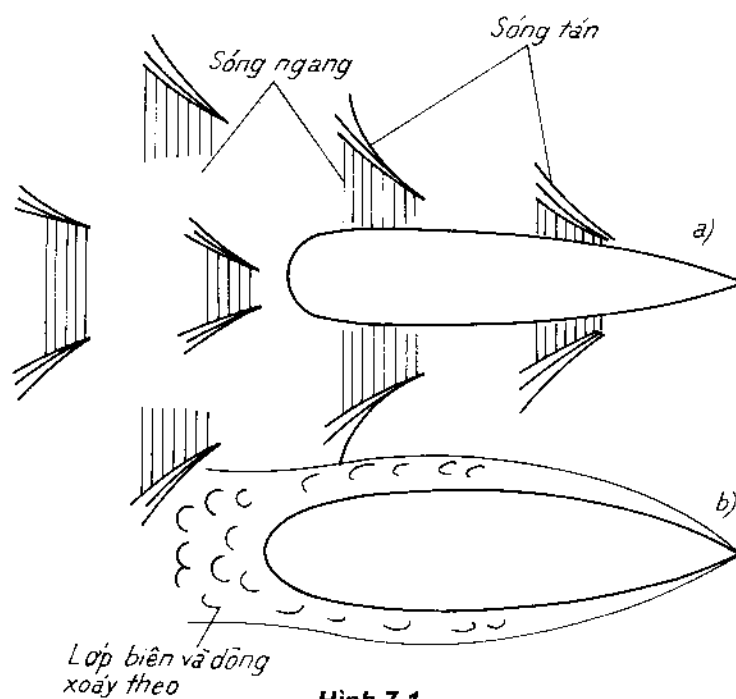
Thông thường khi thử tàu, người ta gộp lực cản tạo sóng và lực cản hình dáng chung lại và lấy tên là lực cản dư, như vậy lực cản chỉ còn hai loại là lực cản ma sát và lực cản dư. Nguyên nhân của sự phân chia này ta sẽ được lý giải sau khi nghiên cứu điều kiện đồng dạng khi thử mô hình.

Công thức tổng quát để tính lực cản R của nước đối với tàu sẽ là:

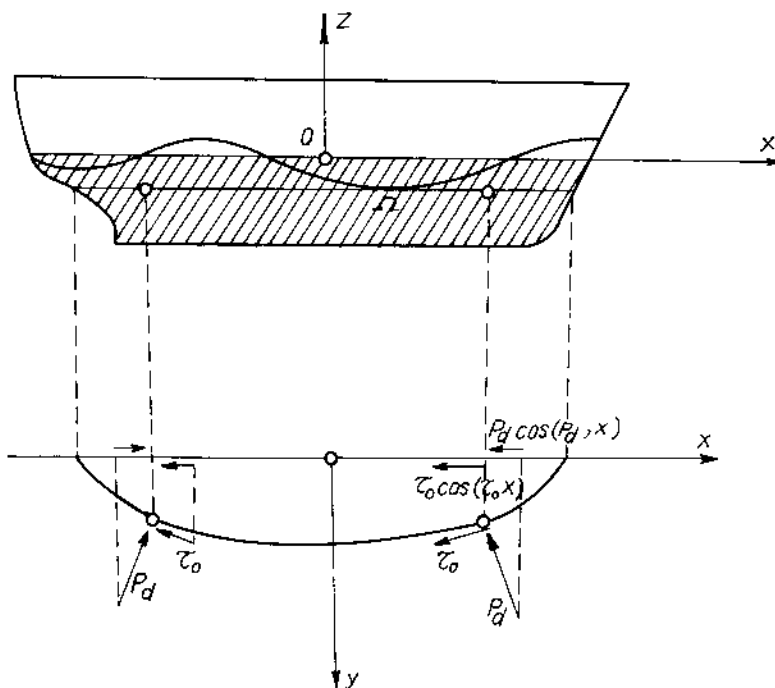
$$R = \iint_{\Omega} [\tau_o \cos(\tau_o, x) + p_d \cos(z_{pd}, x)] d\Omega \quad (7.1)$$

Xem hình 7.2 trong đó Ω diện tích ngâm nước của thân tàu p_d – áp suất pháp tuyến của nước tác dụng trên thân tàu, τ_o – áp suất tiếp tuyến của nước tác dụng lên tàu.

Công thức trên chỉ đúng với tàu dạng bơi, nên không có lực nâng (hướng z) và mômen làm cho tàu chúi (nâng mũi lên) và chưa xét đến lực cản không khí.



Hình 7.1.



Hình 7.2.

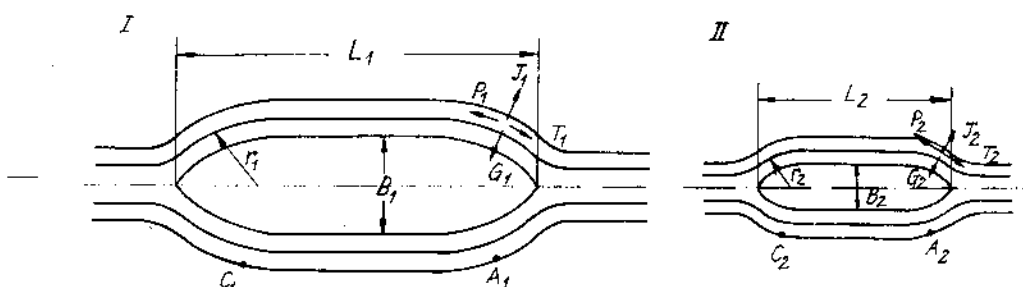
7.2. ĐIỀU KIỆN ĐỒNG DẠNG ĐỘNG LỰC HỌC GIỮA TÀU VÀ MÔ HÌNH

Công thức tổng quát về lực cản cũng như mọi ngành khoa học khác, bộ môn thủy động học tàu thủy cũng rất cần sự hỗ trợ của việc thử nghiệm trong công tác nghiên cứu, một mặt để minh chứng các kết quả nghiên cứu lý luận, hơn nữa nhiều

lĩnh vực trong bộ môn thủy động học công tác nghiên cứu lý thuyết chưa đáp ứng được yêu cầu của thực tiễn sản xuất, ví dụ về tính toán lực cản gây sóng là một ví dụ về sự bất cập của nghiên cứu lý thuyết.

Để chuẩn bị công tác thử mô hình cũng như thu thập và gia công các số liệu thí nghiệm, phải tôn trọng điều kiện đồng dạng giữa mô hình và tàu thực: đồng dạng hình học, đồng dạng động học và đồng dạng động lực học.

Ta hãy nghiên cứu 2 hệ thống thực tế và mô hình như trình bày trên hình 7.3. Điều kiện đầu tiên là hai hệ thống phải đồng dạng hình học. Hai hệ thống được coi là hệ thống đồng dạng khi tỷ lệ bất kỳ một kích thước nào của hệ thống thực và kích thước tương ứng của hệ thống mô hình có một tỷ lệ cố định.



Hình 7.3.

Trên hình 7.3 ta lấy kích thước của vật và các dòng chảy bao quanh vật, ví dụ kích thước L , B và bán kính của đường dòng. Hai hệ thống I và II đồng dạng khi:

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{B_2}{B_1} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{\sqrt{S_2}}{\sqrt{S_1}} = \frac{\sqrt[3]{V_2}}{\sqrt[3]{V_1}} = \lambda \quad (7.2)$$

Trị số λ gọi là tỷ lệ chiều dài.

Ngoài sự đồng dạng về hình học, dòng chảy quanh vật I và II cũng phải đồng dạng, đồng dạng đó gọi là đồng dạng động học. Hai hệ thống I và II đồng dạng động học khi tỷ lệ khoảng thời gian trên hệ thống thực và khoảng thời gian tương ứng trên hệ thống mô hình có một tỷ lệ cố định. Trên hệ I, phân tử nước đi từ điểm A_1 đến C_1 mất t_1 ; trên hệ II, phân tử nước đi từ điểm A_2 đến C_2 mất t_2 thì:

$$\frac{t_1}{t_2} = \tau \quad (7.2a)$$

Trị số τ – gọi là tỷ lệ thời gian.

Nếu hai hệ thống đồng dạng động học thì vận tốc và gia tốc trong hai hệ thống cũng có một tỷ lệ nhất định.

Trên thực tế:

$$\text{Về vận tốc:} \quad \frac{v_2}{v_1} = \frac{dl_2}{dt_2} ; \frac{dl_1}{dt_1} = \frac{l_2}{t_2} ; \frac{l_1}{t_1} = \frac{\lambda}{\tau} \quad (7.3)$$

$$\text{Về gia tốc:} \quad \frac{w_2}{w_1} = \frac{dv_2}{dt_2} ; \frac{dv_1}{dt_1} = \frac{v_2}{t_2} ; \frac{v_1}{t_1} = \frac{\lambda}{\tau^2} \quad (7.4)$$

Cũng tương tự như vậy ta có thể tìm được tỷ lệ giữa vận tốc góc ω và gia tốc góc ε :

$$\left. \begin{aligned} \frac{\omega_2}{\omega_1} &= \frac{1}{\tau} \\ \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} &= \frac{1}{\tau^2} \end{aligned} \right\} \quad (7.5)$$

Thông thường người ta không dùng tỷ lệ thời gian τ mà dùng tỷ lệ vận tốc $\theta = \frac{v_1}{v_2}$, do đó:

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \frac{t_2}{t_1} = \frac{\lambda}{\theta} \\ \frac{\omega_1}{\omega_2} &= \frac{\theta^2}{\lambda} \end{aligned} \right\} \quad (7.6)$$

Cuối cùng hai hệ thống đồng dạng động lực học trong trường hợp: lực tác dụng trên hệ thống I và lực tương ứng trên hệ thống II có một tỷ lệ cố định không phụ thuộc vào môi trường vật lý của chúng.

Trong chất lỏng có ba lực tác dụng, áp lực P, lực ma sát do tính nhớt T, và trọng lực G (bỏ qua lực căng bề mặt) và lực quán tính I.

Theo định luật D'alambert, phân tử nước sẽ giữ cân bằng dưới tác dụng của các lực kể trên:

$$\left. \begin{aligned} \bar{I}_1 + \bar{T}_1 + \bar{G}_1 + \bar{P}_1 &= 0 ; \\ \bar{I}_2 + \bar{T}_2 + \bar{G}_2 + \bar{P}_2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (7.7)$$

Nếu cộng các vectơ lực lại, thì ta sẽ có:

$$\left. \frac{\bar{I}_1 + \bar{T}_1 + \bar{G}_1}{\bar{I}_2 + \bar{T}_2 + \bar{G}_2} = \frac{\bar{P}_1}{\bar{P}_2} \right\}$$

Do đó nếu đối với ba lực đảm bảo đồng dạng động lực học, thì đối với lực thứ tư sẽ tự động đồng dạng, hay nói một cách khác, một lực có thể loại ra không cần nghiên cứu trong trường hợp của ta, ta loại áp lực ra.

Bây giờ ta tiến hành nghiên cứu từng lực riêng biệt và tìm điều kiện đồng dạng của chúng.

Trường hợp I: Trong chất lỏng, ngoài lực áp lực, chỉ có lực quán tính tác dụng.

Điều kiện đồng dạng động lực học sẽ là:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{m_2 w_2}{m_1 w_1} = \frac{\rho_2 V_2 w_2}{\rho_1 V_1 w_1} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \lambda^2 \theta^2 = \frac{\rho l_2^2 v_2^2}{\rho_1 l_1^2 v_1^2} \quad (7.9)$$

trong đó m và ρ – khối lượng và mật độ của chất lỏng.

Trường hợp II: Ngoài lực áp lực, trên chất lỏng còn có lực quán tính và lực ma sát tác dụng.

Điều kiện cân bằng động lực học sẽ là:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (7.10)$$

Căn cứ định luật Newton, lực cản ma sát bằng:

$$T = \tau \cdot S = \mu \frac{dv}{dl} S. \quad (7.11)$$

Dựa vào (7.9) và (7.11) không khó có thể chuyển thành biểu thức:

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} \lambda^2 \theta^2 = \frac{\mu_2}{\mu_1} \lambda \theta \quad (7.12)$$

$$\text{Từ đó} \quad \lambda \theta = \frac{v_2 l_2}{v_1 l_1} = \frac{v_2}{v_1} ; \left(v = \frac{\mu}{\rho} \right) \quad (7.13)$$

$$\text{hay là} \quad \frac{v_1 l_1}{v_1} = \frac{v_2 l_2}{v_2} \quad (7.14)$$

Từ (7.13) và (7.14) ta thấy, trong trường hợp này tỷ lệ chiều dài λ và tỷ lệ vận tốc θ không thể tùy ý chọn, mà giữa chúng có quan hệ chặt chẽ.

$$\text{Ta ký hiệu} \quad \frac{vl}{v} = Rn \text{ (Re)} \quad (7.15)$$

Rn gọi là trị số Reynold. Trị số Rn của tàu thực và mô hình phải bằng nhau (định luật đồng dạng Reynold).

Trong đó hệ số nhớt động học v , thay đổi theo từng chất lỏng, ví dụ ở 20°C thì nước có 10^{-6} [m²/s], còn glicerín thì bằng $6,8 \cdot 10^{-4}$ [m²/s], nhưng ở một chất lỏng thì nhiệt độ tăng $v \downarrow$.

Ví dụ nước, v chỉ phụ thuộc vào t°

Nhiệt độ t°	0°	10°	20°	30°
v	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$0,8 \cdot 10^{-6}$

Trường hợp III: Ngoài áp lực, lực quán tính còn có trọng lực tác dụng [chất lỏng lý tưởng (không nhớt) có trọng lượng].

Điều kiện đồng dạng:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \lambda^2 \theta^2 = \frac{G_2}{G_1} = \frac{\rho_2 g_2 V_2}{\rho_1 g_1 V_1} = \frac{\rho_2 g_2}{\rho_1 g_1} \lambda^3 \quad (7.16)$$

Từ đó:
$$\frac{\theta^2}{\lambda} = \frac{g_2}{g_1} \quad (7.17)$$

hay là
$$\frac{v_1}{\sqrt{g l_1}} = \frac{v_2}{\sqrt{g l_2}} \quad (7.18)$$

Trị số $\frac{v}{\sqrt{gl}}$ gọi là trị số Froude. Như vậy muốn đồng dạng động lực học trong trường hợp có trọng lực tác dụng thì trị số Froude của tàu và mô hình phải bằng nhau. Hiện nay trong sách vở đóng tàu quốc tế, trị số Froude viết tắt là Fn , và số Reynold Re được thay bằng Rn .

Trường hợp IV: Trên chất lỏng tác dụng cả 3 loại lực. Điều kiện đồng dạng động lực học sẽ là:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{G_2}{G_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (7.19)$$

Điều kiện này dẫn đến phải thỏa mãn cả (7.13) và (7.17), ta có thể suy ra:

$$\lambda = \left(\frac{g_2}{g_1} \right)^{-1/3} \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{2/3} \quad (7.19)$$

$$\theta = \left(\frac{v_2}{v_1} \cdot \frac{g_2}{g_1} \right)^{1/3} \quad (7.20)$$

Thực tế, khi làm mô hình tàu hệ số chiều dài $\lambda \ll 1$ (tàu thực lớn hơn mô hình nhiều), ta lại không thể điều chỉnh trọng trường vì $g = \text{const}$, $g_1 = g_2$, từ đó $v_2 \ll v_1$ là điều không thể thực hiện được vì trong thực tế độ nhớt động học thường nhỏ hơn độ nhớt của nước, có nghĩa là trong thực tế không thể thỏa mãn đồng dạng động lực học toàn bộ, mà chỉ đồng dạng động học bộ phận, cụ thể là tuân thủ định luật Froude, khiến $Fn_{\text{tàu}} = Fn_{\text{mô hình}}$ tiến hành thử để tìm lực cản gây sóng, còn lực cản ma sát (do tính nhớt) thì dùng phương pháp tính toán theo lý thuyết.

Bây giờ ta dựa vào lý thuyết đồng dạng tìm mối quan hệ giữa các lực tác dụng lên tàu. Đối với hệ thống đồng dạng, tỷ lệ giữa lực cản của hệ thống phải bằng tỷ lệ giữa lực quán tính:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{\rho_2 L_2^2 v_2^2}{\rho_1 L_1^2 v_1^2} \quad (7.21)$$

Ta có thể biến công thức (7.21) thành:

$$\frac{R_1}{\rho_1 L_1^2 v_1^2} = \frac{R_2}{\rho_2 L_2^2 v_2^2} = \frac{z}{2} \quad (7.22)$$

Nếu giữa tàu và mô hình đồng dạng toàn bộ, thì hệ số lực cản z của hệ thống phải bằng nhau. Trong trường hợp đồng dạng có điều kiện, khi Fn và Rn thay đổi thì hệ số lực cản ζ phụ thuộc vào không những chỉ đặc trưng hình học của tàu và dòng chảy chung quanh mà còn phụ thuộc vào trị số Fn , Rn .

Đại diện đặc trưng của vận tốc (trong biểu thức 7.22) là vận tốc của tàu, còn đại diện đặc trưng của kích thước tuyến tính (7.22) là diện tích mặt nước Ω . Như vậy công thức (7.22) sẽ chuyển thành:

$$R = \zeta(Fn, Rn) \frac{\rho}{2} \Omega v^2 \quad (7.23)$$

Trong phần 7.1 ta đã phân loại lực cản đối với tàu, cộng với hệ số lực cản vừa giải thích về ζ ta có thể trình bày hệ số lực cản với dạng:

$$\zeta(Fn, Rn) = \zeta_r(Rn) + \zeta_v(Rn) + \zeta_\omega(Fn) \quad (7.24)$$

trong đó ζ_r — hệ số lực cản ma sát;

ζ_v — hệ số lực cản hình dáng (bao gồm cả lực cản do các phần nhô ra gây nên);

ζ_ω — hệ số lực cản gây sóng.

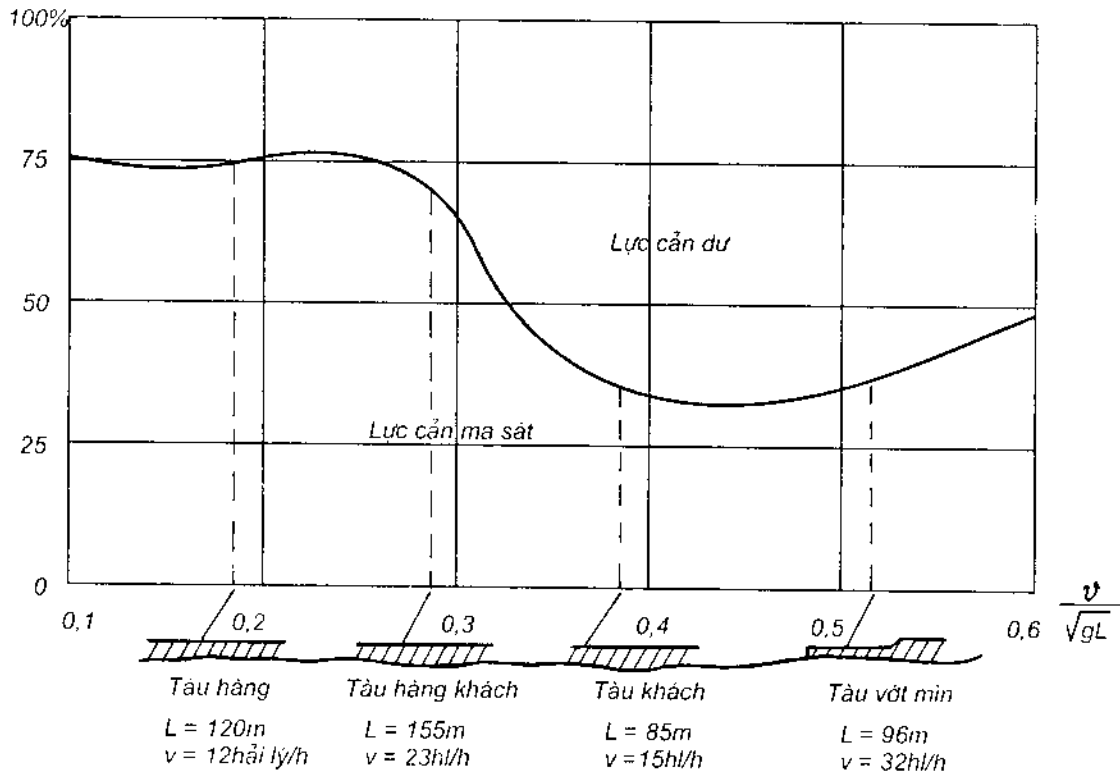
Phương pháp xác định các hệ số lực cản sẽ là nội dung chương này của môn Lý thuyết tàu.

Như đã nói trong phần điều kiện đồng dạng động lực học toàn bộ, không thể tìm được mô hình có đồng dạng động lực học toàn bộ, thông thường khi thử mô hình ta chọn mô hình có tỷ lệ λ và thử với tốc độ mô hình khiến Fn của tàu và mô hình bằng nhau, để tìm $\zeta_\omega(Fn)$. Còn $\zeta_r(Rn)$ của tàu thì tính toán theo lý thuyết và như vậy ta có thể tính được lực cản toàn bộ của tàu R .

Trị số Fn là một thông số rất quan trọng đối với tính chạy nhanh của con tàu, Fn không nhân thức, $Fn = \frac{v}{\sqrt{gL}}$, v tính bằng m/s, g gia tốc trọng trường tính bằng

m/s², L tính m. Tàu chạy nhanh có Fn lớn (ở đây nhanh là tương đối, hai tàu cùng một vận tốc, nhưng tàu có chiều dài tàu bé là tàu chạy nhanh, còn tàu có chiều dài rất lớn loại tàu thấp tốc).

Đối với các loại tàu (tàu chạy nhanh, tàu chạy chậm) thì tỷ lệ của các thành phần lực cản trong toàn bộ lực cản sẽ khác nhau rất xa. Trên hình 7.4 trình bày tỷ lệ của các thành phần lực cản của các loại tàu:



Hình 7.4. Tỷ lệ các thành phần lực cản đối với các loại tàu.

7.3. LỰC CẢN MA SÁT

Qua hình 7.4 ta thấy, ở các tàu có trị số $Fn < 0,30$ (thông thường các tàu vận tải viễn dương, tàu ven biển trọng tải trên 1000 tấn đều nằm trong phạm vi $Fn < 0,30$) thì lực cản ma sát chiếm từ 50 đến 75% tổng lực cản. Vì vậy muốn giảm lực cản của các loại tàu này thì phải tìm cách hạ giảm lực cản ma sát.

Trước hết ta hãy quan sát biểu thức (7.24) đối với lực cản ma sát:

$$R_f = \zeta_f(Rn) \cdot \frac{1}{2} \rho \Omega v^2 \quad (7.25)$$

trong đó: $R_n = \frac{vL}{v}$.

$\zeta_f(R_n)$ hệ số lực cản ma sát, chỉ phụ thuộc vào trị số R_n . Nếu tàu và mô hình tàu (hoặc giữa tàu này và tàu khác) có R_n giống nhau thì $I_f = \text{const}$. Ta hãy nghiên cứu một ví dụ cụ thể. Làm một mô hình tỷ lệ $\lambda = \frac{1}{25}$ để thử tàu có vận tốc thực tế $v_t = 35$ hải lý/giờ.

Muốn đồng dạng trọng lực thì:

$$\frac{v_{\text{mô hình}}}{\sqrt{gL_{\text{mô hình}}}} = \frac{v_t}{\sqrt{gL_t}}$$

Từ đó vận tốc mô hình:

$$v_m = v_t \sqrt{\frac{L_m}{L_t}} = 35 \sqrt{\frac{1}{25}} = 7 \text{ hải lý/h};$$

Muốn đồng dạng ma sát để thử ζ_f thì:

$$R_m = \frac{v_m L_m}{v_{\text{thực tế}}} = \frac{v_t L_t}{v_{\text{bề thử}}};$$

Giả thiết $v_{\text{thực tế}} = v_{\text{bề thử}}$, do đó ta suy ra:

$$\frac{v_t}{v_m} = \frac{L_m}{L_t} = \frac{1}{25} \rightarrow v_m = 25 v_t = 25.35 = 875 \text{ hải lý/h}.$$

Đó là điều không tưởng, vậy thì có thể thực hiện được $\frac{L_m}{L_t} = 1$ và $v_m = v_t$, nghĩa là thử tàu thực, điều đó không có ý nghĩa thực tế, và cũng không ai làm cả.

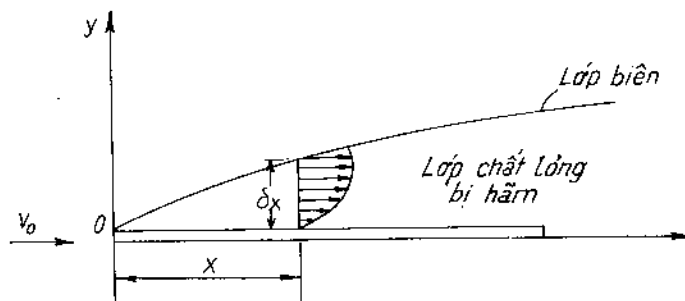
Như thế ta có thể kết luận: Không thể dùng mô hình để tìm hệ số lực cản, và chỉ có dùng nghiên cứu lý thuyết để tìm hệ số lực cản ma sát.

Trước hết ta nghiên cứu lực cản ma sát của tấm phẳng mỏng có kích thước (chiều dài L , diện tích ướt Ω) tương ứng với tàu và vận dụng kết quả nghiên cứu đó vào để tính lực cản ma sát của nước đối với tàu với sự điều chỉnh nhất định.

7.3.1. LỰC CẢN CỦA TẤM PHẪNG, MỎNG

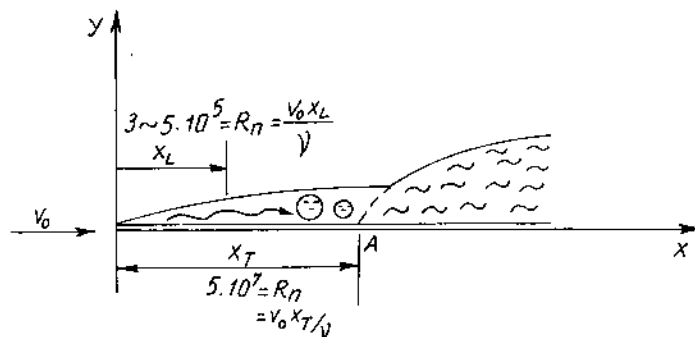
Trước hết theo định luật Newton, ta có thể giả thiết tấm đứng yên, nước chảy theo hướng mặt tấm, do nước có tính nhớt nên các phân tử nước nằm trên mặt tấm nằm yên, hay là vận tốc của chúng theo hướng $ox = 0$. Tùy theo mức độ khoảng cách từ điểm nghiên cứu tới mặt phẳng tấm mà vận tốc của phân tử nước sẽ tăng

dần, tới lúc vận tốc đó đạt 99,5% v_0 (v_0 là vận tốc của dòng chảy ở điểm xa cách mút tấm O) thì ta coi như sự kìm hãm của tấm không còn nữa đối với phân tử nước nữa. Quỹ tích của các điểm đó là một đường cong xuất phát từ mút của tấm, và chiều dày từ mặt tấm tới đường cong đó càng lớn dần về phía sau của tấm (hình 7.5).



Hình 7.5. Mô tả lớp biên nói chung.

Lớp chất lỏng ở phía ngoài đường biên đó ($y > \delta x$) sự ma sát giữa các lớp chất lỏng rất bé, ở đó chất lỏng coi như chất lỏng lý tưởng, không có ma sát và sự vận động chất lỏng là vận động không nhiễu (có thể), còn lớp chất lỏng ở phía trong lớp biên sẽ bị nhiễu, nhưng có hai dạng: dạng chảy tầng, dạng chảy rối

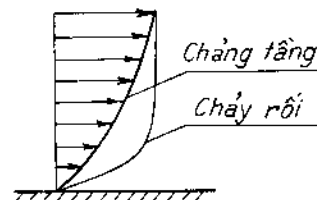


Hình 7.6. Lớp biên chảy tầng và chảy rối trên tấm phẳng.

chỉ ổn định khi trị số R_n thấp, ứng với $x_t = 3 \sim 5 \cdot 10^5$ (hình 7.6). Khi R_n tăng dần lên thì chảy tầng bị phá hoại dòng chảy chuyển sang chảy rối, ngoài vận tốc dòng theo x còn theo hướng vuông góc với tấm hướng y (hình 7.6). Trên hình đã chỉ rõ, ở điểm

A có $R_n = \frac{v l}{\nu} = \frac{v x_T}{\nu} = 5 \cdot 10^7$. Ở cách điểm mút

x_T về sau, sự vận động trong lớp biên đã hoàn toàn chuyển sang chảy rối. Chiều dài x_T hoàn toàn phụ thuộc vào vận tốc v_0 , khi v_0 tăng thì x_T sẽ giảm dần, còn trong đoạn từ x_L đến x_T là đoạn quá độ từ chảy tầng đến chảy rối. Sự phân bố vận tốc khi chảy tầng và chảy rối thể hiện trên hình 7.7, ta thấy sự phân bố khi chảy rối là san bằng hơn khi chảy tầng, nhưng trong



Hình 7.7. Phân bố vận tốc.

đoạn sát tấm thì không thấy sự san bằng đó, mà lại giống chảy tầng, ta gọi là lớp lót chảy tầng. Quan sát kỹ hiện tượng đó trên hình 7.8.

- ① Phân bố vận tốc ở lớp lót chảy tầng hầu như tuyến tính.
- ② Phân bố vận tốc ở lớp quá độ gần như parabol bậc 3.
- ③ Phân bố vận tốc ở lớp chảy rối phức tạp hơn, ở gần tấm thì dạng logarit, còn ở trên thì phân bố biến tính.

Về lý thuyết như đã trình bày trên hình 7.6 trên tấm có 3 đoạn, đoạn đầu bắt đầu từ mũi ($x = 0$) là đoạn chảy tầng có chiều dài x_l (ứng với $Rn = \frac{v x_l}{\nu} \approx (3 \sim 5) \cdot 10^5$ từ $x_l - x_T$ (ứng với) $Rn \approx \frac{v x_T}{\nu} (\approx 5 \cdot 10^7)$ thì chảy trong lớp biên hoàn

toàn chảy rối. Nhưng trong thực tế khi vận tốc v tăng x_l và x_T so với chiều dài tấm L sẽ vô cùng nhỏ, $x_l \ll L$. Điều đó hoàn toàn chính xác vì tàu $Rn \approx 10^7 - 10^9$ (ngay cả mô hình cũng gần như vậy), đoạn chảy tầng đối với lực cản của toàn tấm (do chảy rối gây nên) không có ý nghĩa gì, nên việc nghiên cứu chảy rối là quan trọng đối với lực cản ma sát của tấm mỏng.

Nhưng như thế không có nghĩa là không cần lưu ý đến chảy tầng, ngay cả lớp lót chảy tầng, nếu trên tấm có độ gồ ghề (bu lông, hoặc gỉ sơn v.v...) nằm hoàn toàn dưới lớp lót chảy tầng, nghĩa là chiều dày của chúng nhỏ hơn $\delta'_x \approx 0,01\delta_x$ (1% chiều dày lớp biên tại chỗ), thì với dòng chảy rất thấp tại đó sẽ không gây nên xoáy (điều này ta sẽ nói thêm khi bàn về lực cản ma sát của tàu).

Lực cản của tấm khi chảy tầng được tính theo công thức:

$$\zeta_r = \frac{R_f}{\rho/2 v^2 \Omega} = 1,327 Rn^{-0,5} \quad (7.26)$$

Lực cản của tấm khi chảy rối:

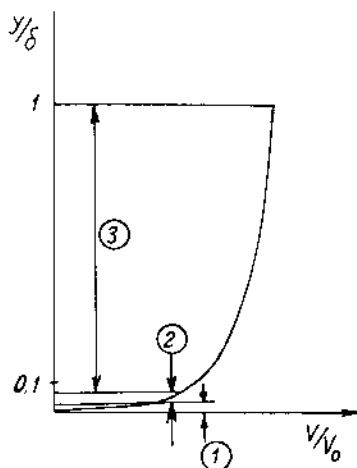
Theo Prandtl – Schlichting:

$$\zeta_r = 0,455 (\lg Rn)^{-2,58} \quad (7.27)$$

$$\text{Theo Schoenherr: } \frac{0,242}{\sqrt{\zeta_r}} = \lg(Rn \zeta_r) \quad (7.28)$$

Theo ITTC (Hội nghị Bể thử Quốc tế) thì nên lấy:

$$\zeta_r = 0,075 (\lg Rn - 2)^{-2} \quad (7.29)$$



Hình 7.8. ① Lớp lót chảy tầng.
② Lớp quá độ.
③ Lớp chảy rối.

Để tiện cho việc tính toán, trên bảng 7.2 trình bày $\zeta_r = 0,4555 (\sqrt{\lg Rn})^{-2,58}$

Bảng 7.2. Trị số lực cản ma sát của tấm bản mỏng $\zeta_r = 0,455(\lg Rn)^{-2,58}$

Rn	ζ_r	Rn	ζ_r	Rn	ζ_r
$2,0 \times 10^6$	$3,84 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^7$	$2,49 \times 10^{-3}$	$7,0 \times 10^8$	$1,65 \times 10^{-3}$
$2,5 \times 10^6$	$3,72 \times 10^{-3}$	$4,5 \times 10^7$	$2,44 \times 10^{-3}$	$8,0 \times 10^8$	$1,61 \times 10^{-3}$
$3,0 \times 10^6$	$3,62 \times 10^{-3}$	$5,0 \times 10^7$	$2,4 \times 10^{-3}$	$9,0 \times 10^8$	$1,58 \times 10^{-3}$
$3,5 \times 10^6$	$3,54 \times 10^{-3}$	$6,0 \times 10^7$	$2,34 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^9$	$1,56 \times 10^{-3}$
$4,0 \times 10^6$	$3,47 \times 10^{-3}$	$7,0 \times 10^7$	$2,29 \times 10^{-3}$	$1,25 \times 10^9$	$1,51 \times 10^{-3}$
$4,5 \times 10^6$	$3,41 \times 10^{-3}$	$8,0 \times 10^7$	$2,25 \times 10^{-3}$	$1,50 \times 10^9$	$1,47 \times 10^{-3}$
$5,0 \times 10^6$	$3,36 \times 10^{-3}$	$9,0 \times 10^7$	$2,21 \times 10^{-3}$	$1,75 \times 10^9$	$1,44 \times 10^{-3}$
$6,0 \times 10^6$	$3,27 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^8$	$2,18 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^9$	$1,41 \times 10^{-3}$
$7,0 \times 10^6$	$3,21 \times 10^{-3}$	$1,25 \times 10^8$	$2,11 \times 10^{-3}$	$2,5 \times 10^9$	$1,37 \times 10^{-3}$
$8,0 \times 10^6$	$3,15 \times 10^{-3}$	$1,50 \times 10^8$	$2,05 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^9$	$1,33 \times 10^{-3}$
$9,0 \times 10^6$	$3,09 \times 10^{-3}$	$1,75 \times 10^8$	$2,01 \times 10^{-3}$	$3,5 \times 10^9$	$1,30 \times 10^{-3}$
$1,0 \times 10^7$	$3,04 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^8$	$1,97 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^9$	$1,28 \times 10^{-3}$
$1,25 \times 10^7$	$2,95 \times 10^{-3}$	$2,5 \times 10^8$	$1,91 \times 10^{-3}$	$4,5 \times 10^9$	$1,26 \times 10^{-3}$
$1,50 \times 10^7$	$2,88 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^8$	$1,86 \times 10^{-3}$	$5,0 \times 10^9$	$1,24 \times 10^{-3}$
$1,75 \times 10^7$	$2,81 \times 10^{-3}$	$3,5 \times 10^8$	$1,82 \times 10^{-3}$	$6,0 \times 10^9$	$1,21 \times 10^{-3}$
$2,0 \times 10^7$	$2,75 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^8$	$1,78 \times 10^{-3}$	$7,0 \times 10^9$	$1,18 \times 10^{-3}$
$2,5 \times 10^7$	$2,67 \times 10^{-3}$	$4,5 \times 10^8$	$1,75 \times 10^{-3}$	$8,0 \times 10^9$	$1,16 \times 10^{-3}$
$3,0 \times 10^7$	$2,60 \times 10^{-3}$	$5,0 \times 10^8$	$1,72 \times 10^{-3}$	$9,0 \times 10^9$	$1,14 \times 10^{-3}$
$3,5 \times 10^7$	$2,54 \times 10^{-3}$	$6,0 \times 10^8$	$1,68 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{10}$	$1,12 \times 10^{-3}$

7.3.2. LỰC CẢN MA SÁT ĐỐI VỚI TÀU

Trong mục 7.3.1 ta đã nghiên cứu về lực cản ma sát đối với tấm bản mỏng, nhưng đối với vỏ tàu vì vỏ cong thì vận tốc chất lỏng trên mặt cong của vỏ tàu lớn hơn vận tốc tới v, nên lực cản ma sát sẽ lớn hơn, nhưng độ cong dọc của tàu lại hoà hoãn bớt sự tăng lực cản, vì lực cản chỉ bao gồm phần chiếu trên hướng vận động tới của lực tiếp tuyến. Thường khi tính toán lực cản ma sát của vỏ tàu ta nhân hệ số K_K (ảnh hưởng độ cong của vỏ tàu) so với lực cản của tấm mỏng phẳng. Hệ số K_K được trình bày trên bảng 7.3.

Bảng 7.3

Tỷ lệ L/B của tàu	6,0	8,0	10	12
Hệ số K_K	1,04	1,03	1,02	1,01

Ta thấy, tàu càng thon (L/B càng lớn), thì ảnh hưởng của độ cong sẽ tiến tới không, nghĩa là $K_K \rightarrow 1$.

Trong các công thức từ (7.27), (7.28), (7.29) để tính lực cản của ma sát khi vận động theo chiều mặt tằm, đã xảy ra chảy rối, nhưng giả thiết tằm là tằm trơn thủy động (chiều cao gồ ghề thấp hơn chiều dày của lớp lót chảy tầng, tức là $1\% \delta_x$), nhưng trong đóng tàu độ nhám của vỏ tàu có nhiều dạng, như đường hàn, rive của tàu tán đỉnh, tàu sử dụng lâu ngày sẽ bị hà bám v.v..., tất cả đều tăng lực cản, đặc biệt nếu những vật có độ nhám đó nằm ở vùng mũi tàu thì ảnh hưởng đối với lực cản ma sát sẽ lớn hơn nhiều (vì chiều dày lớp biên ở mũi bé hơn ở phía sau), người ta bổ sung trị số $\Delta\zeta_r$ so với các công thức (7.27), (7.28), (7.29) và coi như không phụ thuộc vào R_n . $\Delta\zeta_r$ được lấy theo kinh nghiệm như trên bảng 7.4.

Bảng 7.4

Loại tàu	$\Delta\zeta_r$
Tàu hàn điện hoặc tán đỉnh chìm:	
Tàu khách chạy nhanh	$(0,3 - 0,5) \cdot 10^{-3}$
Tàu kéo chạy chậm	$(0,5 - 0,7) \cdot 10^{-3}$
Tàu tán rive hoặc mối hàn không trơn	$(0,7 - 1,2) \cdot 10^{-3}$

Riêng đối với tàu đã sử dụng, do bị gỉ và hà bám nên R_t tăng theo thời gian sử dụng, ước tính mỗi ngày tăng 0,25% trung bình, nhưng nhiều nhất thì cũng không vượt quá 0,5%.

Sau khi tính được ζ_s , ta phải tính diện tích ướt Ω (hoặc diện tích ngâm nước). Về diện tích ướt Ω , hoàn toàn có thể căn cứ vào đường hình dáng để tính, nhưng cũng có thể tính theo các công thức kinh nghiệm. Sau đây là một số công thức kinh nghiệm hay được dùng:

Ví dụ: Đối với tàu hàng đi biển, V. A. Semek kiến nghị:

$$\Omega = [2T + 1,37 (\delta - 0,274) B] L \quad (7.30)$$

Trong đó L , B , T lần lượt là chiều dài, chiều rộng, mớn nước tính bằng m. Nếu đuôi tàu kiểu tuần dương hạm thì $2T$ trong công thức (7.30) được thay bằng $1,97T$, hoặc dùng công thức S. M. Muler:

$$\Omega = L(1,36T + 1,13 \delta.B) \quad (7.31)$$

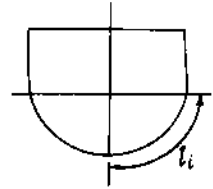
Nhưng chính xác nhất là căn cứ vào đường hình dáng để tính diện tích ướt Ω :

$$\Omega = \int_{-L/2}^{L/2} 2l_x dx \quad (7.32)$$

Trong đó $l_1 = \frac{1}{2}$ chiều dài sườn đo theo chiều cong sườn.

Đến đây ta có thể tóm tắt các bước để tính lực cản R_f :

1. Tính diện tích ướt Ω theo công thức kinh nghiệm hoặc chính xác theo (7.32);
2. Tính ζ_f theo (7.27) hoặc (7.28), (7.29);
3. Tính K_K theo L/B (bảng 7.3);
4. Tính ảnh hưởng của độ nhám do tính chất của vỏ tàu $\Delta\zeta_f$ (bảng 7.4);
5. Tính lực cản R_f theo: $R_f = \frac{1}{2} \rho \Omega v^2 (K_K \zeta_f + \Delta\zeta_f)$.



7.4. LỰC CẢN XOÁY (HOẶC LỰC CẢN HÌNH DÁNG) R_v

Để giải thích sự xuất hiện lực cản xoáy, ta nghiên cứu một phần tử nước đi trên đường A.B (hình 7.9).

Nước từ xa có vận tốc v_0 , khi tới điểm A gặp vỏ tàu biến toàn bộ động năng ρV_0^2 thành áp năng. Phân tử sẽ chạy từ A có áp lực cao tới áp lực thấp ở C biến toàn bộ năng lượng tích tụ được ở A thành động năng ở C với vận tốc lớn nhất, còn áp năng thấp nhất, sau đó từ chỗ có động năng cao nhất ở điểm C chạy sang khu có áp lực cao B, sự vận động của phân tử hoàn toàn do quán tính gây nên, động năng tiêu hao để khắc phục áp lực, đi từ khu áp lực thấp tới khu cao áp ở B. Nếu chất lỏng là lý tưởng, năng lượng cơ giới không mất mát, phân tử nước sẽ đủ năng lượng để tới điểm B, ở đó vận tốc lại trở về không ở B, ở đó có áp lực cao và do áp lực cao nó sẽ đi về nơi vô cùng.

Nếu ta dùng quan điểm như vậy để nghiên cứu phân tử nước chảy trong lớp biên vỏ tàu khi từ A tới C đã tiêu hao một ít năng lượng, từ C về sau nó cũng sẽ tiêu hao thêm năng lượng khiến nó không đủ năng lượng để đi tới B mà tới một điểm D, nó đã mất hết năng lượng và dừng lại đó, các phân tử tích tụ tại đó thành một tập hợp có vận tốc bằng không, đồng thời các phân tử ở B có áp lực cao sẽ quay ngược lại đi về phía D. Sự giao lưu như vậy khiến dòng nước tách khỏi vỏ tàu, dòng nước tách khỏi vỏ tàu đó thành một dòng xoáy không ổn định, và tách thành nhiều ổ xoáy. Sự vận động của các ổ xoáy ở đuôi khiến áp lực ở đuôi giảm, đó là nguyên nhân hình thành thành phần lực cản áp lực.

Trong thực tế khi phần đuôi có lớp biên chứa dòng chảy rối, thì tình hình sẽ thay đổi hoàn toàn, các phân tử vừa bị lực nhớt ở lớp biên ở đáy (lớp chảy tầng lót đáy) hãm, nhưng mặt khác bộ phận chảy rối của tầng biên kéo theo một hình thức cung cấp năng lượng cho các phân tử muốn rời bỏ vỏ tàu, nên tình trạng dòng tách

khỏi bề mặt chỉ xảy ra ở các tàu (vật) rất béo ở đuôi, cho nên sự phân bố lại áp lực tuy không phải như là *tình trạng lý tưởng* (I) nhưng cũng không phải là *trình trạng* tách vỏ ở chảy tầng (II) mà là *tình trạng trung gian* (III) như hình 7.9.

Như vậy việc tạo *chảy rối ở đuôi là vô cùng quan trọng*, để tránh việc tách dòng như khi thử mô hình phải chọn kích thước mô hình đủ lớn, hoặc ngày nay người ta dùng vòng *dây thép gắn ở mũi* mô hình để kích thích chảy rối đoạn sau mô hình, chỉ có như vậy kết quả thử mô hình mới đáng tin cậy.

Ở đây không đi sâu vào lý thuyết lớp biên, nhưng đủ căn cứ để nói rằng hệ số lực cản xoáy không liên quan với R_n .

$$R_v = \zeta_v \rho \Omega \frac{v^2}{2g} \quad (7.33)$$

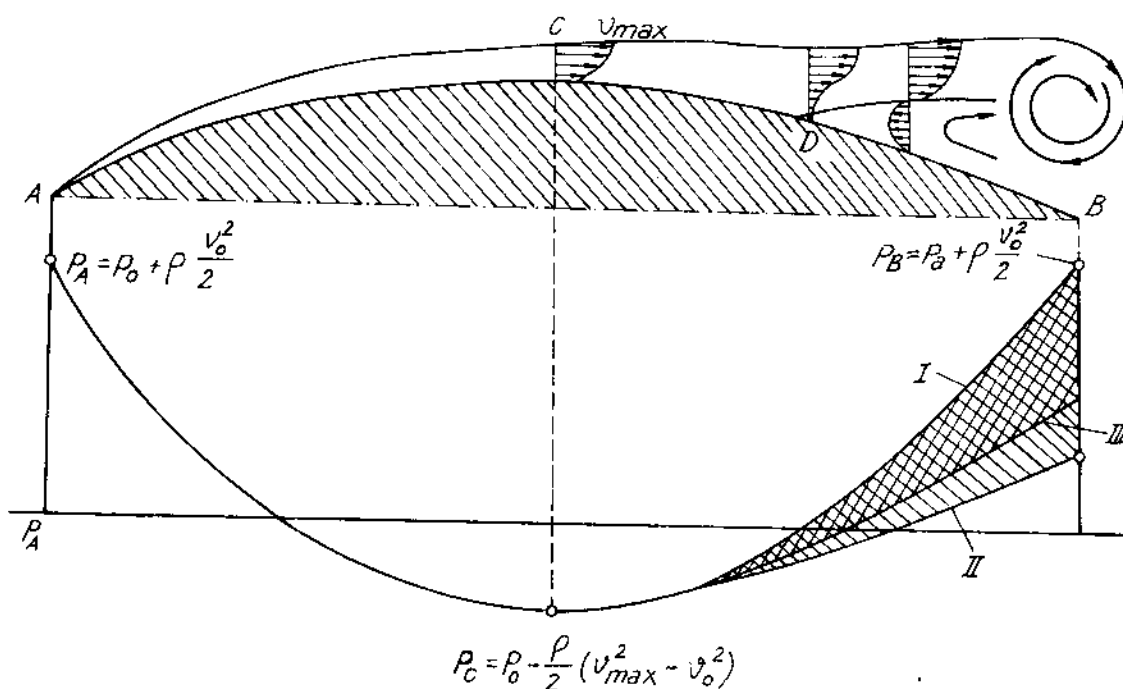
ζ_v chỉ liên quan tới một số kích thước của tàu, quan trọng nhất hình dáng đoạn đuôi của tàu, độ thanh thoát của đoạn đuôi đó, gồm cả chiều dài của nó L_d :

$$\zeta_v = 0,09 \frac{\omega_{\Sigma}}{\Omega} \sqrt{\frac{\omega_{\Sigma}}{2L_d}} \quad (7.34)$$

trong đó ω_{Σ} – diện tích mặt cắt (sườn) giữa tàu tính bằng m^2 ;

Ω – diện tích ướt toàn tàu tính bằng m^2 ;

L_d – chiều dài đoạn đuôi của tàu tính bằng m.

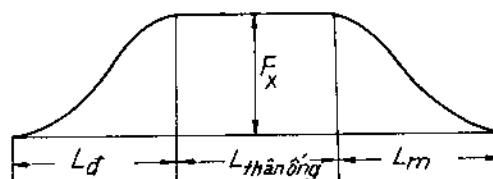


Hình 7.9.

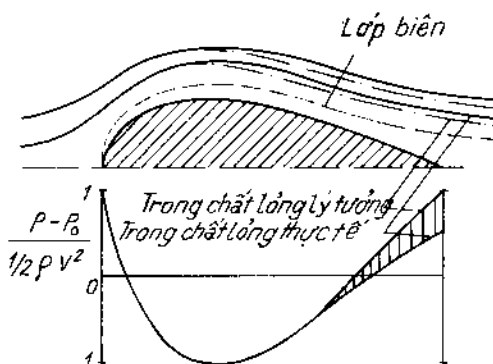
Nói chung tàu càng dài, càng hẹp (L/B lớn) thì ζ_v càng bé. Chiều dài đoạn đuôi của tàu L_d trong (7.34) được hiểu như hình bên cạnh.

Hệ số lực cản xoáy ζ_v

L/B	6	8	10	12
ζ_v	$0,89 \cdot 10^{-3}$	$0,52 \cdot 10^{-3}$	$0,28 \cdot 10^{-3}$	$0,12 \cdot 10^{-3}$



Với những kiến thức hiện nay trong môn lý thuyết tàu, thì khó mà xác định được thật chi tiết giá trị của xoáy hơn những công thức kinh nghiệm như (7.34), cũng vì vậy hiện nay người ta gộp lực cản xoáy cùng với lực cản tạo sóng mà ta gọi là lực cản dư. Đối với tàu có dạng bình thường, lực cản xoáy là không lớn và không vượt quá mấy phần trăm của toàn bộ lực cản. Nhưng đối với các nhà khoa học thì việc giảm lực cản tuy chỉ 1% thậm chí mấy phần ngàn cũng là vinh dự và nhiệm vụ của họ, trên lĩnh vực hàng không thì có những thân máy bay hoặc khinh khí cầu chỉ có lực cản ma sát, còn lực cản xoáy đã bị thủ tiêu. Trong tàu thủy thì việc chọn hình dáng phần đuôi thích hợp và tỷ lệ kích thước và độ béo gầy ví dụ $L/B > 6$, $\delta < 0,8$ sẽ khiến không xảy ra hiện tượng tách dòng ở phía đuôi. Tuy vậy vẫn còn lực cản áp lực (không phải là xoáy vì không còn các dòng xoáy nữa) tuy không lớn, nhưng vẫn còn lực cản áp lực (không xoáy) vì vận tốc tăng như trên hình 7.10, khiến áp lực bị giảm xuống ở phía đuôi.



Hình 7.10.

7.5. LỰC CẢN ĐỐI VỚI CÁC BỘ PHẬN NHÔ RA TRÊN THÂN TÀU

Chia làm 2 loại: loại có kích thước dọc theo tàu ngắn, như bánh lái, giá đỡ, trục chân vịt hình chữ nhân. Lực cản do các thiết bị này gây nên chủ yếu là lực cản xoáy, lực ma sát tương đối bé. Loại thứ hai có kích thước dọc theo tàu dài, như vây giảm lắc, giá đỡ bao trục chân vịt, lực cản do chúng gây nên phần lớn là lực cản ma sát. Nếu sự bố trí của chúng dọc tàu không thích hợp (ví dụ không trùng với đường dòng) thì sẽ gây nên lực cản xoáy lớn.

Lực cản do các thiết bị phụ có thể biết được chính xác qua thử mô hình có gắn các thiết bị phụ (mô hình) của nó, nhưng vì kích thước của chúng quá bé, nên ảnh

hưởng hiệu ứng kích thước quá lớn, cho nên kết quả đo đạc không chính xác, cần phải điều chỉnh.

Thông thường sử dụng các công thức kinh nghiệm để tính lực cản của các thiết bị nhô ra sau đây:

1. Vây giảm lắc

Phải lắp theo đường dòng ở hai hông tàu, đường dòng phải lấy từ kết quả thử mô hình, như trên hình 7.11. Nếu lắp đặt thỏa đáng, có thể khắc phục hoàn toàn lực cản xoáy, hoặc giảm tới mức tối đa. Như vậy chỉ cần xét lực cản ma sát của vây giảm lắc, có thể gộp diện tích vây mạn (hai phía) vào diện tích ướt của tàu, lực cản xoáy của vây giảm lắc $R_{\Omega}(K_r)$ có thể tính theo công thức sau đây:

$$R_{\Omega} = KA_b \alpha^2 v^2 \quad (7.35)$$

trong đó K – hệ số, có thể lấy bằng 0,01;

α – góc tạo thành giữa vây giảm lắc và đường dòng (độ);

v – vận tốc của tàu (hải lý/h);

A_b – diện tích (một phía) của vây giảm lắc, tính bằng m^2 .

Nếu không có những số liệu chính xác thì có thể lấy lực cản do vây mạn gây nên bằng khoảng 2% tổng lực cản của vỏ trơn (không gán thiết bị phụ nhô ra).

2. Kì đứng

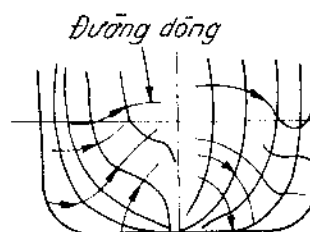
Kì đứng gắn nằm trong mặt phẳng đối xứng giữa dọc tàu dùng trên tàu nhỏ, do đó chỉ gây nên lực cản ma sát, nên có thể gộp diện tích của nó vào diện tích ướt của vỏ tàu để tính lực cản ma sát.

3. Lái (bánh lái)

Đối với bánh lái giữa tàu, khi cần lái nhúng vào mặt nước không sâu thì có thể gộp diện tích bánh lái giữa vào diện tích ướt của tàu để tính lực cản ma sát. Còn bánh lái ở hai mạn thì nếu không trùng với đường dòng thì lực cản khá lớn, có thể đạt 3 ~ 5% lực cản của vỏ trơn.

4. Giá chữ nhân

Lực cản do giá chữ nhân gây nên chủ yếu là lực cản xoáy.



Hình 7.11.

Nếu giá chữ nhân lắp theo đường dòng thì lực cản do nó gây nên có thể tính theo công thức:

$$R_{f_2} = K_c A_c v^2 \text{ (kg)} \quad (7.36)$$

trong đó K_c – hệ số, tùy thuộc mặt cắt của giá chữ nhân.

Nếu mặt cắt giá hình A (hình 7.12) thì $K_c = 0,180$

Nếu mặt cắt giá hình B thì $K_c = 0,058$.

A_c – diện tích ướt của giá chữ nhân m^2 ;

v – vận tốc tương đối giữa giá với nước (hải lý/h).

5. Trục chính

Khi trục của loại tàu 2 chân vịt ra khỏi vỏ tàu không được đỡ bằng giá chữ nhân, mà được đỡ bằng giá đỡ trục đuôi, thì lực cản do giá đỡ gây nên R_{f3} có thể ước tính theo công thức:

$$R_{f3} = 0,98 l d \sin \theta v^2 \text{ (kg)}$$

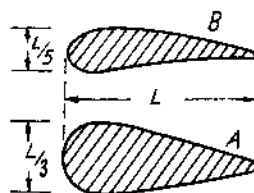
l – chiều dài nhô ra ngoài tàu của giá đỡ (m);

d – đường kính trục chính (m);

v – vận tốc tàu (hải lý/h);

θ – góc nghiêng giữa dòng nước và trục chân vịt (độ)

$\left\{ \begin{array}{l} \text{thông thường} \\ \text{góc } \theta \text{ của đoạn} \\ \text{đầu trục chính ở tàu béo lấy } 20^\circ, \text{ ở tàu gầy} \\ \text{lấy } 10^\circ, \text{ ở đoạn sau lấy } \theta = 2^\circ. \end{array} \right.$



Hình 7.12.

6. Ống bao trục

Trên một số tàu có hai chân vịt, người ta dùng ống bao trục để giảm lực cản xoáy. Ống bao trục nên lắp theo đường dòng.

Lực cản của ống bao trục chủ yếu là lực ma sát, do đó tổng lực cản của nó nên lấy lớn hơn lực ma sát của bản thân một ít. Theo ước tính sơ bộ chiếm 2 ~ 3% lực cản của vỏ trơn. Đối với tàu thon lấy 4 ~ 5%, đối với tàu có đuôi tuần dương lấy 6 ~ 7%, đối với tàu cao tốc có thể đạt tới 10 ~ 12%.

7.6. LỰC CẢN DO KHÔNG KHÍ GÂY NÊN

Lực cản do không khí gây nên là lực cản ma sát và lực cản hình dáng, đây là sự vận động tương đối giữa tàu và khối không khí đứng yên, cũng như đối với gió. Như vậy nó phụ thuộc vào lực gió còn phụ thuộc vào hình dáng của thượng tầng tàu, góc kẹp giữa hướng tàu và hướng gió:

$$R_A = C_A \cdot \frac{\rho_A}{2} V_R^2 A_T \quad (7.36)$$

trong đó ρ_A – mật độ không khí;

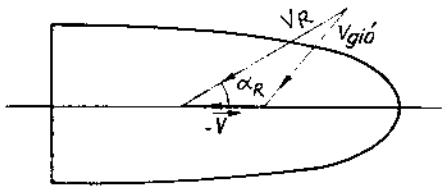
V_R – vận tốc tương đối (giữa tàu và không khí);

A_T – diện tích hình chiếu (lên mặt cắt ngang giữa tàu) của mặt nổi trên nước của tàu;

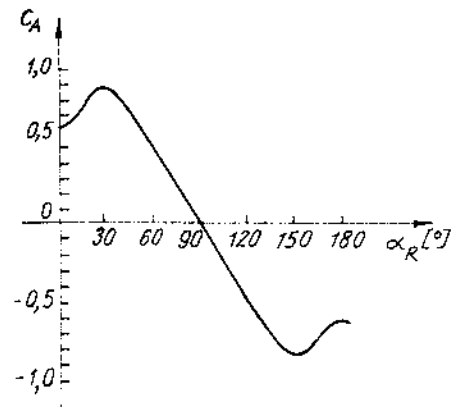
C_A – hệ số lực cản không khí.

Vận tốc tương đối giữa tàu và không khí (gió) V_R có thể tính theo hình 7.14.

Hệ số lực cản do không khí phụ thuộc vào góc kẹp α_R có thể lấy trên hình 7.15.



Hình 7.14.



Hình 7.15.

Trường hợp hoàn toàn ngược gió ($\alpha_R = 180^\circ$) C_A có thể lấy các trị số như sau:

Tàu dầu $C_A = 0,8 \div 1,3$;

Tàu hàng rời $C_A = 0,7 \div 1,2$;

Tàu chạy nhanh $C_A = 0,4 \div 0,6$.

Theo ITTC, đối với tình trạng lặng gió, C_A tính theo:

$$C_A = 0,001 \frac{A_T}{\Omega} \quad (7.37)$$

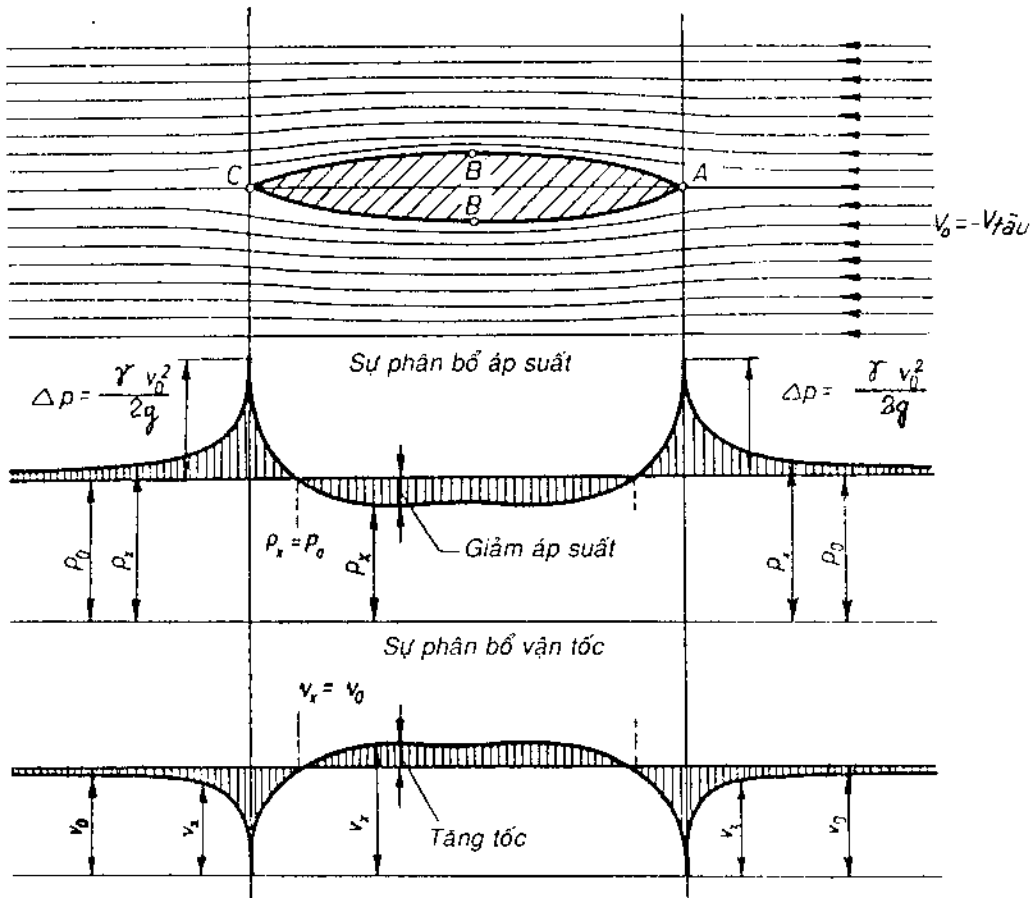
A_T như đã nói ở trên;

Ω diện tích ướt của tàu.

7.7. LỰC CẢN GÂY SÓNG

Để hiểu rõ nguyên nhân hình thành sóng khi tàu chạy trên mặt nước tĩnh, trước hết ta hãy nghiên cứu dòng chảy và áp lực quanh một trụ có mặt cắt ngang

với dạng đường nước (của tàu) mặt thoáng cũng như chiều sâu nước là rất lớn. Ta cắt trụ bằng một mặt phẳng song song với mặt nước, dòng chảy tới theo hướng trục đối xứng AC, ở phía trước xa dòng chảy có vận tốc v_0 .



Hình 7.16.

Tại A và C vận tốc dòng = 0, toàn bộ động năng chuyển thành áp năng $\Delta p = \frac{\gamma v^2}{2g}$.

Tại B vận tốc dòng lại tăng, áp suất giảm tương ứng với sự tăng tốc. Nếu ta áp dụng định luật Béc-nô-li trên mặt thoáng quanh tàu (hình 7.17), áp lực trên mặt thoáng đến p_0

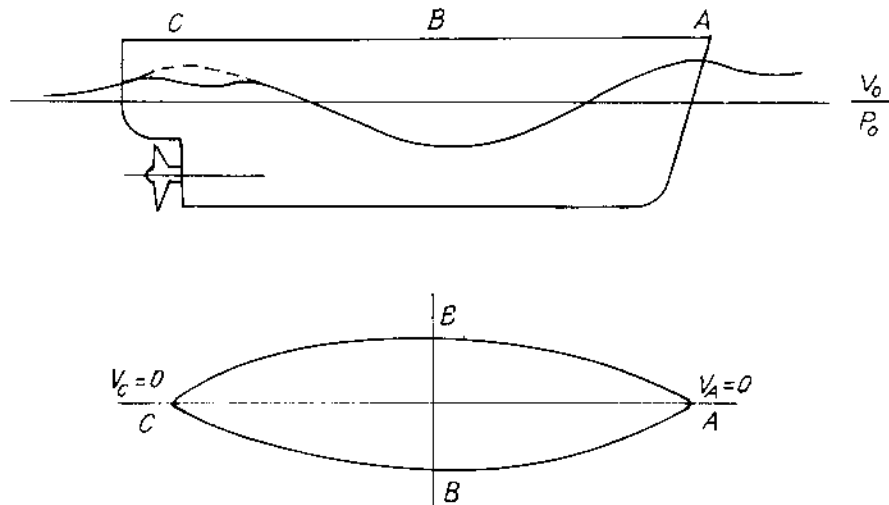
$$\frac{V_o^2}{2g} = Z_A = Z_B + \frac{V_B^2}{2g} = Z_C$$

Từ đó $Z_A = \frac{V_o^2}{2g} > 0$ mức nước dâng lên;

$$Z_B = \frac{V_o^2 - V_B^2}{2g} < 0 \text{ mức nước hạ xuống;}$$

$$Z_C = \frac{V_o^2}{2g} > 0 \text{ mức nước dâng lên.}$$

Như vậy, ở vùng áp lực nước lên hình thành đỉnh sóng, còn ở vùng áp lực hạ, mức nước xuống hình thành đáy sóng. Khi ta đứng trên tàu thấy có dạng sóng chạy theo tàu, đỉnh sóng ở mũi và lái, đáy sóng ở hai mạn B (hình 7.17). Đỉnh sóng ở mũi khá cao, trái lại đỉnh sóng ở lái sẽ giảm xuống rõ rệt vì dòng chảy sinh ra do hoạt động của chân vịt (sóng sẽ như nét liền trong hình 7.17 thay cho nét - - - nếu không có chân vịt).



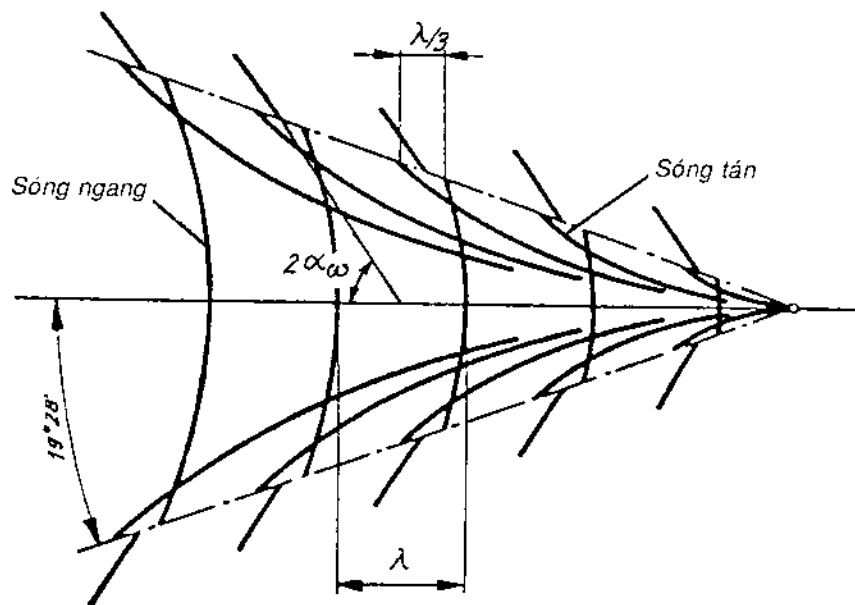
Hình 7.17.

Sự giảm áp kể trên tuy lý lẽ khá đơn giản, nhưng ý nghĩa thực tiễn là rất quan trọng, như khi tàu chạy trong luồng lạch hẹp, cạn như trong kênh đào, diện tích thông dòng bị giảm do bị tàu chiếm nên vận tốc dòng nước quanh tàu tăng lên, việc giảm áp gây dòng bị co lại (mật độ dòng tăng lên) tàu rất không ăn lái, tàu bị hút vào bờ kênh. Cũng tương tự như vậy khi lái tàu lớn chạy song song gần nhau. Cả hai trường hợp đều yêu cầu xử lý kịp thời của thuyền trưởng (hay hoa tiêu) nếu không muốn xảy ra tai nạn va tàu hoặc tai nạn của tàu trong kênh đào.

7.7.1. HỆ THỐNG SÓNG KHI TÀU CHẠY TRÊN MẶT NƯỚC

Trên đây ta giả thiết tàu đứng yên, nước chảy từ xa tới với vận tốc V_o , nếu tàu chạy với vận tốc V_o trên nước tĩnh thì hai điểm tăng áp ở mũi và lái với vận tốc V_o sẽ là nguyên nhân hình thành hai hệ thống sóng mà ta nói ở đầu chương 7 này, việc

hình thành hai hệ thống sóng này tiêu hao năng lượng của tàu, đó là lý do của việc tạo thành lực cản gây sóng mà ta đã nói tới.



Hình 7.18.

Sóng hình thành do tàu chạy trên nước tĩnh gồm 2 hệ, sóng tán và sóng ngang, đỉnh sóng của chúng không vượt qua cánh quạt có góc mở $\alpha_\omega = 18^\circ 20'$ (hình 7.18) (nếu chiều sâu luồng lạch $H \rightarrow \infty$). Hai hệ thống sóng chạy theo tàu với vận tốc V ($V = C_\omega$ tốc độ truyền sóng). Do mối quan hệ giữa chiều dài sóng λ_ω và vận tốc truyền sóng C_ω như ta đã biết trong mục 6.4.2.

$$\lambda_\omega = \frac{2\pi}{g} C_\omega^2 = \frac{2\pi}{g} v^2 = 0,64 v^2 = 0,169 V^2 \quad (7.38)$$

trong đó λ_ω – bước sóng [m];

g – gia tốc trọng trường [m/s^2];

C_ω – tốc độ truyền sóng [m/s];

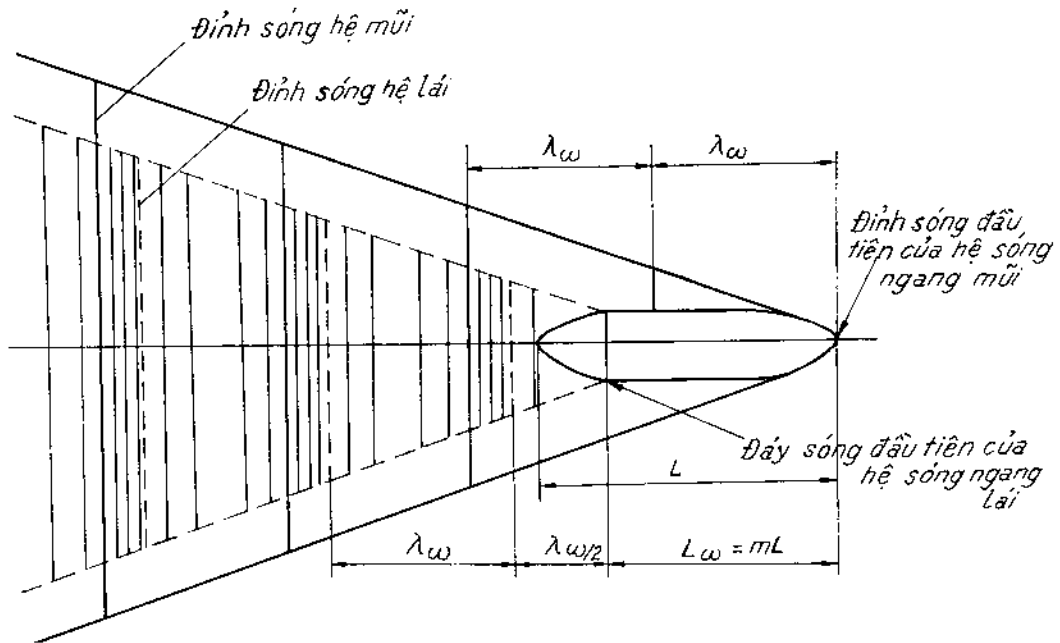
v – vận tốc tàu [m/s];

V – vận tốc tàu [hải lý/h].

Từ (7.38) ta thấy bước sóng do tàu gây nên không liên quan với chiều dài tàu L , mà liên quan với vận tốc tàu. Đó cũng là nguyên nhân các người lái máy bay có thể tính được vận tốc của tàu chiến khi đo được bước sóng do tàu đó tạo nên.

Hai điểm tăng áp ở mũi và lái sẽ hình thành hai hệ ở mũi và lái giống nhau, nhưng thông thường sóng mũi cao hơn. Ở vận tốc thấp, sóng tản tương đối lớn, nhất

là hệ sóng mũi. Trái lại ở vận tốc tàu cao, sóng ngang sẽ mạnh hơn và ở lái thông thường sóng ngang này nhỏ hơn nhiều ở mũi do sự phân bố lại áp lực khi chân vịt làm việc.



Hình 7.19.

Sóng ngang xuất phát từ mũi và từ lái sẽ tác dụng tương hỗ với nhau (hình 7.19). Hệ mũi thường bắt đầu bằng đỉnh sóng hình thành ngay sau mũi tàu, hệ lái thì bắt đầu bằng đáy sóng hình thành gần chỗ cong nhất của vùng lái và đỉnh sóng của hệ sóng lái đầu tiên cũng ở phía sau lái tàu một ít. Chiều dài từ đỉnh đầu tiên của sóng mũi tới điểm đầu tiên hệ sóng lái gọi là chiều dài tạo sóng L_ω . Đối với một con tàu cụ thể chiều dài đó là cố định.

$$L_\omega = mL$$

Rõ ràng bước sóng λ_ω của hai hệ sóng bằng nhau, nên hai hệ thống có thể cộng hưởng khi đỉnh sóng mũi chạy tới phía lái gặp đúng đỉnh sóng đầu tiên của hệ lái, năng lượng của hai hệ cộng lại sẽ lớn gấp bội, trái lại năng lượng sẽ tiêu hao (thậm chí triệt tiêu) nếu đỉnh sóng đầu tiên khi chạy tới lái lại gặp đáy sóng đầu tiên của hệ sóng lái, đó là điều người thiết kế cần chọn.

Quan sát hình 7.19 ta thấy cộng hưởng sẽ xảy ra nếu

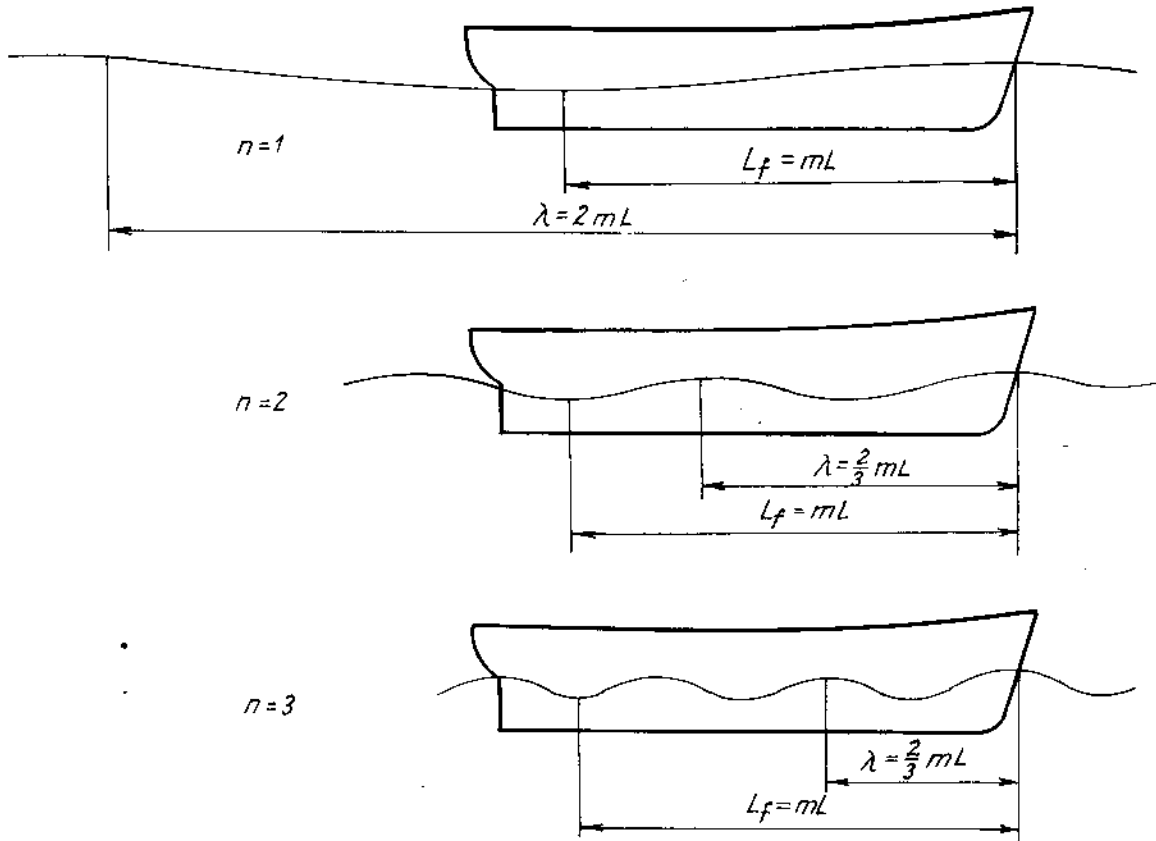
$$mL + \frac{\lambda_\omega}{2} = n\lambda_\omega$$

tức

$$\lambda_\omega = \frac{2mL}{2n-1} \quad (7.39)$$

đối với $n = 1, 2, 3$.

Lúc đó đáy của sóng mũi sẽ rơi vào chỗ hình thành sóng lái, tức là đáy sóng đầu tiên của hệ sóng lái và sẽ xảy ra cộng hưởng (hình 7.19).



Hình 7.20.

Thay λ_m từ (7.38) vào biểu thức (7.39) ta được:

$$\frac{2\pi}{g} v^2 = \frac{2mL}{2n-1}$$

Từ đó:

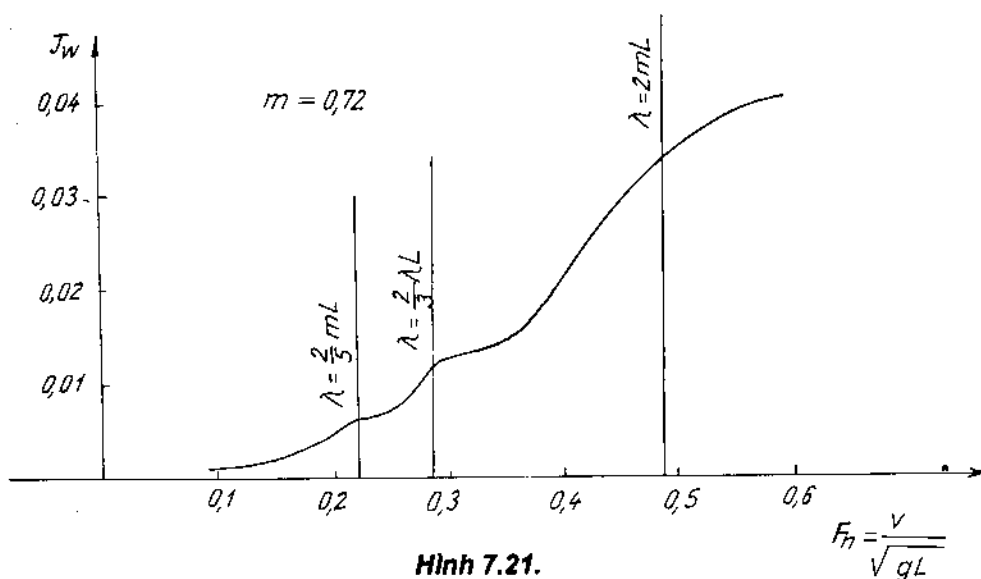
$$\frac{v^2}{gL} = \frac{m}{\pi(2n-1)}$$

nghĩa là khi $\frac{v}{\sqrt{gL}} = \sqrt{\frac{m}{\pi(2n-1)}}$ sẽ xảy ra cộng hưởng của 2 hệ thống sóng mũi và lái (7.40)

và tương tự như vậy khi $\frac{v}{\sqrt{gL}} = \sqrt{\frac{m}{\pi(2n+1)}}$ sẽ xảy ra triệt tiêu của 2 hệ thống sóng mũi và lái.

Vế trái của công thức (7.40) là trị số Froude Fn , đại biểu cho thước đo tỷ lệ giữa vận tốc và chiều dài của tàu; còn vế phải phụ thuộc vào trị số n và trị số m mà ta chưa biết, cho nên khó khăn chính của việc dùng công thức (7.40) nằm ở chỗ xác định hệ số m . Từ lý thuyết và thực nghiệm chỉ rõ hệ số m phụ thuộc trước hết vào hệ số hình thoi $\varphi = \delta/\beta$ và cũng còn phụ thuộc vào trị số Fn . Cho nên đối với vận tốc có lợi:

$$Fn = f(\varphi, n) \quad (7.41)$$



Hình 7.21.

Giáo sư G. E. Pavlenko (của Liên Xô cũ) trên cơ sở phân tích lời giải lý thuyết của Michell đã đưa ra đồ thị hữu ích như hình 7.22, ví dụ khi thiết kế tàu với yêu cầu vận tốc cho sẵn, sau khi chọn được chiều dài tàu L , ta tính được $Fn = \frac{v}{\sqrt{gL}}$,

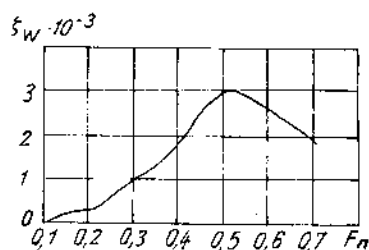
dựa vào đồ thị 7.22 ta có thể chọn φ thế nào để tàu nằm trong vùng có lợi cho việc giảm lực cản gây sóng. Nhưng cũng có những học giả dùng cách giải thích một cách đơn giản đó là giáo sư Stalinski (Ba Lan) đã sử dụng công thức 7.40 trình bày đồ thị điển hình về $\zeta_w = f(Fn)$ của một con tàu có $m = 0,72$ (?), trên đồ thị thấy các điểm nhô lên là kết quả việc cộng hưởng của hai hệ thống ngay từ mũi và lái với chiều dài sóng $\lambda = \frac{2}{5} mL$, $\lambda = \frac{2}{3} mL$ và $\lambda = 2mL$, và tác giả kiến nghị khi thiết kế nên chọn chiều dài tàu L để đạt tới vận tốc mong ước làm sao tránh được Fn nằm trong phạm vi 0,23 – 0,30 và 0,35 – 0,50. Nhưng chọn vận tốc thế nào để tàu nằm trong vùng có

lợi về lực cản gây sóng có nhiều tác giả có cách lý giải khác nhau, xin nêu lên để bạn đọc tham khảo.

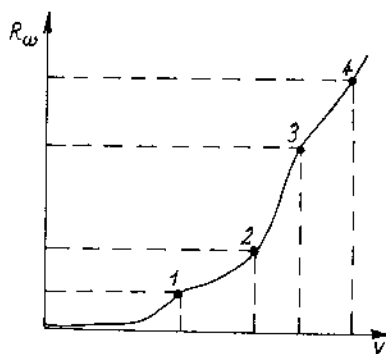
Việc nghiên cứu về lực cản gây sóng đã bắt đầu từ năm 1898 của Michell bằng bài toán thủy động học của hệ thống sóng do tàu gây nên trong chất lỏng lý tưởng, và được nhiều nhà bác học của Liên Xô cũ sử dụng và đã thu được nhiều kết quả to lớn. Ví dụ về mặt lý thuyết đã có được những đồ thị nói lên mối quan hệ giữa $\zeta_w = f(Fn)$.

Ví dụ, trên hình 7.23 trình bày quan hệ $\zeta_w = f(Fn)$ của một con tàu cụ thể, từ đó ta thấy trong phạm vi $0 \leq Fn < 0,50$ hệ số lực cản tạo sóng gần như bằng bình phương của trị số Fn . Trong phạm vi $Fn < 0,15$, lực cản tạo sóng chiếm một tỷ lệ rất bé trong toàn bộ lực cản. Khi $Fn > 0,50$ hệ số lực cản tạo sóng bắt đầu giảm khi Fn tăng.

Trong hình 7.24 trình bày đồ thị diễn hình $R_w = f(v)$. Nếu ta chuyển từ điểm 1 đến điểm 2 (hoặc từ điểm 3 đến điểm 4) tuy vận tốc tăng đáng kể, nhưng lực cản R_w lại tăng không đáng kể. Trái lại, nếu ta quá độ từ điểm 2 sang điểm 3, thì tuy tốc độ tăng chẳng được bao mà lực cản tăng rất nhanh. Như vậy những điểm 2, 4 là có lợi, mà những điểm 1, 3 là những điểm bất lợi về quan điểm lực cản tạo sóng. Cho nên khi chọn tốc độ nên chọn tốc độ có lợi, như vậy xác định vùng có lợi và bất lợi có ý nghĩa thực tiễn lớn. Cuối cùng lời kết luận là phải chọn các thông số thế nào để tàu rơi vào điểm đáy đồ thị $R_w = f(V)$, như 2, 4 trên hình 7.24, hay nói như các nhà thiết kế chọn tại điểm bắt đầu lên dốc.



Hình 7.23.



Hình 7.24.

Bảng sau đây trình bày các đỉnh và đáy về lực cản tạo sóng để tham khảo khi thiết kế.

	Đỉnh	Đáy	Đỉnh	Đáy	Đỉnh	Đáy
$V/\sqrt{L_f}$	0,673	0,720	0,780	0,860	0,980	1,15
$v/\sqrt{gL_m}$	0,200	0,214	0,232	0,256	0,292	0,342

Trong bảng trên

V – vận tốc tàu hải lý/h;

L_f – chiều dài tàu, tính bằng thước Anh;

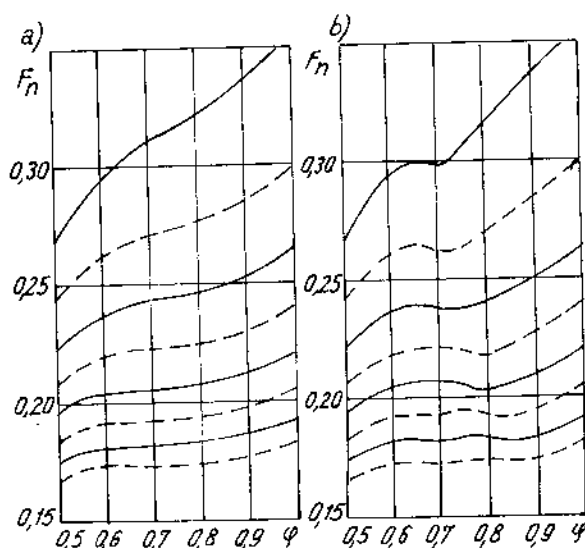
v – vận tốc tàu m/s;

L_m – chiều dài tàu, tính bằng m.

Công thức chung để tính lực cản tạo sóng là:

$$R_w = \zeta_w \frac{1}{2} \rho S V^2 \quad (7.42)$$

Trong đó ζ_w – hệ số lực cản tạo sóng ζ_w trước hết có quan hệ với trị số Fn như đã trình bày mẫu trên hình 7.21, hoặc hình 7.23 và 7.24. Những điều ta vừa trình bày về đỉnh cũng như đáy của lực cản tạo sóng (hoặc hệ số lực cản), cũng chỉ hướng dẫn người thiết kế tránh được xảy ra cộng hưởng (ở đỉnh lực cản) mà thôi, ta cũng không thể dựa vào (7.42) để tính lực cản R_w , vì ζ_w chưa được xác định, ví dụ ngày nay quan hệ $\zeta_w = f(Fn)$ chưa có mối quan hệ giải tích nào (như ta đã nói qua khi giải thích hình 7.23) mà phải dựa vào thí nghiệm mô hình để tìm ζ_w . Tuy nhiên ζ_w có quan hệ với nhiều thông số của tàu đặc biệt với $L/\sqrt{V}$, hệ số béo δ , φ tỷ lệ B/T , L/B , vị trí tâm nổi x_c (so với vị trí giữa tàu), do đó có nhiều công thức hoặc phương pháp tính toán gần đúng để tính được $\zeta_w = f(Fn)$, các thông số của tàu).



Hình 7.22.

Đồ thị xác định vận tốc có lợi và không có lợi:

a) đối với các tàu không thân ống;

b) đối với các tàu có thân ống.

———— vận tốc không có lợi;

----- vận tốc có lợi.

7.8. CÁC BIỆN PHÁP ĐỂ GIẢM LỰC CẢN

7.8.1. GIẢM LỰC CẢN MA SÁT, LỰC CẢN HÌNH DÁNG

Như đã nói, ở các tàu chạy trong nước với tốc độ thấp ($Fn < 0,30$), lực cản ma sát chiếm tỷ lệ khá cao (thậm chí trên 75%) trong tổng lực cản, cho nên việc giảm lực

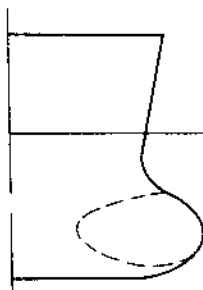
cản ma sát có ý nghĩa kinh tế lớn, và rõ ràng việc giảm bớt năng lượng để đạt được vận tốc như nhau cũng sẽ góp phần cải thiện môi trường ta đang sống hiện nay.

Các biện pháp giảm lực cản ma sát gồm:

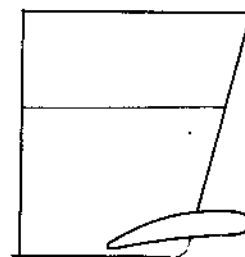
- 1) Làm trơn tru mặt vỏ tàu, làm cho vỏ tàu được trơn tru thủy động, như vậy khi tính lực cản ma sát vỏ tàu, hệ số $\Delta\zeta_r$ sẽ nhỏ nhất, đặc biệt phải chú ý đoạn mũi tàu phải trơn tru. Ngày nay, do công nghệ tàu được ngày một hoàn thiện hơn, nên yêu cầu các nhà máy khi lắp ráp vỏ tàu phải lưu ý giữ lớp sơn lót khi tấm tôn được xuất xưởng ở các nhà máy luyện kim, các chủng loại sơn phải đảm bảo chất lượng, ở các nhà máy sửa tàu phải dùng các máy phun cát để đánh sạch bóng các lớp gỉ sắt trước lúc sơn lớp sơn mới v.v..., các đơn vị sử dụng tàu phải bảo dưỡng định kỳ phần vỏ dưới nước.
- 2) Chảy tầng hoá lớp biên quanh vỏ tàu, hoặc tổng quát hơn điều khiển lớp biên. Một trong những biện pháp đặc lực nhất làm cho vỏ tàu không trực tiếp với dòng nước, và như vậy sẽ giảm diện tích ướt. Việc này được thực hiện bằng biện pháp “Bôi trơn không khí vỏ tàu” tức là cấp không khí trên vỏ ướt của tàu để hình thành một lớp “hồng” ngăn cách vỏ tàu với nước. Những lớp hồng này chỉ ổn định ở một đoạn khá ngắn, biến thành nhiều đoạn liên tiếp trên chiều dài tàu. Biện pháp này rất thích hợp trên các tàu hàng chạy nội địa vì có một đoạn đáy phẳng khá dài. Phương pháp này có thể giảm 15 ~ 20% lực cản ma sát. Rất tiếc trên các sách vở tạp chí chỉ giới thiệu nguyên lý, không thấy chỉ dẫn công nghệ để đưa không khí vào bề mặt vỏ như thế nào? Nhưng các biện pháp “phồng sinh” chắc chắn sẽ được áp dụng trong đóng tàu và hải dương học để giảm lực cản ma sát trong thế kỷ mới.

7.8.2. GIẢM LỰC CẢN GÂY SÓNG

- 1) Chọn chiều dài cũng như vận tốc khiến tàu được sử dụng ở trị số $Fn < 0,10$ – $0,15$ hoặc $Fn > 0,5$, hoặc chọn Fn để tránh sóng mũi và lái cộng hưởng;
- 2) Các thông số và hình dáng đường hình dáng (theo các chỉ dẫn của các bể thử tàu, các chuyên gia kinh nghiệm);
- 3) Sử dụng các thiết bị để giảm chiều cao sóng do tàu gây nên, như mũi quả lê, hoặc vây mũi. Các thiết bị này được sử dụng ở các tàu $\delta = 0,55 + 0,60$ ở các trị số $Fn = 0,26 + 0,32$;



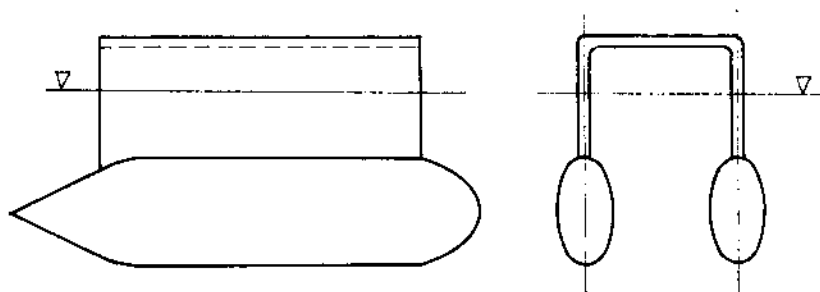
Mũi quả lê



Vây mũi

- 4) Chọn tàu có dạng phi cổ truyền như tàu nhiều thân (Catamaran Trymaran v.v...), tàu có cánh ngầm, tàu khí đệm v.v.

Người ta đã có dự án đóng các tàu dạng nửa chìm nửa nổi như hình bên cạnh để giảm lực cản gây sóng của tàu.



Tàu nửa chìm nửa nổi

7.9. ẢNH HƯỞNG NGOẠI CẢNH (ĐIỀU KIỆN LUỒNG LẠCH, THỜI TIẾT: SÓNG, GIÓ) TỚI LỰC CẢN ĐỐI VỚI TÀU

Trong phần đầu của chương này ta đã nghiên cứu tính lực cản trong nước tĩnh (không có gió) luồng lạch không hạn chế về chiều rộng, chiều sâu, nay ta xem xét điều kiện thực tế sẽ ảnh hưởng như thế nào đối với các thành phần lực cản.

7.9.1. ẢNH HƯỞNG CỦA SÓNG GIÓ

Khi tàu chạy ngược sóng, gió, lực cản của sóng, gió đối với tàu tăng rõ rệt so với khi tính trong nước tĩnh và không có gió.

Trên bảng 7.5 trình bày sự tăng lực cản đối với một tàu cụ thể ở vận tốc nhất định.

Bảng 7.5. Thành phần lực cản (% lực cản toàn phần) khi chạy ngược sóng gió

Thành phần lực cản	Vận tốc trung bình của gió [m/s]				
	15	20	25	30	35
Lực cản trong nước tĩnh	56	46	36	28	21
Lực cản bổ sung do sóng	33	36	37	36	34
Lực cản bổ sung do gió	10	16	24	32	36
Lực cản bổ sung do bề lái	1	2	3	4	9

Thông số của tàu: Lượng chiếm nước $D = 14740$ tấn $L = 137\text{m}$, $T = 8,2$ m

$B = 17,6$ m, $V_{\max} = 14,35$ hải lý/h.

Từ đó ta thấy khi tàu chạy ngược sóng gió, lực cản bổ sung do sóng, gió gây nên là đáng kể, hoàn toàn không thể bỏ qua. Nguyên nhân của việc gây nên tăng lực cản như ta đã trình bày trong mục (6.4.1).

7.9.2. ẢNH HƯỞNG CỦA LUỒNG LẠCH

Khi tàu chạy trong luồng lạch có hạn chế về chiều sâu H_ϕ và bề rộng B_K , lực cản của nước sẽ tăng lên so với khi luồng lạch không bị hạn chế vì:

– Sự lan truyền cũng như hình dáng của sóng do tàu gây ra bị thay đổi so với lúc không bị hạn chế, vì vậy gây nên tăng lực cản gây sóng;

– Nước chảy chung quanh vỏ tàu tăng, gây nên tăng lực cản ma sát;

Sự tăng lực cản gây sóng lớn hơn tăng lực cản ma sát, và việc đó sẽ quyết định tổng lực cản khi tàu chạy ở vận tốc cao trong luồng lạch hạn chế.

1. Lực cản khi chạy trong nước cạn

Trước hết, ta chú ý sóng do tàu gây nên khi chạy trong nước cạn có hình dáng khác với sóng khi tàu chạy trong nước sâu, vì sự vận động của phân tử nước trong sóng không theo hình tròn mà theo hình bầu dục, tốc độ truyền sóng không những chỉ phụ thuộc vào bước sóng mà còn bởi chiều sâu luồng lạch, khi chiều sâu nước không lớn so với bước sóng, thì vận tốc truyền sóng hầu như chỉ phụ thuộc vào chiều sâu luồng lạch H_ϕ :

$$C_\omega = \sqrt{gH_\phi} ; \quad (7.43)$$

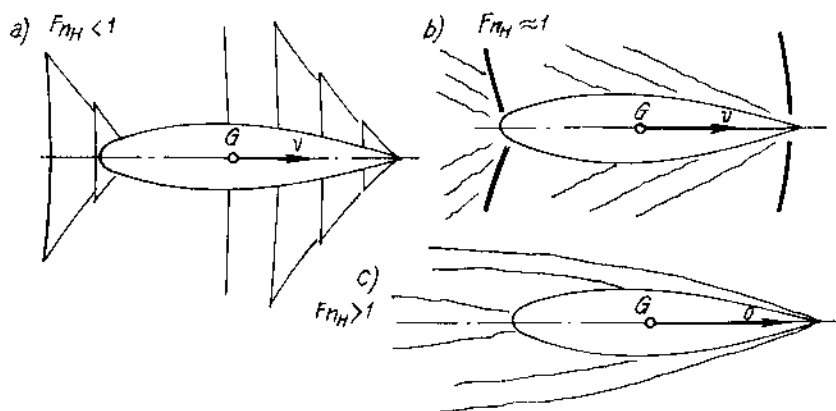
Để tiện cho việc diễn giải, ta dẫn thêm trị số Froude mới:

$$Fn_H = \frac{v}{\sqrt{gH_\phi}} \quad (7.44)$$

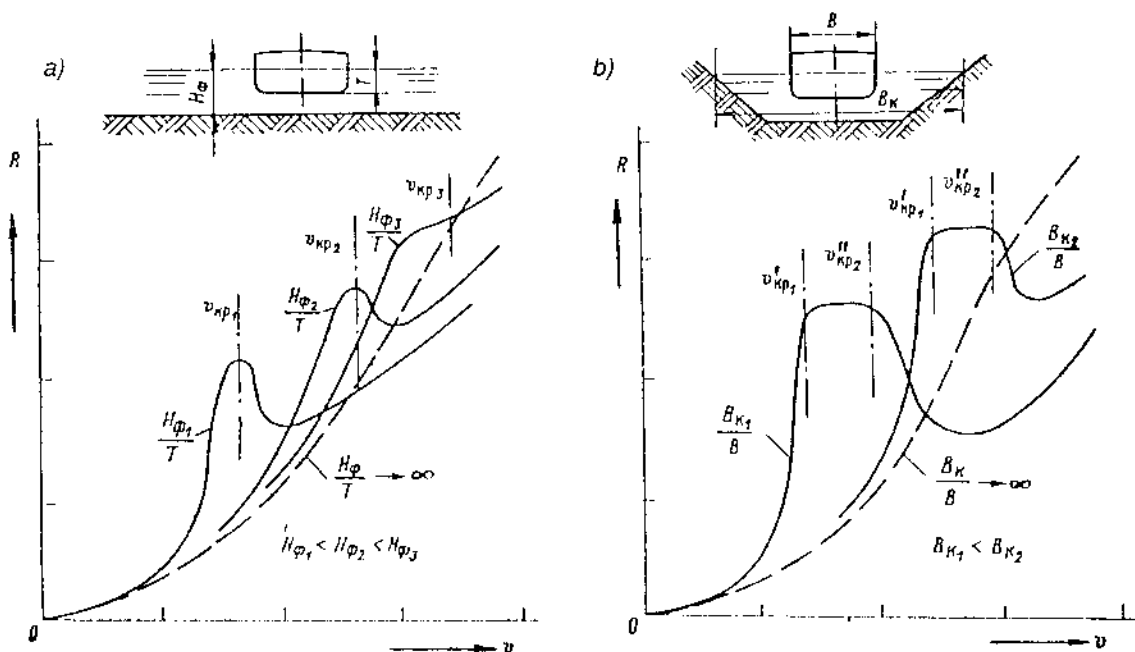
Khi vận tốc tàu $v < 40\% C_\omega$, thì lực cản sẽ giống như trong nước sâu, nhưng khi vận tốc tàu tăng tới C_ω , đó là vận tốc tới hạn $V_{Kp} = \sqrt{gH_\phi}$, ở vận tốc đó, 2 hệ thống sóng mũi và lái biến thành hai sóng đơn độc mũi và lái, vuông góc với hướng đi của tàu như hình 7.26b.

Khi tàu chạy ở vận tốc gần vận tới hạn V_{Kp} , ta thấy mức nước sát mạn tàu giảm xuống rõ rệt, việc này càng rõ hơn khi tàu chạy trong kênh đào, vì diện tích mặt cắt cho nước lưu thông giảm xuống rõ rệt, nên vận tốc tương đối (giữa tàu và nước) vì thế cũng tăng lên, kết quả là tăng lực cản ma sát và tăng áp lực ở phần đuôi, việc tăng lực cản lên rất lớn khi $v = 0,75 V_{Kp}$ và lực cản đạt tới max khi $v = V_{Kp}$, lúc đó hai sóng đơn độc mũi và lái có chiều cao sóng h_ω rất cao, đặc biệt trong trường hợp $\frac{H_\phi}{\lambda_\omega}$ bé và tàu có đường hình dáng béo, khi đó lực cản gây sóng R_ω lại càng lớn.

Khi $v > \sqrt{gH_\phi}$ (hay $Fr_H > 1$), hệ thống sóng ngang biến mất chỉ còn lại sóng tản, góc kẹp giữa các đỉnh (front) càng thu hẹp khi vận tốc tăng lên như hình 7.26c) và cong lồi so với đường đối xứng dọc tàu.



Hình 7.26. Hệ thống sóng khi tàu chạy trong nước cạn.



Hình 7.27. Lực cản khi chạy trong nước cạn a) và trong kênh đào b).

Cũng đáng chú ý thêm, ở vận tốc v tương ứng với $Fn_H \approx (1,2 \div 1,5)$ phụ thuộc vào độ béo tàu và tỷ số $\frac{H_\phi}{T}$, lực cản R_w ở trong nước cạn có thể nhỏ hơn ở trong nước sâu.

Về lực cản do độ nhờn trong nước cạn, vì ảnh hưởng của đáy luồng lạch đối với đặc trưng của lớp biên, đặc biệt là tăng tốc độ của phía ngoài lớp biên, nên tăng lực tiếp tuyến vỏ tàu, và do đó lực cản ma sát sẽ tăng. Cũng với lý do đó nên tăng sự giảm áp dọc vỏ tàu, khiến tăng nhanh việc tách dòng, làm cho lực cản hình dáng tăng. Sự biến thiên của lực cản khi tàu chạy trong nước cạn được trình bày trên hình 7.27. Ta có thể quan sát thấy khi $v < (0,4 \div 0,5) V_{Kp}$ thì lực cản không khác mấy so với nước sâu, nhưng khi $v > (0,4 \div 0,5) V_{Kp}$ thì chênh lệch càng rõ.

2. Lực cản chạy trong kênh đào

Trong kênh đào sự hạn chế vừa về chiều sâu H_ϕ vừa chiều rộng B_K ; giả thiết tàu có diện tích mặt cắt giữa tàu (tính đến đường nước) ω_M chạy trong kênh đào có diện tích mặt cắt ngang (tính đến mặt nước) A , ta gọi tỷ lệ giữa mặt cắt $(A - \omega_M)$ trên chiều dài ướt $(l_1 + l_2)$ là bán kính thủy lực r_H (hình 7.28):

$$r_H = \frac{A - \omega_M}{\sum l} = \frac{A - \omega_M}{l_1 + l_2} \quad (7.45)$$

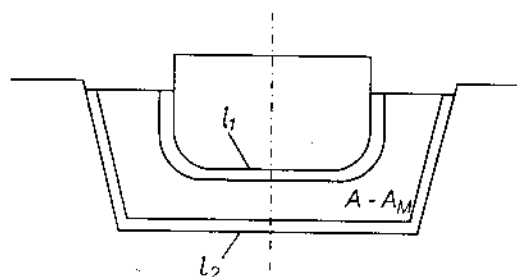
Và trị số Froude mới trong (7.44) sẽ biến thành:

$$Fn_{rH} = \frac{v}{\sqrt{gr_H}} \quad (7.46)$$

Lực cản khi chạy trong kênh được trình bày trên hình 7.27b. Trong đó V''_{Kp1} và V''_{Kp2} là vận tốc tới hạn khi chạy trong kênh, mối quan hệ giữa V''_{Kp1} , V''_{Kp2} và $V''_{Kp} (= \sqrt{gH_\phi})$ (ở đây không trình bày cách dẫn dắt đến kết quả) như sau:

$$V''_{Kp1,2} = \left(1 \pm \sqrt{2 \frac{\omega_M}{A}} \right) \sqrt{gH_\phi} \quad (7.47)$$

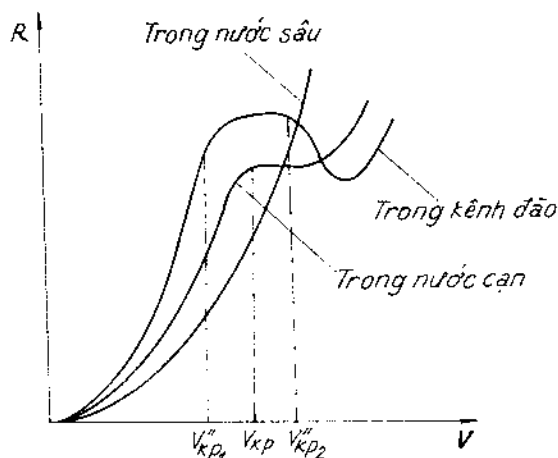
Trong trường hợp $\frac{\omega_M}{A} \rightarrow 0$ kênh đào sẽ trở thành luồng lạch có hạn chế chỉ về chiều sâu H_ϕ , trong trường hợp đó, $V''_{Kp1} \rightarrow V''_{Kp2} \rightarrow V_{Kp} = \sqrt{gH_\phi}$, và lực cản cũng sẽ giảm xuống như trong nước cạn, như hình 7.29.



Hình 7.28. Tàu trong kênh đào.

Ta thấy, nếu tàu chạy với vận tốc dưới vận tốc tới hạn $v < V''_{kp1}$ sẽ xảy ra v_1 (vận tốc nước quanh tàu) $> v$, nước chung quanh sẽ hạ xuống, như có lực hút tàu xuống đáy kênh đào, thật nguy hiểm.

Nếu xảy ra $v > V_{kp2}$ thì tình hình ngược lại, $v_1 < v$, như tàu kéo nước theo tàu, giảm lực cản ma sát đối với tàu, nước dâng lên. Nếu tàu chạy trong phạm vi $V''_{kp1} < v < V''_{kp2}$ dòng chảy sẽ không ổn định. Vận tốc trong kênh đào nên tôn trọng $v < 0,55 \sqrt{gH_\Phi}$, có nghĩa là $v < 1,72 \sqrt{H_\Phi}$.



Hình 7.29. Lực cản trong các tình huống.

Về lực cản trong kênh đào phụ thuộc vào:

- Hình dáng (dưới nước) của tàu;
- Tỷ lệ $\frac{A}{\omega_X}$ và $\frac{H_\Phi}{T}$; Trong đó A diện tích mặt cắt ngang của kênh đào; ω_X diện tích ngâm nước mặt sườn chính giữa tàu
- Hình dáng của mặt cắt kênh.

Nếu $\frac{H_\Phi}{T}$ cố định, khi kênh co lại (hẹp) đối với tàu có $v < V''_{kp1}$ lực cản sẽ tăng lên, trái lại đối với $v < V''_{kp1}$ lực cản sẽ giảm.

Đối với một kênh đào có $\frac{A}{\omega_X}$ nhất định, kênh đào chữ nhật tốt hơn kênh đào có mặt cắt hình thang, vì kênh có mặt cắt chữ nhật sẽ giảm được 20 ~ 40% lực cản nếu tàu chạy dưới vận tốc tới hạn.

Khi trong kênh đào, tàu chạy gần một bờ kênh đào, thì sự đối xứng của dòng nước sẽ bị phá hoại, nếu vận tốc dưới vận tốc tới hạn thì lực cản sẽ tăng và có nguy cơ bị hút vào bờ kênh như ta đã nói đầu chương này, lại cũng vô cùng nguy hiểm.

Trong bảng dưới đây trình bày sự tổn thất của tốc độ khi tàu chạy qua kênh Xuyê (Ai Cập)

A/ω_X	5	6	7	8	9	10
Tổn thất tốc độ %	41	29	21	15	10	7

3. Ảnh hưởng của vận tốc và độ dốc của dòng

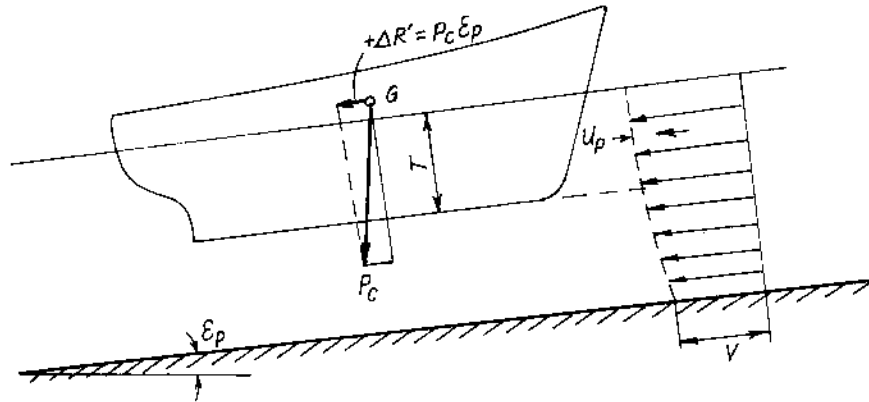
Giả thiết tàu có vận tốc (tương đối với bờ sông) v , dòng sông có dòng chảy u_p , độ dốc ε_p .

Ảnh hưởng dòng đối với lực cản ta có thể xét được, nếu ta dẫn thêm khái niệm vận tốc giữa nước và vỏ tàu v_o , rõ ràng $v_o = v \pm u_p$, (+) được dùng khi tàu chảy ngược dòng, còn (-) dùng khi tàu chảy xuôi (hình 7.29a). Như vậy:

$$R' = \zeta' \frac{\rho v_o^2}{2} \Omega = \zeta' \rho \frac{(v \pm u_p)^2 \Omega}{2} \quad (7.48)$$

trong đó v – vận tốc của tàu đối với bờ;

ζ' – hệ số lực cản toàn phần được xác định đối với tàu không xét đến dòng (u_p), nhưng khi tính $Rn = \frac{v \cdot L}{v}$ và $Fn = \frac{v_o}{\sqrt{gL}}$ thì phải xét tới u_p .



Hình 7.29a.

Độ dốc của luồng được đặc trưng bởi góc ε_p (hình 7.29a), do có độ dốc sẽ xảy ra lực cản (hoặc lực trôi) $\Delta R'$:

$$\Delta R' = \pm P_c \sin \varepsilon_p \approx \pm P_c \varepsilon_p \quad (7.49)$$

Như vậy lực cản có xét đến vận tốc và độ dốc dòng sông sẽ bằng:

$$R = R' + \Delta R' = \zeta' \frac{\rho (v \pm u_p)^2}{2} \Omega \pm P_c \varepsilon_p; \quad (7.50)$$

Trong đó, khi ngược dòng lấy dấu (+), xuôi dòng lấy dấu (-).

7.10. LỰC CẢN ĐỐI VỚI TÀU CHẠY NHANH

7.10.1. ĐẶC TRƯNG CỦA LỰC CẢN KHI TÀU LƯỢT TRÊN MẶT NƯỚC

Khi tàu chạy trong nước (chưa rời khỏi mặt nước) với vận tốc v , trên diện tích ướt sẽ có các lực sau đây tác dụng (ta chỉ quan tâm tới các lực hướng đứng):

Trước hết là sức nổi Ácsimét, khi tàu đứng yên hoặc chạy ở trạng thái bơi, thì lực nổi Ácsimét bằng trọng lượng của tàu, nhưng khi vận tốc tàu tăng tới một mức độ nào đấy, thì sự tham gia của lực thủy động vào sự cân bằng theo phương thẳng đứng sẽ ngày càng lớn.

Giả thiết: Trọng lượng của con tàu P_c , lực nổi Ácsimét của tàu D_v , lực thủy động tác dụng theo phương thẳng đứng Y_Q . Mối quan hệ giữa ba lực đó sẽ là:

$$P_c - D_v - Y_Q = 0$$

Rõ ràng $D_v = \gamma V_v - V_v$ là khối nước choán của tàu.

Tùy sự tham gia (vào phương trình trên) của D_v hoặc Y_Q vào sự cân bằng hướng đứng mà ta chia sự vận động của tàu trên nước làm ba loại:

$$1) \text{ Trạng thái bơi} \quad P_c = D = \gamma V; \quad Y_Q = 0; \quad M_Q = 0 \quad (7.51)$$

trong đó: P_c – trọng lượng của tàu [tấn];

D – lượng chiếm nước của tàu [tấn];

Y_Q – lực thủy động tác dụng theo phương thẳng đứng;

M_Q – mômen do lực thủy động tác dụng quanh trục ox .

$$2) \text{ Trạng thái quá độ. Xuất hiện } Y_Q \text{ và } M_Q \text{ khiến tàu bắt đầu nổi mũi.}$$

$$3) \text{ Trạng thái lướt} \quad P_c - Y_Q = 0; \quad P_c = Y_Q \quad (7.52)$$

Sự cân bằng hướng đứng hoàn toàn dựa vào lực thủy động, lực Ácsimét đã biến mất. Ở trạng thái bơi, chiều dài đường nước L_{wL} cố định nay đường nước $L = L(v)$, vì vậy đối với tàu chạy nhanh, ta nên tìm một đại lượng khác đặc trưng hơn chiều dài trong trị số $Fn = \frac{v}{\sqrt{gL}}$, đại lượng đó là $\sqrt[3]{V}$, từ đó ta dẫn vào khái niệm

$$Fn_D = \frac{v}{\sqrt{g V^{1/3}}}.$$

Ba trạng thái vừa nêu sẽ có các trị số Fn_D tương ứng sau đây:

$$a) \text{ Khi } Fn_D \leq 1 \text{ hay là } Fn = \frac{1}{\sqrt{L}} \quad Fn_D \leq \frac{1}{\sqrt{L}} - \text{trạng thái bơi;}$$

b) Khi $1 < Fn_D < 3$ hay là $\frac{1}{\sqrt{L}} < Fn < \frac{3}{\sqrt{L}}$ – trạng thái quá độ;

c) Khi $Fn_D \geq 3$ hay là $Fn \geq \frac{3}{\sqrt{L}}$ – trạng thái lướt;

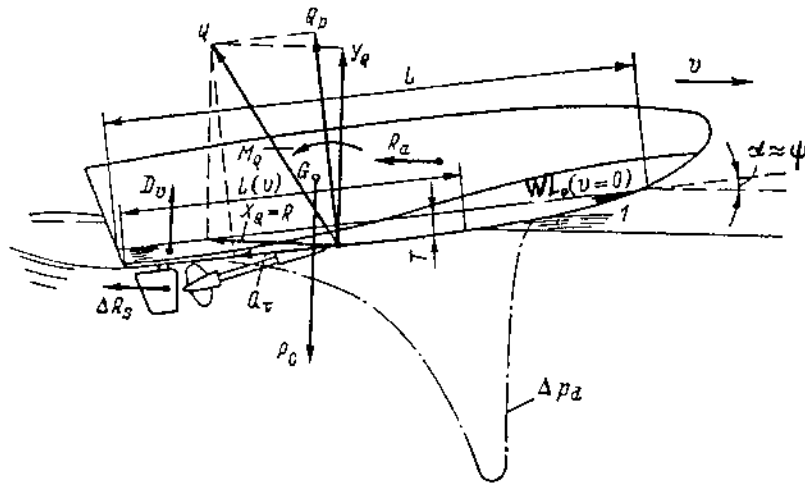
Trong ba công thức trên $\bar{L} = \frac{L}{\sqrt[3]{V}}$.

7.10.2. CÁC THÀNH PHẦN LỰC CẢN ĐỐI VỚI TÀU LƯỢT

Khi tốc độ tàu cao ứng với $Fn_D \geq 3$, tàu bắt đầu lướt: Ngay khi tốc độ của tàu ứng với $Fn_D = 1$, tàu bắt đầu được nâng mũi do xuất hiện Y_Q và M_Q , và sự nâng mũi đó đạt trị số lớn nhất khi $Fn_D = 2$, cho đến khi $Fn_D = 3$ sự nổi mũi bắt đầu giảm, vì ở vận tốc cao đó chỉ cần một góc xung $\alpha_{bđ}$, cũng đủ để nâng cả tàu lên khỏi mặt nước. Sở dĩ có góc α là vì phần đáy ở đuôi tàu được làm phẳng hoặc vát

và sẽ tạo với hướng đi một góc $\psi \approx \alpha$, đó chính là góc xung trong “lý thuyết cánh”, nhờ có góc α mà có lực thủy động Q và M_Q .

Sự thành hình và phân bố lực khi tàu lướt thể hiện trên hình 7.30.



Hình 7.30. Sự hình thành các lực cản khi tàu lướt trên mặt nước.

Do có góc xung α sẽ tạo thành lực nâng Q_p và lực cản Q_r , hình chiếu trên hướng đứng là lực nâng thủy động Y_Q :

$$Y_Q = Q_p \cos \alpha + Q_r \sin \alpha \approx Q_p \cos \alpha, \quad (7.53)$$

Vì α rất bé nên ta bỏ qua $Q_r \sin \alpha$,
và hình chiếu trên hướng đi tới của tàu là lực cản thủy động R :

$$R = Q_r \cos \alpha + Q_p \sin \alpha = R_f + R_d \quad (7.54)$$

trong đó: $R_d = Q_p \sin \alpha = \frac{Y_Q}{\cos \alpha} \cdot \sin \alpha \approx D \operatorname{tg} \alpha$; $R_f = Q_r \cos \alpha$.

Trong (7.54) về thứ nhất là lực cản ma sát R_f , về thứ hai là lực cản áp lực R_d , nhưng ở đây lực cản ma sát cũng như lực của áp lực khác căn bản với lực cản ta đã nói ở đầu chương lực cản, lực cản ma sát R_f phụ thuộc vào diện tích ướt $\Omega(v)$ (diện tích này phụ thuộc vào vận tốc tàu v) $\Omega(v)$ sẽ giảm xuống nhanh khi v tăng. Cuối cùng về R_d phụ thuộc vào góc nghiêng dọc $\psi \approx \alpha$. R_d không những tạo sóng mà còn tạo thành dòng phun. Dòng phun này được tạo thành bởi sự giảm áp Δp_d trên mặt lướt (hình 7.30). Hình chiếu của lực dòng phun trên hướng vận động của tàu là lực cản phun R_m . R_m sẽ tăng khi Fn_D tăng, trong lúc đó thì lực gây sóng R_w sẽ giảm xuống khi Fn_D tăng lên.

Như vậy, ở trạng thái lướt, lực cản toàn phần của tàu sẽ là:

$$R = R_f + \Delta R_f + R_d + \Delta R_s + R_a; \quad (7.55)$$

trong đó: $R_f + \Delta R_f$ – lực cản ma sát của tàu trơn và bổ sung nhám;

R_d – lực cản áp lực gồm chủ yếu là dòng phun;

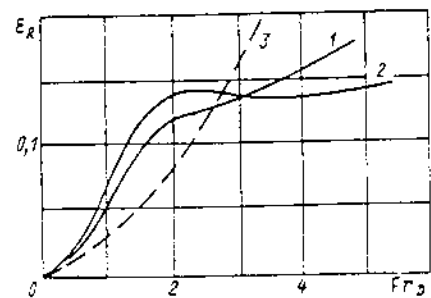
ΔR_s – bổ sung lực cản xoáy;

R_a – lực cản không khí.

Như thế, việc quá độ lên tình trạng lướt sẽ giảm được chủ yếu là lực cản gây sóng và lực cản ma sát (do giảm được diện tích ướt). Tất nhiên việc lựa chọn hình dáng bộ phận dưới nước, nhất là phần đuôi cực kỳ quan trọng, để có thể chuyển qua tình trạng lướt mà không tiêu hao quá nhiều công suất. Chỉ tiêu để đánh giá tính năng tàu lướt về lực cản là $\epsilon_R = \frac{R}{D} \approx$

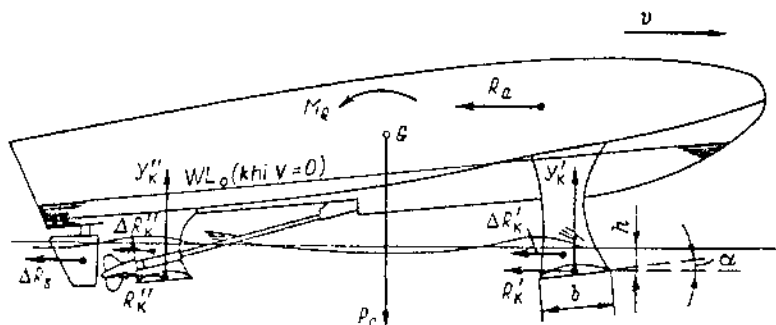
$\frac{R}{Y_Q}$ hệ số này càng bé thì tính năng của tàu lướt đó càng tốt.

Thông thường tàu lướt chọn dạng gãy góc, đáy bằng. Nhưng khi vận tốc tăng ứng với $Fn_D \geq 4 \sim 5$, người ta còn sử dụng loại như trên nhưng có khác. Tỷ lệ lực cản của các loại tàu trình bày trên hình 7.31, cũng từ hình 7.31 ta thấy khi $Fn_D > 3$ thì tàu có khác có lợi về lực cản, các tàu phóng lôi của hải quân ta đều là loại tàu có khác.



Hình 7.31. Tỷ lệ cản của các loại tàu:

1. Tàu lướt không khác;
2. Tàu lướt có khác;
3. Tàu dạng bơi.



Hình 7.32. Lực tác dụng trên tàu cánh ngầm.

Lực cản của tàu cánh ngầm

Một trong những biện pháp hữu hiệu nhất để giảm lực cản khi đưa vận tốc của tàu tăng lên rất cao là lắp các cánh ngầm dưới thân tàu. Các cánh này được gắn chặt với vỏ tàu khi tàu chạy với vận tốc cao sẽ tạo nên các lực nâng Y_K đủ để cân bằng với trọng lượng của con tàu, khiến tàu sẽ được các cánh đỡ nâng lên trên mặt nước. Việc bố trí các cánh và các lực tác dụng lên tàu cánh ngầm được trình bày trên hình 7.32.

Tàu cánh ngầm có thể được nâng lên khỏi mặt nước khi $Fn_D > 2$, lúc đó lực nâng do các cánh sinh ra ΣY_K bằng trọng lượng toàn tàu:

$$P_c - \Sigma Y_K = 0 \quad (7.56)$$

Theo lý thuyết cánh, nếu diện tích của mỗi cánh là F_K , thì lực nâng của cánh sẽ là:

$$Y_K = C_y \frac{\rho v^2}{2} F_K$$

trong đó C_y – hệ số lực nâng, hệ số này phụ thuộc vào góc xung α và hệ số chìm $\bar{h} = \frac{h}{b}$ (b là chiều rộng cánh) (xem hình 7.32).

Vì tỷ trọng của nước ≈ 800 lần tỷ trọng của không khí, nên chỉ cần một số cánh với diện tích cánh không lớn đã đủ để nâng thân tàu lên khỏi mặt nước.

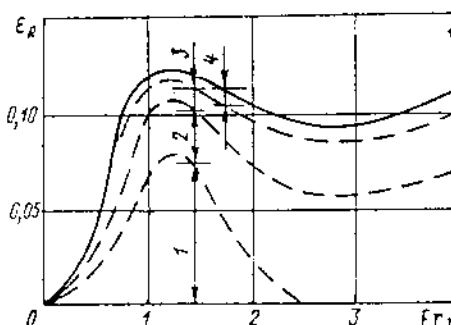
Sải cánh l , thông thường tỷ lệ sải cánh $\bar{l} = \frac{l}{b} = 4 \sim 9$. Mặt cắt cánh thông thường hình . Số cánh thường bằng hai, một lắp ở phía gần (phía sau) mũi. Một lắp phía trước bánh lái của tàu. Sự bố trí cánh phải đảm bảo sự ổn định hướng đứng khi tàu chạy và đảm bảo độ nâng (cao) của thân tàu mặt nước được ổn định (không thay đổi) khi tàu cánh ngầm chạy với vận tốc không đổi.

Để tàu có thể hoạt động trong sóng, gió nên chọn cánh sâu $\left(\bar{h} = \frac{h}{b} > 2\right)$ và tự động điều chỉnh (cánh có thể quay được).

Cũng giống như tàu lướt, người ta cũng dùng hệ số $\epsilon_R = \frac{R}{P_c} = \frac{R}{\Sigma Y_K}$ để đánh giá tính năng tàu cánh ngầm như trên hình 7.33.

7.10.3. LỰC CẢN CỦA TÀU ĐỆM KHÍ

Biện pháp hữu hiệu để giảm lực cản và nâng vận tốc tàu là dùng các thiết bị khí động để tạo một lớp không khí giữa đáy tàu và mặt nước, người ta gọi tàu đó là tàu đệm khí; gần đây người ta cũng sáng chế ra những tàu bay gần mặt nước nhưng khác với nguyên lý của tàu đệm khí có tên gọi là Ekranplan (gốc từ tiếng Nga). Tàu đệm khí là xe bay trên mặt nước được hoạt động rộng rãi ở vùng nước cạn, trên vùng đóng băng, sa mạc v.v. Tính ưu việt của tàu đệm khí so với xe lội nước cổ truyền khiến tàu đệm khí được sử dụng rộng rãi trong ngành quân sự vận tốc của tàu đệm khí, có thể đạt vận tốc tới trên 200 km/h.



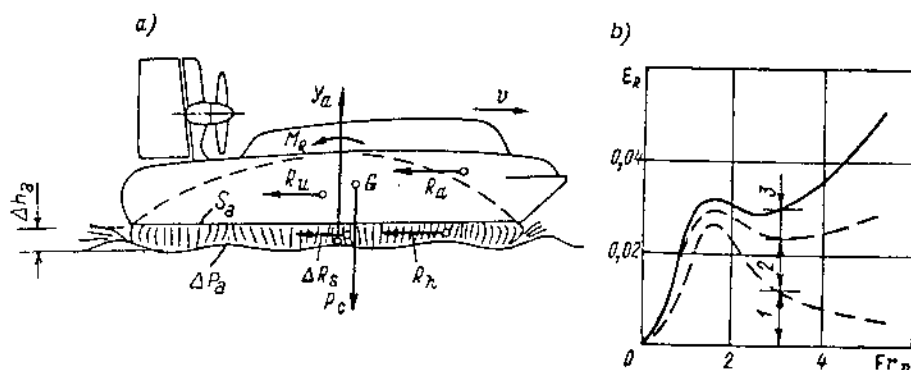
Hình 7.33. Tỷ lệ các thành phần lực cản của tàu cánh ngầm:

1. Lực cản của vỏ tàu;
2. Lực cản của cánh;
3. Lực cản của các bộ phận nhô ra;
4. Lực cản của không khí.

Sự hoạt động liên tục của quạt gió, máy nén khí tạo thành một lớp khí nén cao áp dưới đáy (như trình bày trên hình 7.34) Δp_a , cách mặt nước Δh_a , diện tích bằng S_a , như vậy lực này sẽ là $Y_a = \Delta p_a \cdot S_a$.

Về lực cản tàu đệm khí ngoài lực cản thủy động R_b , lực cản không khí R_a , lực cản xoáy ΔR_x còn phản lực do quạt gió gây nên. Giả thiết sản lượng của quạt là V , khối lượng không khí $m_a = \rho_a V_a$, khối lượng không khí này sẽ được vận động với vận tốc v , theo định luật động lượng thì:

$$R_u = m_a \cdot v = \rho_a V_a v \quad (7.57)$$



Hình 7.34. Các lực cản đối với tàu đệm khí, và tỷ lệ của chúng trên toàn bộ lực cản.

Đó là lực cản xung R_u . Tỷ lệ các lực cản trên toàn bộ lực cản tàu đệm khí trình bày trên hình 7.34. Ở $Fr_D < 0,8 - 1,0$, thì chủ yếu là lực của thủy động (ban đầu là gây sóng, sau đó là tạo dòng phun).

7.11. THỬ MÔ HÌNH ĐỂ TÍNH LỰC CẢN CỦA TÀU

Như ta đã nói trong mục 7.2 và tính đồng dạng giữa mô hình và tàu thực đã đi đến kết luận không thể tìm được đồng dạng động lực học của tất cả các loại lực cản. Hiện nay người ta dùng phương pháp thử mô hình theo phương pháp Froude, khi thử phải bảo đảm trị số Fn của mô hình và tàu thực bằng nhau trên cơ sở giả thiết chia lực cản thành 2 phần: lực cản ma sát và lực cản thặng dư, trong đó lực cản thặng dư sẽ tôn trọng đồng dạng Froude.

Giả thiết ta thử một mô hình với tỷ lệ kích thước là:

$$a = \frac{L}{L'} = \frac{B}{B'} = \frac{T}{T'} \quad (7.58)$$

Trị số Fn của mô hình và tàu thực bằng nhau:

$$Fn = \frac{v}{\sqrt{gL}} = \frac{v'}{\sqrt{g'L'}} = \text{const} \quad (7.59)$$

trong đó $L, B \dots v$ của tàu,

$L', B' \dots v'$ của mô hình.

Rõ ràng $g \cong g'$ (tất nhiên g sẽ thay đổi theo địa điểm trên địa cầu, nhưng ta giả thiết vùng hoạt động của tàu không thay đổi mấy so với mô hình).

Như vậy
$$\frac{v}{v'} = \sqrt{\frac{L}{L'}} = \sqrt{a} \quad (7.60)$$

Ta sẽ đo đặc lực cản thẳng dư của mô hình R' ở vận tốc v' và ta sẽ suy ra lực cản thẳng dư R của tàu thực.

$$\text{Theo luật đồng dạng: } \frac{R_{\omega}}{R'_{\omega}} = \frac{\zeta_{\omega} \rho v^2}{\zeta_{\omega'} \rho' v'^2} \frac{\Omega}{\Omega'} \quad (7.61)$$

$$\text{Bởi vì: } \frac{\rho}{\rho'} = \frac{\gamma}{\gamma'} ; \quad \frac{\Omega}{\Omega'} = a^2 ; \quad \frac{V}{V'} = a^3$$

$$\text{Vì } \frac{v^2}{v'^2} = a \quad \text{và} \quad \zeta_{\omega} = \zeta_{\omega'}$$

trong đó ζ_{ω} – hệ số lực cản gây sóng tàu thực;

$\zeta_{\omega'}$ – hệ số lực cản gây sóng mô hình.

$$\text{do đó: } \frac{R_{\omega}}{R'_{\omega}} = \frac{\gamma}{\gamma'} a^3 = \frac{\gamma V}{\gamma' V'} = \frac{D}{D'} \quad (7.62)$$

Lực cản gây sóng của tàu thực và của mô hình phải tôn trọng tỷ lệ trọng lượng của tàu thực và mô hình.

R'_d – lực cản dư của mô hình ta có thể tính theo tuần tự sau đây:

$$R'_d = R' - R'_f \quad (7.63)$$

R' – lực cản toàn bộ của mô hình, ta có thể đo được trong bể thử khi chạy ở vận tốc v' ;

R'_f – lực cản ma sát của mô hình, có thể tính theo các công thức (7.27), (7.28), (7.29).

$$\text{Cuối cùng ta có: } R_d = R'_d \frac{\gamma}{\gamma'} a^3 = \frac{\gamma}{\gamma'} a^3 (R' - R'_f) \quad (7.64)$$

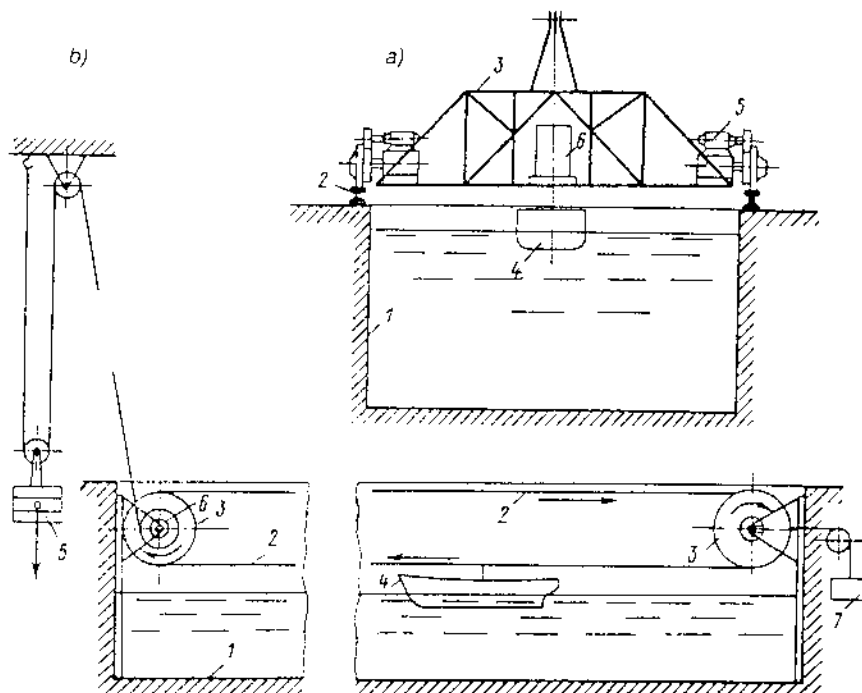
Và lực cản toàn bộ của tàu thực:

$$R = \frac{\gamma}{\gamma'} a^3 [R' - (\zeta'_f - \zeta_f) \rho' v'^2 \Omega'] \quad (7.65)$$

Để thử mô hình, các nước có công nghiệp đóng tàu tiên tiến đều xây dựng các bể thử mô hình có chiều dài từ 30 m đến 700 m; nguyên lý của các bể thử mô hình đều giống nhau là làm mô hình với tỷ lệ a nào đó, khác nhau về nguyên tắc là cách đo đặc số liệu: Bể thử trọng lực (xem hình 7.35) dùng các trọng vật (số 5 trên hình 7.35b) để kéo mô hình, như vậy đã biết trước lực cản của mô hình. Bể thử mô hình loại trọng lực có kích thước bé (30 ~ 40 m) xây dựng từ trước và sau khi chiến tranh thế giới lần thứ hai, nhiều trường đại học có các bể thử này. Bể thử hiện đại đều dùng xe kéo để kéo mô hình và lắp các thiết bị đo đặc vận tốc, lực cản v.v..., trên xe kéo đó. Mô hình tàu ngày xưa được làm bằng parafin (sáp ong), ngày nay đều làm

bằng gỗ chất lượng tốt, độ chính xác của việc gia công mô hình có ảnh hưởng quyết định đối với độ chính xác của việc thử tàu. Ngày nay mô hình được chế tạo trên máy gia công theo chép hình và máy tính điều khiển toàn bộ.

Ở Việt Nam ta, đã xây dựng bể thử kiểu xe kéo có chiều dài bể 100 m và đang có kế hoạch xây dựng một hệ thống bể thử gồm bể thử lực cản, bể thử nước cặn, bể thử tính ma nơ của tàu và ống thử khí động học.



Hình 7.35. Bể thử mô hình: a- loại xe kéo; b- loại trọng lực.

Loại xe kéo: 1. Bể thử; 2. đường ray; 3. Xe kéo; 4. Mô hình; 5. Mô tơ kéo; 6. Thiết bị đo đặc.

Loại trọng lực: 1. Bể thử; 2. Cáp kéo; 3. Ròng rọc; 4. Mô hình; 5. Trọng vật kéo; 6. Thiết bị ghi; 7. Đối trọng để làm căng dây cáp kéo.

7.12. DÙNG PHƯƠNG PHÁP GẦN ĐÚNG ĐỂ TÍNH LỰC CẢN CỦA TÀU

7.12.1. PHƯƠNG PHÁP HỆ SỐ HẢI QUÂN C_E VÀ C_W

Qua chương 7, ta có thể khẳng định, trừ lực cản ma sát, còn các lực cản khác chưa có thể tính toán một cách chính xác được. Vì vậy ta phải dùng phương pháp thử mô hình trong bể thử nghiệm để tìm các hệ số lực cản thẳng dư, sau đó tính ra lực cản toàn tàu. Nhưng mãi đến năm 1871 nhà khoa học Anh W. Froude mới tìm ra cách thử mô hình dựa trên thuyết đồng dạng. Không phải nước nào cũng có bể

thử tàu, hơn nữa công việc thử mô hình khá tốn kém, nên trong quá trình phát triển hàng hải và đóng tàu, các nhà đóng tàu đã sáng tạo ra nhiều công thức gần đúng để tính lực cản thay cho thí nghiệm. Công thức đầu tiên loại này có lẽ là công thức hải quân, hay gọi là hệ số hải quân C_E hoặc C_W :

$$C_E = \frac{V^{2/3} v_s^3}{EHP} \quad (7.66)$$

$$C_W = \frac{V^{2/3} v_s^3}{WHP} \quad (7.67)$$

trong đó V – thể tích chiếm nước của tàu [m^3],

v_s – vận tốc của tàu [hải lý/h],

EHP – công suất kéo, hoặc công suất hữu ích [mã lực],

WHP – công suất đầu trục [mã lực].

Đối với các loại tàu khác nhau, ở các vận tốc khác nhau thì hệ số hải quân C_E và C_W kể trên sẽ thay đổi trong một phạm vi rất rộng, ví dụ trên bảng 7.6 giới thiệu hệ số hải quân C_E của một số tàu để tham khảo. Có thể thấy $107 \leq C_E \leq 302$, C_E thay đổi rất lớn, nhưng quan sát kỹ ta thấy: nói chung đối với tàu nhỏ (L bé) thì C_E bé còn tàu lớn thì C_E lớn, C_E càng lớn thì $\frac{EHP}{V}$ càng nhỏ, có nghĩa là kinh tế hơn.

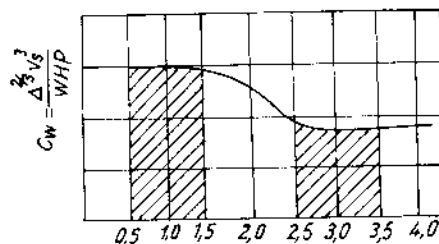
Đối với một tấn trọng tải tàu lớn, công suất yêu cầu sẽ nhỏ hơn đối với tàu nhỏ, đó cũng là lý do tàu có trọng tải lớn sẽ kinh tế hơn đối với tàu trọng tải bé.

Đối với tàu mẫu gần giống với tàu mới, và trị số Froud gần nhau thì kết quả áp dụng hệ số hải quân sẽ khá chính xác (xem hình 7.36) lượng chiếm nước của tàu $V = 12.500 m^3$, khi công suất đầu trục $WHP = 14.000$ mã lực, vận tốc của tàu đạt $v = 20$ hải lý/h. Nếu số công suất đầu trục WHP không đổi thì vận tốc của tàu sẽ đạt bao nhiêu nếu lượng chiếm nước tăng lên đến $13.500 m^3$?

Ta tính hệ số hải quân cho trường hợp đầu:

$$C_W = \frac{V^{2/3} v_s^3}{WHP} = \frac{12.500^{2/3} \times 20^3}{14.000} = \frac{540 \times 80.00}{14.000} = 308$$

Vì lượng chiếm nước chỉ tăng rất ít, cụ thể là $1.000 m^3$, hệ số hải quân sẽ không thay đổi, vậy vận tốc mới sẽ là:



Hình 7.26. Quan hệ giữa C_W và vận tốc tàu v_s – hải lý/h L – m.

$$v_s = \sqrt[3]{\frac{WHP.C_w}{V^{2/3}}} = \sqrt[3]{\frac{14.000 \times 308}{13.500^{2/3}}} = \sqrt[3]{7600} = 19,7 \text{ hải lý/h}$$

Bảng 7.6. Hệ số hải quân đối với một số tàu

	Tên tàu	L [m]	V [m³]	v [hải lý/h]	Công suất có hiệu EHP [mã lực]	$\frac{EHP}{V}$ [mã lực/m³]	Hệ số hải quân C_E
1	Tàu hơi nước cao tốc	280,0	57700	23,2	61800	1,07	302
2	"	202,0	22900	23,5	37800	1,65	298
3	"	190,5	21385	22,0	27000	1,26	327
4	Tàu khách cỡ lớn	194,0	22100	18,0	17200	0,78	287
5	"	193,0	23200	15,0	9800	0,40	315
6	"	170,0	17250	16,5	10600	0,61	305
7	"	136,5	13170	13,5	4800	0,36	308
8	"	121,4	10340	11,5	2500	0,24	322
9	Tàu khách loại nhỏ	69,6	2200	10,0	1050	0,48	190
10	Tàu hơi nước chạy trong kênh	92,0	1915	20,0	5600	2,92	220
11	"	83,8	1695	20,0	5400	3,19	211
12	Tàu hơi nước loại bé	121,9	5710	15,0	3700	0,65	307
13	"	116,6	4260	21,5	9650	2,27	291
14	Tàu hàng lớn	170,7	24800	13,5	5460	0,22	418
15	"	152,4	21115	12,0	4000	0,19	359
16	"	131,1	12400	11,0	2500	0,20	316
17	"	105,2	7985	11,0	1700	0,21	357
18	Tàu hàng nhỏ	88,1	4580	10,5	1225	0,27	305
19	"	79,8	3400	9,0	700	0,21	288
20	"	62,1	1760	9,0	440	0,25	307
21	"	47,3	940	8,0	350	0,37	181
22	"	37,8	320	9,0	260	0,81	173
23	"	32,0	130	12,0	225	1,73	263
24	"	26,0	66	12,0	220	3,33	172
25	Tàu cá	41,0	445	10,9	490	1,10	194
26	Tàu kéo	40,0	390	11,0	350	0,90	262
27	"	35,0	340	12,1	520	1,53	203
28	"	15,2	48	9,1	150	3,13	91
29	Tàu phá băng	47,2	890	9,5	500	0,56	200
30	Tàu hàng sông, dùng chân vịt	60,0	481	7,3	205	0,43	156
31	Tàu khách sông	62,0	325	9,9	503	1,55	114
32	"	40,5	100	11,1	250	2,50	157
33	"	67,0	550	7,2	382	0,69	85

Bảng 7.6 (tiếp theo)

34	Tàu kéo chạy guồng	50,0	300	10,3	620	2,07	98
35	"	40,0	212	10,5	2300	1,42	179
36	Tàu chạy guồng ở lái	46,8	144	9,0	210	1,46	128
37	"	22,8	43	8,0	80	1,86	125
38	Xuồng	15,0	23	8,0	65	2,83	107

7.12.2. PHƯƠNG PHÁP PAPIEL

Phương pháp của nhà khoa học Xô Viết cũ căn cứ vào kết quả thử một số mô hình cộng với số liệu thống kê được tiến hành sau một số chuyến thử tàu thực biên soạn thành.

Phương pháp này đặc biệt đơn giản và rất dễ sử dụng vì chỉ có sử dụng một đồ thị duy nhất. Mã lực kéo N_o [mã lực] (có các phần phụ nhô ra bình thường) được tính theo công thức:

$$N_o = \frac{V v_\omega^3 \mathcal{H}}{L C_p \lambda} \sqrt{\psi} \quad (7.68)$$

trong đó V – thể tích chiếm nước [m^3],

L – chiều dài tàu [m],

v_ω – vận tốc tàu (hải lý/h),

$\mathcal{H}$ – hệ số xét tới ảnh hưởng của bộ phận nhô ra như bảng 7.7.

Bảng 7.7. Hệ số xét đến ảnh hưởng của bộ phận nhô ra theo Papiel

Số lượng chân vịt	1	2	3	4
$\mathcal{H}$	1,00	1,05	1,075	1,10

λ – Hệ số phụ thuộc bởi chiều dài tàu:

Đối với $L \geq 100$ m lấy $\lambda = 1,00$;

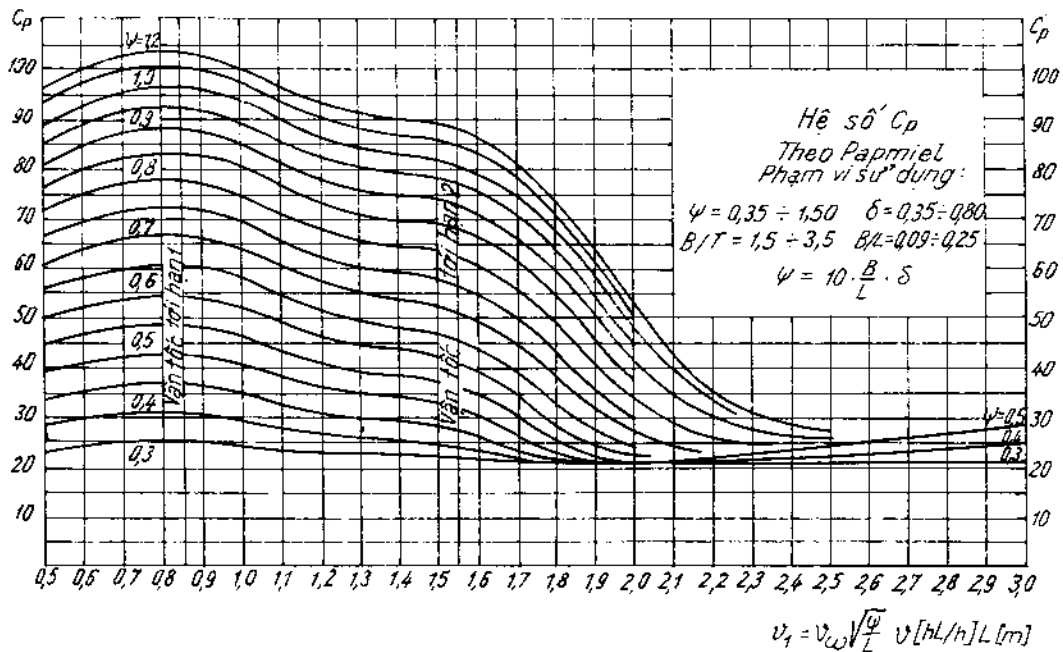
“ $L < 100$ m lấy $\lambda = 0,7 + 0,03 \sqrt{L}$;

ψ – Hệ số thon của vỏ được tính theo:

$$\psi = 10 \frac{B}{L} \delta \quad (7.69)$$

trong đó: B – chiều rộng tàu [m], δ – hệ số kéo, C_p – hệ số Papiel,

C_p – Hệ số lấy từ hình 7.37 tùy thuộc vào $v_1 = v_w \sqrt{\frac{\psi}{L}}$ và ψ .



Hình 7.37. Hệ số C_p .

Độ chính xác của kết quả tính theo phương pháp Papiemel thấp hơn các phương pháp khác, nhưng cách tính thật đơn giản. Đối với vận tốc khoảng 15 hải lý/h, ta được kết quả tính theo Papiemel lớn hơn thực tế, coi như đã có dự trữ công suất trong điều kiện khai thác bình thường, ở tốc độ cao thì công suất tính được thấp hơn thực tế.

Ví dụ: Tính mã lực kéo của tàu buôn một chân vịt với các kích thước như sau:

$L = 145,75$ m; $B = 19,4$ m, $T = 8,34$ m, $V = 15470$ m³, $D = 15950 \cdot 10^3$ kG

$\Omega = 3840$ m²; $\delta = 0,675$, $\beta = 0,97$, $\chi_c = -0,72$ m. Tính trong dải từ 15 hải lý/h – 20 hải lý/h.

Lời giải: Công suất kéo tính theo công thức 7.68:

$$N_o = \frac{V v_w^3}{L C_p} \frac{\mathcal{H}}{\lambda} \sqrt{\psi}$$

trong đó:

Hệ số bộ phận nhô ra lấy từ bảng 7.7 $\mathcal{H} = 1,0$;

Hệ số chiều dài đối với $L > 100$ $\lambda = 1,0$;

Hệ số thon tính theo công thức 7.69:

$$\psi = 10 \frac{B}{L} \delta = 10 \cdot \frac{19,4}{141,6} \cdot 0,675 = 0,925$$

$$\text{Như vậy: } N_o = \frac{15470 v_w^3}{141,6 C_p} \frac{1,0}{1,0} \sqrt{0,925} = 105,2 \frac{v_w^3}{C_p}$$

Các bước tiếp theo được tính trên bảng 7.8.

Bảng 7.8. Tính toán công suất có hiệu theo Papmiel

1	v_w	hải lý/h	15	16	17	18	19	20
2	v_w^3	(hải lý/h) ³	3375	4096	4913	5832	6859	8000
3	v_1	–	1,21	1,29	1,37	1,45	1,54	1,65
4	C_p	–	80,0	78,2	77,1	76,4	75,0	72,5
5	N_o	Sức ngựa	4440	5510	6700	8030	9620	11610

Trên bảng 7.8 (thứ tự tính toán):

1. Giả thiết

2. v_w^3

$$3. v_1 = v_w \sqrt{\frac{\psi}{L}} = v_w \sqrt{\frac{0,925}{141,0}} = 0,0808 v_w$$

4. Lấy từ hình 7.55 theo v_1 và $\psi = 0,925$

$$5. N_o = 105,2 \frac{v_w^3}{C_p}$$

7.12.3. PHƯƠNG PHÁP A. L. AYRE

Ayre dựa trên hàng loạt kết quả thử mô hình để biên soạn phương pháp tính này, ưu điểm của nó là đơn giản, dễ có kết quả. Mã lực tính được đã bao gồm 8% lực cản các bộ phận nhô ra N_o :

$$N_o = \frac{D^{0,64} v_w^3}{C_A} \quad (7.70)$$

trong đó: D – lượng chiếm nước (tấn);

v_w – vận tốc tàu [hải lý/h],

C_A – hệ số tra theo đồ thị của Ayre, $C_A = \left(f(Fn, L/D)^{\frac{1}{3}} \right)$.

Nếu muốn tính lực cản bằng kG thì theo công thức:

$$R = \frac{550 D^{0,64} v^2}{C_A} \quad (7.71)$$

trong đó: v – vận tốc tàu [m/s].

Ayre công bố một đồ thị chính để tính C_A hình 7.38 và 5 đồ thị phụ từ 7.39 – 7.43 để điều chỉnh do thông số của tàu cần tính lực cản khác với tàu mẫu của Ayre:

- Độ béo δ_o – theo hình 7.39;
- Tỷ số $(B/T)_o = 2$;
- Tâm nổi chuẩn x_{C_o} theo hình 7.40;
- Chiều dài $L_o = 1,025 L$.

Quá trình tính lực cản theo tuần tự sau đây:

1) Tính $F_n = v/\sqrt{gL}$, hệ số thon $L/D^{1/3}$, căn cứ 2 số liệu đó tính C_A theo đồ thị hình 7.38.

2) Tính δ và so sánh với δ_o của tàu mẫu lấy từ đồ thị hình 7.39.

a) Nếu $\delta < \delta_o$ thì tăng C_A , ΔC_A tra từ đồ thị hình 7.41;

b) Nếu $\delta > \delta_o$ thì giảm C_A , trị số giảm tính theo công thức:

$$\Delta_1 C_A = 300\delta \frac{\delta_o - \delta}{\delta_o} [\%] \quad (7.72)$$

Trị số giảm này chỉ được đưa vào nếu trị số $|\Delta_1 C_A| > |\Delta_3 C_A|$ ($\Delta_3 C_A$ lấy ở bước 4)

3) Tính điều chỉnh do B/T nếu B/T lớn hơn $(B/T)_o = 2$;

Trị số giảm của C_A tính theo công thức:

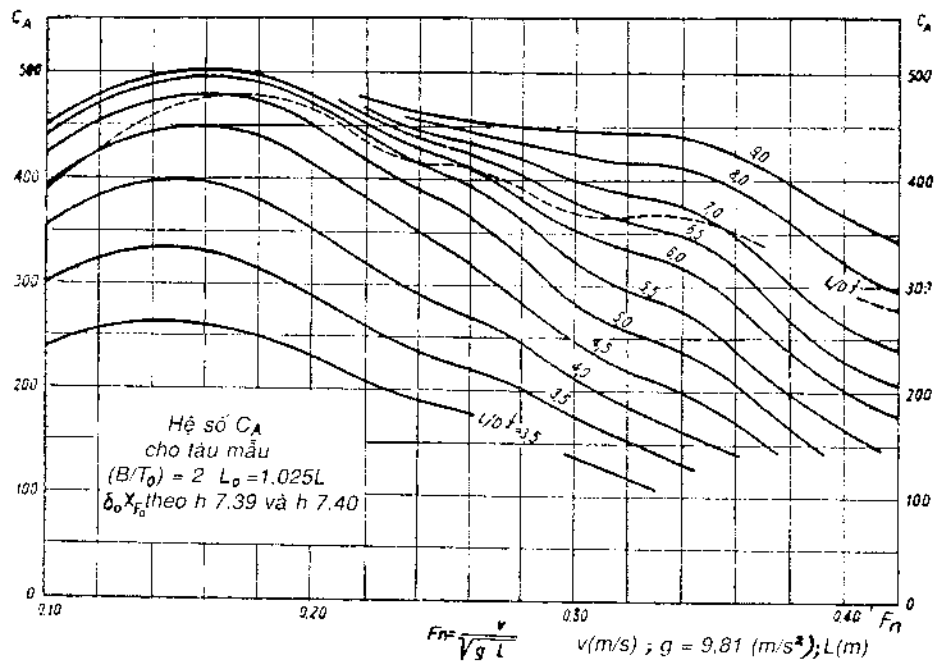
$$\Delta_2 C_A = 10\delta \left(2 - \frac{B}{T} \right) [\%] \quad (7.73)$$

4) Tính điều chỉnh do vị trí của tâm nổi tàu khác với tàu mẫu, trị số $\Delta_2 C_A$: theo hình 7.40 tra tâm nổi chuẩn (mẫu) x_{C_o} , dựa vào $(x_C - x_{C_o})$ tra $\Delta_3 C_A$ (hình 7.42) hoặc hình 7.43. Nếu $|\Delta_3 C_A| > |\Delta_1 C_A|$ thì mới điều chỉnh hạng mục này.

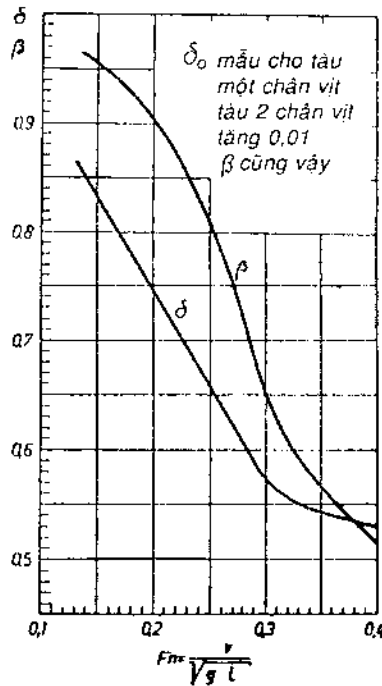
5) Tính điều chỉnh về L_w , nếu L_w khác với chiều dài mẫu $L_o = 1,025 L$, thì trị số tăng hoặc giảm theo công thức:

$$\Delta_4 C_A = 100 \frac{L_w - L_o}{L_o} [\%] \quad (7.74)$$

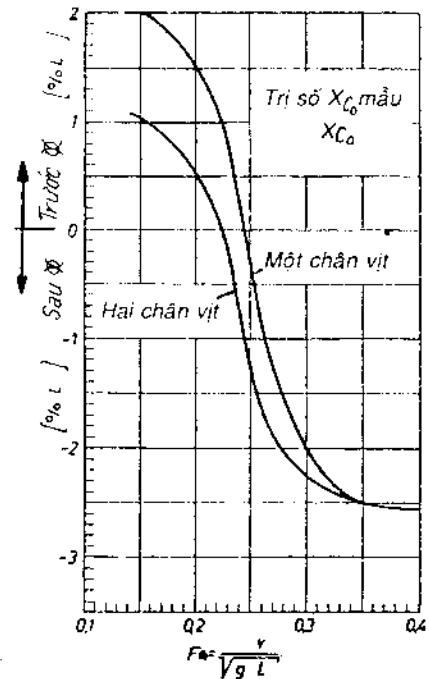
6) Tính tổng số các lần điều chỉnh và tính được mã lực hoặc lực cản sau khi có C_A (đã chỉnh) và tính sức ngựa hữu ích N_o hoặc R theo (7.70) hoặc (7.71).



Hình 7.38. $C_A = f(F_n)$.



Hình 7.39.

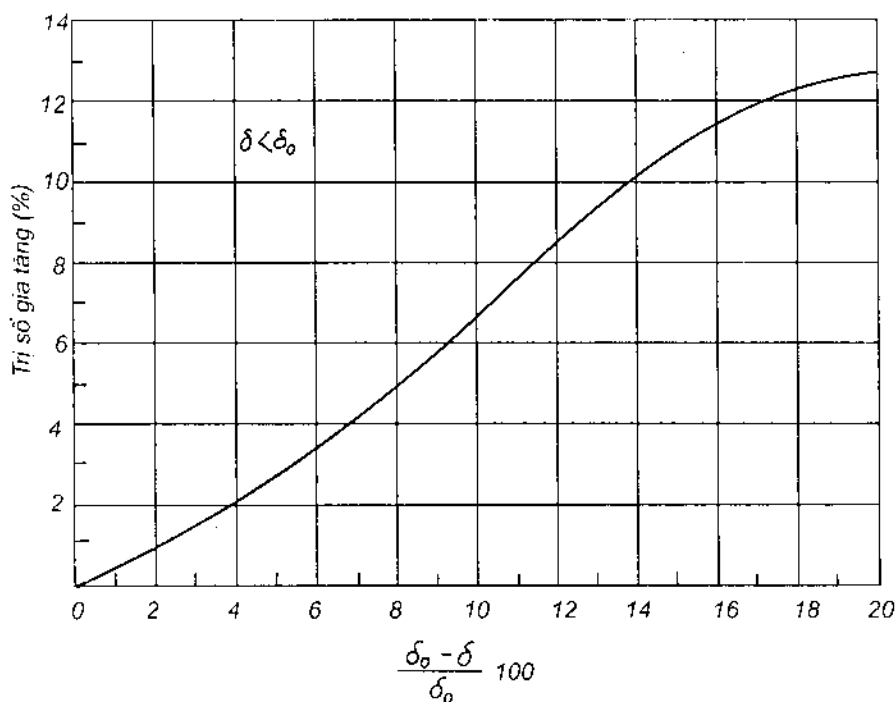


Hình 7.40.

Phương pháp Ayre chỉ dùng để tính sức ngựa hữu ích và lực cản đối với tàu có $L > 30$ m.

Sau đây là một ví dụ:

Ví dụ: Tính theo phương pháp Ayre trong phạm vi từ 15 đến 20 hải lý công suất kéo của một tàu hàng với các kích thước: $L = 141,6$ m, $L_0 = 145,6$ m, $B = 19,4$ m, $T = 8,34$ m, $V = 15470$ m³, $D = 15950 \cdot 10^3$ kG, $\Omega = 3840$ m², $\delta = 0,675$, $\beta = 0,97$, $x_C = 0,72$ m.



Hình 7.41.

Giải:

Mã lực kéo tính theo công thức 7.70:

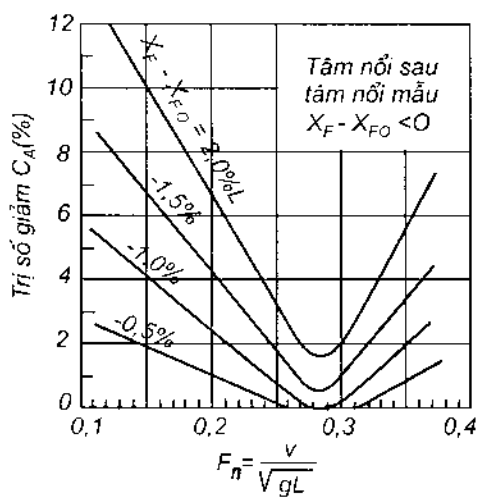
$$N_o = \frac{D^{0,64} v_w^3}{C_A} = \frac{15950^{0,64} v_w^3}{C_A} = 489,5 \frac{v_w^3}{C_A}$$

Các thông số phụ:

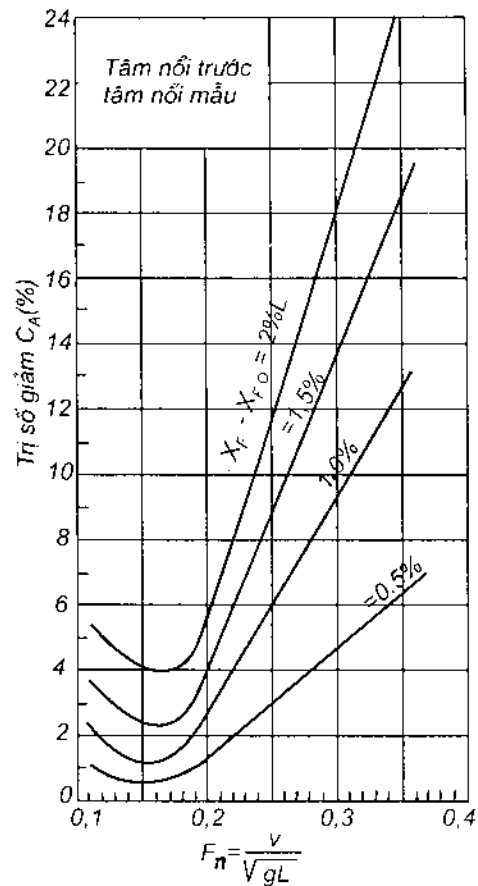
$$\frac{L}{D^{1/3}} = \frac{141,6}{15950^{1/3}} = 5,626$$

$$\frac{B}{T} = \frac{19,4}{8,34} = 2,32$$

$$x_F = -0,72 = \frac{-0,72}{L} \cdot 100 = -0,51\% L$$



Hình 7.42.



Hình 7.43.

Tính toán được tiến hành trên bảng dưới đây:

Bảng 7.9.

1	v_0	hải lý/h	15	16	17	18	19	20
2	v	m/s	7,710	8,224	8,738	9,252	9,766	10,280
3	F_n	—	0,207	0,221	0,234	0,248	0,262	0,276
4	C_A mẫu	—	463	440	421	408	392	372
5	δ_0	—	0,737	0,713	0,682	0,660	0,638	0,613
6	$\Delta_1 C_A$	%	5,50	290	0,45	-4,60	-11,75	-20,50
7	$\Delta_2 C_A$	%	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
8	χF_0	% L	1,40	1,12	0,70	-0,25	-0,90	-1,42
9	$\Delta_3 C_A$	%	-5,70	-3,70	-2,20	0,0	-2,70	-6,60
10	$\Delta_4 C_A$	%	+0,4	+0,4	+0,4	+0,4	+0,4	+0,4
11	$\Sigma \Delta C_A$	%	-1,9	-2,5	-3,45	-6,3	-13,45	-22,2
12	C_A đã chỉnh	—	455	429	405	383	339	290
13	N_0	Mã lực	3620	4670	5940	7450	9890	13500

Những điểm giải thích thêm (theo thứ tự trên bảng)

1. Giả thiết

2. $v = 0,514 v_0$

3. $Fn = \frac{v}{\sqrt{gL}} = \frac{v}{\sqrt{9,81 \cdot 141,6}} = \frac{v}{37,27},$

4. Lấy từ hình 7.38 tìm được C_A (tra C_A theo Fn và $L/D^{1/3}$),

5. Lấy từ hình 7.40 theo Fn , lấy hệ số béo chuẩn δ_0 ,

6. a. Đối với $\delta < \delta_0$ lấy từ hình 7.41 theo $\frac{\delta_0 - \delta}{\delta_0} \cdot 100,$

b. Đối với $\delta > \delta_0$ theo $\Delta_1 C_A = 300 \delta \frac{\delta_0 - \delta}{\delta_0} = 202,5 \frac{\delta_0 - 0,675}{\delta_0},$

7. $\Delta_2 C_A = 10\delta \left(2 - \frac{B}{T}\right) = 10 \cdot 0,675 \cdot (2 - 2,32) = -2,1\%,$

8. Từ hình 7.40 theo Fn tìm trị số x_{FO} mẫu,

9. Từ hình 7.42 hoặc hình 7.43 căn cứ vào Fn và $x_F - x_{FO}$,

10. $\Delta_4 C_A = 100 \frac{L_w - 1,025 L}{1,025 L} = 100 \cdot \frac{145,76 - 145,14}{145,14} = +0,4\%,$

11. $\Sigma \Delta C_A = \Delta_1 C_A + \Delta_2 C_A + \Delta_3 C_A + \Delta_4 C_A$ (khi $\Delta_1 C_A$ và $\Delta_3 C_A$ đều là âm thì chỉ lấy số nào có giá trị tuyệt đối lớn hơn).

12. $C_{A \text{ đã chỉnh}} = \frac{100 + \Sigma \Delta C_A}{100} \cdot C_A,$

13. $N_0 = \frac{D^{0,64} v_w^3}{C_{A \text{ đã chỉnh}}} = 489,5 \frac{v_w^3}{C_{A \text{ đã chỉnh}}}.$

Qua việc giới thiệu phương pháp tính gần đúng lực cản Papiel và Ayre ta thấy hai phương pháp đều giống nhau:

- 1) Dựa vào số liệu thống kê về lực cản từ thử mô hình, khai thác tàu,
- 2) Chọn các thông số mẫu về kích thước, hình dạng, hệ số v.v...
- 3) Tính các số (hệ số) điều chỉnh do sự chênh lệch giữa tàu cần tính và tàu mẫu.

Nếu số hiệu thu thập được, nhất là số liệu từ thử mô hình càng nhiều, thì phương pháp tính lực cản gần đúng càng tiến tới gần với số liệu thực tế. Sau thập niên 50 của thế kỷ trước, nhiều nước đã tiến hành thử hàng loạt mô hình. Sau đây là các xêri đáng lưu ý.

- Xêri Taylor – Gertlera của Mỹ năm 1954.
- Xêri 60 của Tood của Anh 1953,
- Xêri BRRA của Anh năm 1961,
- Xêri của Nhật năm 1964,
- Xêri của Thụy Điển năm 1969.

Các số liệu về mô hình của các xêri được trình bày trên bảng 7.10.

Và từ lúc có nhiều số liệu, những công thức kinh nghiệm dựa trên cơ sở giả thiết rằng tàu thiết kế và tàu mẫu không khác nhau mấy về các thông số quan trọng. Ví dụ công thức kinh nghiệm để tính lực cản thẳng dư của tàu tính bằng công thức:

$$C_R = C_{R0} \frac{C_{S0}}{C_S} \Pi_p K_p = C_{R0} \frac{C_{S0}}{C_S} k_{L/B} k_{BT} k_{C_b},$$

(7.71)

trong đó:

C_{R0} – hệ số lực cản thẳng dư của tàu mẫu,

K_p – hệ số điều chỉnh xét đến sự thay đổi tham số hình dáng p của tàu thiết kế so với tàu mẫu, $K_p = \frac{\chi_p}{\chi_{p0}}$, trong lúc đó $\chi_p = \chi_p \left(\frac{L}{B}, \frac{B}{T}, \frac{L}{\Delta^{2/3}}, Fn, \dots \right)$

được trình bày trên dạng đồ thị,

C_S – hệ số diện tích ướt của tàu $C_S = \frac{S}{\nabla^{2/3}}$.

Tuy nhiên công thức kinh nghiệm cũng rất đa dạng, mặc dầu không khác mấy (7.71), sau đây xin giới thiệu thêm cách tính lực cản theo xêri 60, để tiện so sánh với 2 phương pháp đã trình bày.

7.12.4. PHƯƠNG PHÁP TÍNH THEO XÊRI 60 (XEM BẢNG 7.10)

Phương pháp dựa trên cơ sở thử xêri 9 năm ròng của 5 họ tàu hàng trong thương trường quốc tế hiện đại. Công việc nghiên cứu được tiến hành bằng việc thay đổi hệ số béo δ từ 0,6 – 0,8, tỷ số $L/B = 5,5 - 8,5$, $B/T = 2,5, 3,0$ và 3,5 với trị số $Fn = 0,119 - 0,297$.

Kết quả nghiên cứu được trình bày trên một số đồ thị sau đây:

- 1) Đồ thị tính tỷ lệ lực cản R_p/D (R_p tính bằng pound, D tính bằng tấn Anh, $1T = 1016 \text{ kG}$), đối với 3 tỷ lệ B/T (2,5; 3,0; 3,5) dưới dạng $R_p/D = f$

$\left[(L/B, \delta), B/T, v_{\omega} / \sqrt{L_{\omega}} \right]$ (v_{ω} – tính bằng hải lý/h, L_{ω} – tính bằng ft, 1 cân Anh (pound) bằng 0,454 kG);

- 2) Đồ thị để tính diện tích ướt Ω ;
- 3) Đồ thị tính hệ số dòng theo ω , hệ số hút t, hiệu suất quay ξ_r , (về các hệ số này sẽ xem trong phần sau);
- 4) Đồ thị để tính hệ số điều chỉnh lực cản dư do vị trí của tâm nổi khác tàu mẫu;
- 5) Đồ thị (Nomogram) để tính lực cản ma sát, hình 7.77;

Bảng 7.10. Một số tham số về mô hình hàng loạt đã được công bố

Tên xêri và năm công bố	Tham số của xêri			
	Tên	Phạm vi	Các điều lưu ý về hình dáng mô hình	Thông tin bổ sung
Xêri Taylor–Gertler 1933/1954	Fn ∇/L^3 ϕ B/T β x_c	0,15 ÷ 0,59 1,00 ÷ 6,50 0,48 ÷ 0,86 2,25 ÷ 3,75 0,925 0	Tàu chiến, mũi thẳng, có mũi quả lê rất nhỏ, đuôi nhọn	
Xêri 60 1953	$V/\sqrt{L}$ δ L/B B/T x_c [% L_{pp}]	0,45 ÷ 1,00 0,60 ÷ 0,80 5,50 ÷ 8,50 2,50 ÷ 3,50 -2,50 ÷ 3,50	Tàu hàng, 1 chân vịt Mặt cắt ngang dạng chữ U, đuôi tròn, mũi thẳng từ đáy hơi nghiêng đi lên	Một trạng thái chở hàng có thử cùng thiết bị đẩy và tính đi biển
Xêri BSRA	V [hải lý/h] δ B/T $L/\nabla^{1/3}$ x_c [% L_{pp}]	8 ÷ 19 0,625 ÷ 0,825 2,00 ÷ 4,00 4,00 ÷ 6,20 -3,00 ÷ +3,20	Tàu hàng, một chân vịt, mặt cắt ngang mũi và đuôi hơi V, đuôi tròn, mũi thẳng nghiêng	Ba trạng thái chở hàng có thử cùng thiết bị đẩy
Xêri Nhật Bản 1964	Fn δ B/T L_{pp}/B x_c [% L_{pp}]	0,20 ÷ 0,30 0,55 ÷ 0,65 2,00 ÷ 2,80 6,30 ÷ 8,20 -2,60 ÷ -0,60	Tàu hàng tạp hoá chạy nhanh một chân vịt, mặt cắt ngang hơi V, đuôi tròn mũi nghiêng	Ba trạng thái chở hàng có thử cùng thiết bị đẩy

Bảng 7.10 tiếp theo

Tên xêri và năm công bố	Tham số của xêri			
	Tên	Phạm vi	Các điều lưu ý về hình dáng mô hình	Thông tin bổ sung
Xêri SSPA (Thủy Điển) 1969	Fn δ $L/\nabla^{1/3}$ B/T	0,16 ÷ 0,32 0,525 ÷ 0,750 5,00 ÷ 7,00 2,40	Tàu hàng tạp hoá chạy nhanh một chân vịt, mặt cắt ngang ở mũi và lái hơi V đuôi tròn	Có thử cùng thiết bị đẩy

Bước tính toán R_r/D được tiến hành như sau:

1. Căn cứ vào phạm vi vận tốc yêu cầu $\frac{v_w}{\sqrt{L_w}}$, B/T tìm R_r/D trên đồ thị

7.40 ÷ 7.76.

2. Căn cứ vào B/T thực tế dùng công thức dưới đây để tính lực cản thực tế:

$$(R_r/D)_{\text{thực tế}} = (R_r/D)_{3,0} + ax + bx^2 \quad (1)$$

trong đó:

$$x = 2(B/T - 3,0) \quad (2)$$

$$a = \frac{(R_r/D)_{3,5} - (R_r/D)_{2,5}}{2} \quad (3)$$

$$b = \frac{(R_r/D)_{3,5} + (R_r/D)_{2,5} - 2(R_r/D)_{3,0}}{2} \quad (4)$$

3. Tính vận tốc cụ thể v_w từ $\frac{v_w}{\sqrt{L_w}}$:

$$v_w = \left(\frac{v_w}{\sqrt{L_w}} \right) \sqrt{L_w} \quad (5)$$

4. Đối với vận tốc cụ thể tính lực cản thẳng dư R_r bằng kG theo công thức:

$$R_r = 0,4464 (R_r/D)_{\text{thực tế}} D \quad (6)$$

Trong đó: D – lượng chiếm nước [10^3 kG].

5. Dùng Nomogram 7.77 để tìm lực cản R_r :

Căn cứ vào vận tốc v_w [từ (5)] và $v_w L_w$ (v_w – hải lý/h, L_w – feet) tra R_r/Ω . lực cản ma sát R_r (bằng kG) tính theo:

$$R_r = 4,882 (R_r/\Omega) \Omega \quad (7)$$

Trong đó: Ω – diện tích ướt tính bằng [m^2].

6. Lực cản toàn thể (chưa tính đến lực cản các bộ phận phụ và lực cản không khí) để xét đến hai lực cản đó có thể tăng 6%:

$$R = 1,06 (R_f + R_v) \quad (8)$$

7. Mã lực có hiệu tính theo công thức:

$$N_o = \frac{v_o R}{145,7} \quad (9)$$

Trong đó: v_o – vận tốc [hải lý/h],

R – lực cản toàn phần [kG].

Những đồ thị của xêri 60 đối với các tàu hiện đại cho phép chúng ta tìm được lực cản thẳng dư gần đúng với thực tế hơn.

Thí dụ: Tính lực cản, mã lực có hiệu trong phạm vi vận tốc từ 15 đến 20 hải lý/h đối với tàu có các thông số: $L = 141,6$ m, $L_{\omega L} = 145,76$ m, $B = 19,4$ m, $T = 8,34$ m, $V = 15470$ m³, $D = 15950 \cdot 10^3$ kG, $\Omega = 3840$ m², $\delta = 0,675$, $\beta = 0,97$, $x_c = -0,72$ m.

Giải:

$$\frac{L}{B} = \frac{141,6}{19,4} = 7,3 \quad \frac{B}{T} = \frac{19,4}{8,34} = 2,33$$

$$x = 2 \left(\frac{B}{T} - 3,0 \right) = 2 \cdot (2,33 - 3,0) = -1,34$$

$$x^2 = 1,8$$

Đổi sang hệ đo lường Anh $L_{\omega L} = 477$, $L = 464$, $\sqrt{L_{\omega}} = 21,8$

Tính toán được trình bày trên bảng 7.11.

1. Giả thiết (những số lượng R_f/D mà các đồ thị bao gồm):

2. Từ các đồ thị 7.44 – 7.55 (đối với $B/T = 2,5$) đối với δ và $\frac{L}{B}$

3. Từ các đồ thị 7.56 – 7.65 (đối với $B/T = 3,0$) đối với δ và $\frac{L}{B}$

4. Từ các đồ thị 7.56 – 7.76 (đối với $B/T = 3,5$) đối với δ và $\frac{L}{B}$

$$5. a = \frac{R_f/D_{3,5} - (R_f/D)_{2,5}}{2} = \frac{[4] - [2]}{2}$$

$$6. b = \frac{R_f/D_{3,5} + (R_f/D)_{2,5} - 2(R_f/D)_{3,0}}{2} = \frac{[4] + [2] - 2 \cdot [3]}{2}$$

$$7. (R_f/D) \text{ thực tế} = (R_f/D)_{3,0} + ax + bx^2 = [3] + 5 \cdot (-1,34) + [6] \cdot 1,8$$

$$8. (R_f/D) = 0,4464 (R_f/D)_{\text{thực tế}} D = 0,4464 \cdot [7] \cdot 15950 = 7120 \cdot [7]$$

$$9. v_w = \left[\frac{v_w}{L_w} \right] L_w = [1] \cdot 21,8$$

$$10. v_w L_w = [9] \cdot 477 \text{ (} L_w \text{ tính bằng feet)}$$

$$11. \text{ Lấy từ đường Nomogram 7.77 theo } v_w L_w \text{ và } v_w$$

$$12. R_f = 4,882 (R_f/\Omega) \Omega = 4,882 \cdot [1] \cdot 3840 = 18750 \cdot [11]$$

$$13. R = 1,06 (R_f + R_r) = 1,06 ([8] + [12])$$

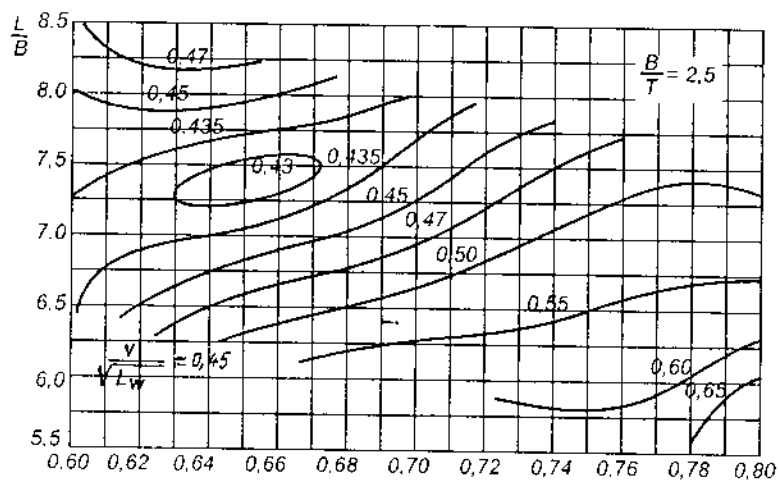
$$14. N_o = \frac{v_w R}{145,7} = \frac{[9] \cdot [13]}{145,7}$$

Kết quả tính toán được tổng hợp trên bảng 7.11.

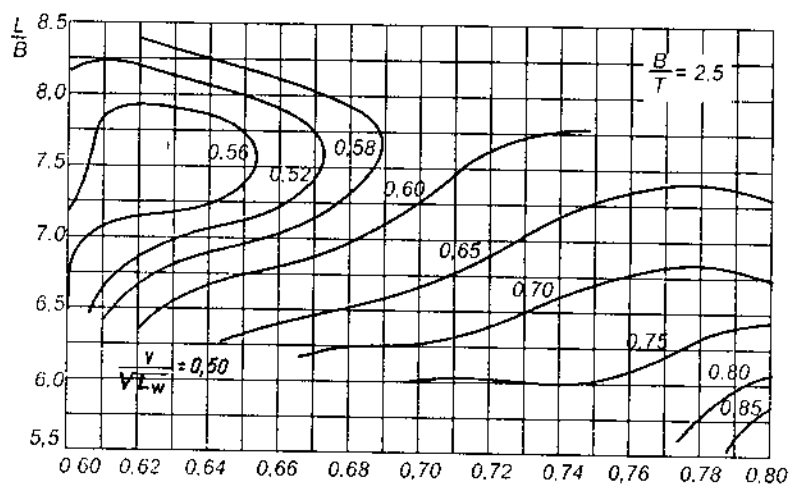
Để so sánh kết quả lực cản được tính theo 3 phương pháp Papmiel, Ayre và Xêri 60 trên hình 7.78 vẽ đồ thị để độc giả phân xét.

Bảng 7.11. Tính toán công suất kéo theo các đồ thị xêri 60

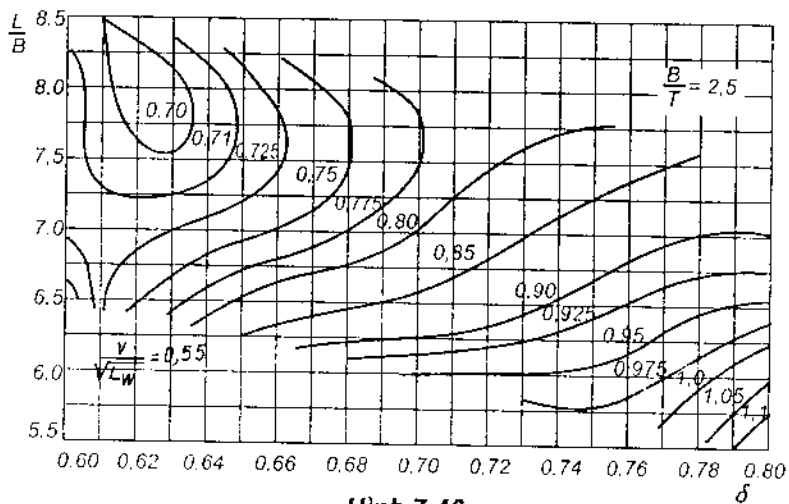
1	$v_w / \sqrt{L_w}$	hải lý/h $\sqrt{\text{feet}}$	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
2	$(R_f/D)_{2,5}$	Pound/tấn	1,51	1,85	2,32	3,11	6,11
3	$(R_f/D)_{3,0}$	Pound/tấn	1,69	2,05	2,50	3,29	5,84
4	$(R_f/D)_{3,5}$	Pound/tấn	1,77	2,14	2,78	3,60	5,95
5	a	–	0,13	0,145	0,23	0,245	–0,08
6	b	–	–0,05	–0,055	+0,05	+0,065	0,19
7	(R_f/D)	Pound/tấn	1,43	1,756	2,28	3,08	6,29
8	R_f	kG	10170	12500	16230	21900	44750
9	v_w	hải lý/h	15,27	16,35	17,45	18,53	19,62
10	$v_w L_w$	hải lý/h feet	7280	7800	8320	8840	9360
11	R_f/Ω	Pound/feet ²	1,27	1,46	1,64	1,85	2,04
12	R_f	kG	23800	27250	30750	34600	38200
13	R	kG	36000	42100	49800	59900	87900
14	N_o	Sức ngựa	3770	4730	5970	7620	11850



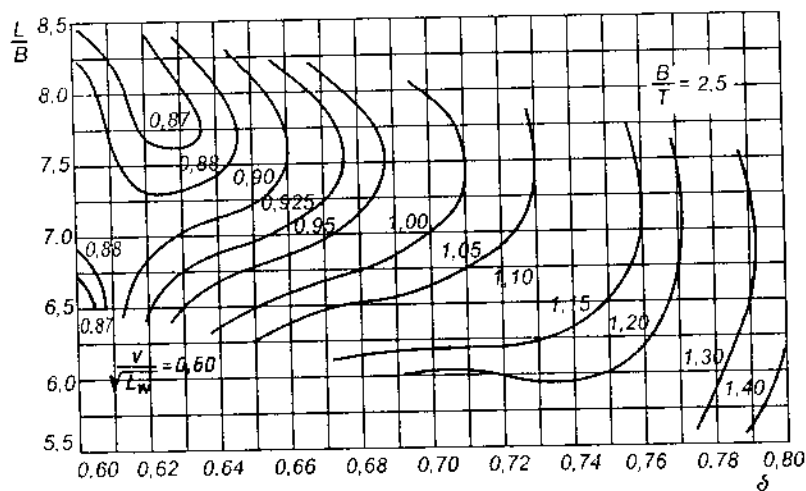
Hình 7.44. Đồ thị biểu thị lực cản thẳng dư của mỗi một tấn trọng tải.



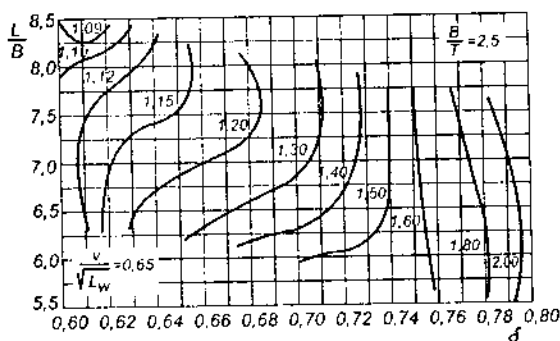
Hình 7.45.



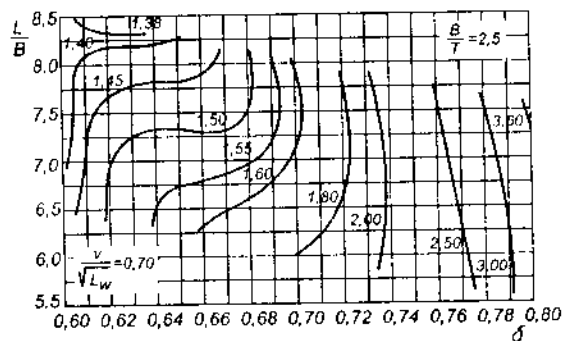
Hình 7.46.



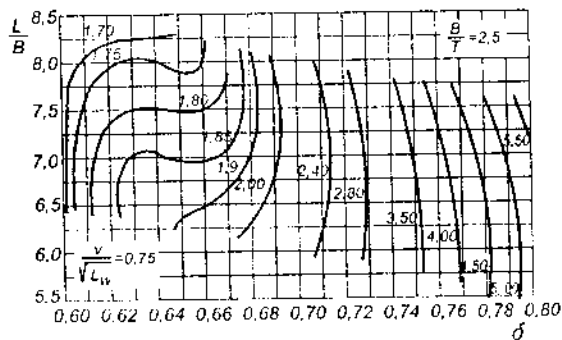
Hình 7.47.



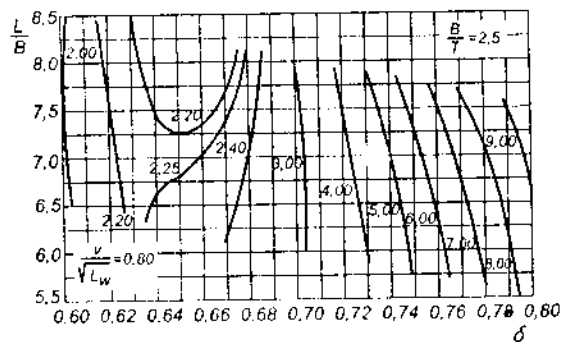
Hình 7.48.



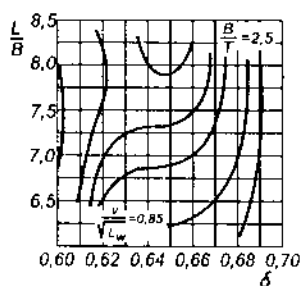
Hình 7.49.



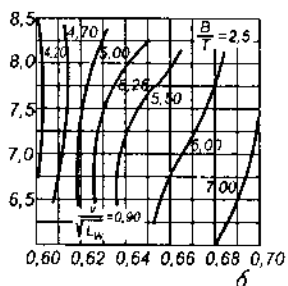
Hình 7.50.



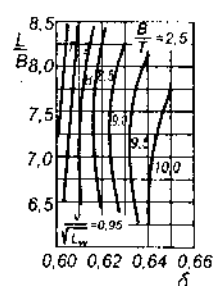
Hình 7.51.



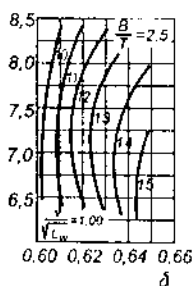
Hinh 7.52.



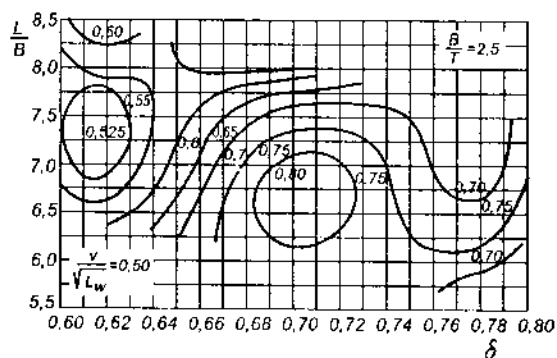
Hinh 7.53.



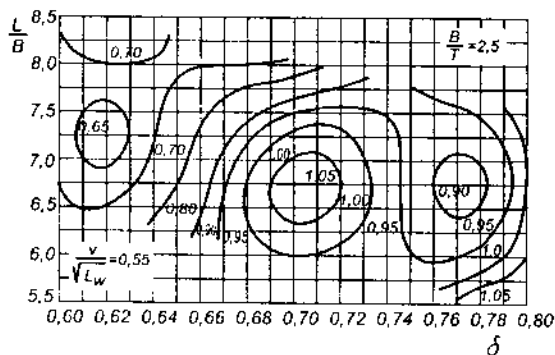
Hinh 7.54.



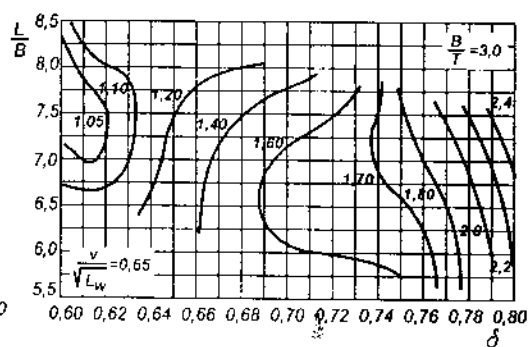
Hinh 7.55.



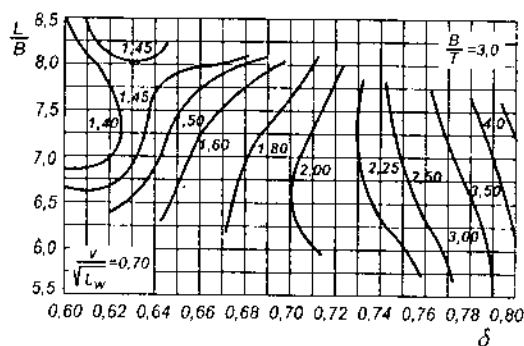
Hinh 7.56.



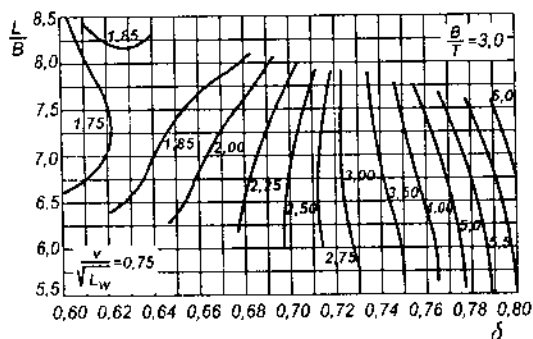
Hinh 7.57.



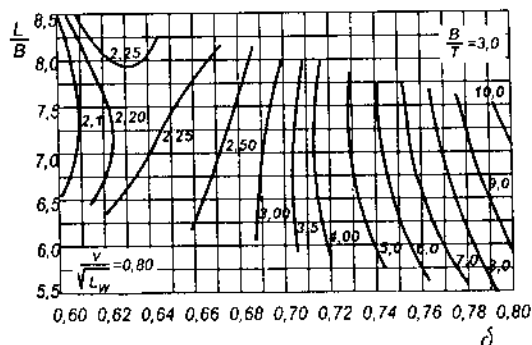
Hinh 7.58.



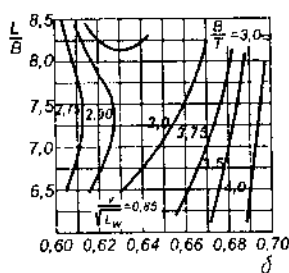
Hinh 7.59.



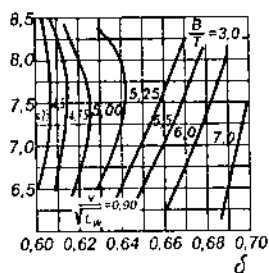
Hình 7.60.



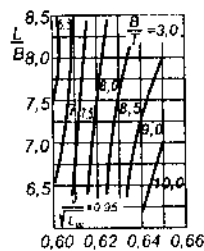
Hình 7.61.



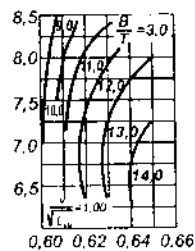
Hình 7.62.



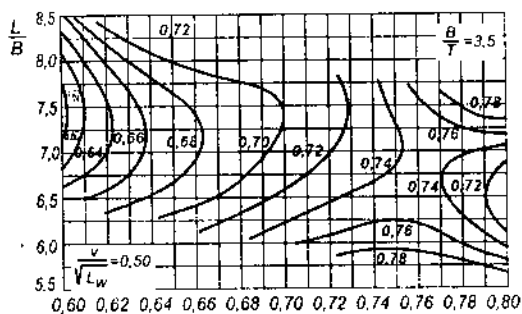
Hình 7.63.



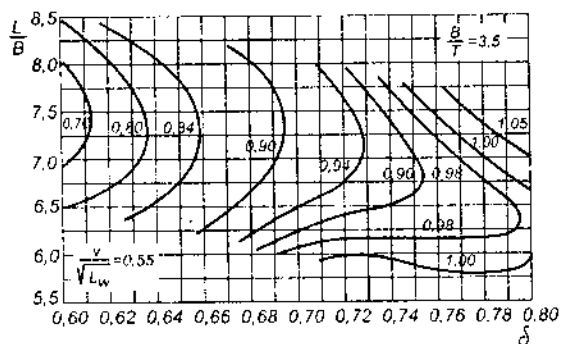
Hình 7.64.



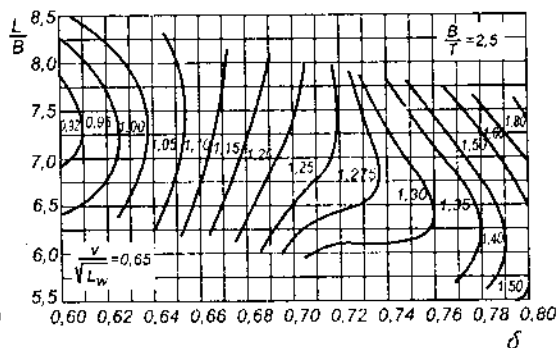
Hình 7.65



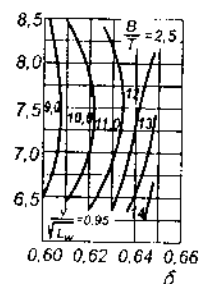
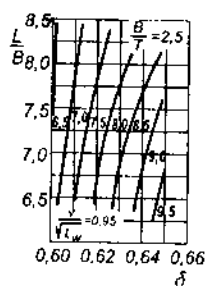
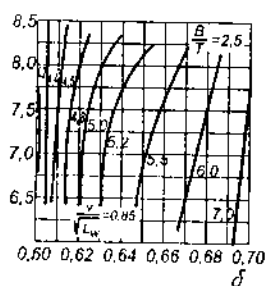
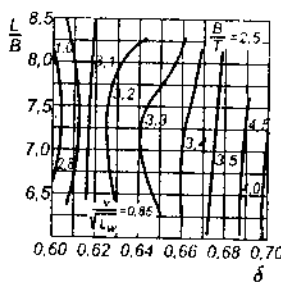
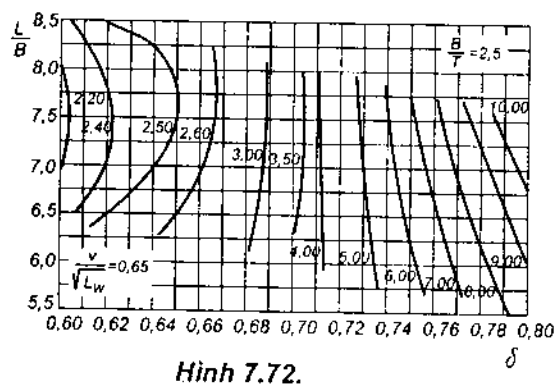
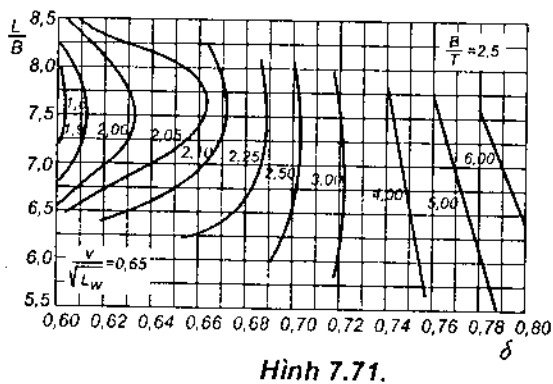
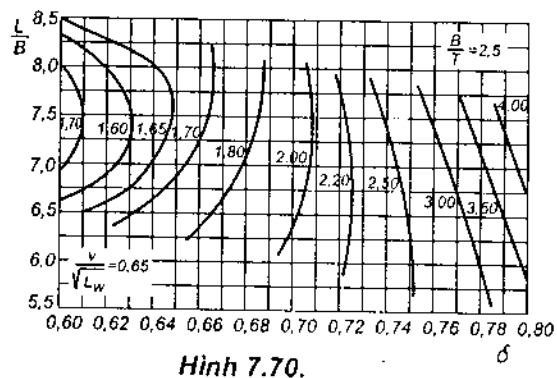
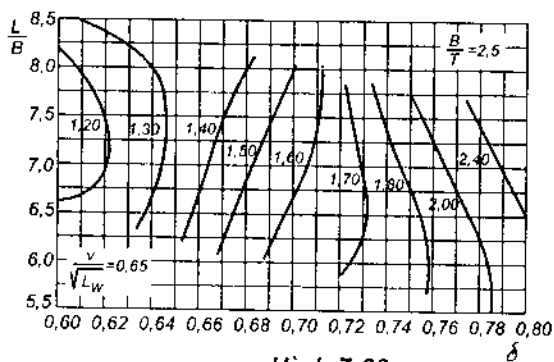
Hình 7.66.

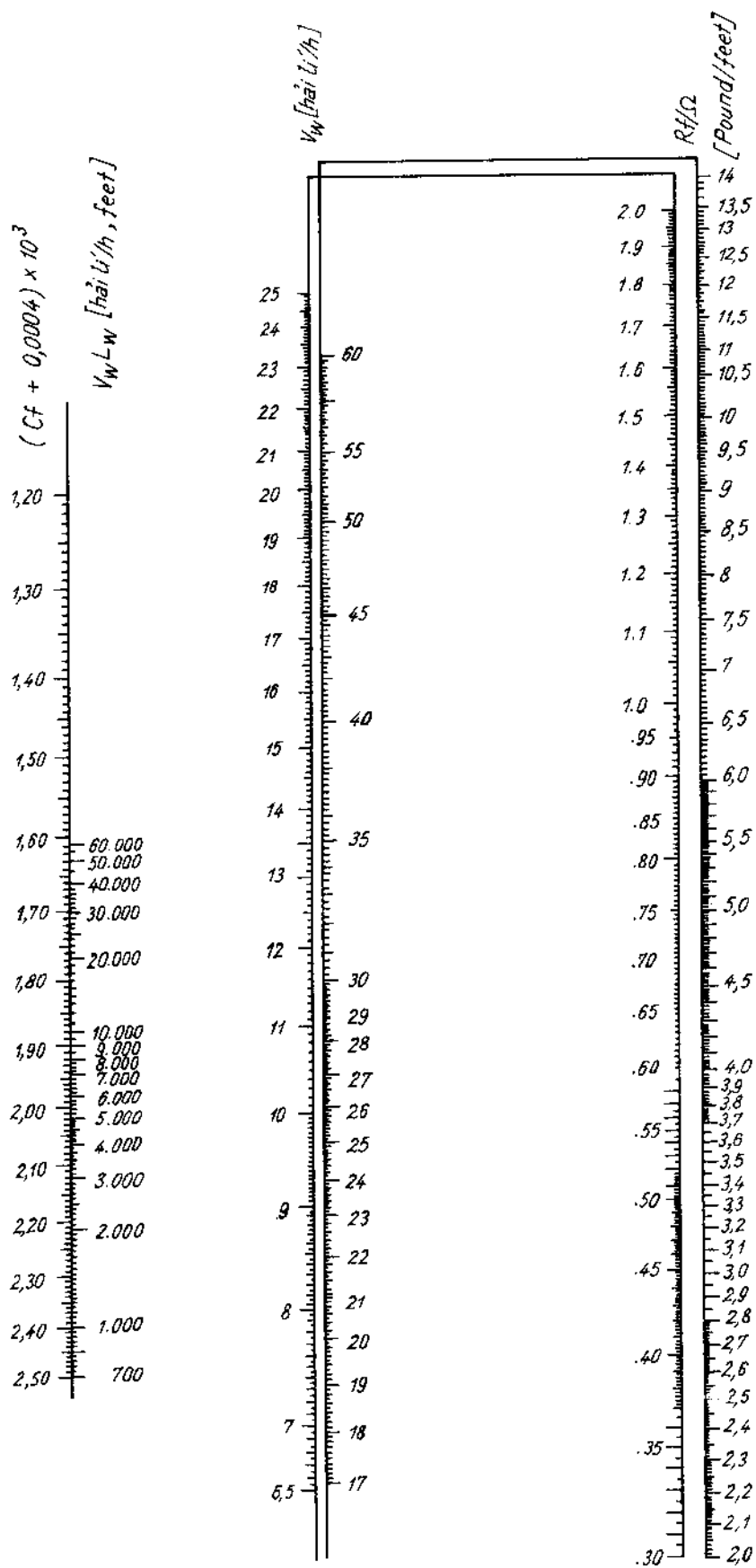


Hình 7.67.

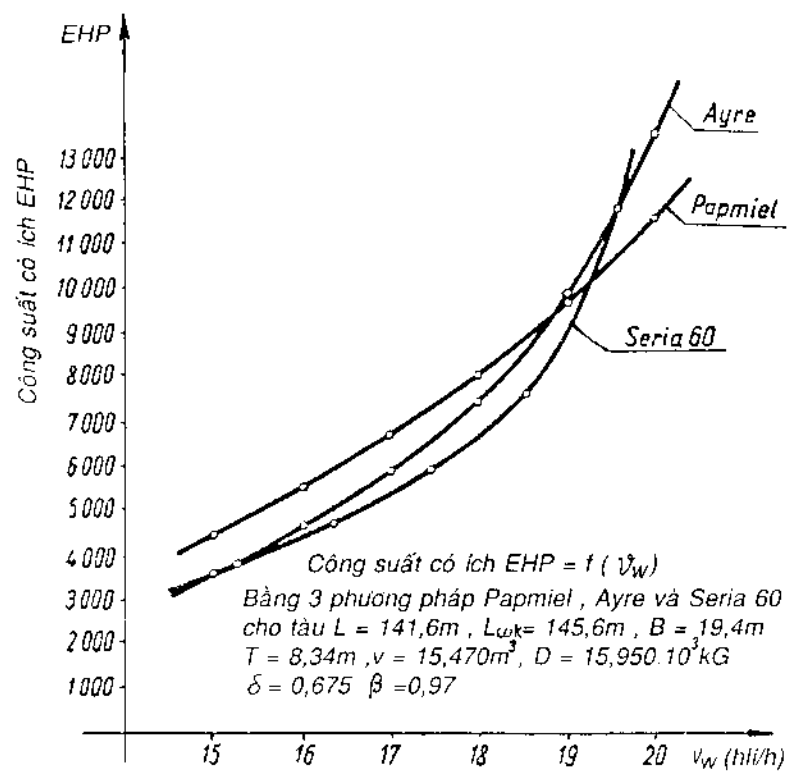


Hình 7.68.



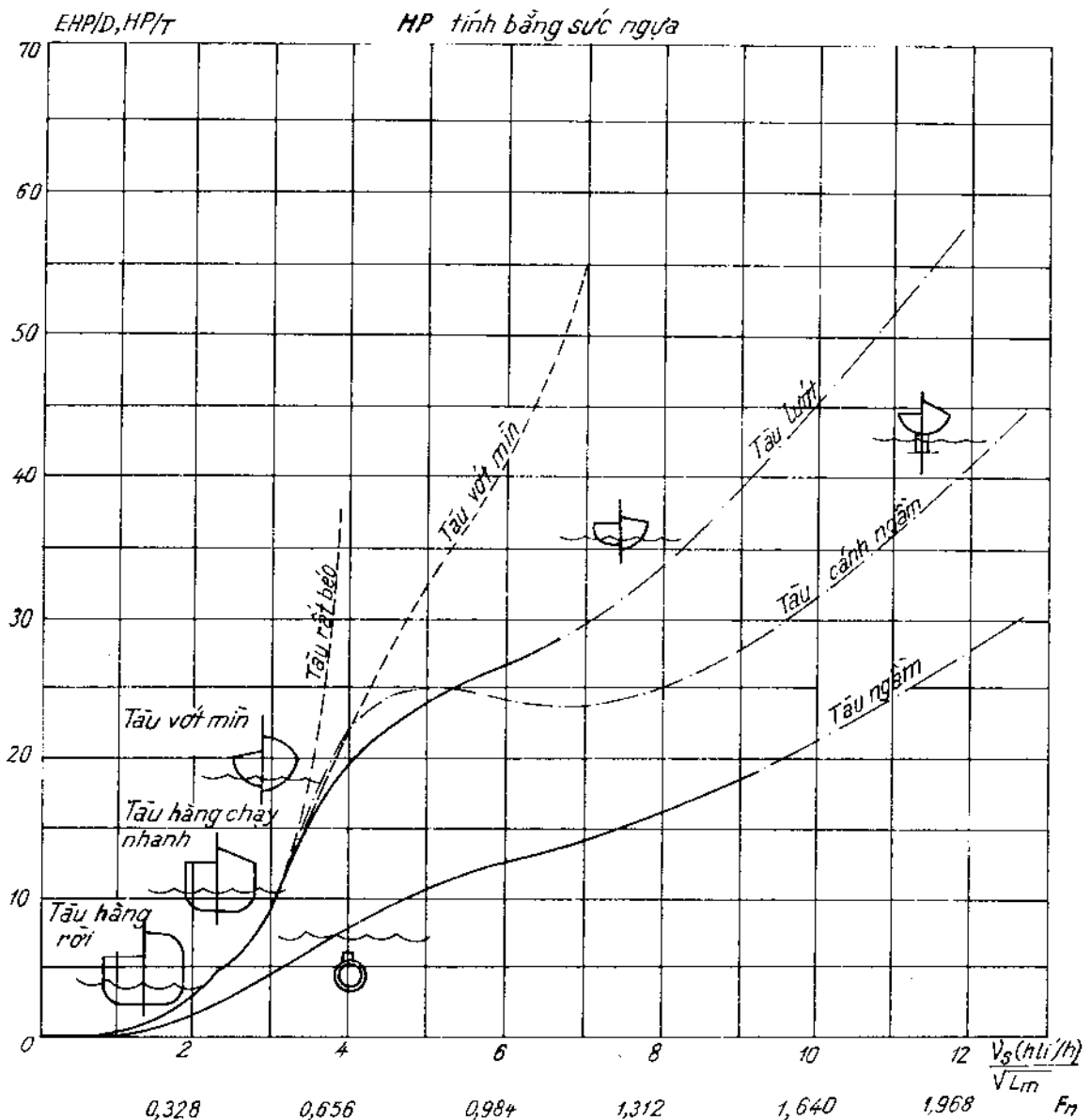


Hình 7.77.



Hình 7.78. Lực cản của một con tàu tính theo 3 phương pháp.

Để kết thúc phần tính lực cản theo phương pháp tính gần đúng xin có mấy lời khuyên các bạn sinh viên: Lĩnh vực khoa học này còn rộng mở, những vấn đề đã được giải cũng không kể hết, ở đây chỉ giới thiệu 3 phương pháp để sinh viên biết cách vận dụng khi bắt tay vào công việc của người kỹ sư đóng tàu, khi làm việc phải căn cứ vào tình hình cụ thể mà tìm phương pháp thích hợp, mà chỉ có thể tham khảo ở các Sổ tay thiết kế, mặt khác những vấn đề khoa học đang chờ ở thế hệ trẻ cũng vô cùng rộng mở. Để có một khái niệm rộng về lực cản của các loại tàu trên hình 7.79 giới thiệu lực cản (tỷ lệ) của các loại tàu.



Hình 7.79. Tỷ lệ lực cản của các loại tàu.

Chương 8

THIẾT BỊ ĐẨY

Ngày nay, do áp dụng tiến bộ kỹ thuật của nhiều ngành, nên Thiết bị đẩy của tàu ngày càng phong phú về chủng loại, chất lượng thiết bị đẩy thể hiện hiệu suất cao (sử dụng năng lượng ít), sử dụng tiện lợi, nhất là được sự hỗ trợ của kỹ thuật tin học hiện đại, việc kết hợp vi xử lý với công nghệ chế tạo máy nên thiết bị đẩy của các loại tàu cao tốc, đặc biệt tàu nhỏ (trong đó nhiều tàu quân sự) ngày càng hoàn thiện.

Trên hình 8.1 giới thiệu một số thiết bị hay sử dụng trong tàu sông, cảng và ven biển, trong đó chân vịt là thiết bị đẩy được sử dụng rộng rãi nhất, thiết bị đẩy cánh đứng dùng cho các tàu công tác trong cảng vì các tàu công tác yêu cầu về tính ma nơ quay trở liên tục, loại phun được dùng rộng rãi trên các tàu đẩy vùng nước cạn, trên các phà qua sông người ta dùng thiết bị đẩy hoạt động theo nguyên tắc động cơ phản lực (loại Sôten) khiến phà có thể quay tại chỗ, ở Việt Nam đã áp dụng trên phà Bến Bính, Sông Gianh v.v...

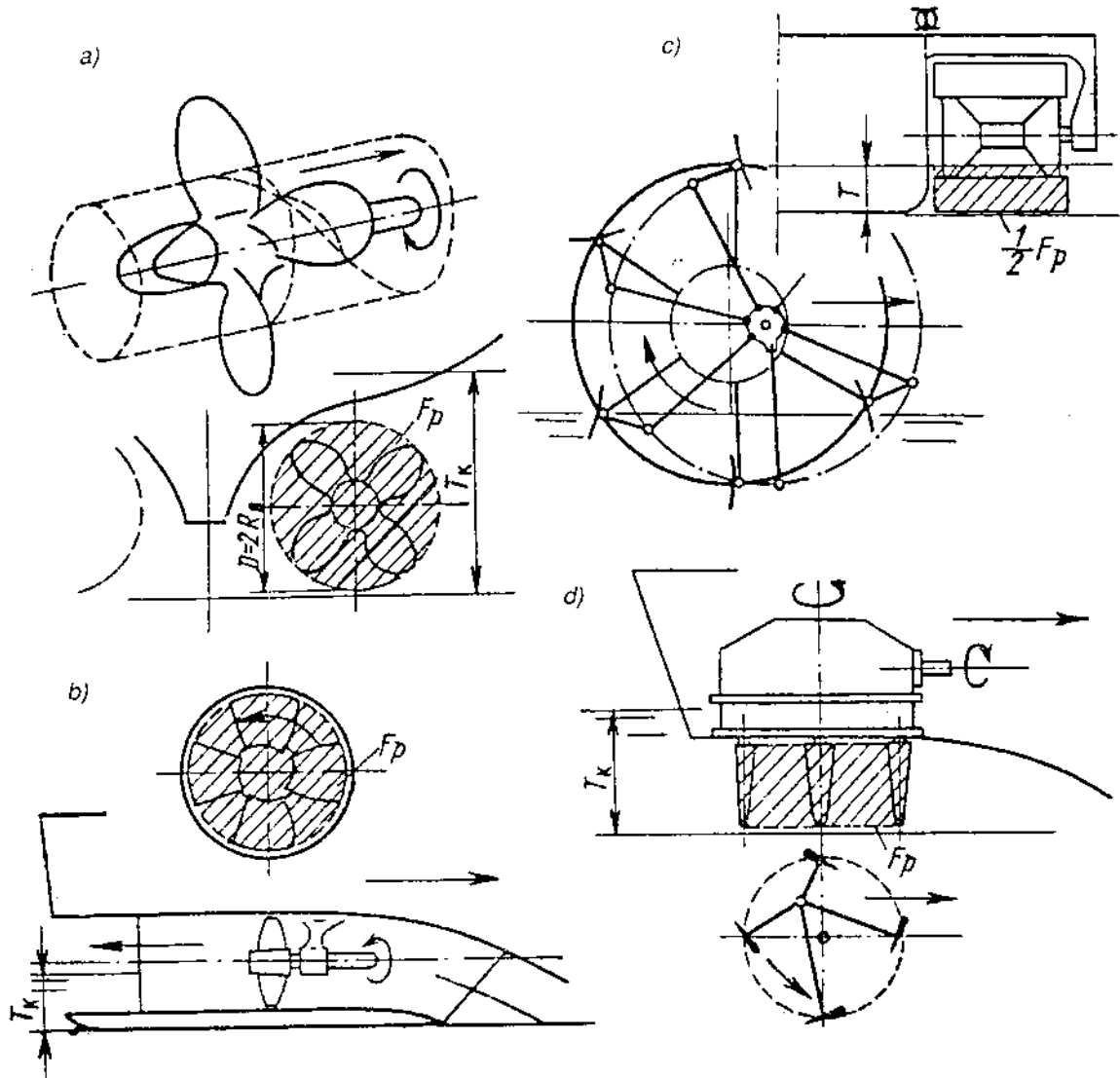
8.1. THIẾT BỊ ĐẨY THỦY LỰC LÝ TƯỞNG

Bài toán thiết bị đẩy thủy lực lý tưởng thiết lập các qui luật tổng quát cho sự làm việc của tất cả thiết bị đẩy theo nguyên tắc phản lực, trong đó sự tổn thất do sự tăng vận tốc dòng theo hướng ngược chiều tác dụng của lực đẩy là tối thiểu.

Để giải bài toán ta giả thiết:

- 1) Chất lỏng là lý tưởng, không nén được và không hạn chế về không gian (chiều rộng và chiều sâu), dòng phun (đẩy) ra phía sau là không bị cản trở.
- 2) Thiết bị đẩy được thay thế bằng một đĩa mỏng, có khả năng thấm nước. Đĩa có khả năng cấp năng lượng cho chất lỏng để tăng liên tục vận tốc của các phân tử nước khi chạy qua đĩa khiến áp suất thay đổi đột ngột và tạo lực đẩy của thiết bị đẩy.
- 3) Dòng nước phun ra phía sau ở xa đĩa có hình trụ.

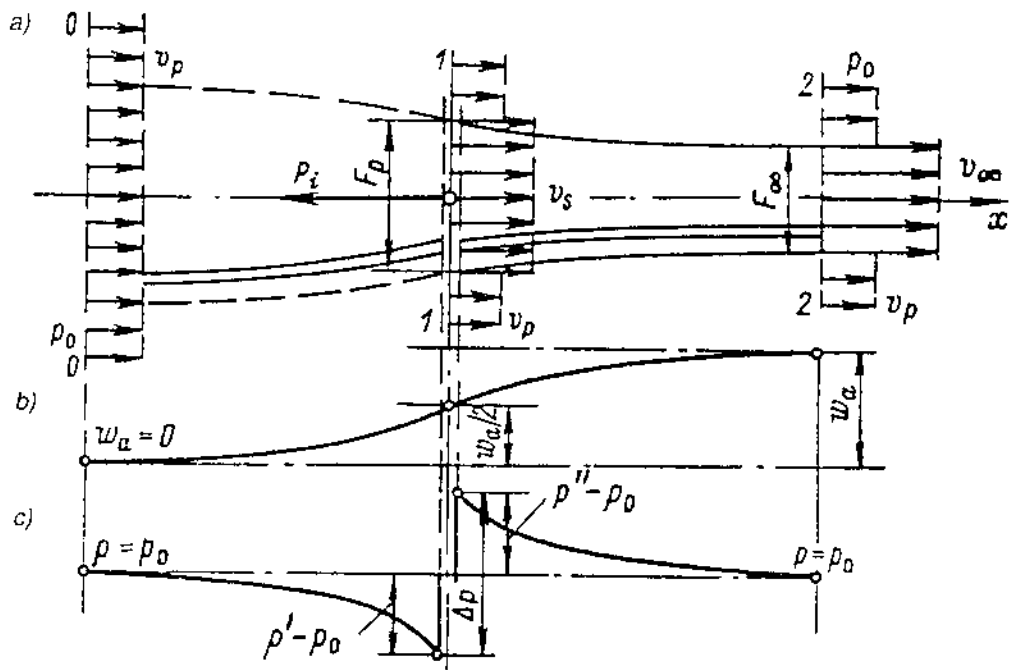
Ta giả thiết: Đĩa nằm tại 1-1, dòng nước có vận tốc tịnh tiến V_p chạy tới đĩa (xem hình 8.2), diện tích công tác của đĩa F_p .



Hình 8.1. Một số thiết bị đẩy:

a- Chân vịt; b- Kiểu bơm phụt nước; c- Kiểu gương; d- Kiểu cánh đứng.

Tại O-O và 2-2 đủ xa trước và sau thiết bị đẩy áp suất ở dòng chưa bị nhiễu là p_0 , dòng nước khi chạy tới mặt đĩa O-O vận tốc đã tới $V_s (> V_p)$. Tiết diện dòng phun sau khi đi qua đĩa bị bóp lại, tới 2-2 có tiết diện F_∞ , vận tốc dòng ở 2-2 đạt tới $V_\infty = (v_p + \omega_a) > v_s$, trong đó ω_a - vận tốc kích thích hướng trục.



Hình 8.2. Sơ đồ thiết bị đẩy thủy lực lý tưởng:

a- Dòng thiết bị đẩy; b- Sự phân bố dòng kích thích; c- Phân bố áp lực.

Lực đẩy của thiết bị đẩy

Lực đẩy của thiết bị đẩy lý tưởng P_i có thể tính theo công thức:

$$P_i = \iint_{F_p} \Delta p dF_p \quad (8.1)$$

Rõ ràng để tính P_i trên ta phải tìm được sự chênh lệch $\Delta p = p'' - p'$ trên đĩa thiết bị đẩy. Vận dụng định luật Bernoulli trên hai đoạn 0-0 đến 1'-1' và sau đó từ 1''-1' đến 2-2 (xem hình 8.2a) vì định luật Bernoulli sẽ không áp dụng được đi thẳng từ 0-0 đến 2-2 khi đi qua 1-1 do tác động của thiết bị đẩy.

Vì chất lỏng coi như không có hạn chế, ta có thể bỏ qua tác dụng của trọng lực. Từ đó (khi $\rho g z = \cos \alpha$ và $v'_s \approx v''_s = v_s$) và phương trình Bernoulli cho dòng phía trước thiết bị đẩy và phía sau thiết bị đẩy có thể viết dưới dạng:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Từ phía trước tới trước thiết bị đẩy} \quad p_0 + \frac{\rho v_p^2}{2} = p' + \frac{\rho v_s^2}{2} \\ \text{Từ phía sau thiết bị tới phía sau xa} \quad p'' + \frac{\rho v_s^2}{2} = p_0 + \frac{\rho v_\infty^2}{2} \end{array} \right\} \quad (8.2)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{Từ đó ta được:} \quad p' - p_0 &= \frac{\rho}{2} (v_p^2 - v_s^2) < 0 \\ p'' - p_0 &= \frac{\rho}{2} (v_\infty^2 - v_s^2) > 0 \end{aligned} \right\} \quad (8.3)$$

Như vậy trước đĩa 1-1, áp suất nước giảm so với p_0 và sau đĩa 1-1 áp suất nước p'' sẽ tăng so với p_0 như trên hình 8.2c. Và cũng từ (8.3) ta có thể tính được sự chênh lệch áp suất Δp , vì $v_\infty = v_p + \omega_a$:

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} (v_\infty^2 - v_p^2) = \rho \omega_a (v_p + \omega_a) \quad (8.4)$$

Nếu ta giả thiết, sự tăng áp (sau khi qua đĩa) Δp là đồng nhất trong mặt đĩa F_p do sự phân bố của dòng kích thích ω_a cũng phân bố đồng đều trong mặt cắt ống ở xa sau đĩa, thì thay vào công thức (8.1) ta sẽ có:

$$P_i = \Delta p F_p = \rho \omega_a \left(v_p + \frac{\omega_a}{2} \right) F_p \quad (8.5)$$

Vận tốc dòng khi chảy qua đĩa của thiết bị đẩy, sự bó dòng

Đặc trưng quan trọng nhất của bất kỳ một thiết bị đẩy thủy lực nào là vận tốc dòng chảy qua đĩa V_s , vì nó quyết định khối lượng nước chảy qua đĩa trong một giây:

$$m = \rho v_m = \rho F_p v_s \quad (8.6)$$

trong đó $V_m = F_p v_s$ – lượng nước thông qua mặt đĩa trong 1 giây.

Để tìm được trị số v_s , ta phải vận dụng định luật động lượng, ta coi lực đẩy P_i là phản lực của dòng nước được đẩy ra phía sau đĩa, lực đẩy P_i đó bằng tăng động lượng giữa mặt cắt 0-0 và 2-2:

$$P_i = mv_\infty - mv_p = m\omega_a = \rho F_p v_s \omega_a \quad (8.7)$$

Ta so sánh (8.7) và (8.5) ta sẽ có:

$$v_s = v_p + \frac{\omega_a}{2} \quad (8.8)$$

Biểu thức (8.8) thể hiện nội dung định luật Froude: vận tốc kích thích hướng dọc được chia đều cho phía trước (ở đĩa) và sau đĩa:

Từ 0-0 đến 1-1 từ 1-1 đến 2-2

Từ vận tốc kích thích 0 đến $\frac{1}{2} \omega_a$ và từ $\frac{1}{2} \omega_a$ đến ω_a .

Việc tăng lên vận tốc liên tục trong ống dòng dẫn đến diện tích mặt cắt ống sẽ giảm dần cho đến mặt cắt 2-2 sẽ biến thành hình trụ tiết diện cắt không đổi. Việc co lại theo tỷ lệ $\frac{F_\infty}{F_p}$ có thể tính được theo định luật liên tục của chất lỏng:

$$\rho F_p v_a = \rho F_\infty v_\infty$$

$$Vi \quad v_a = v_p + \frac{1}{2} \omega_a ; \quad v_\infty = v_p + \omega_a,$$

$$Ta \text{ sẽ có: } \frac{F_\infty}{F_p} = \frac{v_s}{v_\infty} = \frac{v_p + \frac{1}{2} \omega_a}{v_p + \omega_a} = \frac{1 + \frac{1}{2} \frac{\omega_a}{v_p}}{1 + \frac{\omega_a}{v_p}} \quad (8.9)$$

Trong đó: $\frac{\omega_a}{v_p}$ hệ số vận tốc kích thích.

Hiệu suất của thiết bị đẩy lý tưởng η_{pi}

Công suất có ích do thiết bị đẩy tạo nên:

$$N_{vi} = P_i \cdot v_p = m \omega_a \cdot v_p \quad (8.10)$$

Công suất tiêu hao của thiết bị đẩy có thể tìm thấy từ phương trình cân bằng năng lượng của toàn bộ thiết bị đẩy:

$$N_{pi} = m \omega_a v_p + \frac{1}{2} m \omega_a^2 = m \left(v_p + \frac{\omega_a}{2} \right) \omega_a = m \omega_a v_s \quad (8.11)$$

Do đó năng lượng cần thiết cho thiết bị đẩy N_{pi} gồm năng lượng có ích $N_{vi} = m \omega_a v_p$ và động năng $E_K = \frac{1}{2} m \omega_a^2$, động năng này dùng để tạo dòng kích thích hướng trục ω_a .

Như vậy, hiệu suất của thiết bị đẩy sẽ bằng:

$$\eta_{pi} = \frac{N_{vi}}{N_{pi}} = \frac{v_p}{v_s} = \frac{v_p}{v_p + \frac{1}{2} \omega_a} = \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \frac{\omega_a}{v_p}} \quad (8.12)$$

Từ 8.12 ta thấy, hiệu suất của thiết bị đẩy η_{pi} hoặc một máy thủy lực nào được xác định bởi vận tốc dòng v_p và sự tăng trưởng của dòng kích thích $\frac{\omega_a}{v_p}$.

8.2. MỘT SỐ ỨNG DỤNG CỦA LÝ THUYẾT THIẾT BỊ ĐẨY LÝ TƯỞNG

Ảnh hưởng của tải thiết bị đẩy đối với hiệu suất

Trước hết ta hãy làm quen với thuật ngữ hệ số lực tải của thiết bị đẩy $\sigma_p = \frac{2P}{\rho v_p^2 F_p}$, P , v_p , F_p là các thông số quan trọng hay áp dụng trong tính toán thiết bị đẩy.

Nếu ta lấy lực đẩy của thiết bị đẩy $P = P_i$ lực đẩy thiết bị lý tưởng, từ $P = \frac{1}{2} \rho v_p^2 F_p$ và từ

$$(8.7), (8.8), P_i = \rho v_p v_s \omega_a = \rho v_a \left(v_p + \frac{\omega_a}{2} \right) F_p$$

thì:
$$\sigma_p \rho v_p^2 F_p = \rho \omega_a \left(v_p + \frac{\omega_a}{2} \right) F_p$$

Sau khi một số biến đổi không phức tạp ta sẽ có:

$$\bar{\omega}_a^2 + 2\bar{\omega}_a - \sigma_p = 0$$

Giải phương trình này ta sẽ được:

$$\bar{\omega}_a = \frac{\omega_a}{v_p} = -1 + \sqrt{1 + \sigma_p} \quad (8.13)$$

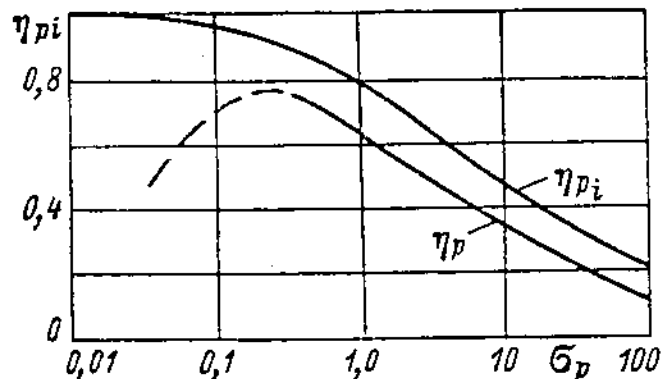
Sở dĩ ta lấy dấu (+) vì $\bar{\omega}_a$ và v_p luôn luôn mang dấu (+).

Nếu thay (8.13) vào (8.12) ta được:

$$\eta_{pi} = \frac{1}{1 + \frac{1}{2}\bar{\omega}_a} = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + \sigma_p}} \quad (8.14)$$

Trong đó: $\sigma_p = \frac{2p}{\rho v_p^2 F_p}$.

Trên hình 8.3 giới thiệu mối quan hệ $\eta_{pi} = f(\sigma_p)$. Nếu thiết bị đẩy hoạt động trong điều kiện hệ số tải σ_p lớn thì hiệu suất sẽ giảm xuống rất thấp so với các thiết bị có hệ số tải nhẹ. Trên đây là thiết bị đẩy lý tưởng mà thực tế người ta mong ước đạt được. Nhưng trong thực tế sự phân bố ω_a không đồng đều trong toàn đĩa, ngoài



Hình 8.3. Hiệu suất thiết bị đẩy lý tưởng $\eta_{pi} = f(\sigma_p)$.

ra còn có sự kích thích dòng hướng tiếp tuyến, hơn nữa còn độ nhớt của nước, những điều đã nói sẽ đưa hiệu suất thực tế η_p sẽ nhỏ hơn η_{pi} ; thực tế $\eta_p = \eta_{pi} - (0,20 \sim 0,30)$. Để giảm bớt sự chênh lệch giữa η_p và η_{pi} người ta sử dụng các biện pháp:

- 1) Dùng các mặt cắt có tính năng ưu việt,
- 2) Làm trơn bóng các mặt cắt cánh,
- 3) Dùng các biện pháp chỉnh dòng, tận dụng năng lượng của dòng nước do thiết bị đẩy gây nên,
- 4) Dùng các thiết bị như ống đạo lưu để giảm tiêu hao đầu cánh,

5) Sử dụng tăng diện tích làm việc của thiết bị đẩy như lắp thiết bị đẩy trong tuynen.

8.3. CÁC ĐẶC TRƯNG HÌNH HỌC VÀ THỦY ĐỘNG HỌC CỦA CHÂN VỊT

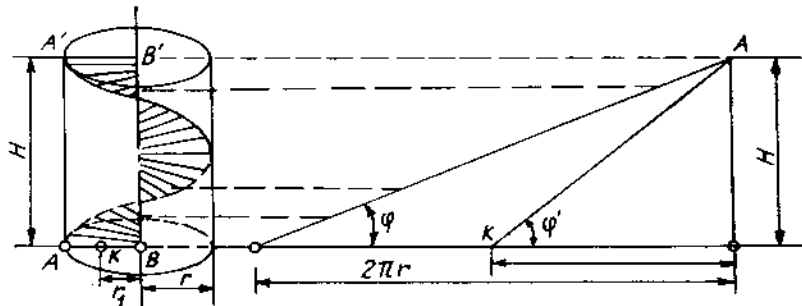
8.3.1. MỘT SỐ ĐẶC TRƯNG HÌNH HỌC CỦA CHÂN VỊT

8.3.1.1. Cơ sở để tạo ra mặt cánh chân vịt

a. Đường đỉnh vít hay đường xoắn ốc

Trong không gian nếu cho một điểm vừa chuyển động **quanh một trục** và **tịnh tiến** thì sau một vòng quay, điều đó sẽ vạch lên trong không gian 1 **đường cong** ta gọi đường cong đó là **đường xoắn ốc**. Nếu một đoạn thẳng vừa **quay** vừa **tịnh tiến** thì sau một vòng quay đoạn thẳng đó sẽ vẽ thành một **mặt vít (hoặc xoắn ốc)**. Trên hình 8.4, điểm A và đoạn thẳng AB.

Quãng đường dịch chuyển của điểm (bất kỳ điểm nào trên **đoạn thẳng đó**) sau khi quay đúng 1 vòng gọi là **bước của đường vít (hoặc xoắn ốc)** H. Nếu AB vuông góc với trục quay thì sau khi quay một vòng sẽ tạo ra mặt vít tiêu chuẩn.



Hình 8.4.

b. Khai triển đường vít

Nếu ta khai triển đường vít $\tilde{AA'}$ và vẽ trên mặt phẳng thì ta sẽ được một tam giác vuông, cạnh huyền của tam giác vuông ấy là quỹ đạo của điểm A trong quá trình chuyển động. Tam giác đó gọi là tam giác bước. Góc đối với bước H gọi là góc nâng của đường đỉnh vít.

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{H}{2\pi r}$$

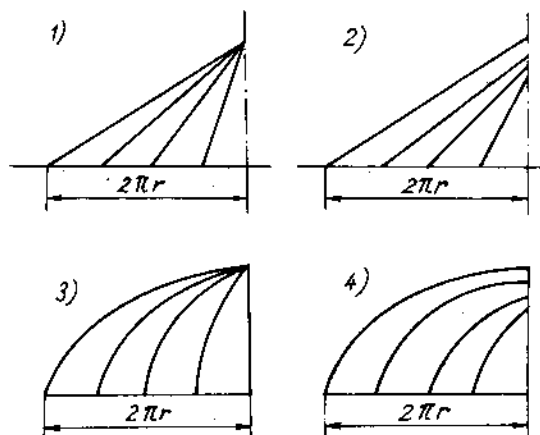
Nếu tất cả các điểm trên đoạn AB đều tịnh tiến với vận tốc đều thì sau khi quay được một vòng bất kỳ một điểm nào (ví dụ điểm K trên hình 8.4) cũng đều tiến được quãng cách bằng bước H. Cũng có thể các điểm trên đường bán kính AB có vận

tốc tịnh tiến khác nhau, thì bước sẽ khác nhau, như trình bày trên hình 8.5: 1) bước cố định; 2) bước thay đổi theo hướng đường kính; 3) hướng thay đổi theo hướng trục, 4) hướng thay đổi cả hướng đường kính và hướng trục.

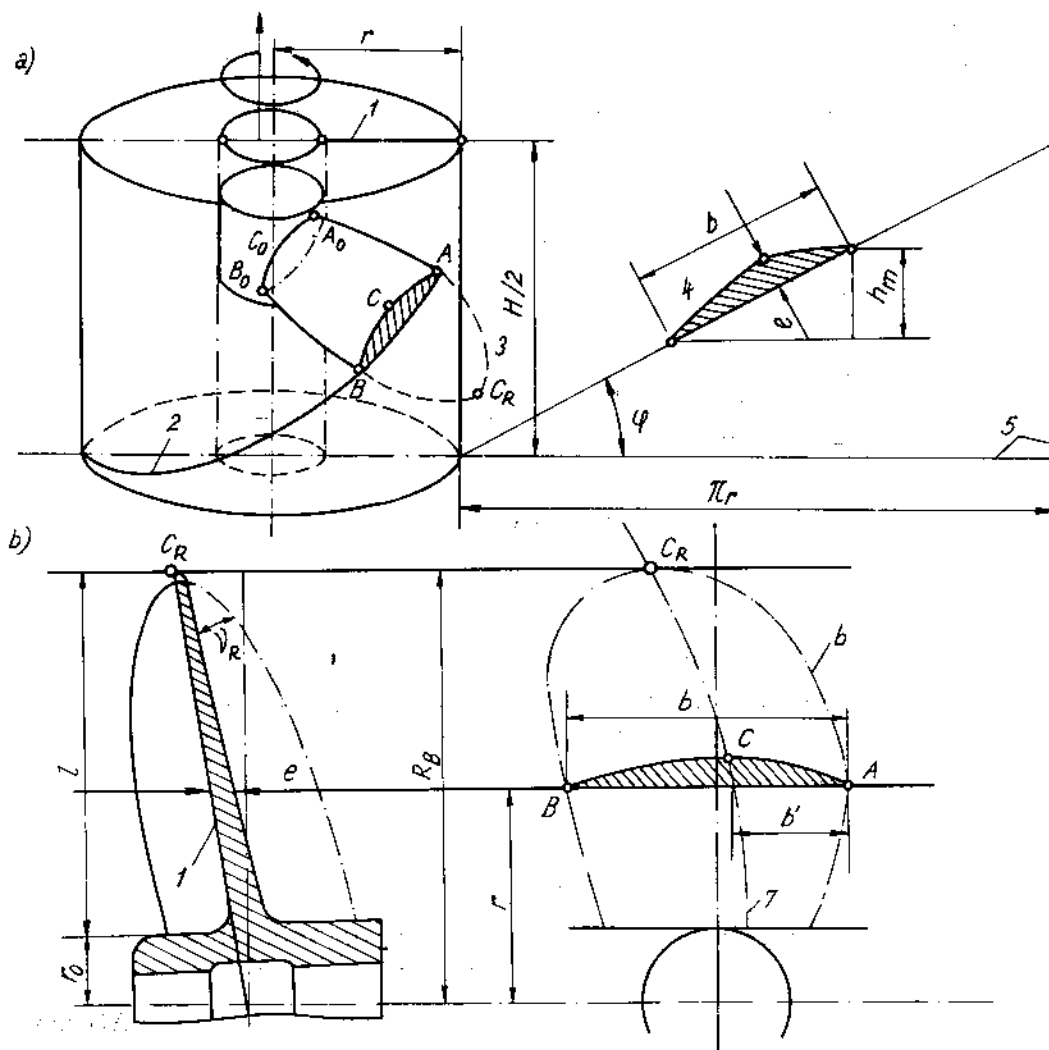
Trong đó 1) và 2) hiện đang sử dụng rộng rãi trong các xêri chân vịt của nhiều nước.

c. Cơ sở tạo ra cánh chân vịt

Cánh chân vịt được tạo thành bởi hình bao giao nhau của hai mặt vít (xem hình 8.6).



Hình 8.5. Các loại bước của chân vịt.

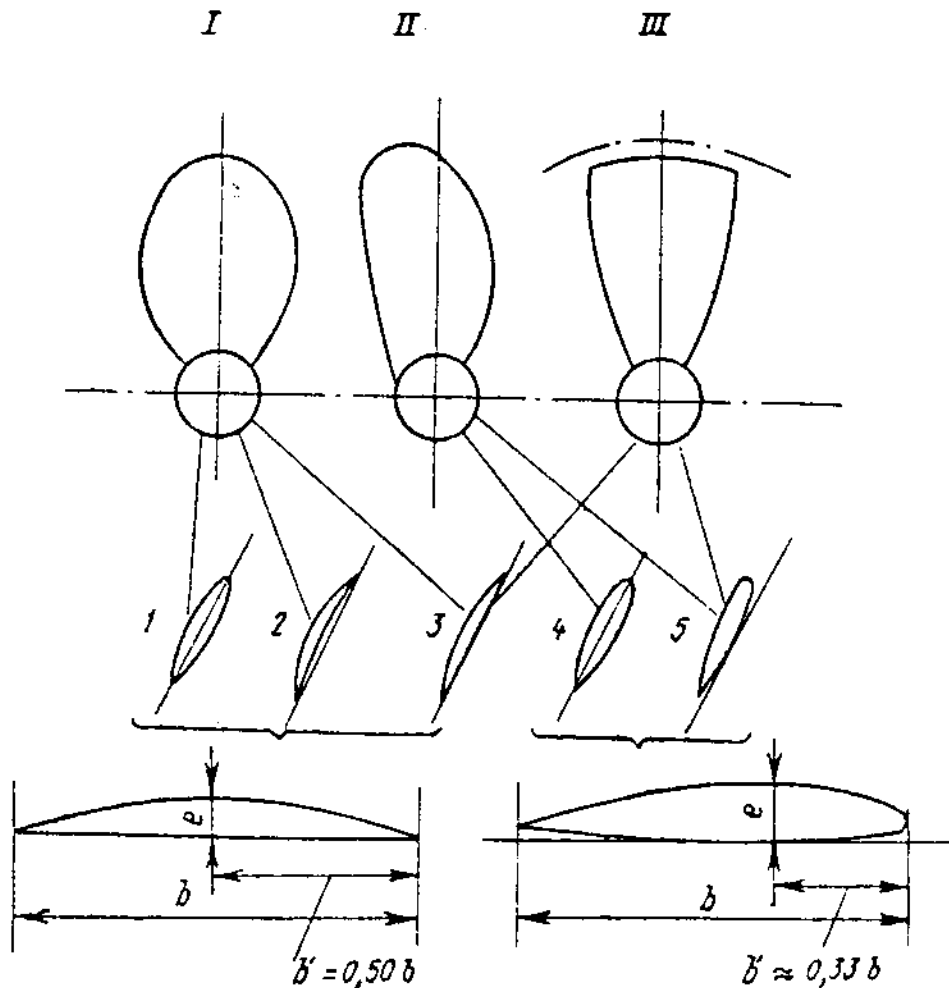


Hình 8.6. Sự hình thành mặt cánh chân vịt.

8.3.1.2. Các đặc trưng hình học của cánh chân vịt

Các đặc trưng hình học của chân vịt số cánh Z , từ 2 đến 5 cánh, đường kính chân vịt D bước chân vịt H , tỷ số bước H/D , diện tích làm việc thủy lực $F_p = \frac{\pi D^2}{4}$, hình dáng cánh và mặt cắt cánh rất đa dạng, thay đổi tùy theo công dụng của tàu (nói hẹp hơn là của chân vịt) như trên hình 8.7.

Mặt cắt loại 1 – 3 hình cung đơn và kép, loại 4 – 5 mặt cắt khí động học ở mặt cắt hình cung đơn (hình 8.7), vị trí dây nhát thường nằm giữa chiều dài cánh ($b' = 0,5b$ tính từ nút (hình 8.7)).



Hình 8.7. Hình dạng cánh chân vịt và các loại mặt cắt cánh chân vịt:

- I. Chân vịt cánh bầu dục;
- II. Chân vịt cánh thanh kiếm;
- III. Chân vịt loại cánh đối xứng rộng đầu cánh.

Diện tích mặt cánh nằm giữa củ (đường giao tiếp giữa cánh và củ chân vịt) và mút cánh rất khó mà xác định, vì mặt vít và mặt phẳng khó trùng khớp với nhau, nên phải sử dụng trị số gần đúng F_d bằng diện tích *hình bao* nối các mép cánh (nguyên nằm trên mặt viên trụ có bán kính r) do ta kéo thẳng mặt cánh (hai điểm A, B trên hình 8.6). *Hình bao* đó là hình b) trên hình 8.6, hình 8.8, hình 8.8a.

Giả thiết mỗi cánh chân vịt có diện tích kéo thẳng F_d , thì diện tích kéo thẳng chân vịt sẽ bằng ZF_d . Tỷ số $\frac{ZF_d}{F_p} = \frac{4}{\pi} \frac{ZF_d}{D^2}$ gọi là tỷ số mặt đĩa của chân vịt. Tỷ số mặt đĩa thông thường dùng ký hiệu θ (Liên Xô cũ). Các nước phương Tây dùng ký hiệu A_E / A_o .

Khi chân vịt làm việc, phía mép của cánh nhúng vào nước trước gọi là mép dẫn (Trường Đại học Hàng hải Việt Nam gọi là mép đập) phía mép sau là mép theo. Nếu người quan sát đứng phía sau chân vịt nhìn về mũi thì mặt xa của cánh là phía áp lực xuống, mặt gần cánh là phía áp lực nước lên cao, được gọi là mặt hút và mặt đẩy.

8.3.1.3. Bản vẽ chân vịt và việc kiểm tra bước của cánh

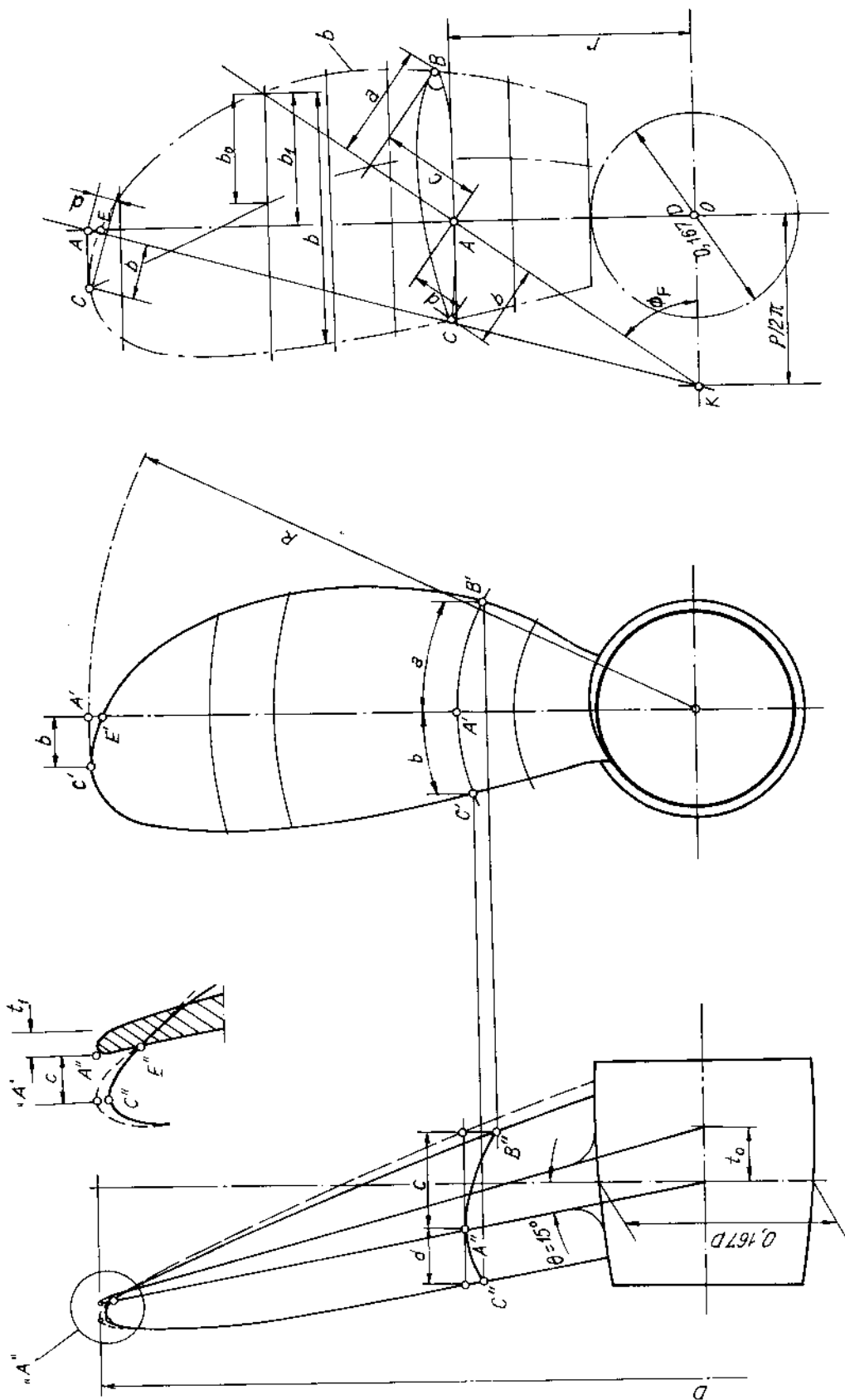
Bản vẽ chân vịt gồm: Bản vẽ mặt khai triển, bản vẽ chiếu bằng và bản vẽ chiếu cạnh (xem hình 8.8 và hình 8.8a), đặc biệt lưu ý do có chiều dày ở mút cánh (điểm C, A, trên hình 8.8) nên khi vẽ hình chiếu cạnh phải lưu ý vẽ thật chính xác.

Thông thường cánh chân vịt đều nghiêng về phía sau, xêri B của bể thử Wageningen (Hà Lan) góc nghiêng đó là 15° , việc nghiêng đó làm tăng khe hở giữa mút cánh chân vịt và vỏ tàu, (tránh chấn động ở đuôi tàu). Đường giao tiếp giữa cánh và củ cũng phải thật chi tiết như trình bày trên hình 8.9.

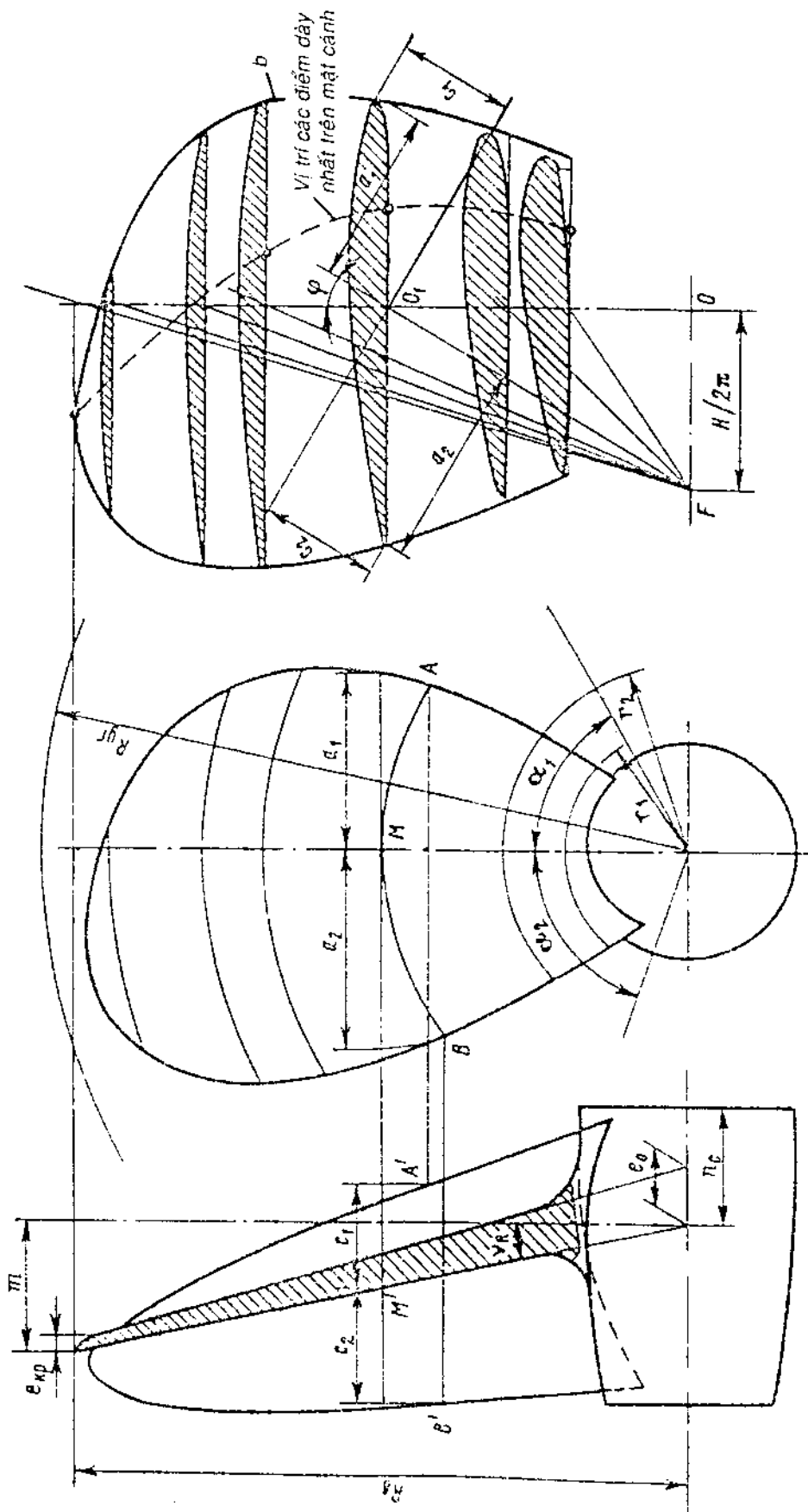
Kiểm tra chân vịt sau khi gia công phải được tiến hành theo tiêu chuẩn Nhà nước: Như cân bằng tĩnh và động, trọng tâm của chân vịt phải rơi vào tâm trục quay. Đo bước chân vịt bắt buộc phải tiến hành trên máy chuyên dụng như trên hình 8.10. Ở Liên Xô (cũ) buộc phải đo tại các mặt cắt 0,3 (0,4) – 0,9 (0,95), quãng cách 0,1 (ở đây tính bán kính tương đương $\frac{r}{R} = 0,3, 0,4 \dots 0,9$). Bước tại một mặt cắt được tính theo công thức:

$$H_M = \frac{360^\circ}{\alpha_M^\circ} h_M \quad (8.15)$$

trong đó α_M° và h_M là góc kẹp và quãng cách tịnh tiến giữa hai điểm trên mặt cắt cánh dọc trên thước đo 4 tại hình 8.10.

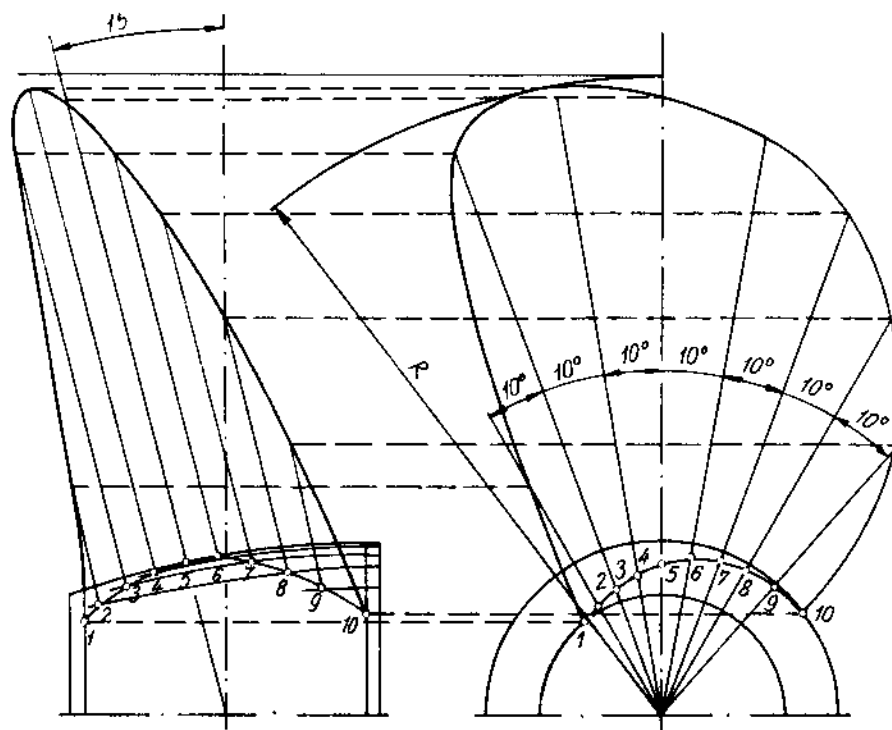


Hình 8.8. Vẽ mặt kéo thẳng (mặt khai triển) của cánh chân vịt và các mặt chiếu (chiếu bằng, chiếu cạnh) của chân vịt B Troost Wageningen.

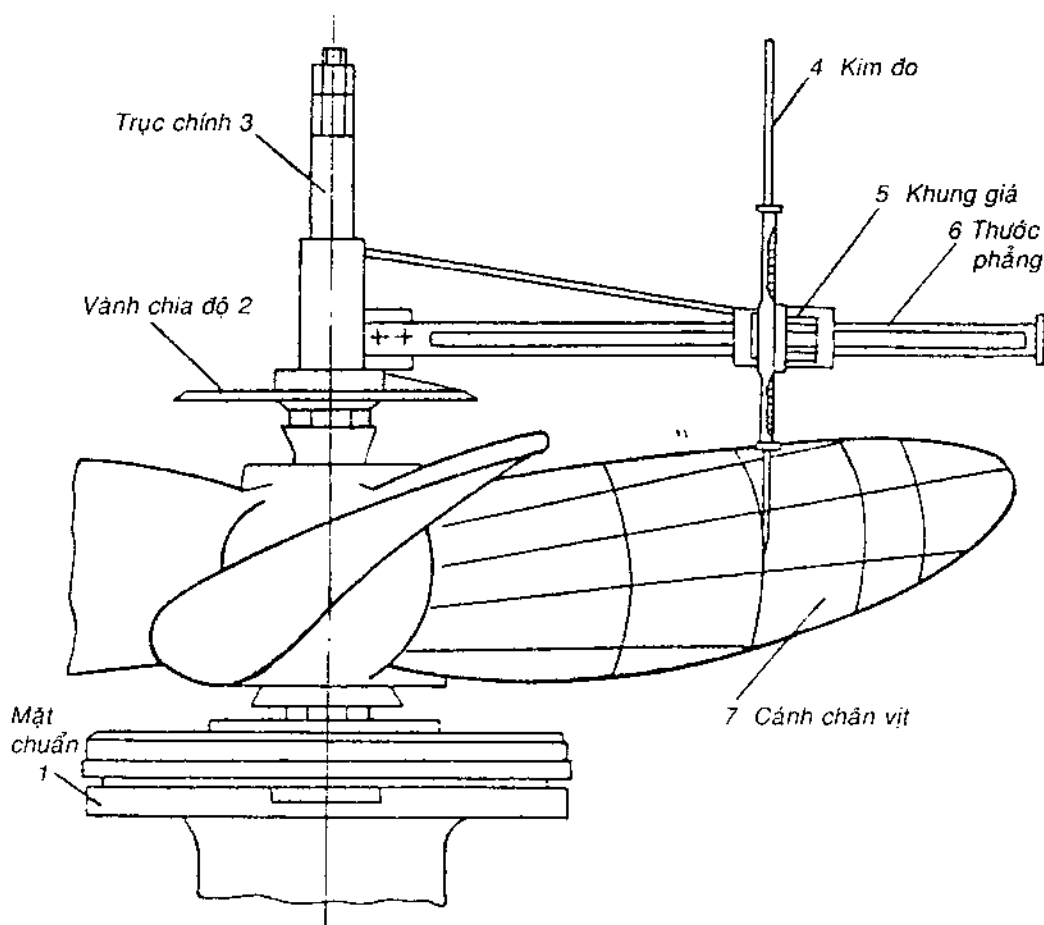


Hình 8.8a. Vẽ chân vịt:

Ghi chú: m - tùy theo độ nghiêng về sau của chân vịt; $e_{kp} = aD(50 - D)_{\text{mm}}$,
 trong đó $a = 0,08$ đối với chân vịt bằng thép và $a = 0,06$ đối với chân vịt bằng đồng;
 D - đường kính chân vịt, m.



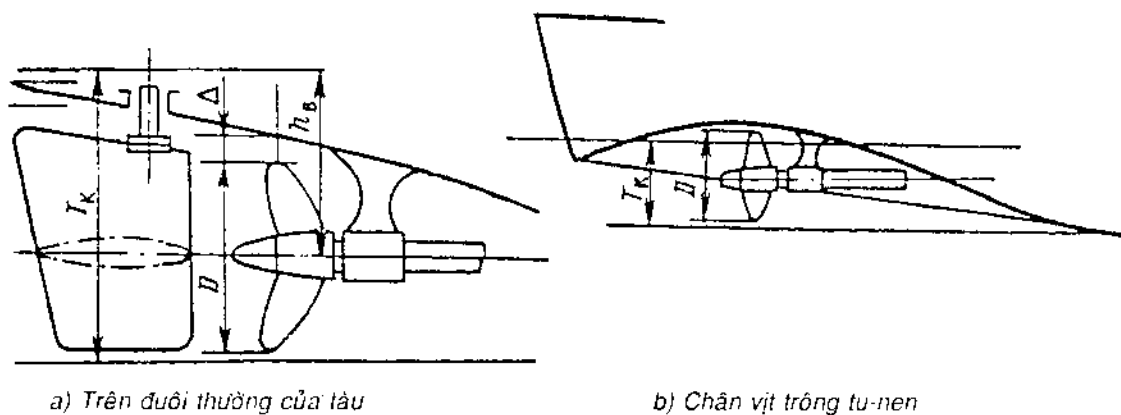
Hình 8.9.



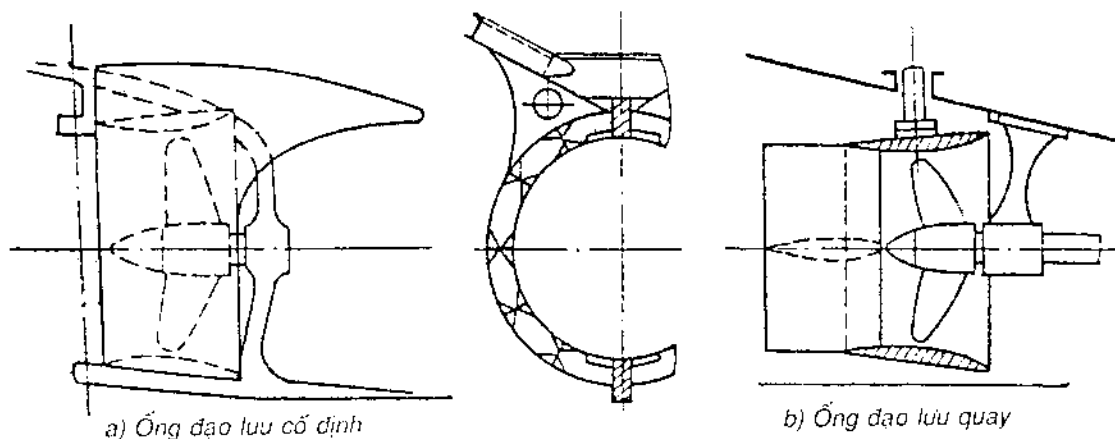
Hình 8.10. Đo bước chân vịt.

8.3.1.4. Tổ hợp thiết bị đẩy và bánh lái

Chân vịt và bánh lái là một tổ hợp gắn chặt với nhau, việc bố trí hợp lý giữa hai thành phần trên sẽ ảnh hưởng đến tính năng (tính ma nơ) của tàu mà còn ảnh hưởng đến hiệu suất của chân vịt. Trên tàu có đuôi thường người ta lắp chân vịt ở độ sâu đủ cho chân vịt phát huy hết tính năng của nó, thông thường trục chân vịt đặt đủ sâu $h_B = 0,7D$, đường kính lớn nhất của chân vịt D_{max} không vượt quá $(0,75 - 0,80)T_K$. Ngoài ra phải đảm bảo khe hở giữa mút cánh và vỏ tàu $\Delta \geq (0,12 - 0,18)D_{max}$, như trên đã nói, để đảm bảo khe hở này nhiều lúc cánh chân vịt nghiêng về phía sau, có lúc 15° . Còn đường kính chân vịt nằm trong tunen (hình 8.11b) thường $> T_K$, $D_{max} = 1,2 T_K$, (hình 8.11). Bánh lái lắp phía sau chân vịt thường có mặt cắt lái hình lưu thể. Trên tàu có yêu cầu cao về tính ma nơ thì dùng ống đạo lưu quay. Dùng ống đạo lưu (cố định và quay) đều nâng cao được hiệu suất chân vịt (xem hình 8.12a và b).



Hình 8.11. Bố trí chân vịt phía sau tàu.



Hình 8.12. Chân vịt trong ống đạo lưu.

8.3.2. THỦY ĐỘNG HỌC CỦA PHẦN TỬ CÁNH

8.3.2.1. Đặc điểm của dòng chảy do chân vịt tạo ra

Nghiên cứu một mặt cắt do hình viên trụ có bán kính r cắt chân vịt (trục của chân vịt và trục của hình viên trụ trùng nhau) ta được hình 8.13. Bất kỳ một mặt cắt nào đều tham gia hai sự vận động: vận động tịnh tiến v_p (vận tốc tịnh tiến) và vận động quay với vận tốc $r\omega$ (vận tốc góc $\omega = 2\pi n$). Tỷ lệ giữa vận tốc tịnh tiến v_p và n (hay là ω):

$$h_p = \frac{v_p}{n} = 2\pi \frac{v_p}{\omega} \quad (8.6)$$

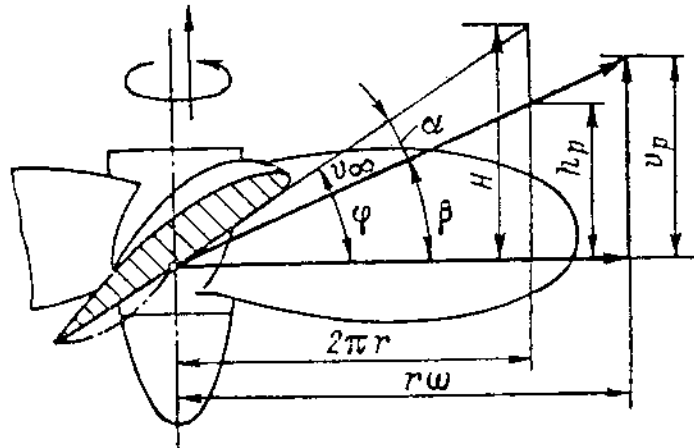
h_p là quãng đường chân vịt tiến tới sau khi vòng quay được một vòng, gọi là bước tới (tuyệt đối hay tuyến tính), nó đại biểu di chuyển đường trục trong nước trong thời gian tương đương một vòng. Trong điều kiện bình thường h_p sẽ nhỏ hơn bước hình học H trên hình 8.4. Hiệu số $H - h_p$ gọi là số trượt của chân vịt khi làm việc trong nước. Mặt cắt cánh (hình 8.13) sẽ di chuyển trong nước với vận tốc:

$$v_\infty = \sqrt{v_p^2 + (r\omega)^2} \quad (8.17)$$

Phương của vận tốc này sẽ tạo thành góc bước β xác định theo công thức:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{v_p}{r\omega} \quad (8.18)$$

Kết quả giữa phương của vận tốc v_∞ và đường đáy của mặt cắt sẽ tạo thành góc nâng α . Rõ ràng mặt cánh tại các bán kính r , sẽ có góc nâng khác nhau, nghĩa là $\alpha = \alpha(r)$.

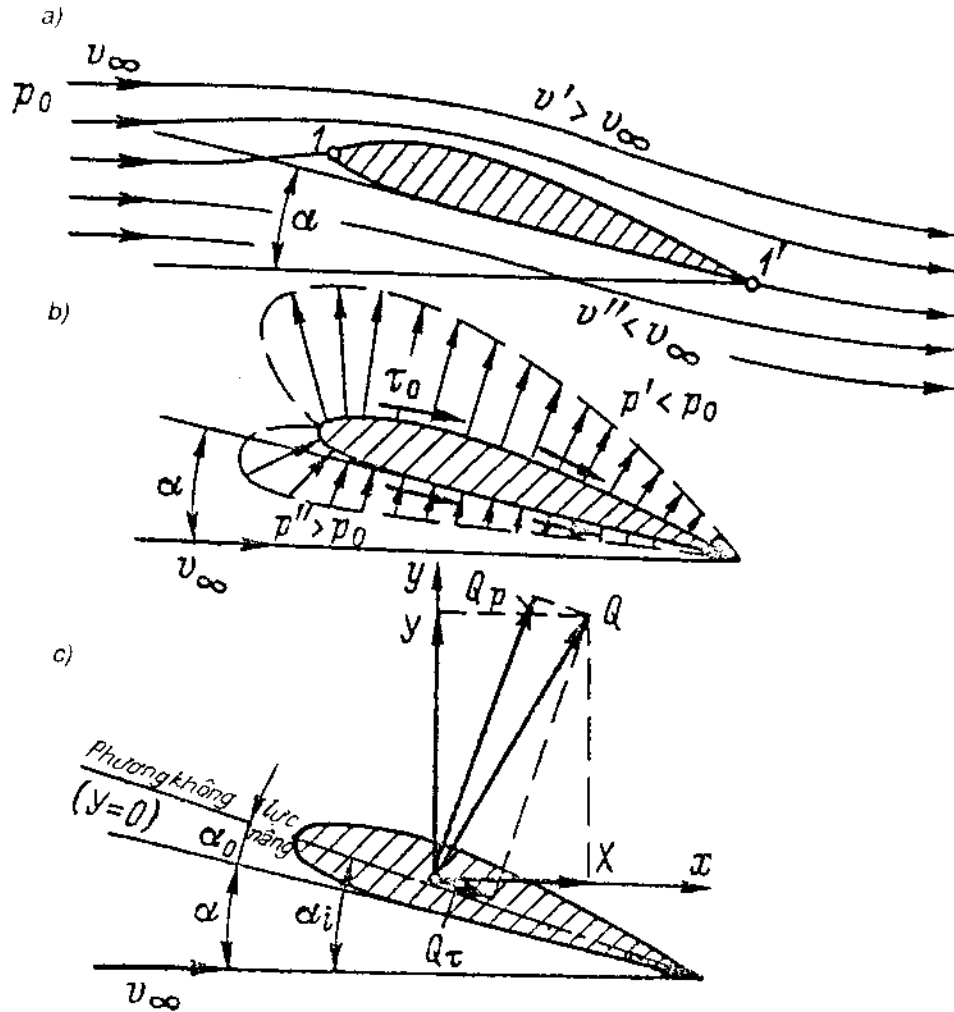


Hình 8.13.

8.3.2.2. Sơ lược về thủy động học của cánh

Như ta đã biết trong lý thuyết cánh, ở góc $\alpha > 0$, thì phía trên cánh vận tốc $v' > v_\infty$ còn phía dưới $v'' < v_\infty$ (hình 8.14), do đó dựa vào định luật Bernoulli thì sự phân bố áp lực ở phía trên giảm, và áp lực ở phía dưới cánh lại tăng lên, đó là lý do sinh ra lực nâng Y (hình chiếu của lực Q_p và Q_t) trên hướng vuông góc với hướng của v_∞ . Nếu góc α đủ nhỏ, thì phần lớn lực nâng Y là gây nên bởi sự tụt áp phía trên cánh.

Còn hình chiếu của hợp lực Q trên phương của vận tốc v_∞ là lực cản X , nếu α nhỏ thì ứng suất tiếp (tuyến) τ , phân bố dọc cánh sẽ quyết định trị số X .



Hình 8.14.

Phương của vận tốc v_∞ mà ở đó $Y = 0$ ta gọi phương không lực nâng, vì vậy ta phải chỉnh lại góc nâng α thành góc nâng có hiệu α_i (hình 8.14):

$$\alpha_i = \alpha + \alpha_0 \quad (8.17)$$

Lực nâng Y , lực cản X thông thường được biểu diễn bằng hệ số lực nâng và lực cản (hệ số không nhân thức) C_y và C_x :

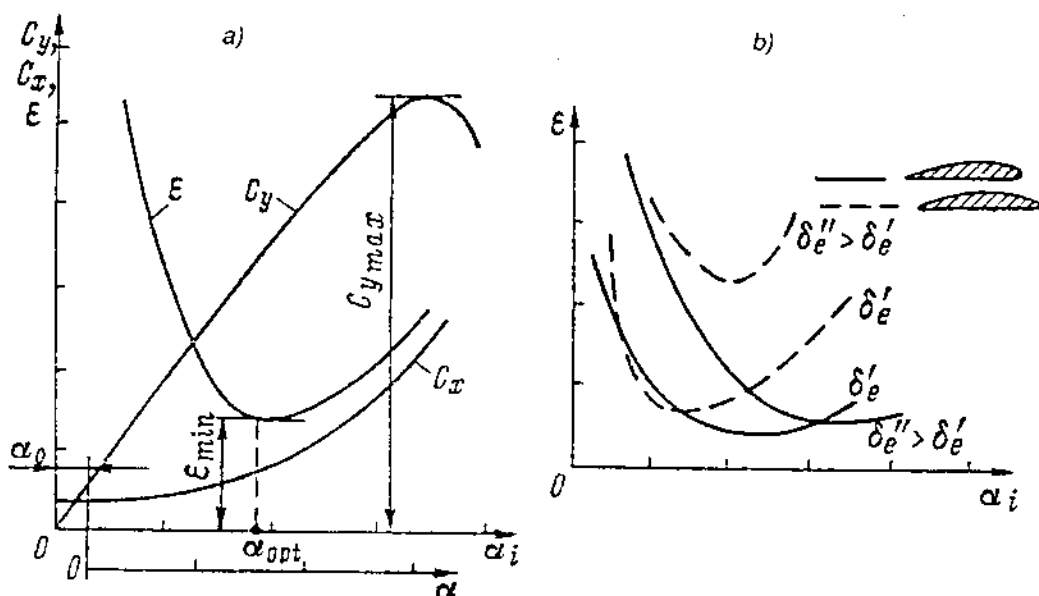
$$C_y = \frac{2Y}{\rho v_\infty^2 F_k} ; \quad C_x = \frac{2X}{\rho v_\infty^2 F_k} \quad (8.18)$$

$$\text{và hệ số } \varepsilon = \frac{X}{Y} = \frac{C_x}{C_y} \quad (8.19)$$

Trị số C_y và C_x và ε , sẽ chỉ phụ thuộc vào góc nâng α_i hoặc α nếu: cánh ở khá sâu, và trị số Rn của cánh ($Rn = \frac{v_\infty b}{\nu}$) đã vượt qua trị số giới hạn (như ta đã nói ở trong chương 7, nói về lực cản $Rn_{kp} = (3 \sim 5) \cdot 10^5$).

Đối với một cánh cụ thể, ta có thể tìm được một góc nâng tối ưu α_{opt} , ở đó hệ số $\epsilon = \frac{C_x}{C_y}$ giảm xuống ϵ_{min} trong lúc $Y = \text{const}$. Mặt khác vị trí xảy ra ϵ_{min} cũng như giá trị của ϵ_{min} còn phụ thuộc vào *hình dáng của mặt cắt* (ví dụ mặt cắt hình cung hoặc khí động) và tỷ lệ $\delta_e = \frac{e}{b}$ (tỷ lệ chiều dày trên chiều rộng). Nhưng vấn đề về lý thuyết cánh vượt ra ngoài khuôn khổ môn học, chỉ giới thiệu để tham khảo như hình 8.15.

Mặt khác tỷ số ϵ sẽ tăng lên khi độ nhám của cánh tăng lên.



Hình 8.15. Hệ số lực nâng, lực cản và tỷ số cản nâng ϵ .

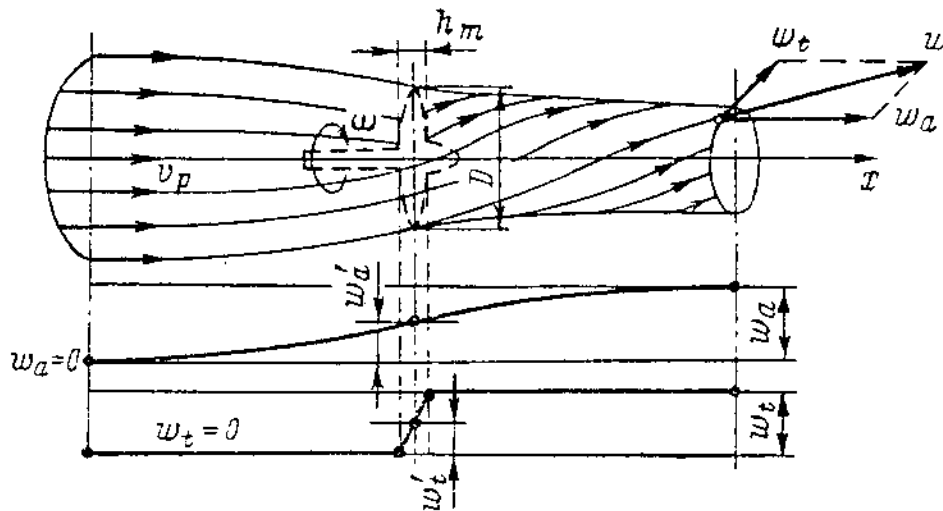
8.3.2.3. Sự phân bố dòng kích thích hướng vòng tròn

Sự vận động của chất lỏng trong ống (trên mặt ống dòng) thể hiện trên hình 8.16 (được vẽ trên hệ tọa độ cùng đi theo chân vịt với vận tốc tới v_p), như đã nói trong mục thiết bị đẩy lý tưởng, vận tốc dòng kích thích được chia đều: $\frac{1}{2} \omega_a$ ở tại đĩa và $\frac{1}{2} \omega_a$ ở phía sau nơi ∞ . Còn dòng kích thích hướng vòng tròn ω_i ta chưa xét khi tính hiệu suất thiết bị đẩy lý tưởng. Về dòng kích thích này ta có thể giả thiết ngay phía trước chân vịt không xa $\omega_i = 0$, và sẽ tăng lên đủ ω_i trong phạm vi h_m

(xem hình 8.16), như thế ngay tại chỗ đặt chân vịt thì $\omega'_t = \frac{1}{2} \omega_t$, như vậy vận tốc hợp thành của dòng kích thích sẽ là:

$$\omega = \sqrt{\omega_a^2 + \omega_t^2}$$

nó sẽ tiếp tuyến với dòng trên mặt ống dòng, thể hiện trên hình (8.16), và như vậy thì dòng kích thích hợp thành tại đĩa $\omega' = \frac{1}{2} \omega$ (và cũng ngay trên dòng ấy ở xa vô tận).



Hình 8.16. Sự phân bố dòng kích thích tổng hợp.

8.3.2.4. Cơ sở lý thuyết phân tố cánh chân vịt

Nếu đã nghiên cứu kỹ dòng chảy và lực tác dụng lên một phân tố cánh, thì ta sẽ hiểu được dòng chảy và lực quanh cánh. Phân tố cánh được hình thành bằng 2 hình viên trụ đồng trục với trục chân vịt có bán kính r và $r + dr$ (như trên hình 8.17a) cắt cánh chân vịt và ta được một mặt cắt khí động có chiều dày dr , khai triển đường vít ta có tam giác bước như hình 8.17b, bước hình học của mặt cắt là φ . Về đường nước chảy tới mặt cắt ta sẽ có vận tốc hướng trục v_p và vận động quay ω . Ở tại mặt viên trụ có r ta có:

$$\text{Vận tốc hướng trục} \quad v_s = v_p + \omega'_a = v_p + \frac{1}{2} \omega_a \quad (8.19)$$

$$\text{Vận tốc hướng đường kính} \quad v_t = r\omega - \omega'_t = r\omega - \frac{1}{2} \omega_t \quad (8.20)$$

trong đó $\omega'_a = \frac{1}{2} \omega_a$ và $\omega'_t = \frac{1}{2} \omega_t$ là dòng kích thích hướng trục và hướng đường kính tại mặt đĩa chân vịt.

Cộng hai vectơ (8.19) và (8.20) ta sẽ có vận tốc chạy tới mặt cắt cánh:

$$v_i = \sqrt{v_s^2 + v_t^2} = \sqrt{\left(v_p + \frac{\omega_a}{2}\right)^2 + \left(r\omega - \frac{1}{2}\omega_t\right)^2} \quad (8.21)$$

Dòng với vận tốc V_i đối với mặt cánh cũng giống như trường hợp v_∞ trong hình 8.14, có góc nâng α_i . Mối quan hệ giữa các góc được thể hiện trong công thức 8.22 (hình 8.14):

$$\operatorname{tg} \beta_i = \frac{v_s}{v_t} = \frac{v_p + \frac{1}{2}\omega_a}{r\omega - \frac{1}{2}\omega_t} \quad (8.22)$$

Cũng tương tự như trường hợp về lý thuyết cánh, góc nâng $\alpha_i > 0$ (góc kẹp giữa phương của vận tốc v_i và phương không lực nâng):

$$\alpha_i = \alpha + \alpha_0 = \varphi - \beta_i + \alpha_0$$

Các lực tác dụng lên phân tố cánh

Cũng như trong lý thuyết cánh đầu tiên ta hãy quan sát hai lực: lực nâng vuông góc với dòng có vận tốc v_i , đó là dY và lực cản song song với phương v_i và dX :

$$dY = C_y \frac{\rho v_i^2}{2} dF_k \quad ; \quad dX = C_x \frac{\rho v_i^2}{2} dF_k \quad (8.23)$$

Lực hữu ích là lực dP và lực không tránh được là lực cản dT , chính lực cản này, nó sẽ quyết định mômen cần cung cấp cho chân vịt để quay cánh $dM = rdT$; từ hình 8.17:

$$dP = dY \cos \beta_i - dX \sin \beta_i = dY \cos \beta_i (1 - \operatorname{ctg} \beta_i) ; \quad (8.24)$$

$$dT = dY \sin \beta_i + dX \cos \beta_i = dY \sin \beta_i (1 + \operatorname{ctg} \beta_i) \quad (8.25)$$

trong đó $\varepsilon = \frac{dX}{dY} = \frac{C_x}{C_y}$ tỷ lệ ngược chất lượng của mặt cắt cánh.

Mômen quay $dM = rdT$ và công suất cần thiết để quay chân vịt $dN_p = dM \cdot \omega$. Chú ý (8.24), (8.25) ta có thể có:

$$dM = dY \sin \beta_i (1 + \operatorname{ctg} \beta_i) \cdot r \quad (8.26)$$

$$dN_p = dY \sin \beta_i (1 + \operatorname{ctg} \beta_i) r \omega. \quad (8.27)$$

Hiệu suất của phân tố cánh:

$$\eta_r = \frac{dP \cdot v_p}{dN_p} = \frac{v_p}{r\omega} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg}\beta_i} \cdot \frac{1 - \varepsilon \operatorname{tg}\beta_i}{1 + \varepsilon \operatorname{tg}\beta_i}$$

Sử dụng (8.22) về $\operatorname{tg}\beta_i$ ta có:

$$\eta_r = \frac{v_p}{v_p + \frac{1}{2}\omega_a} \cdot \frac{r\omega - \frac{1}{2}\omega_c}{r\omega} \cdot \frac{1 - \varepsilon \operatorname{tg}\beta_i}{1 + \varepsilon \operatorname{tg}\beta_i} = \eta_{ra} \cdot \eta_{rt} \cdot \eta_{re} \quad (8.28)$$

Thành phần đầu tiên: Xét đến tổn thất do kích thích vận tốc hướng trục, đó chính là hiệu suất thiết bị đẩy lý tưởng, được gọi là hiệu suất trục η_{ra} :

$$\eta_{ra} = \frac{v_p}{v_p + \frac{1}{2}\omega_a} = \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \frac{\omega_a}{v_p}} \quad (8.29)$$

Thành phần thứ hai: Xét đến tổn thất do kích thích vận tốc hướng vòng tròn được gọi là hiệu suất vòng η_{rt} :

$$\eta_{rt} = \frac{r\omega - \frac{1}{2}\omega_i}{r\omega} = 1 - \frac{1}{2} \frac{\omega_i}{r\omega} \quad (8.30)$$

Tích

$$\eta_{ra} \cdot \eta_{rt} = \frac{v_p}{v_s} \cdot \frac{v_t}{r\omega} = \frac{\operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\beta_i} = \eta_{ri} \quad (8.31)$$

η_{ri} được gọi là hiệu suất kích thích của phân tố cánh, giá trị của nó đại biểu cho tổn thất kích thích.

Thành phần thứ ba trong công thức (8.28) được gọi là hiệu suất kết cấu của phân tố cánh, xét đến tổn thất do ma sát và hình dáng cánh:

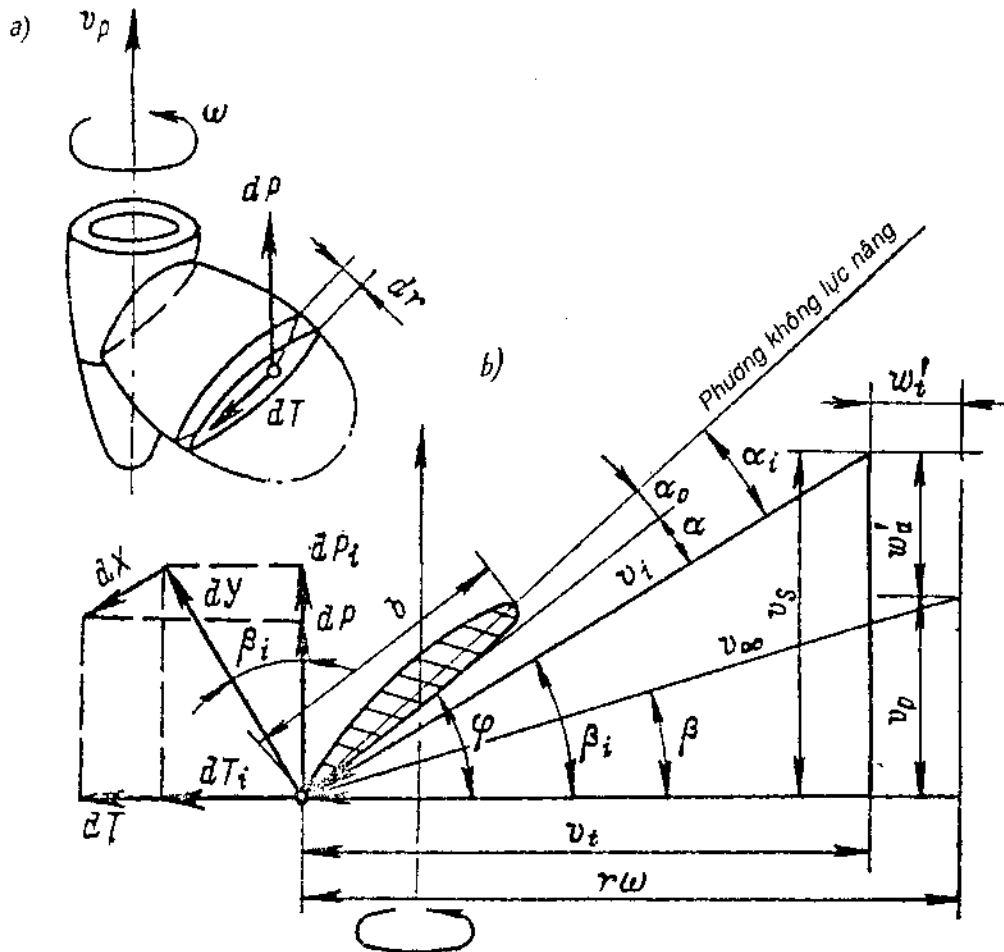
$$\eta_{re} = \frac{1 - \varepsilon \operatorname{tg}\beta_i}{1 + \varepsilon \operatorname{tg}\beta_i} \quad (8.32)$$

Nếu đối với một trạng thái làm việc của mặt cắt ($\beta_i = \text{const}$) thì sự tổn thất (thứ ba) này được xác định bởi tỷ lệ ngược chất lượng ε , nó phụ thuộc vào đặc tính kết cấu của mặt cắt cánh – loại mặt cắt, độ trơn tru của nó v.v...

Từ những công thức vừa nói trên ta thấy, tất cả các đặc trưng động của mặt cắt phân tố cánh (dP , dM , dN_p và hiệu suất η_r) có liên quan chặt chẽ với $dY \gg dX$, đối với mặt cắt nhất định, thì dY là hàm số của α_i (hay α). Những kết luận vừa rút ra đối với (thành) phân tố cánh có thể áp dụng cho P (lực đẩy) M (mômen quay) và hiệu suất của chân vịt.

$$\eta_p = \frac{P_{V_p}}{M\omega} = \eta_{ps}\eta_{pe}\eta_{pe} \quad (8.33)$$

Ở đây, các thành phần của hiệu suất cũng giống như ở công thức (8.28). η_p phụ thuộc rất nhiều vào tổn thất kích thích.



Hình 8.17. Dòng chảy và các lực được hình thành đối với phân tố cánh.

8.3.2.5. Các đặc trưng thủy động không nhân thức của chân vịt

8.3.2.5.1. *Tính năng của chân vịt* được xác định bởi góc nâng α_i , nhưng góc này cũng phụ thuộc vào vận tốc tịnh tiến v_p , và vận tốc tuyến tại mút cánh do sự vận tốc quay của chân vịt gây nên:

$$\lambda_p = \pi \frac{v_p}{R\omega} = \frac{v_p}{nD} ; \quad (8.34)$$

λ_p có thể biểu thị bởi tỷ lệ giữa bước thực ($h_p = \frac{v_p}{n}$) và đường kính chân vịt D ,

$$\lambda_p = \frac{h_p}{D} \quad (8.34a)$$

Mặt khác ta cũng có thể sử dụng trị số trượt S để thay thế λ_p :

$$S = \frac{H - h_p}{H} \quad (8.34b)$$

Như vậy, động lực học của chân vịt được xác định bởi lực đẩy P và mômen quay M ở một bước nhất định $h_p = \frac{v_p}{n}$. Theo luật đồng dạng của Newton, ta có thể biểu diễn P và M qua các thông số của chân vịt và một số hệ số:

$$\left. \begin{aligned} P &= K_1 \rho D^4 n^2; \\ M &= K_2 \rho D^5 n^2. \end{aligned} \right\} \quad (8.35)$$

$$\text{Hệ số lực đẩy} \quad K_1 = \frac{P}{\rho n^2 D^4} = \frac{\pi}{8} 6_p \lambda_p^2 \quad (8.36)$$

Để chứng minh sự đúng đắn của công thức (8.35) ta chú ý:

Khi vận tốc tới v_p (m/s), với một chân vịt có hình dáng và bước cho trước, có thể suy ra lực đẩy và mômen của nó, chúng phải tùy thuộc vào mật độ chất lỏng (nước) ρ (kg.s²/m⁴), đường kính D (m) và vòng quay (vòng/s) mà quyết định. Bây giờ ta tìm quan hệ đó:

$$P = K_1 \rho^{x_1} D^{y_1} n^{z_1};$$

$$M = K_2 \rho^{x_2} D^{y_2} n^{z_2},$$

trong đó K_1 và K_2 đều là vô nhân thức.

Vì nhân thức của vế trái và vế phải giống nhau, do đó ta có:

$$[kg]^1 = \{[kg]^1 \cdot [s]^2 \cdot [m]^{-4}\}^{x_1} \cdot [m]^{y_1} \cdot [s]^{-z_1}$$

$$[kg \cdot m] = \{[kg]^1 \cdot [s]^2 \cdot [m]^{-4}\}^{x_2} \cdot [m]^{y_2} \cdot [s]^{-z_2}$$

$$\text{hoặc} \quad [kg]^1 = [kg]^{x_1} \cdot [m]^{y_1 - 4x_1} \cdot [s]^{2x_1 - z_1};$$

$$[kg]^1 \cdot [m]^1 = [kg]^{x_2} \cdot [m]^{y_2 - 4x_2} \cdot [s]^{2x_2 - z_2}.$$

So sánh chỉ số của các bộ phận $[kg]$, $[m]$ và $[s]$ ta sẽ có một tổ phương trình để xác định các trị số của ẩn số:

$$x_1 = 1; \quad y_1 - 4x_1 = 0; \quad 2x_1 - z_1 = 0;$$

$$x_2 = 1; \quad y_2 - 4x_2 = 1; \quad 2x_2 - z_2 = 0$$

Từ đó:

$$x_1 = 1 ; y_1 = 4 ; z_1 = 2 ;$$

$$x_2 = 1 ; y_2 = 5 ; z_2 = 2.$$

Như vậy công thức (8.35) đã được chứng minh.

$$\text{Hệ số mômen} \quad K_2 = \frac{M}{\rho n^2 D^5} = \frac{75}{2\pi} \frac{N_p}{\rho n^2 D^5} \quad (8.37)$$

$$\text{Trong đó: } \sigma_p = \frac{2p}{\rho v_p^2 F_p} = \frac{8p}{\rho v_p^2 \pi D^2} ; \lambda_p = \frac{v_p}{nD}$$

$$M = 75 \frac{N_p}{\omega} = \frac{75}{2\pi} \frac{N_p}{n}$$

$$\text{Hiệu suất của chân vịt} \quad \eta_p = \frac{p v_p}{75 N_p} = \frac{p v_p}{M \omega} = \frac{K_1}{K_2} \frac{\lambda_p}{2\pi} \quad (8.38)$$

Trong tài liệu của Liên Xô cũ (nay là Nga) thì dùng hệ số lực đẩy K_1 và hệ số mômen dùng K_2 , nhưng tài liệu của các nước châu Âu khác thì dùng $K_T (= K_1)$ và $K_Q (= K_2)$, còn hệ số vận tốc tới $\lambda_p = \frac{v_p}{nD}$ của Nga, ở châu Âu được dùng ký hiệu $J = \frac{v_p}{nD}$.

8.3.2.5.2. Các đường cong đặc trưng của chân vịt trong nước tự do

Nếu hai chân vịt đồng dạng với nhau thì các đại lượng của chúng như K_1 , K_2 , η_p sẽ bằng nhau tương ứng, nghĩa là K_1 , K_2 , $\eta = f(\lambda_p)$ chỉ là hàm số của $\lambda_p = \frac{v_p}{nD}$ như biểu diễn trên hình 8.18.

Bây giờ ta hãy xem xét xu thế của K_1 , K_2 , $\eta = f(\lambda_p)$ và các điểm đặc biệt trên hình 8.18.

Khi λ_p tăng, thì góc α_i sẽ giảm, C_y , C_x sẽ giảm xuống và K_1 , K_2 sẽ giảm theo.

Trị số K_1 và K_2 đạt cực trị khi tàu buộc tại bến, ở đó $\lambda_p = \frac{v_p}{nD} = 0$ ($v_p = 0$), và góc α_i sẽ đạt tới số lớn nhất, hiệu suất của chân vịt sẽ bằng 0 vì chân vịt không phát ra lực đẩy có ích ($v_p = 0$) do đó $P v_p = 0$.

Khi λ_p tiếp tục tăng thì K_1 , K_2 tiếp tục giảm như trên hình 8.18, nếu tiếp tục giảm tới điểm đặc biệt thứ nhất ở đó $S_1 = 0$ (về S_1 ta sẽ rõ khi giải thích được các hiện tượng về thủy động ở đó), góc nâng của cánh $\Delta\alpha_i > 0$ (hình 8.19a) tuy dY và dX đều mang dấu (+) nhưng hình chiếu của chúng trên hướng v_p triệt tiêu nhau:

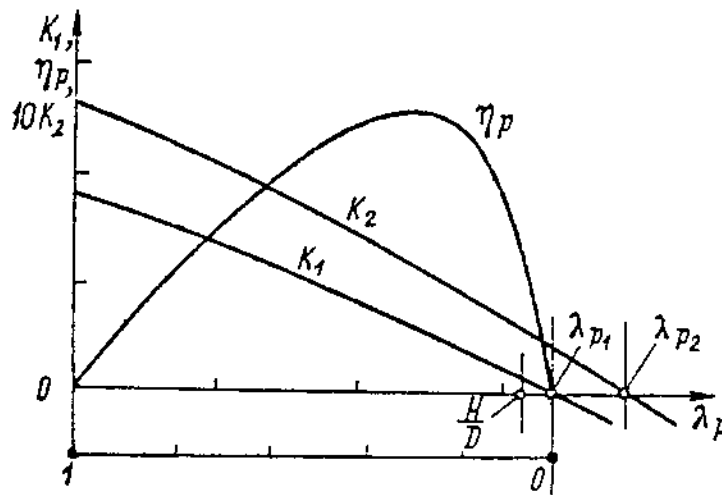
$$dY \cos \beta_i = dX \sin \beta_i$$

Từ đó ta thấy:

$$\operatorname{tg} \beta_{11} = \frac{dY}{dX} = \frac{1}{\varepsilon} \quad (8.39)$$

Tuy lực đẩy $dP = 0$ nhưng công suất để sinh ra vòng quay $dN_p = (dM_\omega) > 0$, nghĩa là $dM = (rdT) > 0$. Bước tuyến tính H_1 , ứng với lực đẩy bằng không gọi là bước không lực đẩy hoặc *bước thủy động học* và số trượt S_1 sẽ thay thế cho số trượt S (8.34b):

$$S_1 = \frac{H_1 - h_p}{H_1} = 1 - \frac{\lambda_p}{\lambda_{p_1}} = 1 - \frac{\lambda_p}{H_1/D} \quad (8.40)$$



Hình 8.18. Các đường cong tính năng của chân vịt.

Cũng tương tự như thế ta tìm hiểu về bước tuyến tính H_2 ở đó gọi là bước không mômen (hay là quay tự do) vì:

$$dM = rdT, dT(-dY \sin \beta_1 + dX \cos \beta_1) = 0$$

từ đó $\operatorname{tg} \beta_{12} = \frac{dX}{dY} = \varepsilon$

$$\text{Rõ ràng } H_2 > H_1 \quad \lambda_{p_1} = \frac{H_1}{D} \left(\frac{H_1}{D} \approx \frac{H}{D} + 0,10 \right)$$

Tình trạng chân vịt không mômen khi $\lambda_{p_2} = \frac{H_2}{D}$, $K_2 = 0$ và $K_1 < 0$, $\frac{H_2}{D} > \frac{H_1}{D}$ gọi là tỷ số bước không mômen. Nếu tăng λ_p thêm nữa thì hệ số $K_2 < 0$.

Như thế, trên hình 8.18 ta thấy đường K_1 gặp trục hoành tại điểm $\lambda_p = \lambda_{p_1}$ đường η_p gặp trục hoành cũng tại $\lambda = \lambda_{p_1}$, và đường K_2 gặp trục hoành tại điểm $\lambda_p = \lambda_{p_2}$.

Nếu $\lambda_p > \lambda_{p_2}$ thì chân vịt làm việc như tuốcbin và hãm tàu, lúc đó chân vịt sẽ trả lại công suất dùng để khắc phục lực cản bất lợi của chân vịt, còn ở trạng thái $\lambda_{p_1} < \lambda_p < \lambda_{p_2}$ chân vịt làm việc không ổn định.

8.3.2.5.3. Tác dụng tương hỗ giữa chân vịt và vỏ tàu

Ở trên ta đã nghiên cứu chân vịt làm việc trong nước tự do, nhưng khi chân vịt làm việc ở phía sau tàu làm cho các đường nước cũng như áp lực đều có sự thay đổi.

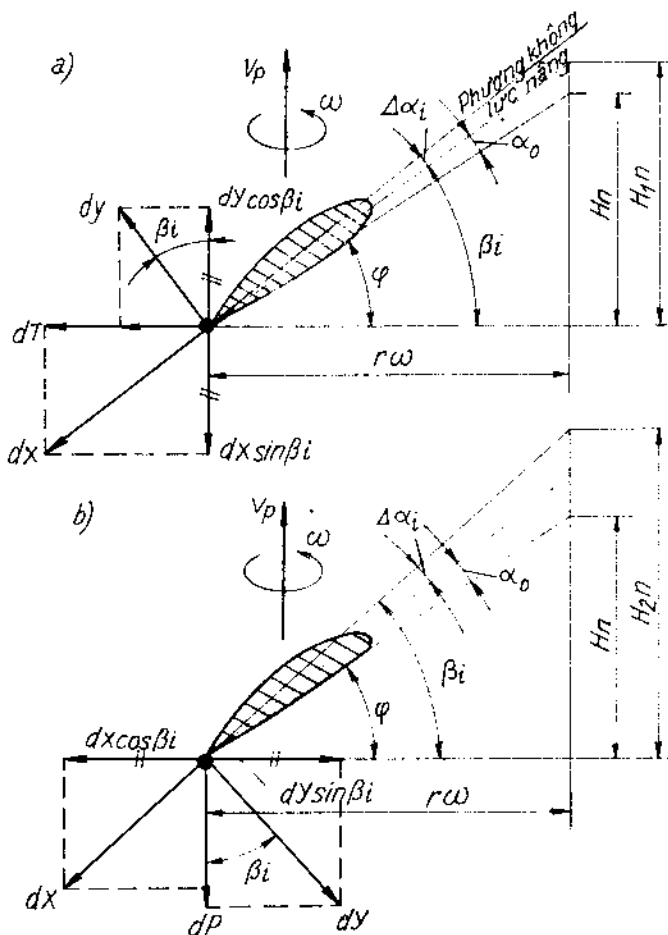
a. Khi tàu chạy về phía trước tạo thành một dòng theo, khiến vận tốc tương đối giữa tàu và chân vịt sẽ giảm xuống (đó là tác dụng của tàu đối với chân vịt).

Khi chân vịt làm việc phía sau tàu, gây nên lực hút khiến lực cản của nước đối với tàu tăng lên (đó là tác dụng của chân vịt đối với tàu).

Dòng theo được hình thành do phân tử nước khi chạy qua vùng đuôi (chỗ đặt chân vịt) nhận được một vận tốc ωv cùng hướng với vận tốc v của tàu. Như vậy vận tốc tính toán của chân vịt v_p sẽ được tính toán $v_p = v - \omega v$.

Vận tốc dòng theo được tính qua hệ số dòng theo:

$$\omega = \frac{V - V_p}{V} \quad (8.41)$$



Hình 8.19. Trường hợp lực đẩy bằng không a);
Trường hợp mômen bằng không b);

Hệ số dòng theo gồm 3 thành phần:

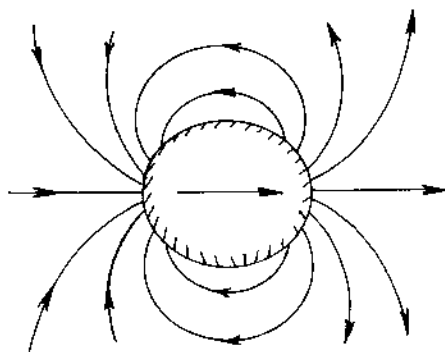
$$\omega = \omega_f + \omega_o \pm \omega_w ; \quad (8.42)$$

trong đó: ω_f – hệ số dòng theo ma sát;

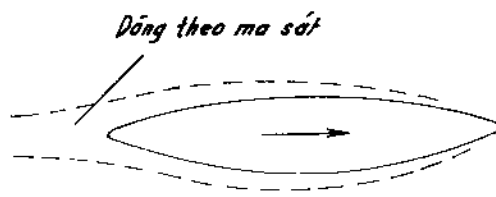
ω_o – hệ số dòng theo thể năng (hình thể);

ω_w – hệ số dòng theo gáy sóng.

Để hiểu rõ nguyên nhân hình thành của các thành phần hệ số dòng theo ta hãy quan sát hình 8.20 và 8.21, khi tàu chạy tới vận tốc v , do ma sát nên nước chung quanh (hình 8.20) sẽ bị tàu kéo theo, cũng giống như vậy, khi vật (tàu) đi tới (hình 8.21) trường vận tốc dòng nước đã thể hiện trên hình vẽ 8.21, dòng nước phía sau tàu sẽ chảy tới để lấp chỗ trống do tàu chạy tới, đó là dòng theo thể năng (hình thể).



Hình 8.21. Dòng theo hình thể.



Hình 8.20. Dòng theo ma sát.

Dòng theo gáy sóng, ở đây nói sóng do tàu gây nên, nó phụ thuộc vào chỗ đặt chân vịt là đỉnh hay đáy sóng, nếu ở gần đỉnh thì phân tử nước sẽ có hướng đi tới như tàu, và trái lại thì dòng nước sẽ chảy lùi, do đó trong công thức 8.42 có dấu $\pm$. Việc phân chia hệ số dòng theo thành ba loại cũng do giả định của chúng ta, thực tế dòng theo là tổng hợp, nó ảnh hưởng lẫn nhau thường được đo đạc trong mô hình ở bể thử. Nếu không có số liệu thí nghiệm thì có thể sử dụng các công thức kinh nghiệm, ví dụ:

$$\text{Đối với tàu một chân vịt:} \quad \omega = 0,50 \delta - 0,10; \quad (8.43)$$

$$\text{Đối với tàu hai chân vịt:} \quad \omega = 0,50\delta - 0,15 \quad (8.44)$$

Cũng có thể dùng công thức kinh nghiệm của Papmiel:

$$\omega = 0,165\delta \sqrt{\frac{\sqrt{V}}{D}} - \Delta\omega_1 ; \quad (8.45)$$

trong đó: δ – hệ số béo của tàu;

x – lấy bằng 1 đối với tàu 1 chân vịt, bằng 2 đối với tàu 2 chân vịt;

V – lượng chiếm nước của tàu m^3 ;

D – đường kính chân vịt, có thể lấy bằng $(0,6 - 0,70)T$;

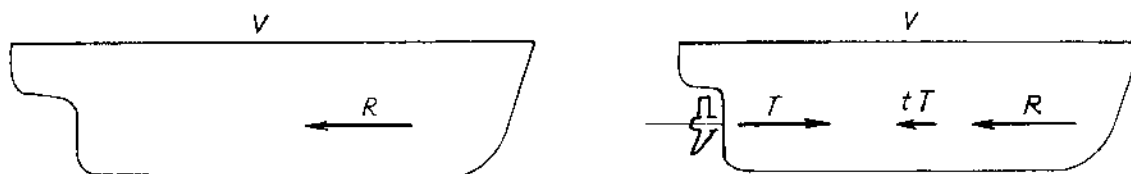
$\Delta\omega_1$ nhân tố xét ảnh hưởng của trị số Froude Fn ; nếu $Fn \geq 0,20$ thì:

$$\Delta\omega_1 = 0,10 (Fn - 0,20) \quad (8.46)$$

Công thức kinh nghiệm rất nhiều, nhưng khi dùng phải lưu ý những hướng dẫn cụ thể khi dùng công thức kinh nghiệm đó.

b. Ảnh hưởng của chân vịt đối với vỏ tàu: tăng lực cản hay giảm lực đẩy

Như ta nghiên cứu dòng nước ở trước, sau thiết bị đẩy lý tưởng, do định luật động lượng khi chân vịt làm việc làm tăng tốc dòng nước phía trước chân vịt, áp lực giảm xuống, khiến nước như hút vỏ tàu; do tốc độ nước tăng sẽ làm tăng lực cản ma sát đối với phía sau của tàu, ta cũng coi như tăng lực cản, vì vậy nếu ta coi như lực cản không tăng thì lực đẩy của chân vịt sẽ giảm, qua hệ số hút t , có nghĩa là lực đẩy thực tế còn lại $(T - tT)$, hệ số t gọi là hệ số giảm lực đẩy.



Cũng giống như hệ số dòng theo ω , hệ số giảm lực đẩy t cũng tính theo công thức kinh nghiệm:

$$t = k\omega \quad (8.47)$$

Theo Shoenher, đối với 1 chân vịt:

$k = 0,5 \sim 0,70$	tàu lắp lái hình lưu thế;
$k = 0,70 \sim 0,90$	tàu lắp lái tấm, lắp trên trụ vuông,
$k = 0,9 \sim 1,05$	tàu lắp lái một tấm đơn giản.

Đối với tàu lắp hai chân vịt:

$t = 0,25\omega + 0,14$	khi có ống bao trục liên tàu;
$t = 0,70\omega + 0,06$	khi lắp giá chữ nhân.

c. Hiệu suất vỏ tàu

Qua ảnh hưởng dòng theo và việc giảm lực đẩy (hoặc tăng lực cản) ta thấy, dòng theo mang lợi ích cho tàu (hoặc chân vịt), vì lực đẩy T đi tới với vận tốc

$(v - \omega v)$ chứ không phải với vận tốc tàu V , cho nên ta phải tranh thủ dòng theo, ví dụ đặt chân vịt ở vị trí có dòng theo lớn nhất. Trái lại việc giảm lực đẩy (tăng lực cản) rõ ràng là bất lợi, vì ta phải tạo ra lực đẩy $T = R + dT$

$$\text{hoặc } T(1 - t) = R$$

Mã lực có hiệu của tàu $EHP = kRv$ trong đó k là hệ số, khi dùng các nhân thức của các thành phần công thức được hiểu tường tận trong mục ở các trang sau, chớ lầm lẫn với k trong công thức (8.47).

Mã lực đẩy của chân vịt

$$THP = kTv(1 - \omega) k \cdot \frac{R}{1 - t} \cdot v(1 - \omega);$$

$$THP = EHP \left(\frac{1 - \omega}{1 - t} \right) \quad (8.48)$$

Ta gọi tỷ lệ giữa mã lực có hiệu của tàu trên mã lực đẩy của chân vịt là hiệu suất vỏ tàu:

$$\eta_{\text{vỏ tàu}} = \frac{EHP}{THP} = \frac{1 - t}{1 - \omega} \quad (8.49)$$

Vì $\omega > t$ nên hiệu suất vỏ tàu $\eta_{\text{vỏ tàu}} > 1$, có nghĩa là chân vịt lắp sau vỏ tàu có lợi hơn chân vịt trong nước tự do.

8.3.2.5.4. Hiện tượng sủi bọt của chân vịt

Hiện tượng sủi bọt của chân vịt, máy bơm, máy tuốcbin đã xảy ra do xu thế tăng vòng quay của động cơ ở cuối thế kỷ 19. Trong hàng hải, năm 1894 hiện tượng sủi bọt đã xảy ra trên tàu khu trục hạm Daring (Quả Cầm) của Vương quốc Anh, lúc người ta lắp máy hơi nước có công suất $IHP = 3700HP$ với vòng quay 384 vòng/ph, khiến tốc độ tàu giảm xuống 24 hải lý/h so với dự kiến thiết kế là 27 hải lý/h. Từ đó nhiều nhà khoa học đã tập trung sức lực để giải thích hiện tượng đó và tìm các biện pháp khắc phục hiện tượng sủi bọt.

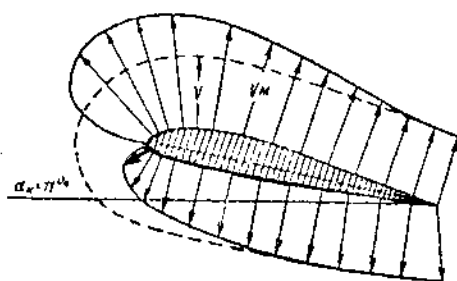
Ta đã biết trong vật lý, nước sẽ sôi ở $100^\circ C$ nếu áp suất không khí ở nước bình thường. Nếu áp suất không khí thấp hơn nước bình thường thì nhiệt độ sôi của nước sẽ nhỏ hơn $100^\circ C$. Trên bảng 8.1 trình bày nhiệt độ sôi của nước ở các áp suất không khí khác nhau p_a .

Bảng 8.1.

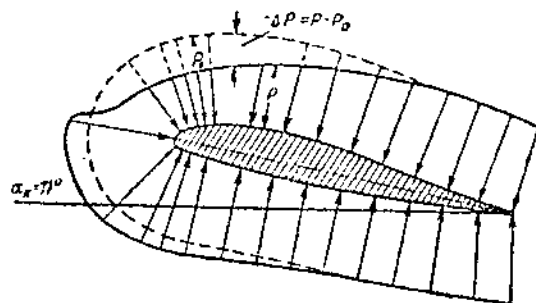
Nhiệt độ sôi $^\circ C$	0	5	10	15	20	30	40	50	60	100
Áp suất không khí p_a KG/m^2	62	69	125	174	238	433	752	1258	2031	10330

Tình hình sủi bọt của chân vịt cũng tương tự như vậy. Khi dòng nước chảy quanh mặt cắt cánh. Trên hình 8.22 thể hiện sự thay đổi vận tốc dòng khí chảy qua mặt cắt cánh ở lưng cánh (mặt hút) ở đó $v_M > v$ (v là vận tốc khí chưa bị nhiễu bởi sự hoạt động của cánh). Trái lại ở mặt đáy của cánh thì trên hình 8.23 thể hiện sự phân bố áp lực chung quanh mặt cắt cánh vì theo định lý Bernoulli áp lực phía mặt hút sẽ nhỏ hơn trong trường hợp vận tốc quay tăng lên, đến một mức có một vùng trên lưng cánh, ở đó áp lực xuống tới mức nước ở đó sôi (vùng sủi bọt) như thể hiện trên hình 8.24.

Ví dụ, nếu ở lưng cánh áp suất xuống tới $p_d = 238 \text{ kG/m}^2$ (xem bảng 8.1) thì nước sẽ sôi ở 20°C .



Hình 8.22. Sự phân bố vận tốc chung quanh mặt cắt cánh.



Hình 8.23. Sự phân bố áp lực chung quanh mặt cắt cánh.

Hiện tượng sủi bọt quyết định bởi các yếu tố sau đây:

1) Góc nâng α_k càng cao thì hiện tượng sủi bọt xảy ra càng sớm;

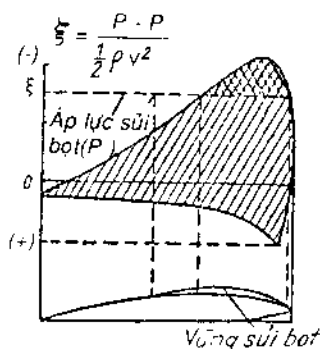
2) Vận tốc quanh mặt cắt cánh, khi vận tốc tuyến tại mút cánh đạt 80 m/s , thì xảy ra hiện tượng sủi bọt;

3) Độ dày tương đối của mặt cắt cánh δ ($\delta = \frac{c}{b}$, $\frac{\text{chiều dày}}{\text{chiều rộng}}$), δ càng lớn thì sủi bọt xảy ra càng sớm;

4) Hình dáng của mặt cắt cánh, với các điều kiện khác giống nhau thì mặt cắt cánh máy bay (lưu thể) xảy ra sủi bọt sớm hơn cánh hình vòng cung;

5) Áp lực trên bề mặt cắt; sủi bọt khi áp lực trên mặt cắt $\approx 9000 \text{ kG/m}^2$, có lúc xảy ra ở áp lực cao hơn một ít;

6) Độ sâu của trục chân vịt càng sâu, thì việc sủi bọt xảy ra sẽ chậm hơn.



Hình 8.24. Sự phân bố áp lực trên cánh khi xảy ra sủi bọt.

Việc sủi bọt chia làm 2 giai đoạn, giai đoạn đầu, sủi bọt xảy ra trên một phần mặt hút, hệ số K_1 , K_2 và η_p của chân vịt không thay đổi, vì áp lực trên mặt cánh (hút) sẽ phân bố lại cho đều đặn để bù đắp lại cho bộ phận mất lực hút. Ở giai đoạn sủi bọt một, do các bọt sẽ tan khi vào vùng cao áp gây tiếng nổ và làm hỏng (xâm thực) cánh.

Ở giai đoạn 2 việc sủi bọt xảy ra toàn thể mặt hút và có thể vượt qua giới hạn, có lúc ở góc nâng α_K nhỏ, việc sủi bọt xảy ra ở phần mặt đáy. Đồng thời hệ số K_1 , K_2 sẽ giảm xuống, hệ số lực đẩy K_1 giảm xuống càng lớn, do đó hiệu suất chân vịt sẽ giảm xuống. ở giai đoạn này không xảy ra xâm thực, vì biên giới xảy ra sủi bọt đã đi ra khỏi mặt cánh.

Thông thường khi thiết kế chân vịt, người thiết kế phải chọn các thông số chân vịt thế nào để khi làm việc không xảy ra sủi bọt, cụ thể là tránh sủi bọt giai đoạn 1 không cho xảy ra sủi bọt cục bộ vừa đảm bảo an toàn cho chân vịt (không bị xâm thực) vừa không ảnh hưởng tới tính năng làm việc (K_1 , K_2 , η) của chân vịt. Việc đầu tiên người ta nghĩ đến là tăng tỷ số mặt đĩa, có nghĩa là tải (lực đẩy) trên một đơn vị diện tích làm việc của chân vịt sẽ giảm, C_y sẽ giảm theo như vậy sẽ đẩy lùi sự xuất hiện của sủi bọt, trường hợp không thể tăng tỷ lệ mặt đĩa (θ), thì C_y có thể hạ xuống nếu tăng được chiều rộng mặt cắt cánh bằng việc giảm Z (ví dụ 3 cánh hoặc 2 cánh thay cho 4 cánh v.v...). Cuối cùng C_y cũng có thể hạ xuống, nếu ta dùng các mặt cắt như hình vòng cung  thay cho mặt cắt cánh loại thủy động  v.v...

Những điều ta nêu trên, thực tế các nhà khoa học về chân vịt khi xây dựng các xêri chân vịt họ đã suy nghĩ rồi. Ví dụ ta hãy quan sát xêri chân vịt B của Troost ta thấy: chính vì vận tốc tuyến ở mút chân vịt do quay vòng gây nên cao nhất, nên ở loại B.4, cũng như B.3 từ $\frac{r}{R} = 0,7$ trở lên, đều dùng mặt cắt cánh hình vòng cung còn loại mặt cắt thủy động đều dùng ở vùng phía gần cù $\frac{r}{R} < 0,60$. Mặt khác ta cũng thấy ở loại B.4, bước ở phía cù (củ) chân vịt giảm so với $\frac{R}{R} > 0,60$, vì ở gần tâm trục chân vịt dòng theo lớn hơn phía ngoài, như vậy vận tốc tới trước chân vịt $v_p (1 - \omega)$ sẽ nhỏ hơn v_p nhiều, nếu dùng bước ở đó thấp thì sẽ khiến tải sẽ phân bố đều trên toàn bộ đĩa v.v...

8.3.2.5.5. Thử hàng loạt mô hình chân vịt và các đồ thị để tính toán chân vịt

Cũng như khi bàn về thử mô hình tàu, khi thử chân vịt thì chân vịt thực và mô hình phải đồng dạng: hình học, động học và động lực học, nhưng trong thực tế không thể khiến thực tế và mô hình đồng dạng hoàn toàn mà chỉ đồng dạng được

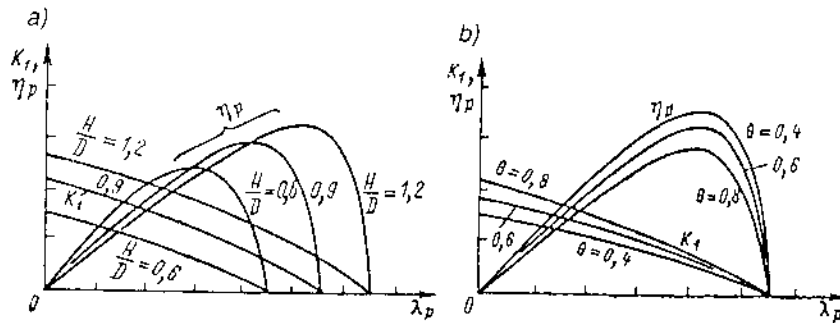
về một mặt như đồng dạng Froude. Đối với chân vịt có đường kính D và vòng quay n thì:

$$Fn = \frac{\pi n D}{\sqrt{gD}} \cong n\sqrt{D} \quad (8.50)$$

Còn trị số Reingnold Rn giữa thực và mô hình không thể bằng nhau được, vì nếu $Rn_{mh} = Rn_{thực}$ thì: giả thiết tỷ lệ kích thước giữa kích thước chân vịt thực tế và mô hình là:

$$k = \frac{D_{thực}}{D_{mô\ hình}} \gg 1 \text{ thì } n_{m,h} = n_{thực} \cdot \frac{v_{mh}}{v_{thực}} k^2 \approx n_{thực} k^2 \quad (8.51)$$

Điều đó không thể thực hiện được vì $k \gg 1$, thì $n_{m,h} \gg n_{thực}$, cho nên khi thử chân vịt cũng chỉ tôn trọng được $Fn = \text{const}$.



Hình 8.25. Ảnh hưởng của các thông số chân vịt tới tính năng của nó.

Bây giờ ta hãy nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng lớn tới tính năng (K_1 , K_2 , η_p) của chân vịt. Người ta thấy 3 thông số quan trọng nhất H/D , θ và Z là có tác dụng quyết định đối với tính năng chân vịt. Sau đây ta sẽ tóm tắt ảnh hưởng của chúng.

1. Ảnh hưởng rõ rệt nhất đối với $K_1(\lambda_p)$, $K_2(\lambda_p)$, $\eta_p(\lambda_p)$ là tỷ số bước. Tỷ số bước thay đổi từ 0,6 ~ 1,5. Nếu tăng H/D với điều kiện giữ nguyên các thông số hình học khác (ví dụ θ và Z), thì sẽ tăng K_1 và K_2 (như hình 8.25a), ở trị số $\lambda_p = \text{const}$; nhưng ở trị số λ_p nhỏ việc tăng H/D sẽ giảm η_p , nhưng ở trị số λ_p lớn thì việc tăng H/D sẽ tăng η_p . Việc tăng H/D bất kỳ trong trường hợp nào đều tăng $\lambda_{p_1} = H_1 / D$ và tăng giá trị $\eta_{p_{\max}}$ (hình 8.25a).
2. Khi tăng tỷ số mặt đĩa θ với điều kiện giữ nguyên H/D , Z và λ_p (hình 8.25b) thì hệ số K_1 và K_2 sẽ tăng lên, nhưng việc tăng đó rất lớn ở trị số λ_p nhỏ, ở trong phạm vi tỷ số mặt đĩa ($0,30 \leq \theta \leq 1,10$) thì việc tăng θ làm cho hiệu suất η_p giảm nhẹ, vì vậy nên chọn $\theta = \theta_{\min}$ (tuy nhiên ta còn xét nhiều vấn đề: ví dụ phải đảm bảo sức bền và không để xảy ra sủi bọt v.v...)

3. Số cánh chân vịt thực tế ảnh hưởng rất ít tới tính năng chân vịt nếu ta giữ nguyên $\theta = \text{const}$ và lựa chọn các mặt cắt thích hợp. Vì vậy việc lựa chọn số cánh chân vịt đối với chân vịt không bị sủi bọt theo yêu cầu của việc sử dụng, cũng đáng lưu ý tăng số cánh chân vịt sẽ tăng tần số và giảm biên độ của lực (có chu kỳ) tác dụng của chân vịt lên vỏ tàu, do đó giảm sự nguy hiểm về sự phát sinh chấn động ở phía đuôi tàu. Có chuyên gia kiến nghị $Z \neq$ số xilanh của máy, ví dụ máy 4 xilanh không nên lắp $Z = 4$ v.v...
4. Mặt cắt cánh hình thủy động sẽ tăng (khoảng 4 ~ 5%) hiệu suất chân vịt so với mặt cắt cánh hình vòng cung; do đó đối với phần lớn cánh chân vịt không sủi bọt (từ $r/R < 0,70$ trở vào) dùng mặt cắt hình thủy động. Ở $r/R > 0,70$ thì dùng mặt cắt hình vòng cung như đã nói trong mục sủi bọt của chân vịt. R là bán kính chân vịt.
5. Tăng chiều dày tương đối của mặt cắt (ở vùng $\bar{r} = 0,60 \sim 0,70$) đến trị số $\delta_a = \frac{e}{b} \approx 0,10 \div 0,12$ sẽ ảnh hưởng rất ít đối với hiệu suất chân vịt. Nhưng tăng thêm nữa thì sẽ giảm hiệu suất và tăng khả năng bị sủi bọt của chân vịt.
6. Hình dáng cánh chân vịt và độ nghiêng cánh về phía sau hầu như không ảnh hưởng đến tính năng của chân vịt trong nước tự do. Thông thường người ta không tăng đường kính củ lên quá $\frac{d_a}{D} = 0,20 \sim 0,22$ (vì ở giới hạn đó tính năng chân vịt hầu như chưa ảnh hưởng xấu), bình thường $\frac{d_a}{D} = 0,16 - 0,20$.
7. Tăng độ nhám của cánh chân vịt (tăng $\Delta_{\text{độ nhám}}/b$) tăng trị số $\epsilon = \frac{C_x}{C_y}$ và do đó chân vịt sẽ có η_p thấp.
8. Việc giảm chiều sâu tương đối từ 1,0 ~ 0,70 (chiều sâu tương đối $\bar{h}_B = \frac{h_B}{D}$) sẽ không ảnh hưởng đến tính năng chân vịt, nếu tiếp tục giảm $\bar{h}_B$ thì K_1 , K_2 và η_p sẽ giảm và sẽ xuất hiện sủi bọt toàn mặt cánh chân vịt.

8.3.2.5.6. Các đồ thị tính toán chân vịt

Hiện nay có hai cách tính toán thiết kế chân vịt

– Dựa hoàn toàn vào lý thuyết (Lý thuyết xoáy), được các cơ quan nghiên cứu khoa học sử dụng. Tuy mất rất nhiều thời gian, nhưng nhờ kỹ thuật máy tính nên không coi là một khó khăn không thể khắc phục được, vì vậy đã có những cơ quan thiết kế sử dụng (chủ yếu các cường quốc hàng hải và đóng tàu sử dụng).

– Dựa vào các đồ thị về tính năng chân vịt lấy từ kết quả thí nghiệm mô hình chân vịt. Phổ biến và nổi tiếng nhất là Serie $\overline{B}$ (chân vịt Troost) của Hà Lan [Viện nghiên cứu tàu ở Wageningen]. Các đồ thị được sử dụng gồm:

$$B_p - \delta \quad B_u - \delta \quad K_T - J \quad K_Q - J \quad \mu - \delta$$

Về một số đồ thị $B_p - \delta$ và $B_u - \delta$ và hình dáng mặt khai triển của chân vịt Troost seria B và sự phân bố chiều dày của các mặt cắt cánh giới thiệu trong phần cuối chương 8 này, còn các đồ thị khác nhất là loại $\mu - \delta$ đề nghị tham khảo ở các sách chuyên sâu hơn. Trong tất cả các đồ thị $B_p - \delta$ và $B_u - \delta$ các ký hiệu sử dụng như sau:

N_p – công suất chân vịt nhận được, tính bằng 76 kGm/s, mã lực Anh HP;

N_T – công suất đẩy, tính bằng 76 kG.m/s, HP;

$$\delta = \frac{Dn}{v_p} \quad ; \quad B_p = \frac{n N_d^{0,5}}{v_p^{2,5}} \quad ; \quad B_u = \frac{n N_T^{0,5}}{v_p^{2,5}} = \frac{0,05541 n T^{0,5}}{v_p^2}$$

trong đó: T – lực đẩy chân vịt tính bằng [Pound] = 0,454 kG;

n – vòng quay chân vịt [vòng/ph];

v_p – vận tốc tuyến trước chân vịt [hải lý/h] = 0,514 m/s;

D – đường kính chân vịt [feet] = 0,3048 m;

H – bước chân vịt [feet].

Vì trong quá trình nghiên cứu về chân vịt, chúng ta trình bày theo phương pháp của Liên Xô cũ, nên ta sẽ nói kỹ về phần sau, ở đây trình bày sơ qua cách tính theo $B_p - \delta$ để sinh viên khi gặp khối lúng túng.

Thông thường khi thiết kế chân vịt ta đã biết máy chính (công suất và vòng quay máy) ta phải tìm các kích thước tối ưu của chân vịt (có hiệu quả nhất, đạt hiệu suất η_p max).

Các bước tính toán có thể tóm tắt như sau:

- 1) Tính hệ số dòng theo và hệ số giảm lực đẩy ω và t .
 - 2) Tính mã lực chân vịt nhận được N_d . Hiện nay sử dụng máy diesel, các nhà chế tạo cho biết mã lực máy ở sau bánh đà BHP, phải qua hộp số, hệ trục mới đến chân vịt, nên phải xét tổn thất qua hộp số và hệ trục, thường lấy 0,95 ~ 0,97, có nghĩa là $N_d = (0,95 \sim 0,97)$ BHP.
- Ngoài ra về $B_p - \delta$ như đã nói trên, nên phải chuyển N_d thành hệ Anh, phải nhân với 75/76:

$$N_d = (0,95 \sim 0,97) \text{ BHP} \cdot \frac{75}{76} ;$$

- Cũng với lý do $B_p - \delta$ là xây dựng từ thí nghiệm trong bể thử (nước ngọt), nếu chân vịt dùng trong nước mặn thì $N_d = (0,95 - 0,97) \text{ BHP} \cdot \frac{75}{76} \cdot \frac{1}{\gamma}$.

3) Tính mã lực đẩy của chân vịt THP ở các tốc độ giả thiết:

Vì đồ thị $B_p - \delta$ cũng như $B_u - \delta$ là thử trong nước tự do, nên không thể chỉ căn cứ B_p (tính toán theo tốc độ giả định) để tìm δ , η_p , H/D tối ưu (đường  trên hình $B_p - \delta$) mà thường lấy δ trừ đi 4 ~ 5% (đối với tàu một chân vịt) hoặc 2 ~ 3% (đối với tàu hai chân vịt), sau đó căn cứ vào B_p và δ đã trừ % để tìm η_p và H/D .

4) Tính vận tốc tàu:

Căn cứ vào EHP (phải xét đến dự trữ, như sóng gió v.v...) và THP tính từ mục 3) vẽ trên một hình vẽ, chỗ gặp nhau của hai đường cong EHP và THP là tốc độ ta cần tìm.

Ngoài 4 mục trên, ta còn phải nghiệm sủi bọt (tỷ số mặt đĩa ta chọn θ phải lớn hơn $\theta_{\min}$ từ yêu cầu chống sủi bọt) và nghiệm lại sức bền chân vịt v.v...

Để sinh viên hiểu thêm, xin giới thiệu tóm tắt bước 3) qua một thí dụ cụ thể:

Thiết kế chân vịt cho một tàu có kích thước sau đây:

Chiều dài hai cột $L_{pp} = 107,0 \text{ m}$ Mớn nước $T = 6,78 \text{ m}$

Hệ số béo $\delta = 0,73$ Số chân vịt 1 chiếc

Máy chính có công suất $\text{BHP} = 2250$ mã lực, vòng quay $n = 115$ vòng/ph.

Các bước tính toán như sau:

1) Hệ số dòng theo: Tính theo công thức kinh nghiệm:

$$\omega = 0,50\delta - 0,05 = 0,5 \cdot 0,73 - 0,05 = 0,32,$$

Hệ số dòng hút $t = 0,60\omega = 0,6 \times 0,32 = 0,19,$

Hiệu suất vỏ tàu $\eta_{vò} = \frac{1-t}{1-\omega} = \frac{0,81}{0,61} = 1,19.$

2) Công suất chân vịt nhận được:

$$\text{DHP} = 0,96.\text{BHP} = 0,96 \times 2250 = 2160 \text{ mã lực (hệ Quốc tế)}$$

$$= 2160 \times 75/76 = 2130 \text{ mã lực (hệ Anh)}$$

$$N_p = \frac{\text{DHP}}{\gamma} = \frac{2130}{1,025} = 2080 \text{ mã lực.}$$

3) Tính mã lực đẩy THP ở các tốc độ giả định:

Thứ tự	Tốc độ giả định hải lý/h, v	11	12	13	14
1	Vận tốc trước chân vịt, $v_p = (1 - \omega)v$	7,48	8,16	8,84	9,52
2	$v_p^{2,5}$	152	190	232	280
3	$B_p = \frac{n N_p^{0,5}}{v_p^{2,5}} = \frac{115 \times 45,6}{v_p^{2,5}}$	34,5	27,6	22,6	18,7
4	Dùng B.4.40 tra được $\delta_{opt} - 4\%$	225	203	184	169
5	Dựa vào B_p và $(\delta_{opt} - 4\%)$ tra được $\eta_p\%$	57,6	60,7	63,2	65,4
6	$\eta_p \cdot \eta_{v0} \cdot \eta_q^* \%$	68,6	72,2	75,2	77,8
7	Mã lực đẩy THP = DHP x (6) hệ Quốc tế	1482	1560	1620	1680
8	Dùng B.4.55 tra được $\delta_{opt} - 4\%$	219	196	178	163
9	Dựa vào B_p và $(\delta_{opt} - 4\%)$ tra được $\eta_p \%$	54,4	57,3	60,0	62,3
10	$\eta_p \cdot \eta_{v0} \cdot \eta_q^* \%$	64,6	68,1	71,4	74,1
11.	Mã lực đẩy THP = DHP x (6) hệ Quốc tế	1398	1470	1540	1600

* η_q – Hiệu suất quay tương đối $\eta_q = \frac{\text{Hiệu suất chân vịt làm việc sau tàu}}{\eta_p}$ do có dòng theo và sự phân

bố dòng theo không đều gây nên, thường lấy theo kinh nghiệm và thí nghiệm, theo D. W. Taylor thì:

Đối với tàu béo có $\delta > 0,70$ $\eta_q = 1,7 - \delta$;

Đối với tàu thường $\delta < 0,70$ $\eta_q = 1,00$;

Đối với tàu có tunen $\eta_q = 0,90$.

Nếu lắp lái tốt thì hiệu suất quay tương đối cao.

4) Căn cứ vào số liệu thử mô hình (hoặc tính toán) vẽ EHP = f(v) đã cộng thêm dự trữ vẽ trên hình 8.26.

5) Từ điểm gặp nhau giữa EHP và THP ta xác định được $v = 12,7$ hải lý/h vì ta giả thiết tỷ số mật đĩa của chân vịt gần bằng 0,40, nên ta có thể coi như tốc độ tính toán thiết kế là 12,7 hải lý/h. Từ đó:

$$V_p = v(1 - \omega) = 12,7 \times 0,68 = 8,64 \text{ hải lý/h,}$$

$$B_p = \frac{n \sqrt{N_p}}{v_p^{2,5}} = \frac{115 \times 45,6}{8,64^{2,5}} = 23,85.$$

Từ $B_p = 23,85$, ta được $\delta_{opt} - 4\% = 188$, $\eta_p = 62,6\%$, $H/D = 0,823$,

$$\text{và } D = \frac{\delta(-4\%) \cdot v_p}{328 \cdot n} = 4,30 \text{ m.}$$

Tuy ta chọn $\theta = 0,40$, nhưng ta phải kiểm tra với θ ấy có xảy ra sủi bọt hay không, và còn phải kiểm tra sức bền của chân vịt, nhưng do hạn chế về nội dung của sách này không thể đi chi tiết vào công tác thiết kế được.

8.3.2.5.7. Tính chân vịt theo phương pháp E. Papmiel

Ở Nga người ta lấy kết quả thí nghiệm của Wanenginen về xêri B biên soạn thành đồ thị K_1 ,

K_2 dùng cho việc tính toán chân vịt theo phương pháp E. Papmiel.

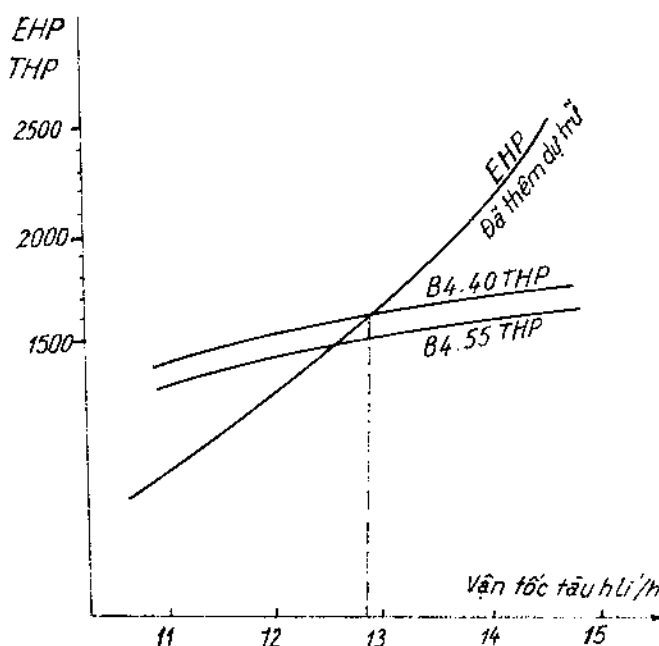
Về cách trình bày trên đồ thị $K_1, K_2 = f(\lambda_p)$ cũng rất đơn giản như ta đã nói trong mục 8.3.2.5.5, ở đây chỉ khác ở chỗ đưa đồ thị $\eta_p = f(\lambda_p)$ trình bày luôn trên đồ thị K_1 và K_2 bằng những đường cong đẳng hiệu suất. Cách xây dựng đường cong đẳng hiệu suất như sau: trên đường cong $K_1(\lambda_p)$ hoặc $K_2(\lambda_p)$ đối với một chân vịt với các thông số hình học ($H/D, \theta, Z$) nhất định ta đánh dấu hiệu suất của chân vịt η_p lên trên hình $K_1 = f(\lambda_p)$ hoặc $K_2 = f(\lambda_p)$ như trên hình 8.27a), cũng tương tự như vậy ta có thể xây dựng $\eta_p = \text{const}$ trên đồ thị $K_2 = f(\lambda_p)$. Các đường cong $K_1 = f(\lambda_p)$ gọi là các đường cong “vỏ”. Còn các đường cong $K_2 = f(\lambda_p)$ gọi là các đường cong “máy”.

Các đồ thị tính toán của Papmiel cho phép ta trực tiếp chọn được chân vịt tối ưu, có hiệu suất cao nhất trong điều kiện đã cho. Các đặc trưng của chân vịt có thể xác định nếu ta đặt các thông số:

$$\lambda_p = \frac{v_p}{nD} \quad \text{và} \quad K_1 = \frac{P}{\rho n^2 D^4} \quad \text{hoặc} \quad K_2 = \frac{75}{2\pi} \frac{N_p}{\rho n^3 D^5},$$

Trên các đồ thị $K_1 - \lambda_p$ hoặc $K_2 - \lambda_p$, mà ta có thể trốn (loại trừ) hoặc vòng quay n hoặc đường kính D , nếu ta sử dụng thêm các thông số:

$$K'_d = \frac{v_p D}{a'} = \frac{\lambda_p}{\sqrt{K_1}} \quad ; \quad K'_n = \frac{v_p}{\sqrt{n a'}} = \frac{\lambda_p}{\sqrt[3]{K_2}} \quad (8.52)$$



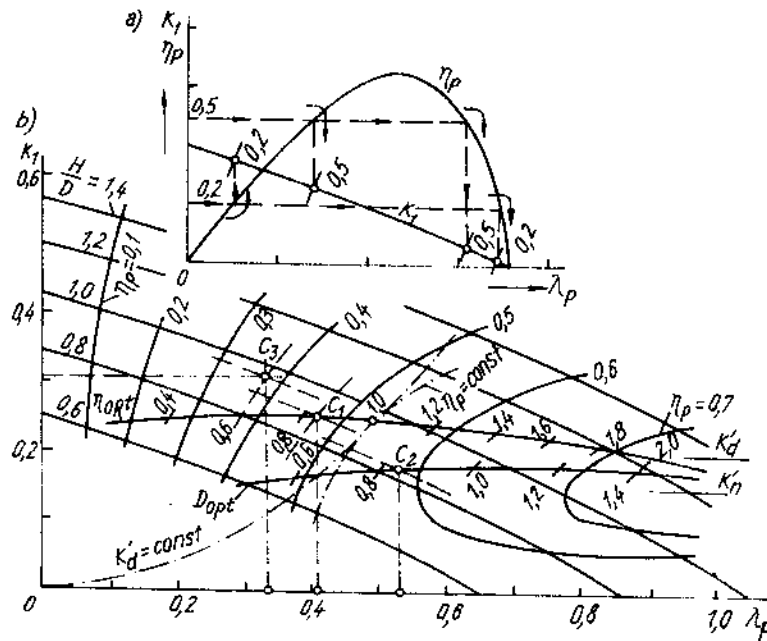
Hình 8.26.

$$\text{hoặc } K''_d = \frac{v_p D}{a''} = \sqrt{\frac{75}{2\pi}} \frac{\lambda_p^3}{K_2} ; K''_n = \frac{v_p}{\sqrt{n a''}} = \sqrt{\frac{75}{2\pi}} \frac{\lambda_p^5}{K_2} \quad (8.53)$$

$$\text{Trong đó: } a' = \sqrt{\frac{P}{\rho}} ; a'' = \sqrt{\frac{N_p}{\rho v_p}}$$

hệ số K'_d và K'_n đặt trên đồ thị vỏ tàu ($K_1 - \lambda_p$)

hệ số K''_d và K''_n đặt trên đồ thị máy tàu ($K_2 - \lambda_p$).



Hình 8.27. Cách xây dựng đồ thị $K_1, K_2 = f(\lambda_p)$.

Ví dụ ta đã biết v_p, P, D , nên phải tìm $n, H/D$ và η_{opt} , ta phải sử dụng đồ thị vỏ tàu, trước hết tính:

$$K'_d = \frac{v_p D}{a'} = \frac{v_p \cdot D}{\sqrt{P}} \sqrt{\rho} = \text{const}$$

Hệ số (lực đẩy - đường kính) cố định, vì ta đã biết P và D cố định.

Hệ số lực đẩy $K_1 = \frac{1}{(K'_d)^2} \lambda_p^2$. Nếu $K'_d = \text{const}$ thì ta sẽ có một đường parabol bậc 2 của $K_1 = \frac{1}{(K'_d)^2} \lambda_p^2$ như đường / trên hình 8.27 ở đây $K'_d = 1$. Trên đường

cong $K'_d = \text{const}$ đó, mọi điểm đều là giải của bài toán, nhưng chỉ có một điểm là $\eta_p = \eta_{\text{opt}}$ (η_{max}), ví dụ trên hình 8.27 là $\eta_{\text{max}} = 0,52$. Nối các điểm có η_{max} lại với nhau ta sẽ được đường cong K'_d và trị số K'_d được đánh dấu, như trên hình 8.27. Và cũng tương tự ta sẽ xây dựng được đường cong K'_n ; hai đường đó ta gọi là đường η_{opt} và D_{opt} , tức vòng quay tối ưu và đường kính tối ưu. Loại vấn đề và cách giải, các đồ thị cần thiết để giải được sắp xếp trên bảng 8.2.

Bảng 8.2. Loại vấn đề và cách giải quyết

Vấn đề	Thông số cho trước	Các hệ số tính toán	Thông số cần biết	Các đồ thị sử dụng
I	$v_p; P; D$	$K'_d = \frac{v_p D}{a'}$	$n; \frac{H}{D}; \eta_p(\text{opt})$	Loạt $K_1 - \lambda_p$
II	$v_p; P; n$	$K'_n = \frac{v_p}{\sqrt{na'}}$	$D; \frac{H}{D}; \eta_p(\text{opt})$	
III	$v_p; P;$ $D; n$	$\lambda_p = \frac{v_p}{nD};$ $K_1 = \frac{P}{\rho n^2 D^4}$	$\frac{H}{D}; \eta_p$	
IV	$v_p; N_p; D$	$K''_d = \frac{v_p D}{a''}$	$n; \frac{H}{D}; \eta_p(\text{opt})$	Loạt $K_2 - \lambda_p$
V	$v_p; N_p; n$	$K''_n = \frac{v_p}{\sqrt{a'' n}}$	$D; \frac{H}{D}; \eta_p(\text{opt})$	
VI	$v_p; N_p;$ $D; n$	$\lambda_p = \frac{v_p}{nD}$ $K_2 = \frac{11,93 N_p}{\rho n^3 D^5}$	$\frac{H}{D}; \eta_p$	

Ghi chú: $a' = \sqrt{\frac{P'}{\rho}}; a'' = \sqrt{\frac{N_p}{\rho v_p}}$.

Bây giờ ta có thể tóm tắt qui trình giải vấn đề, ví dụ vấn đề I, như sau:

1. Tính hệ số $K'_d = \frac{v_p \cdot D}{\sqrt{P}} \sqrt{\rho}$, dọc đường η_{opt} ta đặt trị số K'_d , ví dụ điểm C_1 trên hình 8.27b).

2. Căn cứ C_1 lấy trị số λ_p (ví dụ trên hình 8.27b), $\lambda_p = 0,41$) và H/D (0,90) và hiệu suất lớn nhất có thể đạt được $\eta_{p\max} (\approx 0,47)$.

3. Căn cứ trị số λ_p đó tính được trị số vòng quay tối ưu của chân vịt là $n = \frac{v_p}{\lambda_p D}$ (vòng quay trong một giây).

4. Căn cứ vào hiệu suất $\eta_{p\max}$ tính được công suất $N_p = \frac{Pv_p}{75\eta_{p\max}}$.

Và hoàn toàn như vậy qui trình giải vấn đề số II như sau:

1. Tính K'_n , dọc đường D_{opt} ta đặt trị số K'_n , ví dụ điểm C_2 (trên 8.27b);

2. Căn cứ vào C_2 lấy trị số λ_p , H/D và η_p ;

3. Tính đường kính tối ưu $D = \frac{v_p}{n\lambda_p}$;

4. Căn cứ vào η_p tính được P .

Cũng có thể trong bài toán số I, ta hạn chế cả đường kính chân vịt D và n , thì ta phải tính $\lambda_p = \frac{v_p}{nD}$ và $K_1 = \frac{P}{\rho n^2 D^4}$ thì chân vịt không phải tối ưu, rõ ràng không nằm trên đường n_{opt} , ví dụ lại nằm tại C_3 (trên 8.27b) từ đó ta cũng sẽ có các thông số của chân vịt H/D , η_p v.v...

Ở cuối chương 7 cũng trình bày 2 đường cong tính năng chân vịt loại Troost B3.35 và B3.50 cùng với các đồ thị Papmiel của chân vịt loại B3.35, B3.50, B4.40 và B4.55 và cũng giới thiệu bảng tổng hợp trình tự tính toán chân vịt bằng các đồ thị Papmiel của chân vịt loại Troost. Bảng 8.3 này gồm nhiều vấn đề hơn trên bảng 8.2.

ở Liên Xô cũ (nước Nga ngày nay) phương pháp thiết kế chân vịt khác với các nước phương Tây, tuy rằng họ vẫn áp dụng các thành tựu của các nước đó về khoa học công nghệ, ví dụ họ đã biên tập lại các đồ thị $B_p - \delta$, $B_u - \delta$ của loại chân vịt Troost B3, B4 v.v... Nhưng dưới dạng K_1 và $K_2 = f(\lambda_p)$ và khi nghiệm lại sức bền và sủi bọt họ gộp lại khi chọn tỷ số mặt đĩa θ . Ở đây xin nêu lên để bạn đọc tham khảo.

Trước hết, để đảm bảo sức bền của chân vịt (sức bền của mặt cắt cánh chân vịt) phải nghiệm tổng ứng suất gồm ứng suất uốn gây nên bởi lực đẩy và ứng suất kéo do lực ly tâm gây nên đối với mặt cắt cánh không cho phép vượt quá ứng suất cho phép, tỷ số mặt đĩa của chân vịt phải:

$$\theta \geq 375 \left(\frac{aZ}{D\delta_e} \right)^{\frac{2}{3}} \sqrt[3]{\frac{mP}{10000}},$$

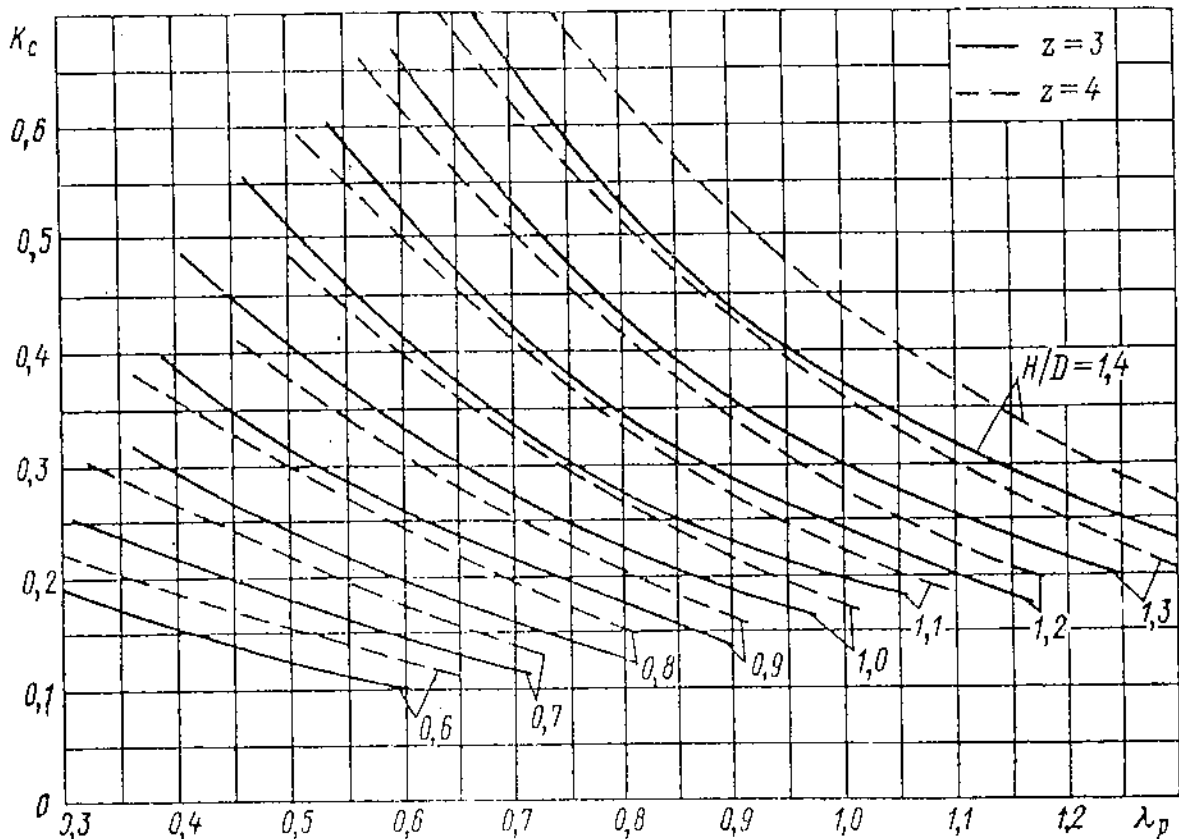
Trong đó: m xét đến ảnh hưởng tải không đồng đều đối với các cánh, đối với tàu phá băng lấy bằng 2, đối với tàu làm việc ở vùng băng lấy 1,75, đối với tàu kéo đẩy lấy 1,50 và đối với các tàu khác lấy 1,15.

$\delta_e = 0,08 \div 0,10$ chiều dày tương đối ở $0,60 \div 0,70R$; a – hệ số phụ thuộc vật liệu của cánh bằng 0,10 đối với gang, 0,065 đối với thép carbon và 0,060 đối với đồng.

Thứ hai chân vịt không được xảy ra hiện tượng sỏi bột, để đảm bảo điều đó tỷ số mặt đĩa phải:

$$\theta \geq 130 b_1 \frac{k_c}{\Delta p} (nD)^2,$$

Trong đó: n – vòng quay chân vịt trong một phút, $\Delta p = p_0 - p_H = p_a + \gamma h_B - p_H$ hiệu số áp lực; p_a – áp suất không khí Kg/cm^2 ; γ – tỷ trọng nước kG/m^3 ; h_B – độ sâu của tâm trục chân vịt, m ; $p_H = 200 \text{ kG/m}^2$ – áp suất bão hoà của hơi nước ở áp suất bình thường; $b_1 = 1,3 \div 1,6$ hệ số kinh nghiệm; k_c – đặc trưng sỏi bột, phụ thuộc vào $\lambda_p = \frac{v_p}{nD}$, tỷ số bước H/D và số cánh Z .



Hình 8.28. Đặc trưng sỏi bột của chân vịt $k_c = f(\lambda_p, H/D, z)$.

Sau khi tính được 2 tỷ số mặt đĩa như nêu ở trên thì tìm tỷ số mặt đĩa lớn hơn và tìm đồ thị $K_1 = f(\lambda_p)$ và $K_2 = f(\lambda)_p$ gần 0 ta tìm được để nghiệm lại các điều kiện còn lại.

8.3.2.5. Tính toán chân vịt tổng hợp theo đồ thị $B_p - \delta$ và $B_u - \delta$

Các điều kiện đã biết:

1) Các yếu tố của tàu: kích thước chủ yếu, đường hình dáng, lực cản ở các vận tốc, những vấn đề này ta đã xét trong chương 7, hoặc ta thử mô hình trong bể tàu hoặc tính toán theo phương pháp gần đúng, ta đã xét ba phương pháp: Papiel, Ayre và Sêri 60, đối với tàu biển có thể chọn 3 phương pháp đó hoặc một phương pháp tiên tiến nào công bố trên báo chí Quốc tế nào đó, sau đó phải tăng lên % theo điều kiện hàng hải cụ thể của tàu.

Sau đây là một ví dụ theo kiến nghị của các chuyên gia hàng hải và đóng tàu:

Thứ tự	Tuyến hàng hải	Công suất dự trữ $\Delta N\%$
1	Bắc Đại Tây Dương (đi về phía Đông)	15 – 20
2	Bắc Đại Tây Dương (đi về phía Tây)	20 – 30
3	Nam Đại Tây Dương	12 – 18
4	Châu Đại Dương	12 – 18
5	Thái Bình Dương	15 – 30
6	Đông Á	15 – 20

2) Các hệ số giảm lực đẩy t (các công thức 8.47) và hệ số dòng theo ω (từ 8.43 – 8.46) hoặc theo kết quả mô hình.

3) Đường cong $R = f(v)$ hoặc công suất kéo $N_o = f(v)$ như đã nói ở 1) có xét đến dự trữ tùy vùng hàng hải. Mối quan hệ giữa lực cản R , lực đẩy T và các hệ số như sau (xem mục 8.3.2.5.3).

$$T = \frac{R}{1 - t} = \frac{75 N_o}{v(1 - t)} \quad (8.54)$$

(N_o tính bằng sức ngựa, v tính bằng m/s thì lực đẩy T tính bằng kG).

$$\text{Vận tốc dòng trước chân vịt } v_p = v(1 - \omega) \quad (8.55)$$

4) Các yếu tố về máy chính (công suất và vòng quay), công suất truyền (dẫn) cho chân vịt N_d :

$$N_d = \eta_{ht} N_u \quad (8.56)$$

trong đó N_u – công suất máy trên trục ra (nếu có hộp số thì công suất đo ở trục ra của hộp số);

η_{ht} – hiệu suất hệ trục. Tổn thất trên trục không vượt quá $2 \div 4\%$, có nghĩa là $\eta_{ht} = 0,96 \div 0,98$.

Ngày nay đại bộ phận máy chính là máy diesel, đối với máy diesel thấp tốc thì công suất trên trục N_{tt} là công suất có hiệu của máy N_e , nếu là loại cao tốc (máy nhỏ, máy quân sự) thì phải qua sử dụng hộp số (vừa giảm tốc vừa đảo chiều) thì:

$$\eta_{hs} = \frac{N_{tt}}{N_e} \quad (8.57)$$

η_{hs} – hệ số hộp số. Loại bánh răng một cấp $\eta_{hs} = 0,97 - 0,99$

hai cấp $\eta_{hs} = 0,96 \sim 0,99$

Nhân tiện, nói thêm một số danh từ hay sử dụng trong ngành đóng tàu:

$$\text{Sức ngựa (mã lực)} = 75 \cdot \frac{\text{kG.m}}{\text{s}} \quad (8.58)$$

Ở các nước dùng hệ thống kích thước của Anh thường dùng HP (Horse Power)

$$1\text{HP} = 550 \frac{\text{ft lb}}{\text{s}} \quad (8.59)$$

ft (feet), lb – pounds 1 pound = 0,454 kilogram

75 HP = 76 mã lực

1HP = 1,014 mã lực

$$\text{Công suất đẩy của chân vịt} \quad N_T = \frac{T v_p}{75} \quad (\text{sức ngựa})$$

Hệ Anh: viết tắt là THP (Thrust Horsepower)

Công suất nhận được của chân vịt N_d , hệ Anh N_D (Delivered Horsepower)

Công suất (truyền cho) chân vịt N_a

Trong các công thức trên 75, 550 là hệ số K mà ta đã nói trong mục 8.3.2.5.3.

$$N_a = \eta_{ht} \cdot \eta_{hs} \cdot N_e \quad (8.61)$$

5) Đường kính lớn nhất của chân vịt có thể lắp sau tàu D_{max} .

6) Độ chìm của chân vịt: tính từ đường trục của chân vịt tới đường nước thiết kế cộng với chiều cao sóng ở đuôi tàu (chỗ lắp chân vịt).

7) Nhiệt độ cao nhất của nước biển.

Thiết kế chân vịt tiến hành theo hai giai đoạn, giai đoạn I chúng ta xác định đường kính chân vịt (sơ bộ), vòng quay chân vịt và công suất cần cấp cho chân vịt để đạt được vận tốc nhất định và như vậy ta có thể lựa chọn máy chính. Ở giai đoạn

II chúng ta sẽ xác định kích thước của chân vịt có xét đến sỏi bọt. Sau đây là trình tự tính toán qua một ví dụ cụ thể:

Giai đoạn I

Đối với một vận tốc nhất định v (hải lý/h) theo công thức (8.55) tính vận tốc trước chân vịt v_p , và tính lực đẩy chân vịt theo công thức (8.54) và tính công suất đẩy của chân vịt (theo HP) theo công thức:

$$N'_T = \frac{T v_p}{327,3} \quad (8.62)$$

Công suất này có thể giảm nếu chân vịt làm việc trong nước biển, vì đồ thị chân vịt được xây dựng trong bể thử (nước ngọt).

$$N_T = N'_T \frac{1000}{1025} \quad (8.63)$$

Trong giai đoạn I sử dụng đồ thị $B_u - \delta$, ta phải giả thiết các vòng quay n và tính B_u ứng với các trị số n theo công thức sau đây:

$$B_u = \frac{n N_T^{0,5}}{v_p^{2,5}} = \frac{0,05541 n T^{0,5}}{v_p^2} \quad (8.54)$$

Chọn số cánh chân vịt: đối với chân vịt có vòng quay thấp tàu một chân vịt lấy $Z = 4$ cánh và chọn tỷ số mặt đĩa $\frac{S_o}{S}$ (ước tính), sau khi có B_u ta sẽ không chọn trên đường cong $(\eta_p)_{opt}$ tối ưu mà chọn δ , nên giảm đi 5 ~ 8% đối với tàu một chân vịt và 4% đối với tàu hai chân vịt trên đường $B_u = \text{const}$ song song với trục tung.,

Căn cứ vào B_u và δ (đã giảm %) xác định tỷ số bước H/D và hiệu suất chân vịt η_p . Sau đó tính đường kính chân vịt D theo công thức:

$$\delta = \frac{Dn}{v_p} \rightarrow D = \frac{v_p \cdot \delta}{n} \quad (8.65)$$

Và công suất trục N_u hoặc công suất có hiệu của máy N_e :

$$\text{Công suất trên trục } N_u = \frac{N_o}{\eta_{vt} \cdot \eta_q \cdot \eta_p \cdot \eta_{ht}} \quad (8.66)$$

trong đó: $\eta_{vt} = \frac{1-t}{1-\omega}$, hiệu suất vỏ tàu;

$$\text{hiệu suất quay } \eta_q = \frac{\text{Hiệu suất chân vịt làm việc sau tàu}}{\eta_p}$$

về η_q để nghị xem bài tính mẫu trong mục 8.3.2.5.6.

$$\text{Công suất có hiệu quả của máy} \quad N_e = \frac{N_o}{\eta_{vt} \cdot \eta_q \cdot \eta_p \cdot \eta_{ht} \cdot \eta_{hs}} \quad (8.67)$$

η_{hs} – hiệu suất hộp số.

Kết quả tính toán cho phép ta vẽ đường cong $D = f(n)$ và $N_e = f(n)$. Những điểm nằm ở trên đường cong $N_e = f(n)$ và cao hơn nó đều thỏa mãn yêu cầu: tàu sẽ đạt được tốc độ yêu cầu. Nếu đường kính ta chọn lớn hơn đường kính cho phép (vì chọn vòng quay quá thấp) thì ta phải chọn đường kính cho phép đó và các thông số η_p , H/D , N_e phải ứng với δ (theo D cho phép).

Giai đoạn II

Trong giai đoạn II ta thiết kế chân vịt theo máy đã chọn để đạt được vận tốc lớn nhất cho tàu. Ta sẽ tính toán gần đúng từng bước một. Để đạt mục tiêu đó ta giả thiết tốc độ đạt được của tàu (tính theo hải lý/h) và tính $v_p = (1 - \omega) v$, công suất truyền cho chân vịt N_d bằng HP:

$$N_d = \eta_{ht} \cdot \eta_{hs} \cdot N_e \cdot \frac{75}{76} \cdot \frac{1000}{1025} \quad (8.68)$$

$$\text{Căn cứ vào } v_p \text{ và } N_d \text{ tính} \quad B_p = \frac{n N_d^{0.5}}{v_p^{2.5}} \quad (8.69)$$

Ta sử dụng các đồ thị $B_p - \delta$ cũng như $B_u - \delta$ có loại 3 và 4 cánh cho các loại tỷ số mặt đĩa, ta dự đoán $\frac{S_o}{S}$ nằm giữa hai trị số $\frac{S_o}{S}$ mà đồ thị có. Cũng như trường hợp $B_u - \delta$, ta chọn δ không nằm trên đường $B_p = \text{const}$ gặp đường $\eta_p(\text{opt})$ mà giảm đi 5 ÷ 8% đối với tàu 1 chân vịt và 4% đối với tàu 2 chân vịt. Căn cứ vào B_p và δ (đã trừ %) tính H/D và η_p và tính được đường kính D .

Về nguyên tắc, khi chọn tỷ số mặt đĩa $\frac{S_o}{S}$ ta sẽ chọn tỷ số mặt đĩa nhỏ nhất đảm bảo không xảy ra sủi bọt. Ta phải sử dụng kết quả nghiên cứu của Viện

Wageningen Hà Lan, được thể hiện qua đường cong $T/S_p/p_o - p_d = f \left(\frac{p_o - p_d}{\frac{1}{2} \rho v_p^2} \right)$,

đây là đường cong giới hạn, nghĩa là T/S_p không vượt qua giới hạn, nếu vượt quá thì sẽ xảy ra sủi bọt, tức là S_p (diện tích hình chiếu của các cánh trên mặt phẳng đĩa với trục chân vịt) phải đạt được trị số giới hạn nhất định, nếu nhỏ hơn trị số đó, sẽ xảy ra sủi bọt.

Trước tiên ta phải tính trị số:

$$\sigma_o = \frac{p_o - p_d}{\frac{\rho}{2} v_p^2} \quad (8.70)$$

Áp suất tĩnh ở trục chân vịt:

$$p_o = p_a + \gamma h \quad (8.71)$$

p_a – áp suất khí trời = 10333 [kG/m²];

γ – tỷ trọng nước biển = 1025 [kG/m³];

h – độ chìm của trục chân vịt so với mặt nước biển ở đuôi tàu.

p_d – áp suất sôi của nước ở các nhiệt độ (đã được giới thiệu trên bảng 8.1)

t [°C]	0	5	10	15	20	25	30	35
p_d (kG/m ²)	62	89	125	174	238	323	433	573

Để tính tỷ số mặt đĩa $\frac{S_o}{S}$ theo yêu cầu về chống sủi bọt, ta phải tính trị số σ_o theo công thức (8.70) và từ đường cong trên hình 8.32 ta lấy được $\frac{T/S_p}{p_o - p_d}$.

Để tìm được diện tích hình chiếu S_p đủ đảm bảo không sủi bọt ta phải tính lực đẩy T bằng việc sử dụng công thức:

$$T = \frac{75 N_d \eta_p \eta_q}{v_p} \quad (8.72)$$

trong đó N_d – công suất truyền cho chân vịt (từ máy truyền cho chân vịt), tính bằng sức ngựa trong nước biển, còn v_p tính bằng m/s.

Diện tích hình chiếu các cánh trên mặt đĩa S_p tính theo công thức:

$$S_p = \frac{T}{(p_o - p_d) \frac{T/S_p}{p_o - p_d}} \quad (8.73)$$

Diện tích hình chiếu các cánh trên mặt đĩa thực tế S'_p đối với chân vịt có tỷ số mặt đĩa S_p/S và H/D được tính gần đúng theo công thức được Viện tàu thủy Wageningen giới thiệu:

$$S'_p = \frac{S_o}{S} \frac{\pi D^2}{\varphi} (1,067 - 0,229 H/D) \quad (8.74)$$

Việc tính toán các trị số T , S_p và S'_p được tính toán cho 2 (tỷ số mặt đĩa) của $B_p - \delta$. Kết quả tính toán được trình bày trên hình 8.31.

Đường cắt giữa 2 đường thẳng S_p và S'_p là tỷ số mặt đĩa $\frac{S_o}{S}$ yêu cầu và từ đó cũng tìm được H/D và η , D v.v...

Cuối cùng chúng ta tìm được công suất cần thiết phải cấp cho chân vịt N_d :

$$N_d = \frac{N_o}{\eta_w \cdot \eta_q \cdot \eta_p} \quad (8.75)$$

N_o lấy từ đường cong lực cản, hoặc đường cong lực công suất kéo (hình 8.29). Công suất cần thiết phải thích ứng với công suất của máy chính. Nếu tra công suất đó không thích ứng thì phải giảm vận tốc và tính toán lại. Thông thường chỉ cần tính hai đến ba lần là cùng.

Trong trường hợp đường cong tối ưu tính được vượt quá đường kính lớn nhất cho phép D_{max} , thì ta tính: $\delta = \frac{D \cdot n}{v_p}$ và căn cứ vào $B_p \delta$ (mới) tìm được H/D η_p .

BÀI TOÁN CỤ THỂ

Quay về con tàu mà ta đã tính lực cản trong 7.12.4.

Kích thước chính của tàu $L = 141,6$ m, $L_{\omega L} = 145,76$ m, $B = 19,4$ m, $T = 8,34$ m, $\delta = 0,675$, $\beta = 0,97$, $\alpha = 0,84$. Lượng chiếm nước $D = 15.950.10^3$ kG.

Ta phải thiết kế chân vịt cũng như chọn máy chính để tàu đảm bảo tàu đạt 16,5 hải lý/h. Lực cản được tính theo sêri 60.

GIẢI

Xác định các thông số đầu vào:

1. Hệ số dòng theo

$$\omega = 0,508 - 0,05 = 0,50 \cdot 0,675 - 0,05 = 0,288$$

Hệ số giảm lực đẩy:

$$t = \left(1,57 - 2,3 \frac{\delta}{\alpha} + 1,58 \right) w = \left(1,57 - 2,3 \frac{0,675}{0,84} + 1,5 \cdot 0,675 + 1,5 \cdot 0,675 \right) \cdot 0,288 = 0,21$$

2. Vẽ đường cong mã lực (công suất) kéo với điều kiện khí hậu vùng Nam Mỹ, tăng 18% lực cản, như trên hình 8.29.

3. Từ đường hình dáng của tàu ta thấy đường kính chân vịt tối đa có thể lắp sau tàu $D_{max} = 5,80$ m.

4. Cũng từ đường hình dáng, đường trục chân vịt cách đường nước thiết kế 4,90 m, cộng với chiều cao sóng khoảng 0,8 m, ta có mức nước đường tâm chân vịt cách mặt nước $h = 5,70$ m.

5. Nhiệt độ cao nhất của nước biển lấy $t = 20^\circ\text{C}$.

Giai đoạn I

1) Đối với $v = 16,5$ hải lý/h, tính vận tốc tới chân vịt $v_p = (1 - \omega) v = 16,5 (1 - 0,288) = 11,75$ hải lý/h $= 6,05$ m/s.

2) Từ đường cong công suất kéo (hình 8.29), ta tìm được khi $v = 16,5$ hải lý/h:

$$N_o = 5740 \text{ sức ngựa}$$

3) Yêu cầu có lực kéo T tính theo công thức (8.54):

$$T = \frac{75 \cdot N_o}{v(1 - t)} = \frac{75 \cdot 5740}{0,515 \cdot 16,5 (1 - 0,21)} = 64\,2000 \text{ kG} = 142\,000 \text{ lb}$$

4) Công suất kéo tính theo công thức (8.62):

$$N_T = \frac{T v_p}{327,3} = \frac{142000 \cdot 11,75}{327,3} = 5100 \text{ HP}$$

5) Công suất kéo giảm đi do chân vịt làm việc trong nước biển, theo công thức (8.63):

$$N_T = N_T^* \frac{1000}{1025} = 5100 \cdot \frac{1000}{1025} = 4970 \text{ HP}$$

6) Chọn chân vịt 4 cánh có tỷ số mật đĩa $S_p/S = 0,55$.

7) Các tính toán tiếp theo dựa vào đồ thị $B_u - \delta$ của B.4.55 trình bày trên bảng 8.3:

Bảng 8.3. Tính chân vịt và công suất của máy chính

n vg/ph	B_u	δ	0,945	H/D	η_p	D [feet]	D [m]	N_o [sức ngựa]
1	2	3	4	5	6	7	8	9
100	14,9	168	158,0	1,01	0,622	18,58	5,67	8300
110	16,4	177	166,4	0,960	0,610	17,79	5,43	8470
120	17,9	187	176,0	0,925	0,595	17,19	5,24	8690
130	19,4	195	183,2	0,900	0,580	16,58	5,06	8910
140	20,8	203	191,0	0,875	0,570	16,03	4,89	9060
150	22,3	210	197,5	0,850	0,561	15,48	4,72	9200

Giải thích tính toán trong bảng 8.3:

1. Giả thiết khoảng cách 10 vg/ph

$$2. B_u = \frac{n N_T^{0,5}}{v_p^{2,5}} = n \frac{\sqrt{4970}}{\sqrt{11,75^5}} = 0,149 n$$

3. Lấy trên đường cong (η_p) tối ưu theo trị số B_u ($B_u - \delta$)

4. Giảm 6% δ từ bước 3.

5,6. Căn cứ vào B_u và δ (đã giảm 6%)

$$7. D = \frac{0,94 \delta v_p}{n} = \frac{0,94 \delta \cdot 11,75}{n} = 11,05 \frac{\delta}{n}$$

$$8. N_e = \frac{N_o}{\eta_q \cdot \eta_{vt} \cdot \eta_p \cdot \eta_{ht} \cdot \eta_{hs}} = \frac{5740}{1,025 \cdot 1,11 \cdot \eta_p \cdot 0,97 \cdot 1,0} = \frac{5190}{\eta_p}$$

Trong đó: $\eta_q = 1,025$, $\eta_{ht} = 0,97$, $\eta_{hs} = 1,0$ (vì tàu không dùng hộp số)

$$\eta_{vt} = \frac{1-t}{1-\omega} = \frac{1-0,21}{1-0,288} = 1,11$$

Kết quả tính toán thể hiện trên hình 8.30 bằng $D = f(n)$ và $N_e = f(n)$. Những điểm nằm trên đường cong $N_e = f(n)$ và phía trên đường cong đó đều thỏa mãn các mã lực có hiệu của máy và đảm bảo tàu chạy được 16,5 hải lý/giờ. Chúng ta chọn máy Sulzer 6RD76 với $N_e = 9000$ sức ngựa 119 vg/ph. Đường kính $D = 5,29$ m ứng với máy này nhỏ hơn đường kính chân vịt cho phép D_{max} .

Giai đoạn II

Vì công suất của máy chính lớn hơn công suất cần thiết để tàu đạt tới 16,5 hải lý/h nên thực tế tàu sẽ đạt tới tốc độ lớn hơn. Giả thiết tàu đạt tốc độ 16,8 hải lý/h để tính các yếu tố của chân vịt. Sự đúng đắn của giả thiết này sẽ được nghiệm lại trong phần cuối của tính toán về sự ăn khớp hay không giữa công suất cần thiết và công suất cấp cho chân vịt.

1) Công suất truyền cho chân vịt theo công thức (8.61):

$$N_d = \eta_{ht} \cdot \eta_{hs} \cdot N_e = 0,97 \cdot 1,00 \cdot 9000 = 8730 \text{ sức ngựa}$$

Nếu tính trong nước ngọt và HP thì:

$$N_d = \eta_{ht} \cdot \eta_{hs} \cdot N_e \cdot \frac{75}{76} \cdot \frac{1000}{1025} = 0,97 \cdot 1,00 \cdot 900 \cdot \frac{75}{76} \cdot \frac{1000}{1025} = 8400 \text{ HP}$$

2) Chúng ta tăng vòng quay máy chính lên 1% so với định mức

$$n = 120 \text{ vg/ph}$$

3) Các việc tính toán sẽ theo bảng 8.4

Giải thích công việc tính toán trong bảng 8.4.

1. v – vận tốc giả thiết từng bước một,

2. $v_p = v(1 - \omega) = v(1 - 0,288) = 0,712 v$,

3. $0,515 v_p$,

$$4. B_p = \frac{n N^{0,5}}{v_p^{2,5}} = \frac{120 \sqrt{8400}}{v_p^{2,5}} = \frac{11000}{v_p^{2,5}} \quad (v_p - \text{hải lý/h})$$

5. δ căn cứ vào B_p (từ bước 4) tìm trên đường cong $(\eta_p)_{opt}$,

6. δ được giảm đi 6% so với bước 5,

7 và 8. Tra theo B_p và $0,94\delta$,

$$9. D = \frac{0,94 \delta v_p}{n} \quad (v_p - \text{hải lý/h}),$$

11. Xem mục 5,

12. Xem mục 6,

13 và 14. Xem mục 7 và 8,

15. Xem mục 9,

16. Xem mục 10.

$$17. \sigma_o = \frac{p_o - p_d}{\frac{1}{2} \rho v_p^2} = \frac{P_b + \gamma h - p_d}{\frac{1}{2} \rho v_p^2} = \frac{2(10330 + 1025 \cdot 5,7 - 238)}{104,5 \cdot v_p^2} =$$

$$= \frac{305}{v_p^2} \quad (v_p \text{ tính bằng m/s})$$

18. Đo từ hình 8.32

$$19. T = \frac{75 \cdot N_d \eta_p \eta_q}{v_p} = \frac{75 \cdot 8730 \cdot 1,025 \cdot \eta_p}{v_p} = 671100 \frac{\eta_p}{v_p}$$

trong đó N_d – sức ngựa, v_p – m/s, $\eta_q = 1,025$.

$$20. S_p = \frac{T}{\frac{T}{S_p}} = \frac{T}{\frac{T}{S_p}} = \frac{15935 \cdot \frac{T}{S_p}}{p_o - p_d}$$

$$21. S'_p = 0,40 \frac{\pi D^2}{4} (1,067 - 0,229 H/D) \quad (D \text{ tính bằng m})$$

22. Theo bước 19

23. Theo bước 20

$$24. S'_p = 0,55 \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) (1,067 - 0,229 H/D) \quad (D \text{ tính bằng } M)$$

25 . 26. 27. Nội suy từ 7, 8 và 10 cùng với 13, 14 và 16 trên hình 8.31.

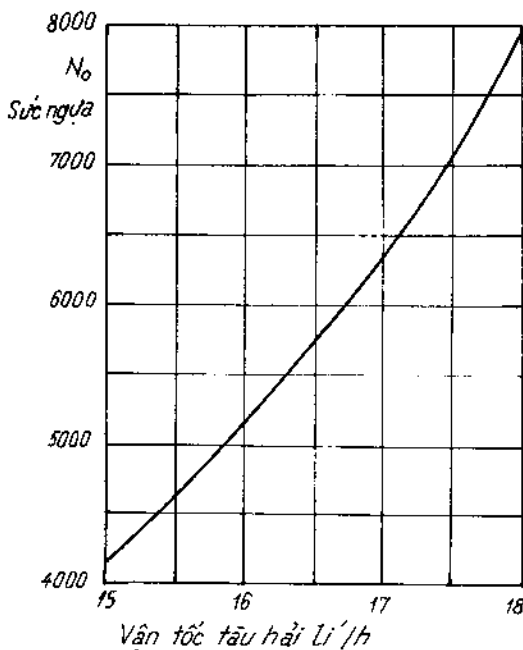
$$28. N_d = \frac{N_o}{\eta_v \cdot \eta_q \cdot \eta_p} = \frac{1}{1,11 \cdot 1,025} \frac{N_o}{\eta_p} = \frac{1}{1,14} \cdot \frac{v_o}{\eta_p}$$

(N_o từ hình 8.29 với tốc độ giả thiết v)

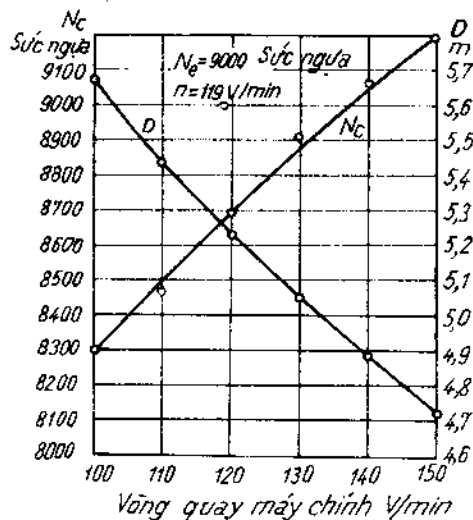
Công suất cần thiết cho chân vịt ($N_d = 8700$ sức ngựa) với công suất cấp cho chân vịt $N_d = 8730$ sức ngựa cho phép ta chấp nhận kết quả lần tính thứ hai.

$$D = 5,30 \text{ m}, \quad H/D = 0,920, \quad \eta_p = 0,595, \quad \frac{S_o}{S} = 0,545$$

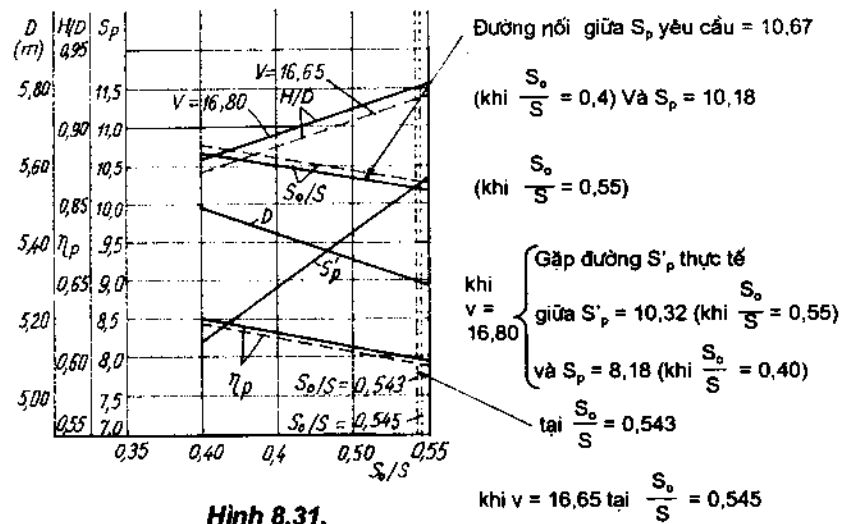
Ghi chú: Ở giai đoạn II, ta giả thiết vận tốc của tàu 16,8 hải lý/h và kết quả tính toán lần thứ nhất S'_p (bước 21) = $8,18 \text{ m}^2 < S_p$ (yêu cầu từ chống sủi bọt theo bước 20) = $10,67 \text{ m}^2$, nên phải tăng $\frac{S_o}{S} = 0,55$, và S'_p ($10,32 > 10,18$) thỏa mãn yêu cầu chống sủi bọt, nhưng N_d cần thiết $8930 > 8730$ nên phải giảm tốc độ, ta vận dụng công thức (7.67) thì $v = 16,80$. $\sqrt[3]{\frac{8730}{8930}} = 16,67$, vì vậy ta bắt đầu tính lần thứ hai với giả thiết $v = 16,65$ hải lý/h như trên bảng 8.4, cuối cùng ta chọn được tỷ số mật đĩa $\frac{S_o}{S} = 0,545$.



Hình 8.29.



Hình 8.30



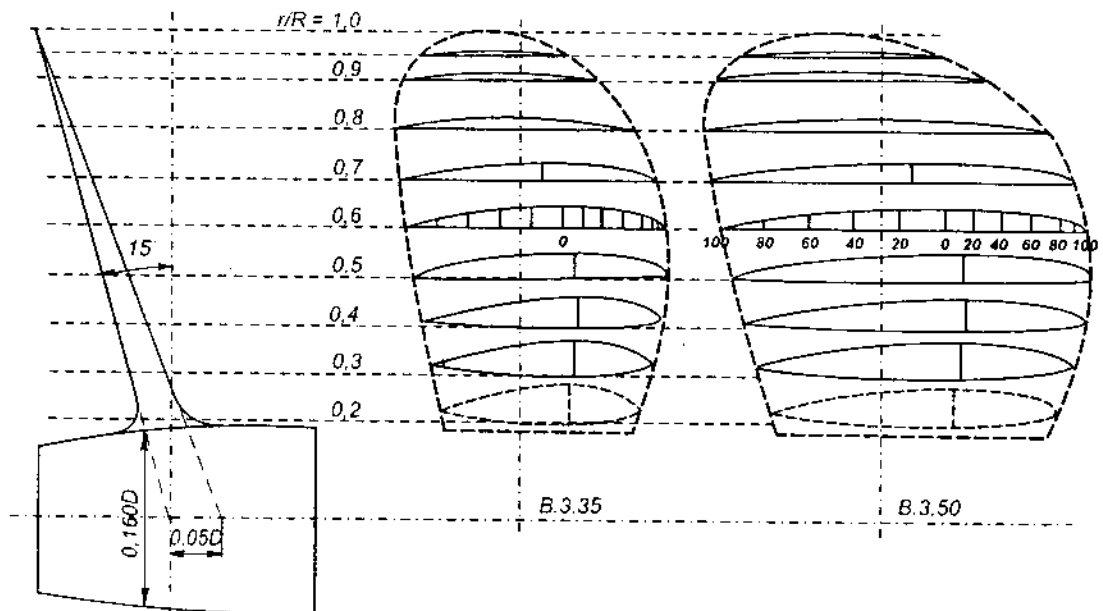
Hình 8.31.

Hình dáng mặt khai triển của chân vịt Troost xêri B (Wageningen Hà Lan)

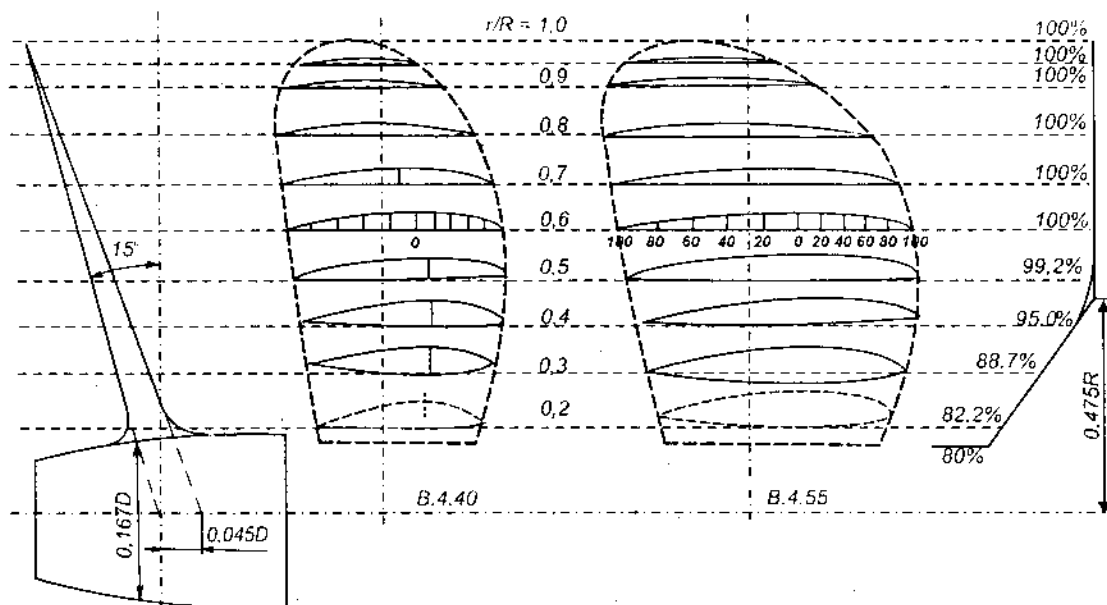
a) Loại 3 cánh Bước không thay đổi trên bề mặt cánh

b) Loại 4 cánh Bước thay đổi từ $0.6 = \frac{r}{R}$ đến củ.

a)



b)

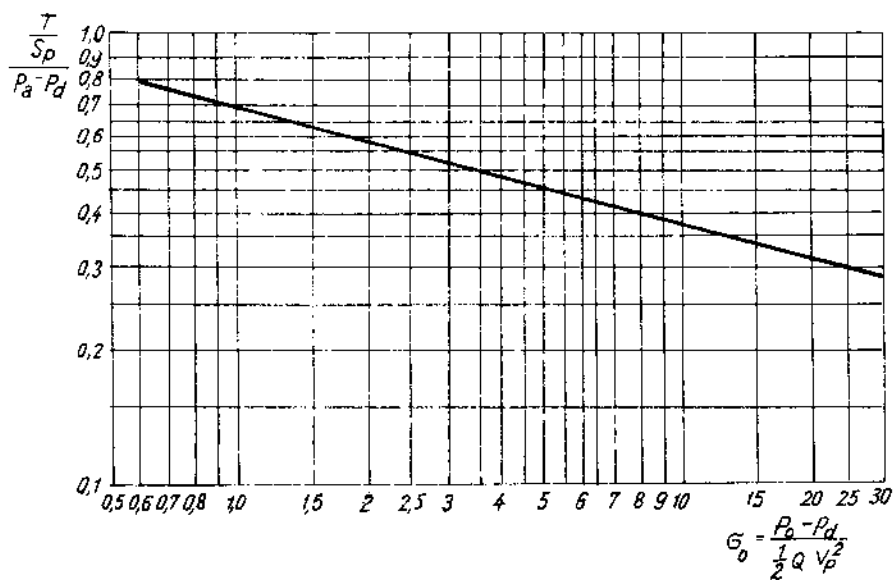


Bảng 8.4. Tính chân vịt

1		v	hải lý/h	16,80	16,65
2		v_p	"	11,98	11,84
3		v_p	m/s	6,15	6,10
4		B_p	—	22,3	22,8
5	Chân vịt B 4.40	δ	—	192	194
6		$0,94 \delta$	—	180,5	182,5
7		η_p	—	0,626	0,623
8		H/D	—	0,88	0,87
9		D	feet	17,98	17,98
10		D	m	5,49	5,49
11	Chân vịt B 4.55	δ	—	185	187
12		$0,94 \delta$	—	174	176
13		η_p	—	0,597	0,594
14		H/D	—	0,93	0,92
15		D	feet	17,35	17,35
16		D	m	5,29	5,29

Bảng 8.4 tiếp theo

17		σ_o	-	8,05	8,20
18		$\frac{I}{S_p}$ $p_o - p_d$	-	0,402	0,400
19	Chân vịt	T	kG	68400	68500
20	B 4.40	S_p	m ²	10,67	10,74
21		S'_p	m ²	8,18	8,20
22	Chân vịt	T	kG	65200	65300
23	B 4.55	S_p yêu cầu	m ²	10,18	10,23
24		S'_p	m ²	10,32	10,33
25		η_p	-	0,598	0,595
26	Nội suy	H/D	-	0,927	0,920
27		D	m	5,30	5,30
28		N_d	Sức ngựa	8930	8700



Hình 8.32.

Tung độ mặt cắt cánh tính bằng % chiều dày lớn nhất của mặt cắt

	$\frac{r}{R}$	Từ tung độ mặt cắt cánh đến chỗ dày nhất của mặt cánh														Đường kính (chiều dày) mút cánh tính bằng % chiều dày lớn nhất của mặt cắt		
		Từ mép theo tới chỗ dày nhất							Từ đáy nhất tới mép dẫn									
		100%	80%	60%	40%	20%	20%	40%	60%	80%	90%	95%	100%	r/R	Mép theo	Mép dẫn		
Tung độ lưng cánh	0,2		53,35	72,65	86,90	96,45	98,60	94,50	87,00	74,40	64,35	56,95		0,2	6,4			
	0,3		50,95	71,60	86,80	96,80	98,40	94,00	85,80	72,50	62,65	54,90		0,3	6,5			
	0,4		47,70	70,25	86,55	97,00	98,20	93,25	84,30	70,40	60,15	52,20		0,4	6,6			
	0,5		43,40	68,40	86,10	96,95	98,10	92,40	82,30	67,70	56,80	48,60		0,5	6,7			
	0,6		40,20	67,15	85,40	96,80	98,10	91,25	79,35	63,60	52,20	43,35		0,6	8,8			
	0,7		39,40	66,90	84,90	96,65	97,60	88,80	74,90	57,00	42,20	35,00		0,7	6,9			
	0,8		40,95	67,80	85,30	96,70	97,00	85,30	68,70	48,00	34,55	25,45		0,8	7,0			
	0,9		45,15	70,00	87,00	97,00	97,00	87,00	70,00	45,15	30,10	22,00		0,9	11,1	11,1		
	0,2	30,00	18,20	10,90	5,45	1,55	0,45	2,30	5,90	13,45	20,30	26,20	40,00	0,95	15,7	15,7		
Tung độ mặt cánh	0,3	25,35	12,20	5,80	1,70		0,05	1,30	4,60	10,85	16,55	22,20	37,55			26,7		
	0,4	17,85	6,20	1,50				0,30	2,65	7,80	12,50	17,90	34,50					
	0,5	9,70	1,75						0,70	4,30	8,45	13,30	30,40					
	0,6	5,10								0,80	4,45	8,40	24,50					
	0,7										0,40	2,45	16,05					
	0,8												7,40					

Tư liệu để vẽ đường cong triển khai và chiều dày lớn nhất của loại 3 cánh

B-3-35 chiều rộng mặt cắt cánh ở $0,6R = 0,2598D$

B-3-50 chiều rộng mặt cắt cánh ở $0,6R = 0,3698D$

	$\frac{r}{R}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Tính theo phần trăm chiều rộng cánh ở $0,6R$	Từ mặt chuẩn đến mép theo	28,68	32,67	36,62	40,53	44,18	46,97	48,22	45,46	14,87
	Từ đường chuẩn tới mép dẫn	46,05	51,24	54,91	56,52	55,82	52,22	44,63	30,31	-
	Chiều rộng mặt cắt cánh b	74,73	83,91	91,53	97,05	100,0	99,19	92,85	75,77	-
Chiều dày lớn nhất của mặt cánh tính bằng % D		4,06	3,59	3,12	2,65	2,18	1,71	1,24	0,77	0,30
Từ chỗ dày nhất của mặt cắt tới mặt dẫn % b		35,0	35,0	35,0	35,5	38,9	44,2	47,8	50,0	-

Chân vịt Troost B-4 tư liệu để vẽ đường cong triển khai và chiều dày lớn nhất

B-4-40 chiều rộng mặt cắt cánh ở $0,6R = 0,2187D$

B-4-55 chiều rộng mặt cắt cánh ở $0,6R = 0,3007D$

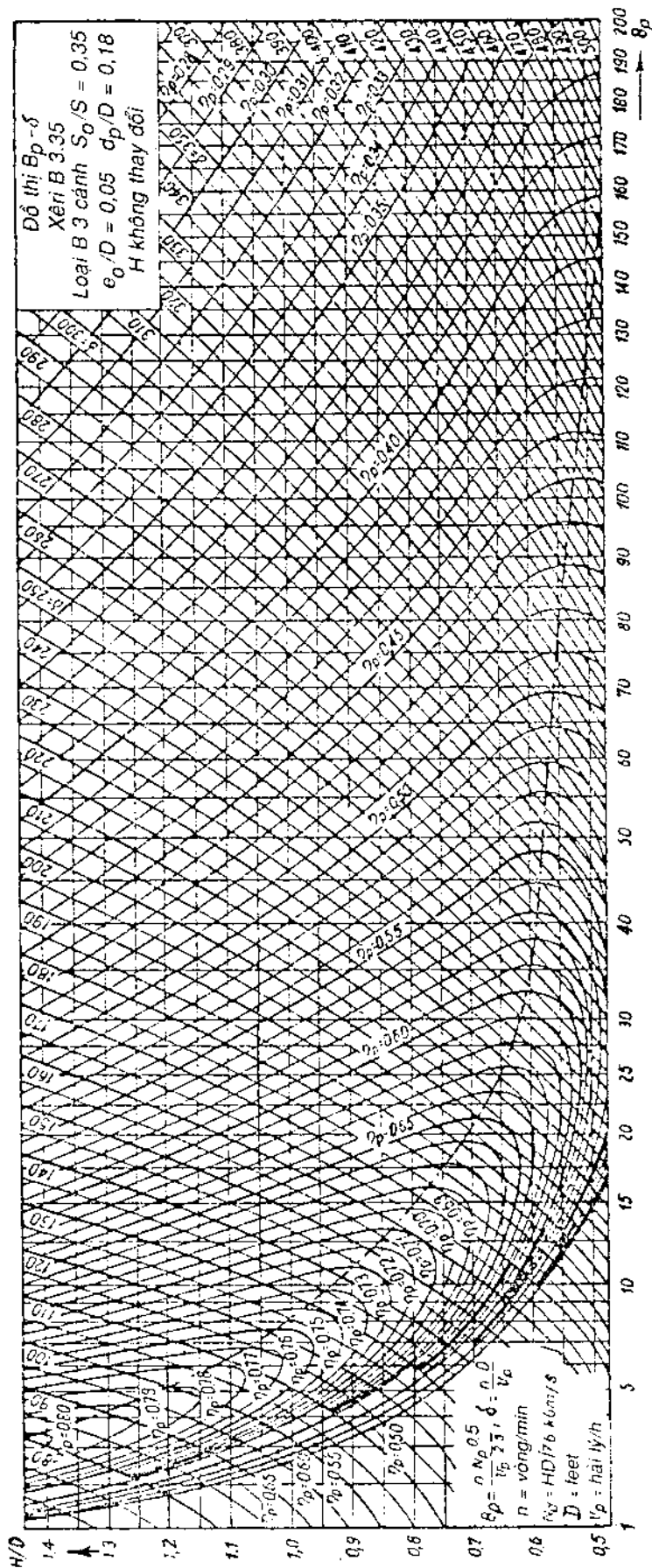
	$\frac{r}{R}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Tính theo % của cánh lớn nhất, lấy ở $0,6R$	Từ đường chuẩn đến mép theo	29,18	33,32	37,30	40,78	43,92	46,68	48,35	47,00	20,14
	Từ đường chuẩn đến mép dẫn	46,90	52,64	56,32	57,60	56,08	51,40	41,65	25,35	-
	Chiều rộng mặt cắt b	76,08	85,96	93,62	98,38	100,0	98,08	90,00	72,35	-
Chiều dày lớn nhất của mặt cắt tính bằng % D		3,66	3,24	2,82	2,40	1,98	1,56	1,14	0,72	0,30
Từ chiều dày nhất tới mép dẫn tính bằng % b		35,0	35,0	35,0	35,5	38,9	44,3	47,9	50,0	-

Bảng 8.5. Bảng tổng hợp trình tự tính toán chân vịt bằng các đồ thị tính năng chân vịt (theo phương pháp Papiel)

	I	II	III	IV	V	VI	VII
Đầu vào	$v, R, \omega, t, z, \theta, n$	$N_p, n, R(v), \omega, t, z, \theta$	$v, R, D, n, \omega, t, z, \theta$	$N_p, n, R(v), D, \omega, t, z, \theta$	$v, R, \omega, t, z, \theta$	$N_p, R(v), \omega, t, z, \theta$	$N_p, n, v, R, \omega, t, z, \theta$
Đầu ra	$D_{opt}, \frac{H}{D}, \eta_d$	$D_{opt}, \frac{H}{D}, \eta_d, v$	$\frac{H}{D}, N_p, \eta_d$	$\frac{H}{D}, v, \eta_d$	$D_{opt}, \eta_{opt}, \frac{H}{D}, N_p, \eta_d$	$D_{opt}, \eta_{opt}, \frac{H}{D}, \eta_d, v$	$D_{opt}, \frac{H}{D}, \eta_{opt}, T$
Trình tự tính toán	$P \frac{R}{1-t}$	$v - \text{cho trước}$	$v_p = (1-\omega) v$	$v - \text{cho trước}$	$v_p = (1-\omega) v$	$v - \text{cho trước}$	$v_p = (1-\omega) v$
	$v_p = (1-\omega) v$	$v_p = (1-\omega) v$	$\lambda_p = \frac{v_p}{nD}$	$v_p = (1-\omega) v$	$P = \frac{R}{1-t}$	$v_p = (1-\omega) v$	$K''_n = \frac{v_p}{\sqrt{n}} \times \sqrt{\frac{\rho v_p}{N_p}}$
	$K'_n = \frac{v_p}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\rho}{P}}$	$K''_n = \frac{v_p}{\sqrt{n}} \times \sqrt{\frac{\rho v_p}{N_p}}$	$P = \frac{R}{1-t}$	$\lambda_p = \frac{v_p}{nD}$	K'_{opt}	K''_{opt}	$\lambda_p = f(K''_n)$
	$\lambda_p = f(K'_n)$	$\lambda_p = f(K''_n)$	$K_1 = \frac{P}{\rho n^2 D^4}$	$K_2 = \frac{11,93 N_p}{\rho n^3 D^5}$	$\eta_{p, max}$	$\eta_{p, max}$	$\frac{H}{D} = f(K''_n)$

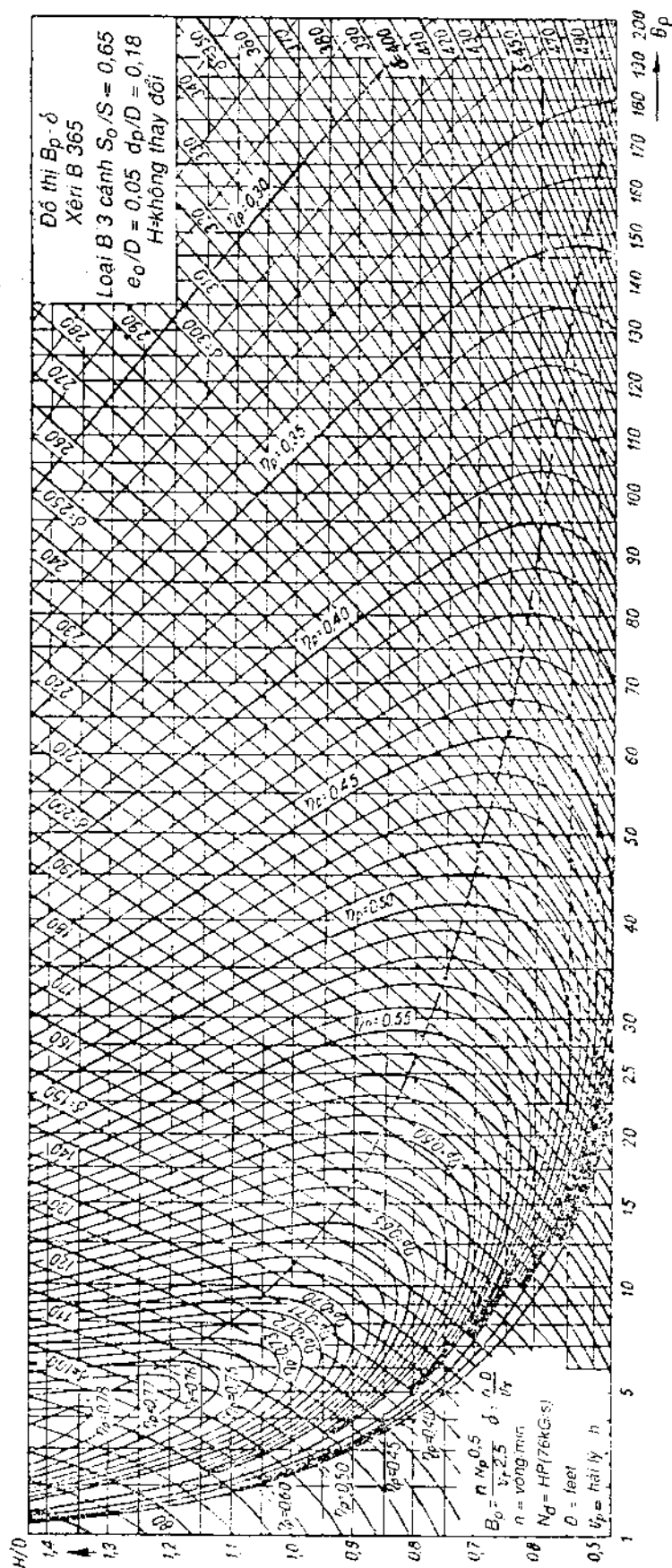
Bảng 8.5 tiếp theo

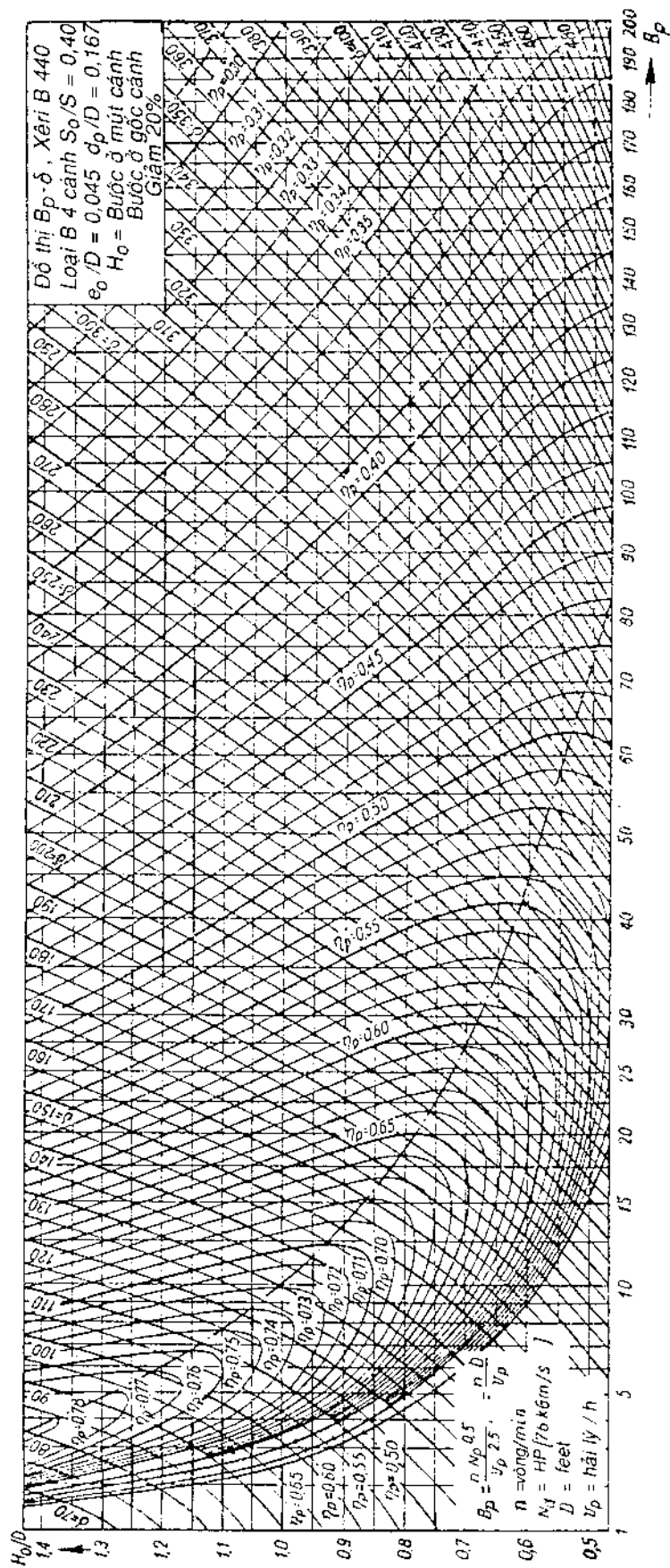
Trình tự tính toán	$\frac{H}{D} = f(K'_n)$	$\frac{H}{D} = f(K''_n)$	$\frac{H}{D} = f(\lambda_p, K_1)$	$\frac{H}{D} = f(\lambda_p, K_2)$	$\lambda_p = f(K''_{nopt})$	$\lambda_p = f(K'_{nopt})$	$K_1 = f\left(\lambda_p, \frac{H}{D}\right)$
	$\eta_p = f(K'_n)$	$\eta_p = f(K''_n)$	$\eta_p = f(\lambda_p, K_1)$	$\eta_p = f(\lambda_p, K_2)$	$\frac{H}{D} = f(K''_{nopt})$	$\frac{H}{D} = f(K'_{nopt})$	
	$D_{opt} = \frac{v_p}{\lambda_p \eta}$	$D_{opt} = \frac{v_p}{\lambda_p \eta}$		$\eta_d = \eta_K \eta_p$	$n_{opt} = \frac{v_p^2}{K''_{nopt} \cdot 2} \times$	$n_{opt} = \frac{v_p^2}{K'_{nopt} \cdot 2} \times$	$P = K_1 \rho n^2 D_{opt}^4$
					$\times \sqrt{\frac{\rho v_p}{N_p}}$	$\times \sqrt{\frac{\rho}{P}}$	
	$\eta_d = \eta_K \eta_p$	$\eta_d = \eta_K \eta_p$	$N_p = \frac{Rv}{75\eta_d}$	$P_c = \frac{75\eta_d N_p}{v}$	$D_{opt} = \frac{v_p}{\lambda_p \eta_{opt}}$	$D_{opt} = \frac{v_p}{\lambda_p \eta_{opt}}$	$P_e = (1 - i) P$
	$N_p = \frac{R \cdot v}{75\eta_d}$	$P_e = \frac{75\eta_d N_p}{v}$			$\eta_d = \eta_K \eta_{p \max}$	$\eta_d = \eta_K \eta_{p \max}$	$T = P_e - R_c$
						$P_e = \frac{75\eta_d N_p}{v}$	$\eta_o = \frac{Tv}{75N_p}$

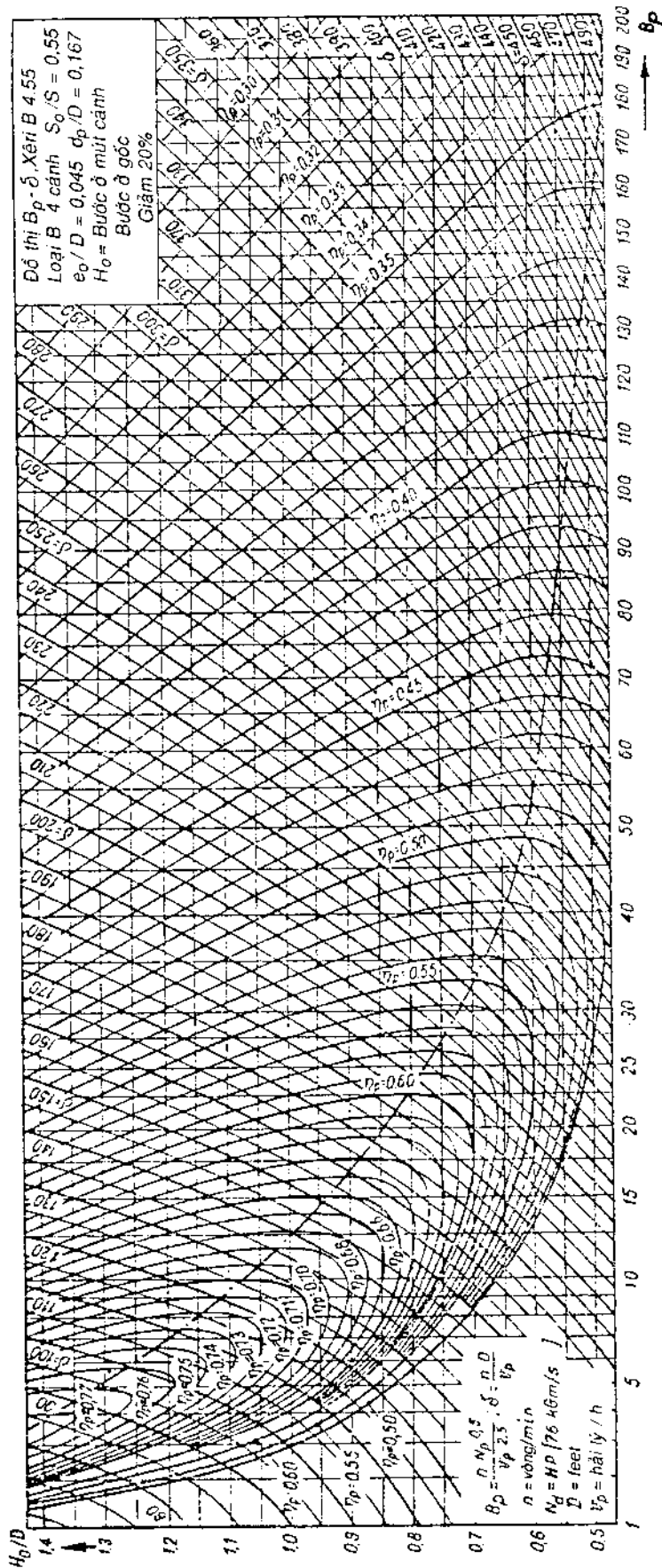


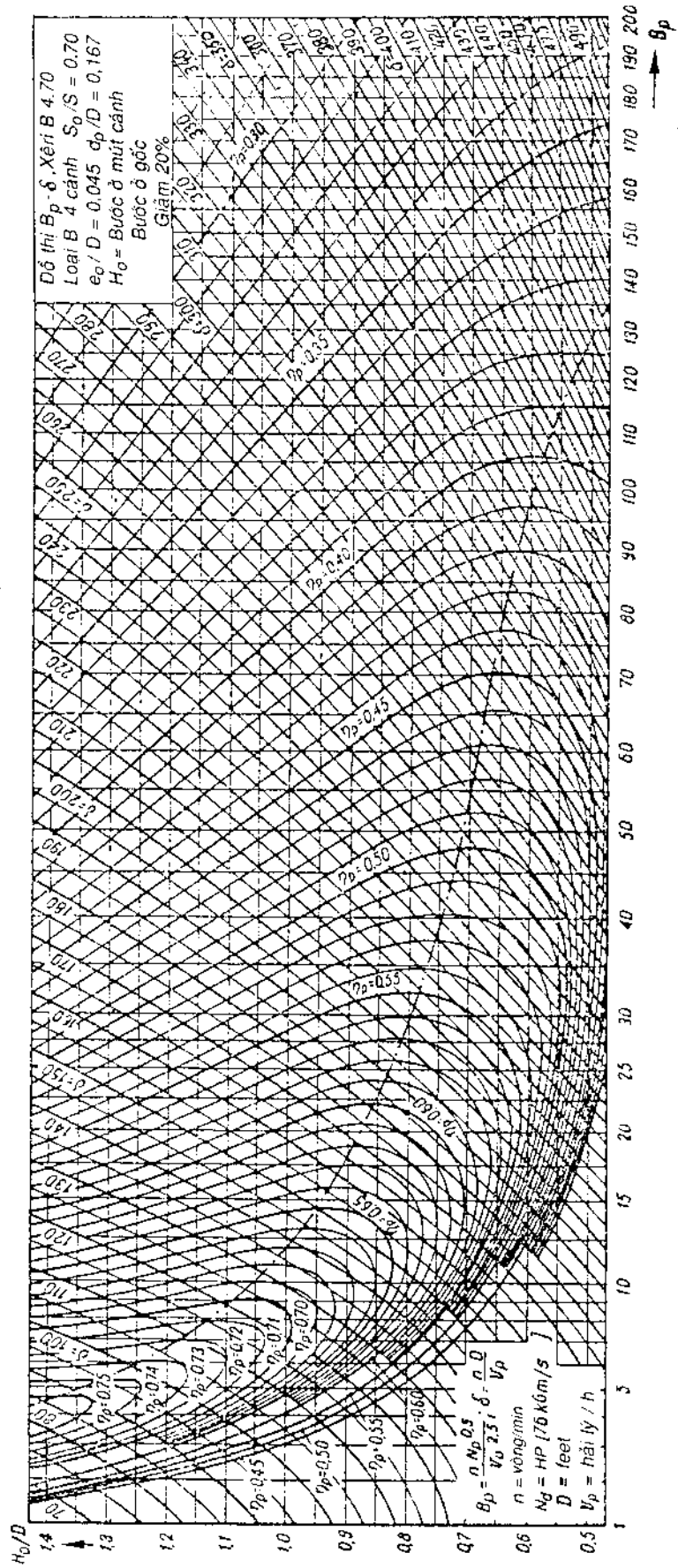
Trong tất cả đồ thị B_p , B_u thì $D = \text{feet}$ $v_p = \text{hải lý} / h$

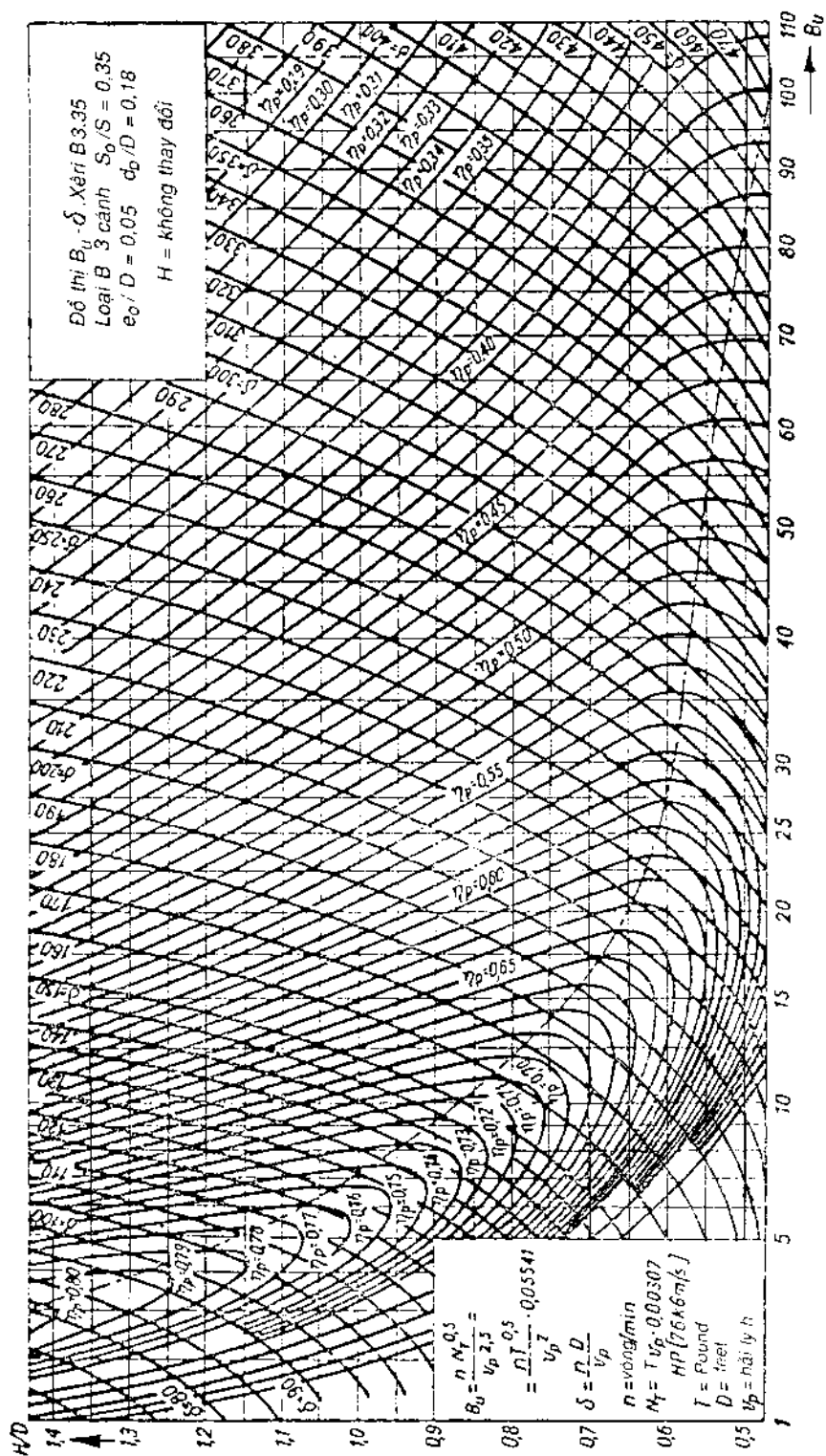
$$\frac{S_0}{S} = \theta \text{ (tỷ số mật đĩa)}$$

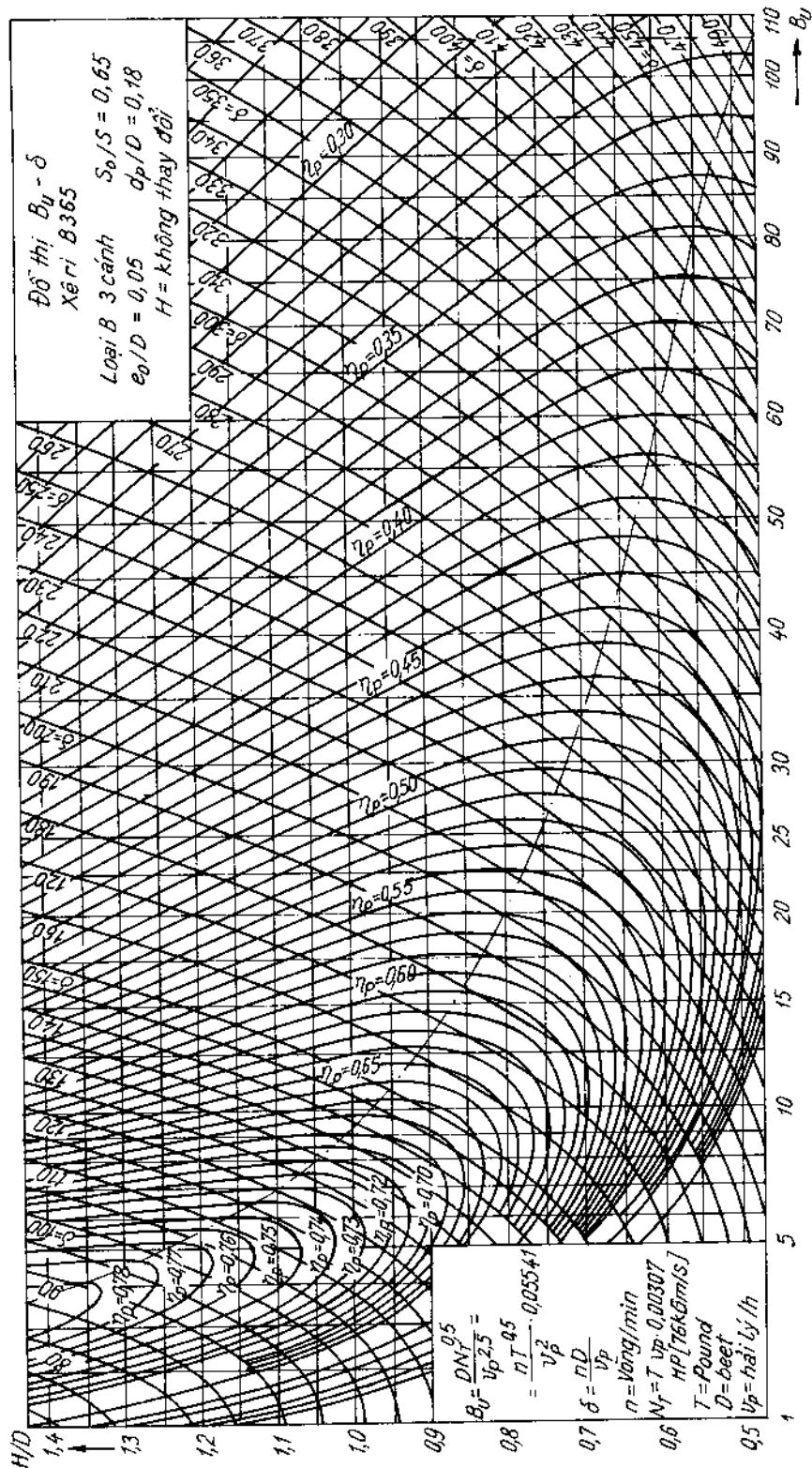


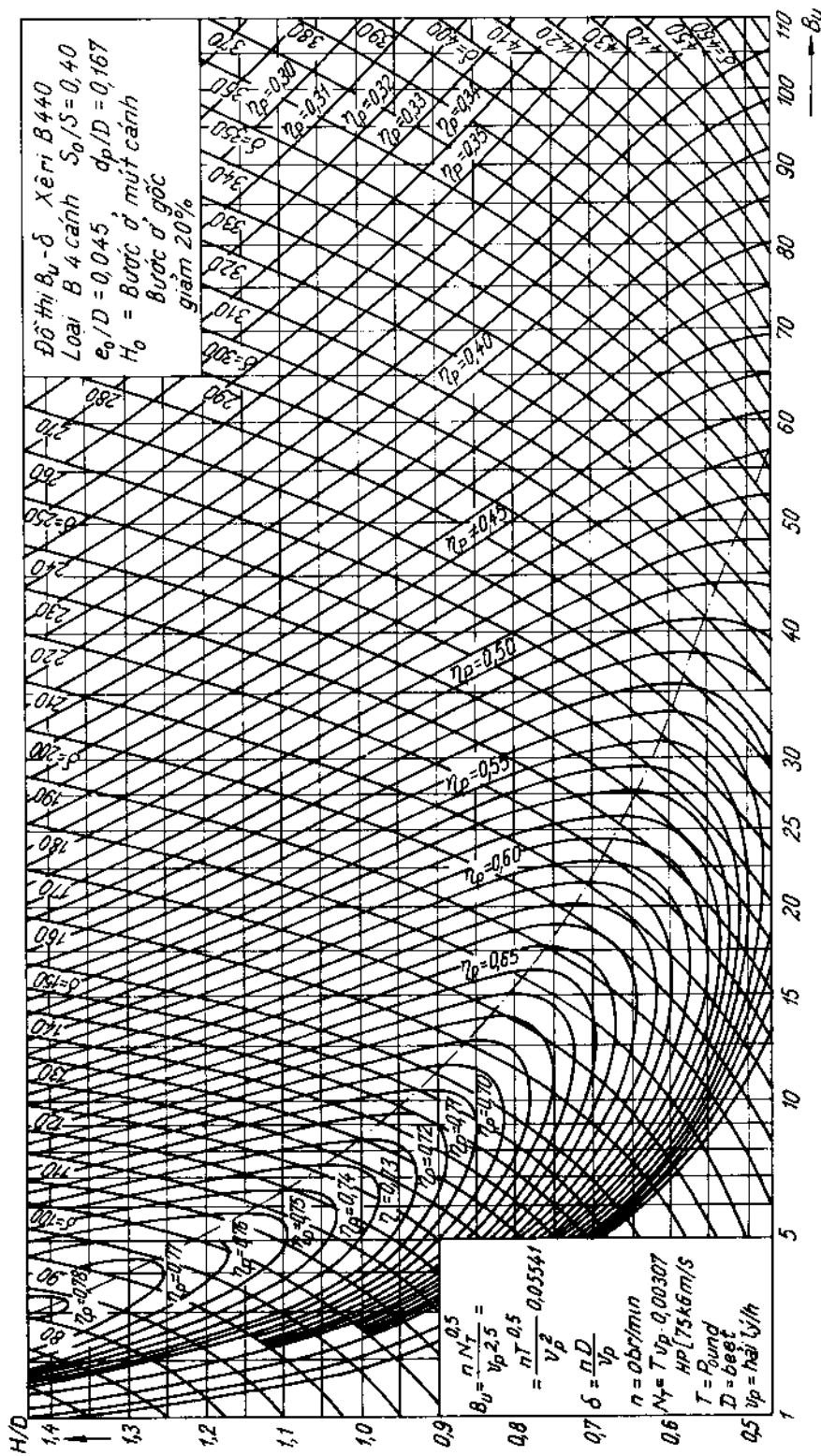


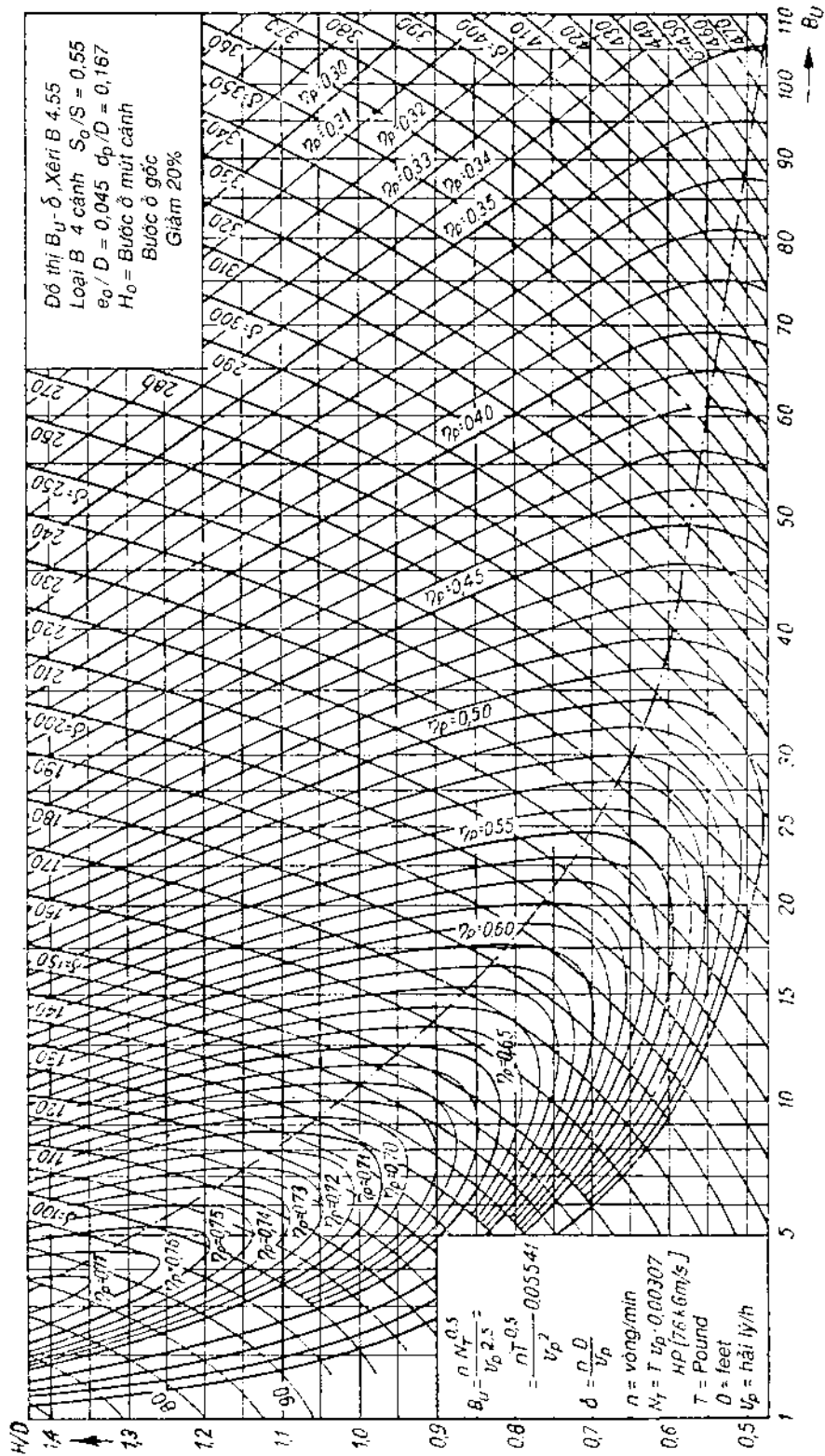


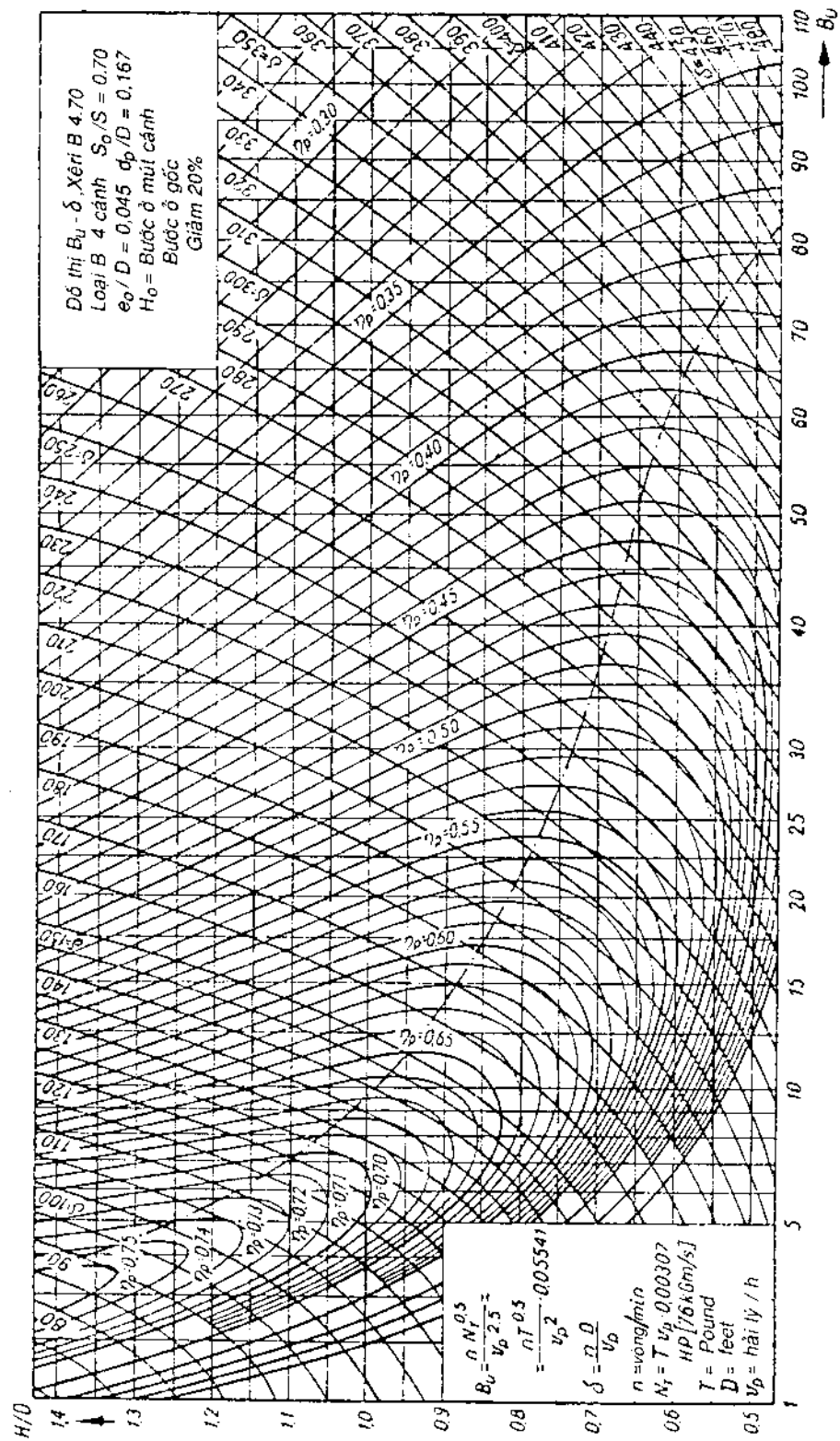


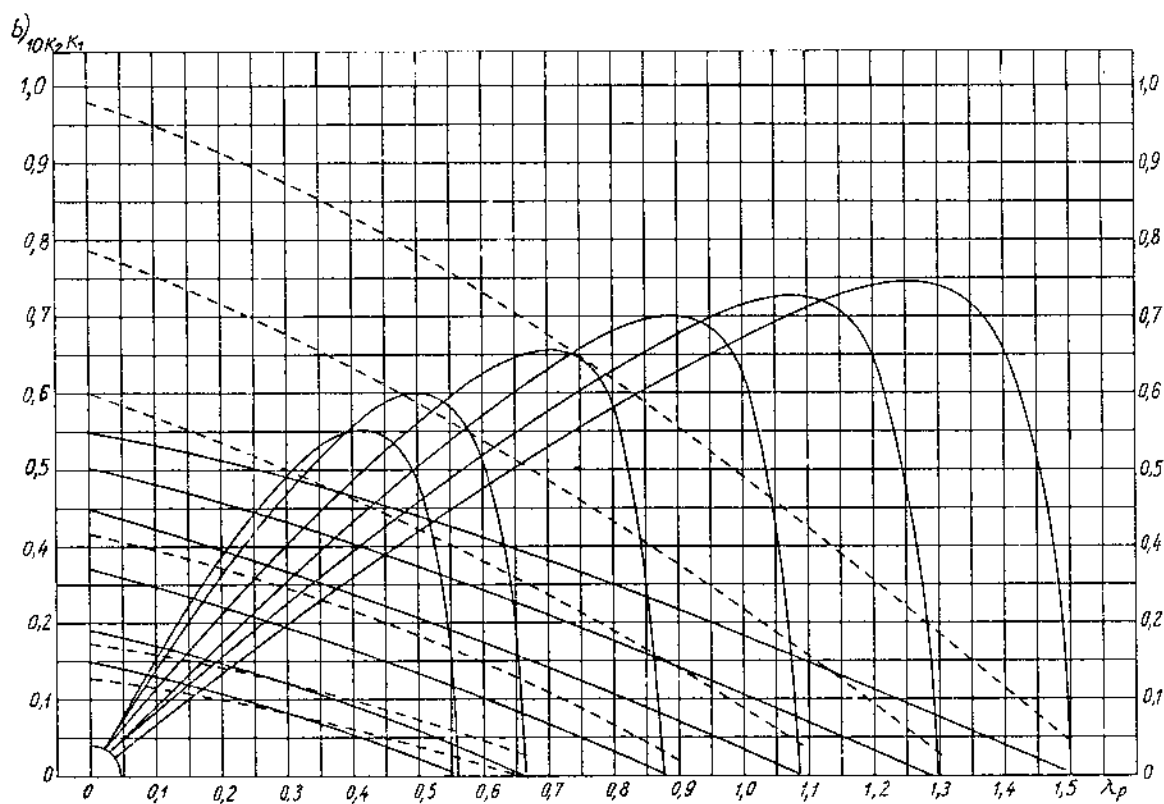
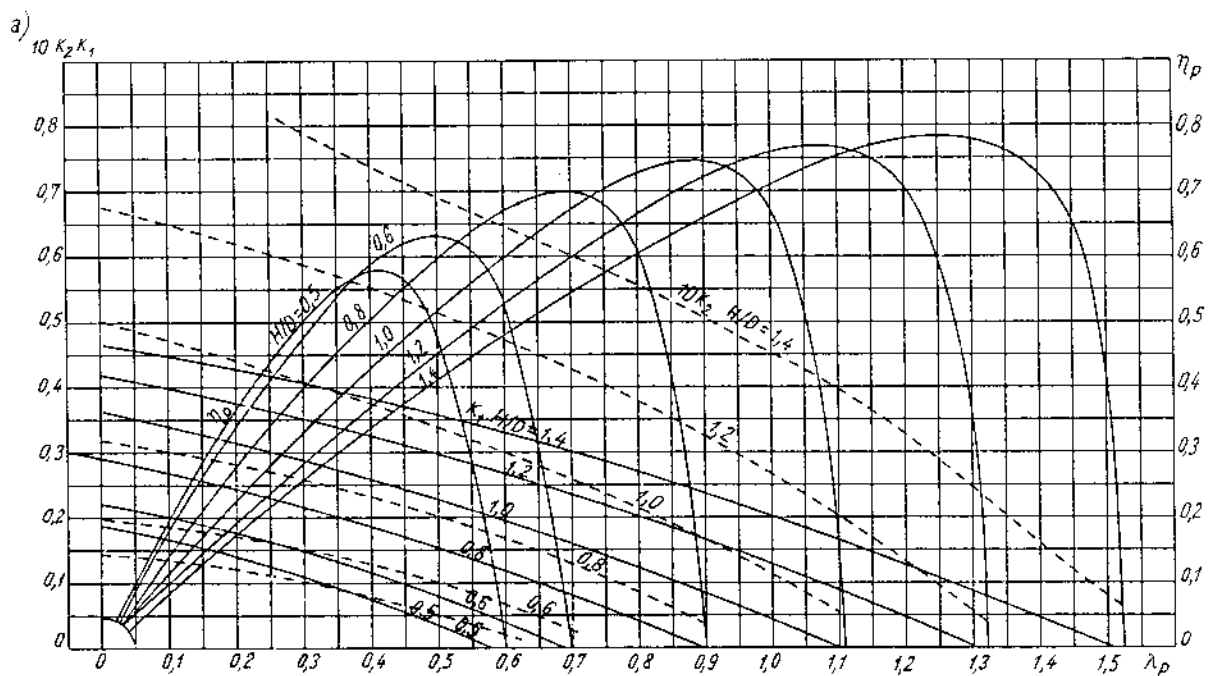








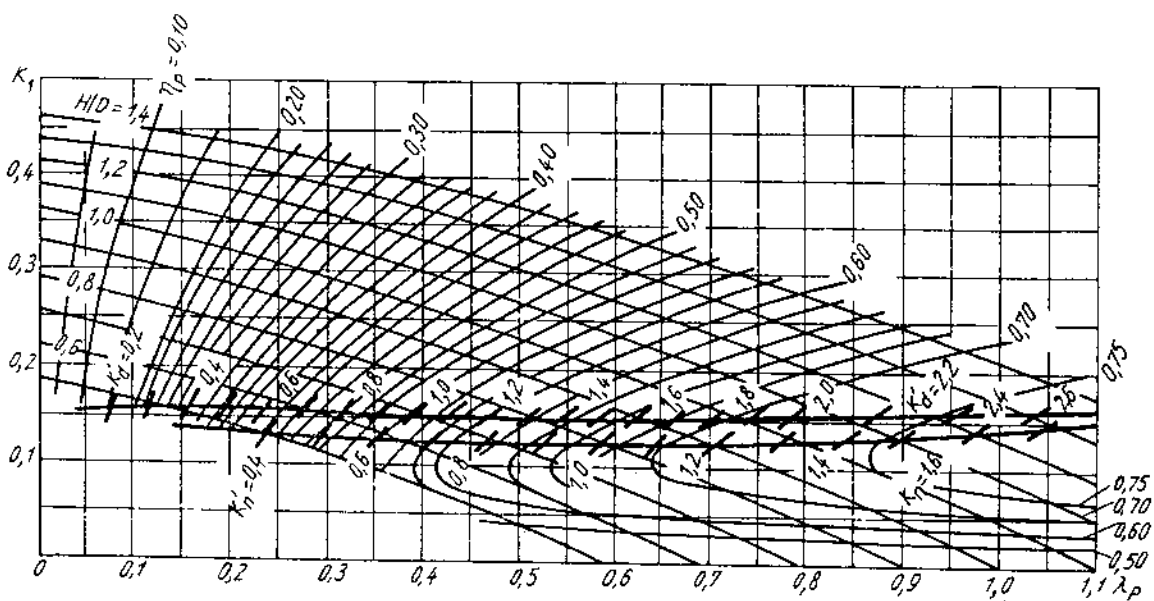
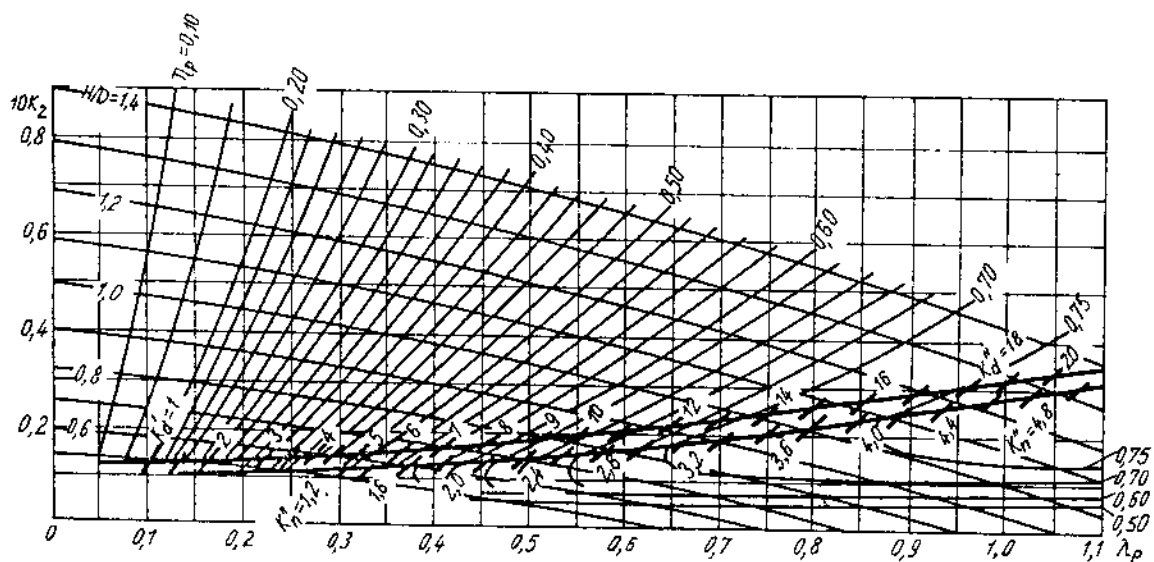




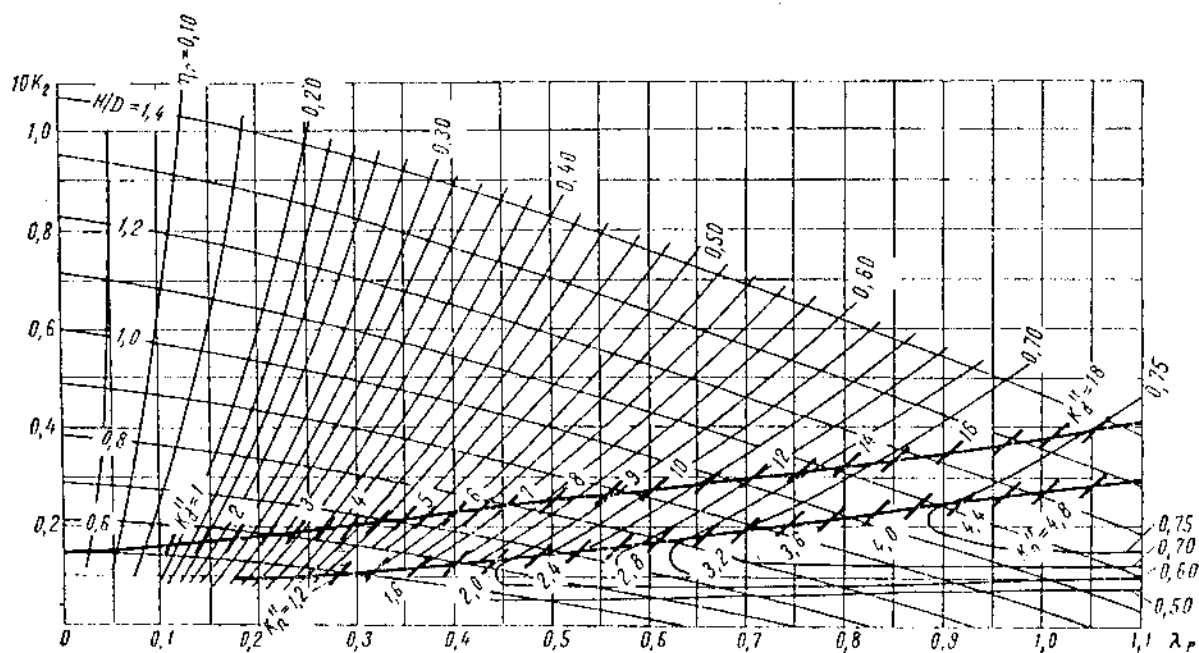
Đường cong tính năng chân vịt loại Tr oost

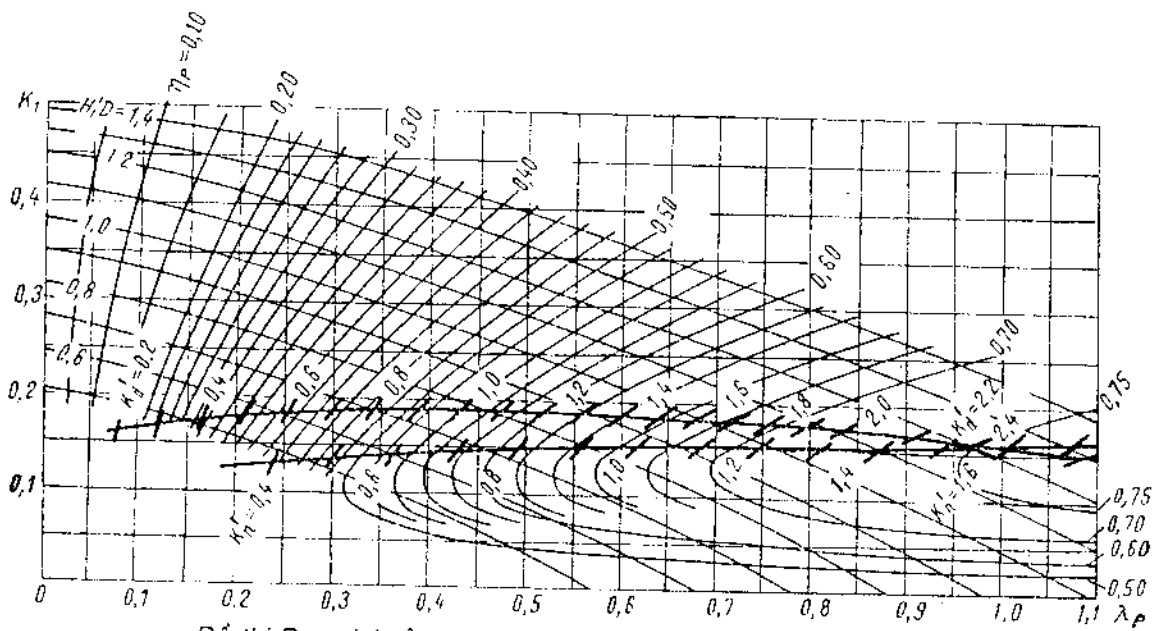
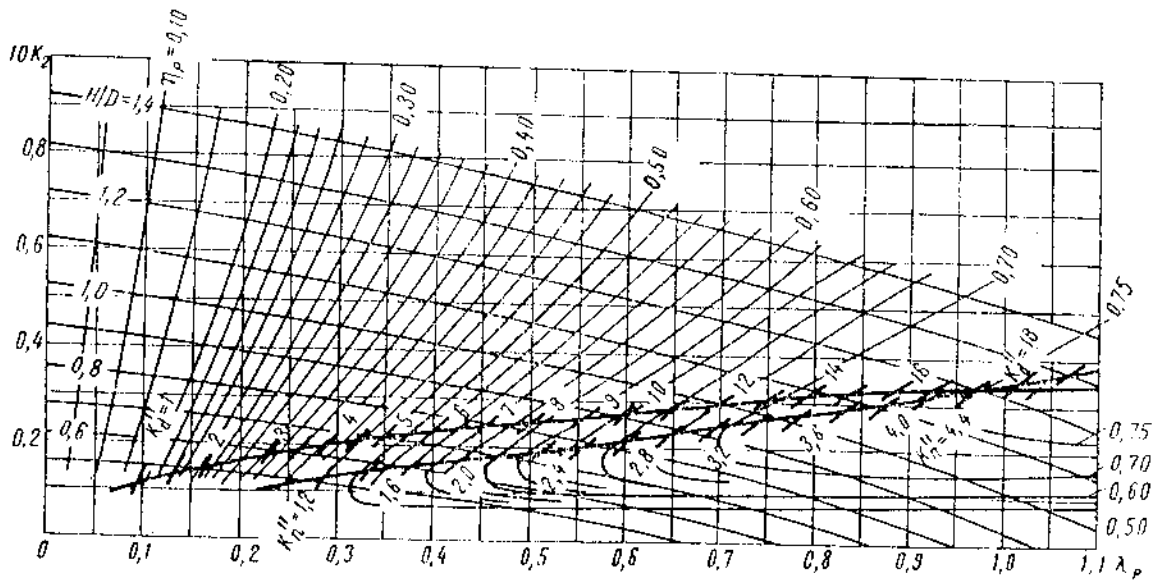
a) B.3.35

b) B.3.50

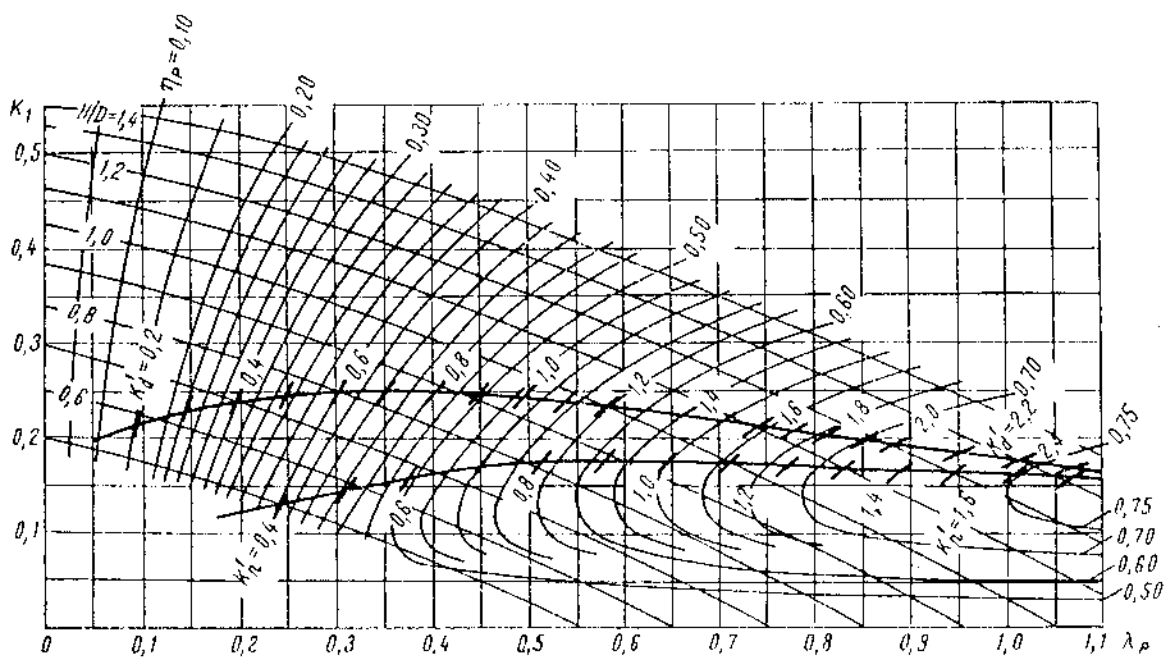
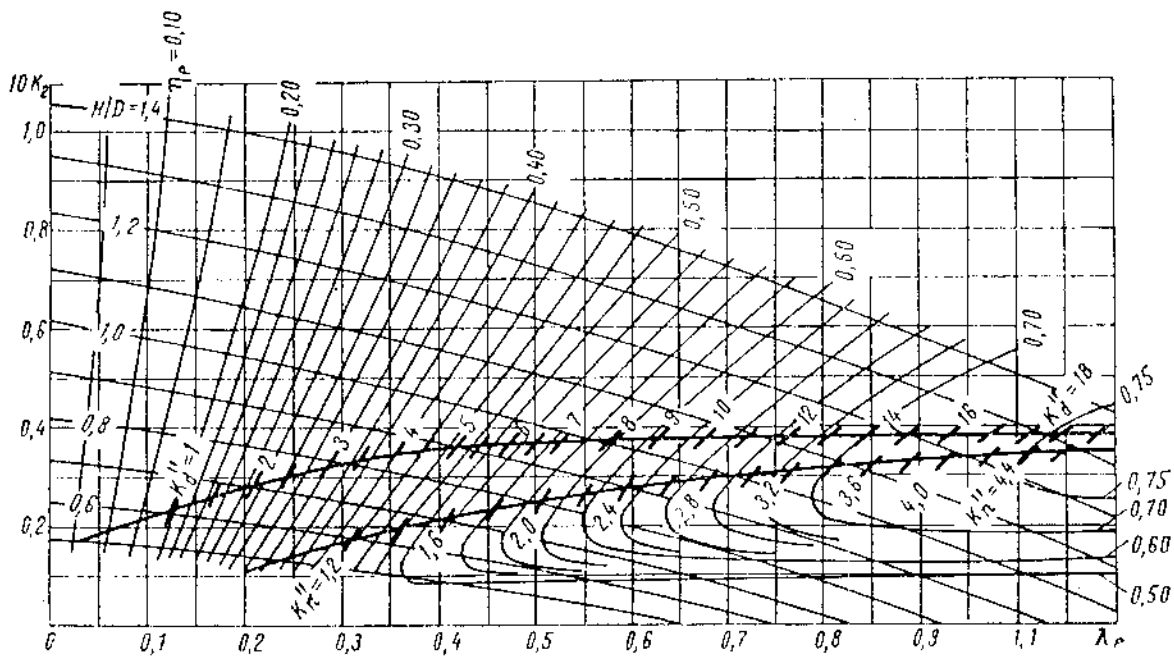


Đồ thị Papiel của chân vịt loại Troost loại B 3.35 ($z = 3$; $\theta = 0,35$)





Đồ thị Papiel của chân vịt loại Troost B 4.40 ($z = 4$; $\theta = 0.40$)



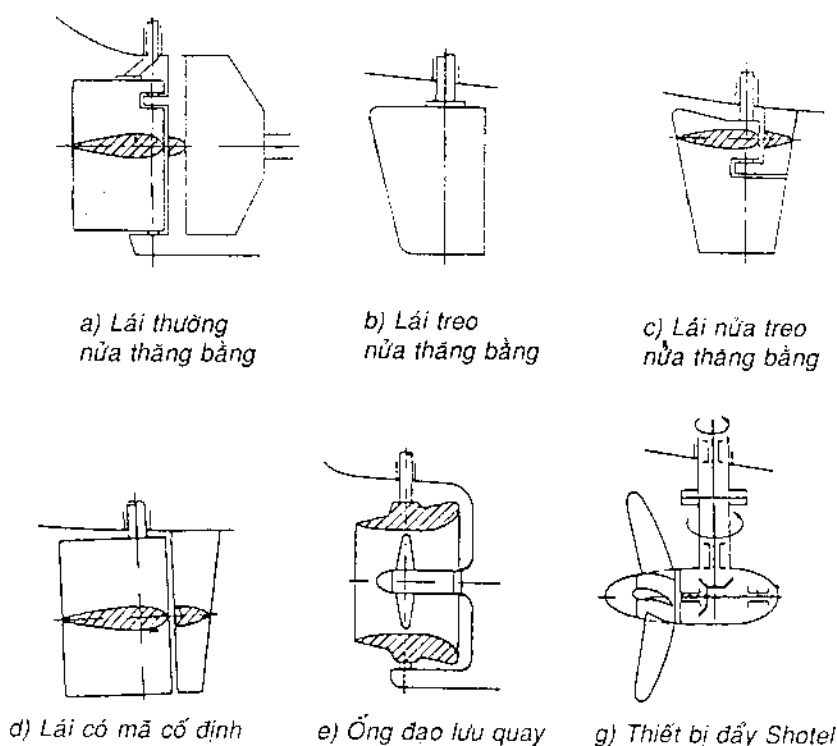
Đồ thị Pamiel của chân vịt loại Troost B 4.55 ($z = 4$; $\phi = 55$)

Chương 9

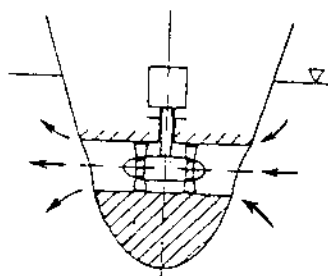
TÍNH ĐIỀU KHIỂN ĐƯỢC CỦA TÀU

9.1. KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ TÍNH ĐIỀU KHIỂN ĐƯỢC CỦA TÀU

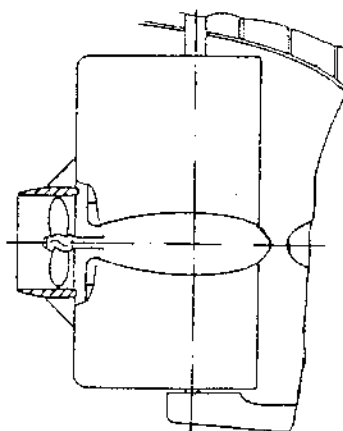
Tất cả các loại tàu, hoặc đội tàu (kéo, đẩy) đều phải có tính điều khiển được, nghĩa là có thể duy trì hoặc thay đổi hướng đi theo ý muốn của người cầm lái. Để đảm bảo công việc này trên tàu phải có lái hoặc thiết bị thay lái. Mục đích việc lắp lái hoặc thiết bị thay lái là tạo thành lực vuông góc với mặt phẳng đối xứng dọc để duy trì hoặc thay đổi hướng đi.



Hình 9.1. Các loại lái và các thiết bị thay lái.

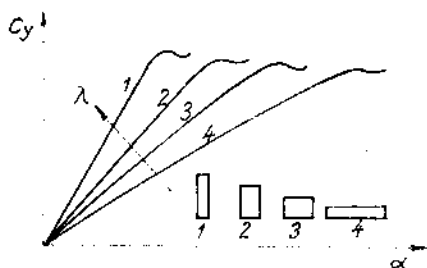


h) Lái phun ở mũi



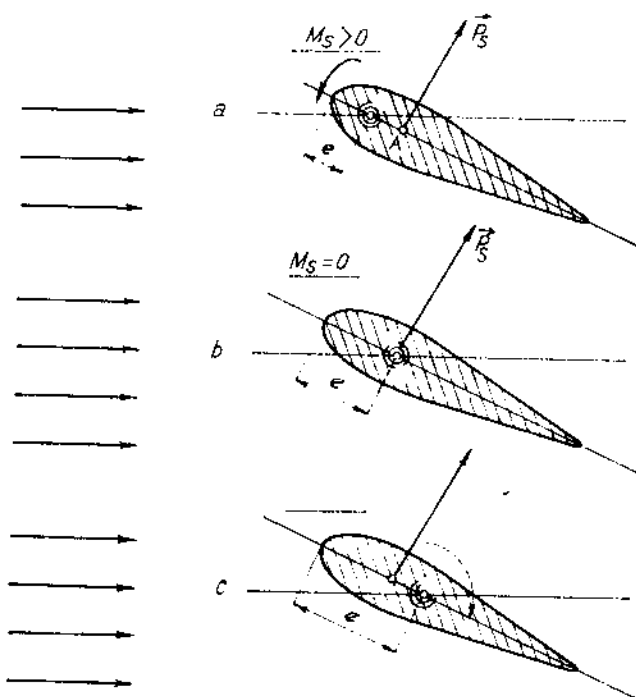
i) Lái chủ động

Hình 9.1h, c.



Hình 9.2. Lực nâng của bánh lái với hình dáng khác nhau.

Thiết bị điều khiển chia làm hai loại: loại chính dùng để điều khiển tàu khi vận tốc tàu tương đối cao, loại thiết bị phụ dùng để cải thiện tính điều khiển được của tàu khi vận tốc tàu tương đối thấp hoặc tàu đứng yên. Các loại



Hình 9.3. Hình dáng mặt cắt bánh lái và vị trí tương đối giữa trụ lái và lực nâng.

bánh lái và thiết bị được giới thiệu trên hình 8.11, hình 8.12 ở chương 8. Ở đây xin giới thiệu thêm một số lái dùng trên các tàu biển như trên hình 9.1. Nếu chia loại thiết bị chính thì có thể liệt kê các loại a), b), c), d), e), g) và i), còn loại thiết bị phụ như: g), h), i) (ở hình 9.1) và 3 loại này đều có thể điều khiển tàu khi tàu đứng yên ($v = 0$) nhưng g) và c) vừa phụ, nhưng vừa chính.

9.2 BÁNH LÁI VÀ MỘT SỐ TÍNH NĂNG CƠ BẢN CỦA BÁNH LÁI

Trong thiết bị để điều khiển lái thì quan trọng nhất là bánh lái. Như đã nói ở trên, mục đích lắp đặt bánh lái là để tạo lực đẩy ngang; lực ngang đó trước hết phụ thuộc vào diện tích bánh lái. Diện tích bánh lái thay đổi tùy theo cỡ và công dụng của tàu. Trước hết diện tích bánh lái lấy % LT của tàu. Trên bảng 9.1 trình bày hệ số diện tích bánh lái của các loại tàu.

Hình dáng của bánh lái không thể chỉ đơn thuần từ nâng cao lực ngang, vì trước hết phải xem khả năng không gian phía sau chân vịt và vỏ tàu, nhưng nếu điều kiện cho phép thì nên chọn loại bánh cao và ngắn, vì như trên hình 9.2 ta thấy loại bánh lái ấy có lực nâng (C_y) lớn nhất. Về mặt cắt tiết diện bánh lái phần lớn dùng mặt cắt hình lưu thể như ở hình 9.3.

Bảng 9.1. Hệ số diện tích bánh lái của các loại tàu

Thứ tự	Loại tàu	$\frac{S}{T} \cdot 100\%$
1	Tàu khách một chân vịt	1,4 ÷ 1,7
2	Tàu khách hai chân vịt	1,4 ÷ 2,1
3	Tàu hàng một chân vịt	1,6 ÷ 2,2
4	Tàu dầu	1,3 ÷ 1,9
5	Tàu ven biển	2,3 ÷ 3,30
6	Tàu kéo đi biển	3,0 ÷ 6,0
8	Tàu kéo trong sông	6,5 ÷ 13,0
9	Tàu khách trên sông	4,0 ÷ 8,0
10	Tàu đánh cá	2,5 ÷ 5,5
11	Xuồng máy	4,0 ÷ 6,0
12	Tàu hàng định tuyến	2,5 ÷ 3,0
13	Khu trục hạm	2,5 ÷ 4,0
14	Tàu vớt mìn	2,5 ÷ 3,0

Để xoay bánh lái phải có máy lái để tạo mômen quay bánh lái, mômen đó phụ thuộc vào: tốc độ quay và điểm đặt lực ngang, có thể xem hình 9.3. Lực ngang đó phụ thuộc vào nhiều nhân tố, nhưng khi góc nâng tăng thì lực cũng tăng lên nhưng góc quay đạt 30 ~ 35° thì lực nâng bắt đầu giảm, vì vậy trong tàu biển thì góc α chỉ hạn chế ở 35° và nhiều qui phạm qui định thời gian quay từ trung tâm (góc $\alpha = 0^\circ$) đến góc $\alpha = 35^\circ$ mất 15 giây hoặc phải mất 30 giây để chuyển lái từ mạn này sang mạn kia, và căn cứ vào vận tốc đó để tính công suất của máy lái. Ngoài ra công suất

đó còn phụ thuộc vào vị trí trụ lái (bánh lái sẽ quay chung quanh trụ lái đó trong khi hoạt động). Từ hình 9.3 ta cũng thấy có ba cách sắp đặt trụ lái: hình 9.3a: lái bán thẳng bằng, ở đây điểm đặt lực ngang ở phía trước trụ lái; hình 9.3b: lái thẳng bằng, ở đây lực ngang đặt ngang tại trụ lái; còn hình 9.3c điểm đặt của lực ngang ở phía sau trụ lái. Trên tàu thường dùng lái nửa thẳng bằng hoặc thẳng bằng, hiếm khi sử dụng loại 9.3c. Khoảng cách e trên 9.3 thường bằng 25 ~ 30% chiều dài lái b .

Các loại bánh lái đặc biệt như trình bày trên hình 9.1 từ d), e), g), h) ở Việt Nam ta đều đã dùng, chỉ riêng loại bánh lái chủ động i) chưa được sử dụng, xin giới thiệu qua đường kính của bánh lái chủ động lắp trong ống đạo lưu ngắn, thường bằng $0,20 \div 0,25 D$ (D đường kính chân vịt chính của tàu), công suất của chân vịt con đó bằng 8 ~ 11% công suất máy chính đảm bảo tốc độ đạt vận tốc 3 ~ 4 hải lý/h khi đã tắt máy chính.

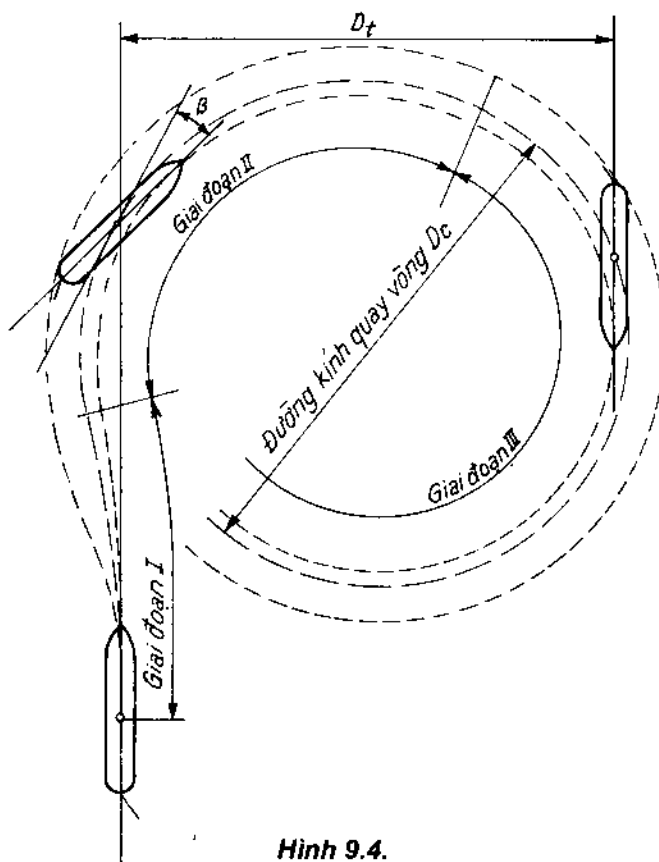
9.3. TÍNH QUAY VÒNG CỦA TÀU

9.3.1. TÀU ĐANG TRÊN HÀNH TRÌNH

Nếu bẻ lái một góc α so với hướng đi như hình 9.4, tàu sẽ chuyển hướng, nếu ta tiếp tục giữ góc α đó thì tàu sẽ chuyển sang quay vòng, trọng tâm tàu sẽ vận động theo đường tròn xoắn ốc như trên hình 9.4. Bây giờ ta hãy phân tích kỹ sự vận động đó.

Bắt đầu khi ta bẻ lái (sang phải) một góc α , tàu sẽ bị đẩy sang trái, tạo thành một độ dạt ngang, đó là giai đoạn thứ nhất, sau đó tàu sẽ vận động theo vòng xoắn ốc ấy là giai đoạn thứ hai và cuối cùng tàu sẽ quay tròn mà ta gọi là giai đoạn thứ ba.

Đường kính đó vòng tròn mà trọng tâm tàu vạch ra gọi là đường kính quay vòng D_c .



Hình 9.4.

Đường kính được xác định bởi góc bẻ lái α và vận tốc lớn nhất khi tay bắt đầu quay vòng. Đại lượng thứ hai (hình 9.4) cũng rất quan trọng là khoảng cách giữa phương ban đầu khi tàu đi thẳng và phương của tàu đã quay được 180° , được gọi là đường kính quay vòng chiến thuật D_t .

Trong thời gian quay vòng mặt phẳng đối xứng dọc tàu không còn tiếp tuyến với vòng tròn quay mà tạo thành với đường tiếp tuyến một góc β , được gọi là góc dạt, góc dạt thường trong khoảng $5^\circ \sim 10^\circ$. Trong khi quay vòng mũi tàu luôn luôn hướng vào trong vòng tròn quay. Vận tốc của tàu trong thời gian quay vòng tùy thuộc vào vị trí của tàu ở trên vòng tròn quay, vận tốc sẽ xuống ngay khi tàu bắt đầu dạt ngang, lúc đầu tốc độ xuống rất nhanh, nhưng khi bắt đầu giai đoạn II thì sự giảm tốc bớt dần, sau đó tàu sẽ quay vòng với vận tốc cố định khi bắt đầu giai đoạn III. Sự giảm tốc liên quan với tỷ lệ $\frac{D_c}{L}$, tỷ lệ này càng nhỏ thì sự giảm tốc càng lớn.

Ta chia chu kỳ quay vòng ra ba giai đoạn không những khác nhau về hình dáng đường cong khi quay mà theo cả lực tác dụng lên tàu trong từng thời kỳ.

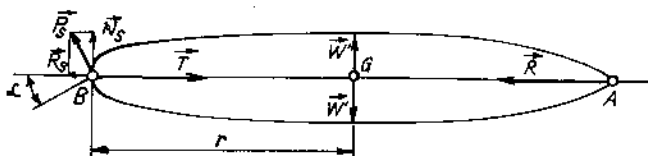
Giai đoạn I

Trên hình 9.5 ta thấy tác dụng trên tàu các lực sau:

- Lực đẩy $\vec{T}$
- Lực cản $\vec{R}$

Lực tác dụng lên bánh lái $\vec{P}_s$ được phân thành hai phân lực: vuông góc với mặt đối xứng $\vec{N}_s$,

và lực cản $\vec{R}_s$ (ở đây ta giả thiết lực $\vec{P}_s$ tác dụng tại điểm B), lực $\vec{R}_s$ làm tăng lực cản $\vec{R}$ đối với tàu, khiến vận tốc tàu giảm xuống, còn phân lực $\vec{N}_s$ sẽ khiến tàu dạt sang trái.



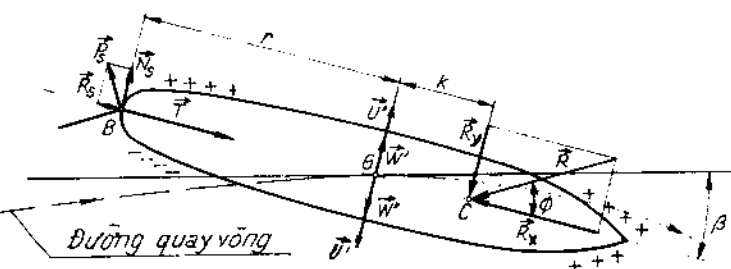
Hình 9.5.

Nếu tại trọng tâm G của tàu ta tác dụng hai lực $\vec{W}'$ và $\vec{W}''$ có giá trị như nhau n hưng chiều tác dụng trái ngược nhau, thì tác dụng của $\vec{N}_s$ được thay thế bằng những lực ngang $\vec{W}'$ và mômen tạo thành bởi lực $\vec{N}_R$ và $\vec{W}''$. Lực $\vec{W}$ sẽ đẩy tàu sang trái (đó là dạt ngang mà ta đã nói lúc đầu) và mômen $\vec{N}_R r$ sẽ làm cho tàu quay chung quanh trục đứng đi qua trọng tâm tàu.

Tóm lại ở giai đoạn I tác dụng của $\vec{R}_s$ và $\vec{W}'$ cùng với mômen $\vec{N}_s r$ dẫn tới giảm tốc độ của tàu, khiến tàu dạt ngang, khiến vùng xoắn ốc lệch ra ngoài và tàu bắt đầu quay vòng.

Giai đoạn II (xem hình 9.6)

Việc quay tròn quanh trục đứng qua trọng tâm G gây nên bởi mômen $\vec{N}_s r$ kéo theo sự thay đổi áp lực trên vỏ tàu. Do quay quanh trục áp lực nước phía trong mũi (trong ở đây chỉ phía mạn hướng vào tâm vòng tròn quay) tăng lên, còn áp lực ở phía trong lái lại giảm, đồng thời sự đi tới do $\vec{T}$ gây nên và dạt ngang (sang trái) do $\vec{W}'$ gây nên lại gây nên tăng áp lực ở phía ngoài ở cả mũi và lái. Bản đồ sự tăng đánh dấu bằng + và giảm áp lực đánh dấu bằng - thể hiện trên hình 9.6.



Hình 9.6.

Hợp lực cản được ký hiệu bằng $\vec{R}$, tác dụng lệch đối với mặt phẳng đối xứng của tàu một góc ϕ , điểm đặt tại điểm C.

Phân lực $\vec{R}_x$ tác dụng trên mặt phẳng đối xứng, đó là lực cản, còn phân lực $\vec{R}_y$ tác dụng trên mặt phẳng vuông góc, đó là lực cản ngang.

Phân lực $\vec{R}_x$ sẽ làm tăng lực cản so với lực cản trước lúc quay vòng (lực $\vec{R}$ trên hình 9.6) cộng với lực cản của bánh lái $\vec{R}_s$ sẽ khiến tốc độ tàu tiếp tục giảm xuống.

Ta đặt thêm hai lực lượng như nhau u' và u'' tại trọng tâm G của tàu, nhưng chiều của lực ngược nhau 180° , lượng lực $u' = u'' = R_y$. Như vậy lực $\vec{R}_y$ sẽ được thay bằng $\vec{u}'$ và mômen $\vec{R}_y k$.

Lực $\vec{u}'$ chống lại lực $\vec{W}'$ và làm cho tàu dịch ngang về phía tâm quay vòng. Sự tăng góc dạt β là thước đo sự tăng của lực đẩy vào $\vec{R}_y$ ($\vec{R}_y$ sẽ cân bằng với $\vec{W}'$) và thành hình tròn xoắn ốc.

Tác dụng của $\vec{R}_y k$ có thể giúp hoặc chống lại việc quay tròn phụ thuộc vào vị trí tương đối giữa điểm C và trọng tâm tàu G. Nếu điểm C được tiến về phía mũi thì $\vec{R}_y k$ cùng với $\vec{N}_s r$ làm tăng tốc sự quay tròn, như vậy ta nói tàu ăn lái. Ngược lại nếu điểm C nằm phía sau trọng tâm, lúc đó, mômen $\vec{R}_y k$ sẽ chống quay tròn, việc đó làm cho tàu sẽ khó quay tròn được.

Trong khi thiết kế tàu, người ta không biết chắc chắn là điểm C nằm ở đâu, nhưng thực tế cho thấy rằng đối với phần lớn tàu, ở pha đầu tiên của giai đoạn II quay vòng thì điểm C nằm giữa G và mũi, mặc dầu sự tăng trưởng của góc β chứng minh cho sự di chuyển C về phía lái sau trọng tâm G trong quá trình chuyển động xoáy ốc, nhưng C sẽ chiếm vị trí ổn định, khi tàu chuyển sang giai đoạn III.

Vì trình bày hết những vấn đề về lực tác dụng lên tàu khi quay vòng là khó khăn, vô cùng phức tạp, nên tạm chấp nhận mức độ như vừa trình bày.

Giai đoạn III

Trong suốt thời gian quay vòng, lực đẩy của chân vịt không thay đổi, lực cản $\vec{R}_x$ bắt đầu tăng từ thời điểm bắt đầu quay gây nên giảm vận tốc cho tới lúc $\vec{R}_x + \vec{R}_s$ cân bằng được với $\vec{T}$. Như ta đã biết, trong thời điểm đó, điểm đặt C của lực $\vec{R}$ bị đẩy về phía lái cho đến khi $\vec{R}_y.k$ và $\vec{N}_s.r$ cân bằng với nhau thì việc đẩy lùi đã kết thúc, và cũng tương tự như đối với β , cho tới lúc đó, thì lực cũng như mômen tác dụng trên tàu được cân bằng và tàu sẽ được quay vòng với vận tốc ổn định.

9.3.2. CÁC NHÂN TỐ ẢNH HƯỞNG TỚI TÍNH QUAY VÒNG CỦA TÀU

Các thông số quan trọng ảnh hưởng tới tính ăn lái của tàu là:

- Thời gian cần thiết để quay lái từ vị trí thẳng đứng sang hẳn một mạn;
- Áp lực tác dụng lên bánh lái;
- Hình dáng phần dưới nước của vỏ tàu;
- Mômen quán tính của khối lượng tàu đối với trục đứng đi qua trọng tâm tàu.

Ta hãy xét từng điểm một, về thời gian quay ta đã nói trong mục về bánh lái, phải mất 15" để lái từ vị trí thẳng đứng tới vị trí góc lái α lớn nhất, việc giảm tốc độ quay (như trường hợp dùng lái tay) thì đường kính quay vòng sẽ tăng lên.

Về điểm áp lực tác dụng trên bánh lái ta cũng đã trình bày trên mục bánh lái và hình 9.2, hình 9.3. Hình dáng phần dưới nước ảnh hưởng đến sự phân bố áp lực nước trên thân tàu và do đó đến vị trí của điểm C trên hình 9.6. Hình dáng này sẽ có ảnh hưởng quyết định tới tính ma nơ của tàu. Cát gọn phần đuôi và các mặt cắt ngang ở phía đuôi trơn tròn đồng thời làm nhọn phần dưới nước ở mũi sẽ khiến điểm C chạy về phía mũi, khiến tính ma nơ của tàu tốt lên.

Tàu có mômen quán tính lớn đối với trục đứng đi qua trọng tâm sẽ rất khó khi quay quanh nó so với loại tàu có mômen quán tính nhỏ, vì thế khi thiết kế tàu nên tránh việc đưa quá nhiều trọng lượng đi xa trọng tâm về hai cực (mũi và lái), vì việc này sẽ kéo dài thời gian từ lúc bẻ lái đến lúc tàu bắt đầu quay vòng. Các loại tàu

ngắn như tàu kéo có mômen quán tính bé dễ quay trở hơn những tàu dài. Nhưng những việc này sẽ mâu thuẫn khi nghiên cứu tính ổn định hướng đi của tàu.

9.3.3. TÍNH TOÁN QUAY VÒNG CỦA TÀU

Tính toán quay vòng qui cho cùng là tính đường kính quay vòng. Vì các nhân tố ảnh hưởng đến tính quay vòng rất nhiều, và chưa có những phương pháp giải tích để tính đường kính quay vòng của tàu, nên bên cạnh thử tàu khi đóng xong, cũng cho phép sử dụng các công thức kinh nghiệm để tính đường kính quay vòng D_c của tàu.

Đối với tàu hàng thông thường, có thể dùng công thức sau đây để tính đường kính quay vòng $D_c(m)$:

$$D_c = 2 \frac{k_1}{k_2} \frac{V}{S} \quad (9.1)$$

trong đó:

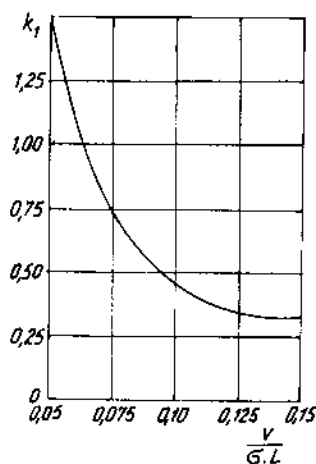
V – thể tích chiếm nước [m^3];

S – diện tích bánh lái [m^2];

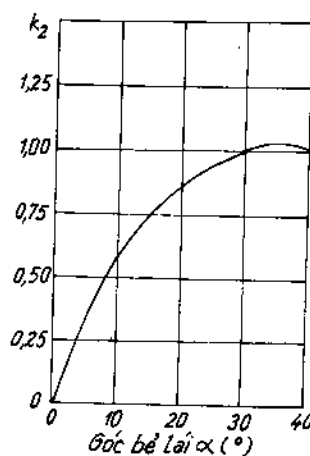
k_1 – lấy từ hình 9.7;

k_2 – lấy từ hình 9.8.

Hệ số k_1 phụ thuộc vào $V/\sigma L$, σ là diện tích dưới nước của mặt phẳng đối xứng dọc tàu. Hệ số k_2 phụ thuộc vào góc bẻ lái, hệ số k_1 và k_2 là thu thập từ rất nhiều cuộc thử tàu thực.



Hình 9.7.



Hình 9.8.

Công thức kể trên không xét tới ảnh hưởng của vận tốc đối với đường kính quay vòng. Vì khi tốc độ tăng lên thì đường kính quay vòng sẽ tăng lên, nên đối với tàu cao tốc thì D_c tính từ (9.1) hơi bé.

Trị số gần đúng của góc dạt β có thể tính theo công thức:

$$\frac{D_c}{2} \beta \cong \frac{L}{2}$$

Từ đó
$$\beta \cong \frac{L}{D_c} \quad (9.2)$$

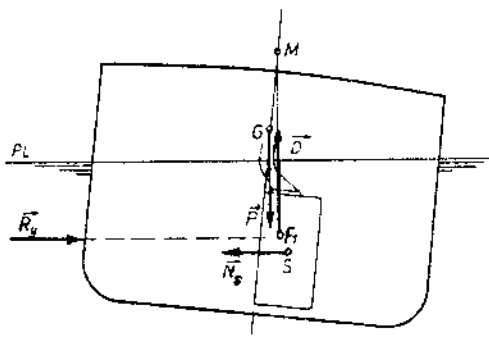
Đường kính quay vòng tỷ lệ (có quan hệ chặt) với chiều dài tàu L . Trên bảng 9.2 trình bày đường kính quay vòng tối thiểu của một số tàu.

9.3.4. NGHIÊNG NGANG KHI QUAY VÒNG

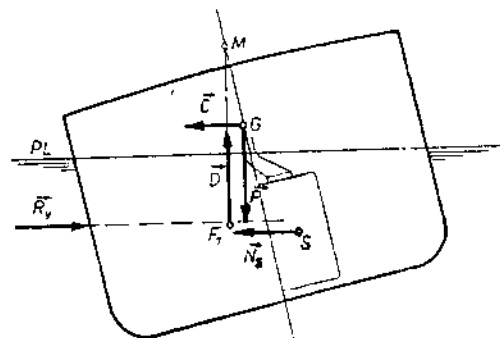
Khi bẻ lái, ngoài quay vòng còn gây nên nghiêng dọc và nghiêng ngang. Nguyên nhân của sự hình thành nghiêng dọc nghiêng ngang là lực tác dụng trên bánh lái $\vec{P}_s$ và lực cản $\vec{R}$ không cùng trên một mặt phẳng.

Nghiêng dọc khi quay vòng không đáng kể, nhất là đối với tàu lớn. Còn nghiêng ngang thì không những phải tính, mà còn có lúc nghiêng ngang đó đã gây nên nguy hiểm cho tàu.

Ta phân lực $\vec{P}_s$ tác dụng lên bánh lái ra làm hai lực, lực vuông góc với mặt phẳng đối xứng dọc $\vec{N}_s$, lực này gây nên dạt ngang và chống lại áp lực cản nước $\vec{R}_y$ (hình 9.6 và hình 9.9).



Hình 9.9.



Hình 9.10.

Trong đại bộ phận trường hợp quay vòng, lực $\vec{P}_s$ đều đặt ở điểm thấp hơn điểm đặt của lực $\vec{R}'_y$, việc đó sẽ hình thành mômen nghiêng ngang do $\vec{R}_y$ và $\vec{N}_s$.

gây nên. Góc nghiêng này đáng lưu ý trên tàu chạy nhanh như khu trục hạm. Nói chung góc nghiêng ngang này không lớn lắm.

Trái lại góc nghiêng ngang do lực ly tâm khi tàu quay vòng gây nên rất lớn. Từ thời điểm tàu vào giai đoạn II của quay vòng sẽ xuất hiện lực quán tính ly tâm $\bar{C}$ tác dụng tại trung tâm G của tàu. Mômen gây nghiêng đó có thể tính theo thứ tự sau đây:

$$\text{Lực ly tâm} \quad c = \frac{mv^2}{r} = \frac{P}{g} \frac{v^2}{r} \quad (9.3)$$

Trong đó: $m = \frac{P}{g}$ khối lượng của tàu [kG.s²/m],

P – trọng lượng của tàu; bằng lượng chiếm nước [kG],

g – gia tốc trọng trường [m/s²],

v – vận tốc tàu khi quay vòng [m/s],

r – bán kính quay vòng [m].

Mômen nghiêng ngang do lực ly tâm gây nên:

$$M_c = \frac{P}{g} \left(\frac{v^2}{r} \right) \left(Z_G - \frac{T}{2} \right) \cos \varphi_c \quad (9.4)$$

(trong đó ta đã giả thiết, điểm đặt của lực R nằm ở giữa mớn nước T của tàu).

Trong đó góc φ_c là góc nghiêng ngang khi tàu quay vòng.

Mômen gây nghiêng ngang có thể tính theo công thức do Đăng kiểm tàu biển Liên Xô cũ đề xuất [trong những năm gần đây IMO đã chấp nhận đề xuất này]:

$$M_c = 0,233 \frac{Pv^2}{gL_w} \left(Z_G - \frac{T}{2} \right) \quad (9.5)$$

trong đó v – vận tốc tàu khi mới bắt đầu quay vòng, lấy bằng 80% vận tốc tàu khi toàn tải;

L_w – chiều dài đường nước thiết kế.

Còn góc nghiêng khi quay vòng φ_c [°] có thể tính bằng công thức kinh nghiệm:

$$\varphi_c = 1,4 \frac{v}{h_o L_w} \left(Z_G - \frac{T}{2} \right) \quad (9.6)$$

Trong đó h_o – chiều cao ổn định ban đầu (m).

Góc nghiêng ngang khi quay vòng đáng kể nhất là khi tàu có vận tốc lớn, lại gặp sóng lớn, sẽ gây nên góc nghiêng lớn dẫn đến chìm tàu. Cho nên biện pháp tốt nhất để đảm bảo an toàn là hạn chế tốc độ lúc quay vòng.

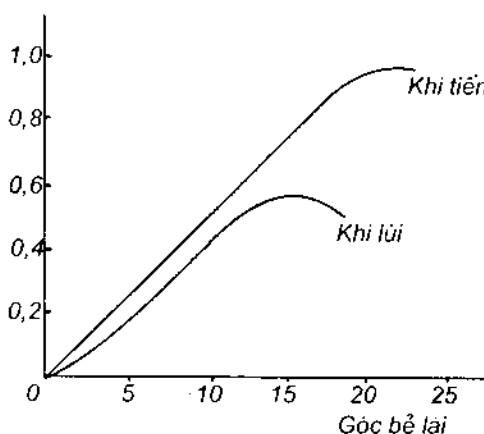
9.3.5 QUAY VÒNG KHI LÙI

Tính quay vòng của tàu khi lùi xấu hơn khi tiến nhiều vì điều kiện làm việc của bánh lái kém và điều kiện làm việc cũng rất bất lợi so với khi chạy tiến.

Khi lùi, bánh lái ở trước chân vịt, nên giảm vận tốc tối đối với bánh lái, đồng thời vận tốc khi lùi thấp hơn khi tiến nhiều, hệ số lực nâng của bánh lái khi lùi kém hơn khi tiến như hình 9.11.

Bảng 9.2. Đường kính quay vòng của một số tàu

Thứ tự	Loại tàu	$(D_c/L)_{\min}$
1	Tàu khách chạy nhanh	5,0 ÷ 6,5
2	Tàu hàng	3,5 ÷ 6,0
3	Tàu dầu	3,5 ÷ 6,0
4	Tàu kéo	1,5 ÷ 2,4
5	Tàu đánh cá	2,4 ÷ 4,0
6	Tàu hàng định tuyến	3,0 ÷ 4,0
7	Tàu khu trục hạm	6,0 ÷ 7,5



Hình 9.11.

Ngoài ra khi lùi, dòng nước đẩy ra phía trước (phần đuôi tàu) cũng rất phức tạp thể hiện trên hình 9.12. Trong hình đó, chân vịt quay trái dòng nước ở phía

trên (nét liền) đi sang phía trái, còn phía dưới dòng nước (nét - - -) chạy về phía phải, chính dòng nước đó cũng làm cho tàu quay sang phía mạn trái khi không có bề lái, rõ ràng tính quay trở khi lùi rất khó, nếu có lái chủ động thì sẽ không có vấn đề gì.

9.4. ỔN ĐỊNH HƯỚNG ĐI CỦA TÀU

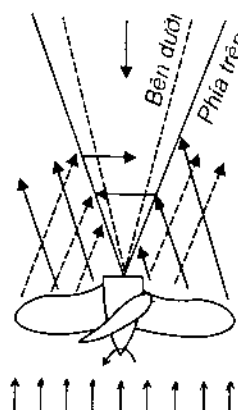
Khi tàu chạy trên biển chịu tác dụng của sóng và gió, khi thời tiết xấu thì những lực trên là khá lớn, khiến tàu không giữ được hướng đi đã chọn. Khả năng của tàu chống lại tác dụng của ngoại lực nhằm duy trì được hướng đi đã chọn gọi là tính ổn định hướng đi của tàu.

Nguyên nhân gây nên tàu đi trệch hướng đã chọn lúc thời tiết xấu gồm:

- Áp lực gió tác dụng trên diện tích nổi phía trên mặt nước nhất là thượng tầng kiến trúc của tàu,
- Áp lực có tính chu kỳ tác dụng ngay trên tàu do sóng và các dòng nước khác gây nên,
- Áp lực không đồng đều của chân vịt do lắc ngang và lắc dọc.

Ta hãy nghiên cứu hệ thống lực tác dụng khi tàu chạy ngược gió với một góc đặt nhất định β (hình 9.13), giả thiết tàu chưa bị bề lái. Các lực sau đây sẽ tác dụng:

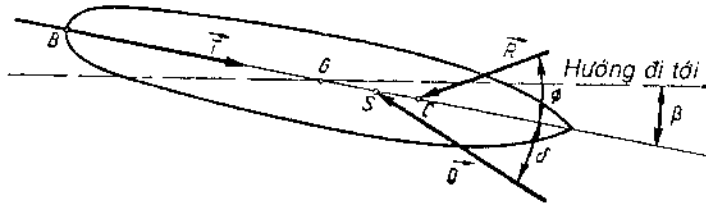
Hình 9.12.



- 1) Hợp lực của gió $\vec{Q}$, phương tác dụng tạo thành với đường tâm dọc tàu một góc δ , và điểm đặt ở trọng tâm áp lực gió S ,
- 2) Hợp lực cản $\vec{R}$, phương tác dụng tạo thành với đường tâm dọc một góc ϕ với điểm đặt là trọng tâm lực cản ngang c ,
- 3) Lực đẩy chân vịt $\vec{T}$.

Sau khi chia các lực thành các phân lực trên mặt đối xứng dọc và trên mặt vuông góc với mặt phẳng đó ta có (hình 9.14):

$$1) \text{ Mômen khiến tàu rời hướng đi đã chọn } M = R \overline{SC} \sin \phi \quad (9.7)$$



Hình 9.13.

2) Lực tác dụng theo hướng đi tới của tàu:

$$P_x = T - (Q_{\text{gió}} \cos \delta - R \cos \phi) \quad (9.8)$$

3) Lực ngang, gây sự dạt ngang của tàu:

$$P_y = Q_{\text{gió}} \sin \delta - R \sin \phi \quad (9.9)$$

Góc dạt ngang β tính theo:

$$\text{tg} \beta = \frac{P_y}{P_x} = \frac{Q_{\text{gió}} \sin \delta - R \sin \phi}{T - (Q_{\text{gió}} \cos \delta - R \cos \phi)} \quad (9.10)$$

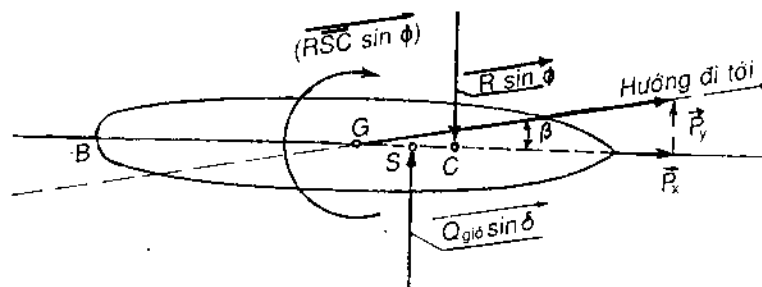
Để cân bằng mômen $\overline{M}$ nhất định phải bẻ lái để tạo mômen chống lại $\overline{M}$. Nếu hai mômen bằng nhau thì tàu sẽ không trượt khỏi hướng đi đã chọn. Nếu điểm C ở trước điểm S (về phía mũi), lúc đó tàu có xu thế xuôi gió và bánh lái cũng phải xuôi gió (như trên hình 9.13) ta phải bẻ lái về phía trái. Nếu điểm C ở sau S (về phía lái) thì tàu sẽ có thể ngược gió và phải bẻ lái cũng ngược gió.

Vị trí của điểm C (tâm của áp lực ngang của nước) thay đổi rất nhiều tùy thuộc góc dạt β , từ đó ta thấy hình dáng dưới nước của tàu ảnh hưởng đến tính ổn định hướng đi của tàu hơn cả sự bố trí diện tích chịu gió phía trên mặt nước.

Nếu S và C gần nhau hoặc trùng nhau thì tốt nhất rồi, nếu mũi quá cao và thượng tầng ở phía lái quá thấp, thì khiến S chuyển về mũi. Để cải thiện tính ổn định hướng đi thì phải tránh nghiêng dọc (chìm lái), cũng như tránh cất phần dưới nước của mũi quá nhiều. Từ đây ta cũng giải thích được việc tính ổn định hướng không tốt của tàu dầu chạy không tải hoặc tàu đánh cá khi kéo lưới ở đuôi.

Trường hợp tàu cá kéo lưới đuôi người ta dựng buồm ở đuôi để cải thiện tính điều khiển của tàu vì như vậy sẽ kéo tâm áp lực gió về phía đuôi.

Tàu dài và thon sẽ có ổn định hướng đi tốt. Trong trường hợp tàu có tính ổn định hướng đi xấu thì việc tăng diện tích bánh lái không bằng việc tăng diện tích mạn thượng tầng ở phía đuôi.



Hình 9.14.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Blagvieshenski S. N., Holodilin A. N.* Spravochnik po statike i dinamike kopabla, Sudostroenie Moskva Leningrad, 1975
2. *Cục Đăng kiểm Việt Nam* Quy phạm phân cấp và Đóng tàu vỏ thép, Hà Nội 1997
3. *Dudziak J.* Teoria okrstu, Wydawctwo Morskie Gdansk, 1988
4. *Hà Văn Thư, Trần Hồng Đức* – Tóm tắt niên biểu Lịch sử Việt Nam, Hà Nội 1997
5. *Muru H. P.* Prikladnyie zadachi Plavuchesti i ostoichivosti Sudna, Sudostroenie Leningrat 1985
6. *Ruchenko M. M, Ivanov B. Y.,* Raschoty griebnik vintov Moskva Leningrad 1953
7. *Stalinski. J.* Teoria Okrstu, Wydawnietwo Morkie Gdansk 1969
8. *Thomas C. Gillmer,* Modernship, United states Naval Institute Annapolis Maryland

MỤC LỤC

	<i>Trang</i>
Lời nói đầu	3
Chương 1 TỔNG QUAN VỀ MÔN HỌC LÝ THUYẾT TÀU THỦY	
1.1. Vài nét về lĩnh vực đóng tàu trong lịch sử dân tộc Việt Nam và trên thế giới	5
1.2. Môn khoa học lý thuyết tàu thủy	6
Chương 2 HÌNH HỌC VÀ TÍNH NỔI CỦA THÂN TÀU	
2.1. Hình học của thân tàu	13
2.1.1. Đường hình dáng lý thuyết tàu	13
2.1.2. Kích thước chính của thân tàu và các hệ số	15
2.1.3. Biểu thức giải tích của lượng chiếm nước và các thông số khác của tàu	20
2.1.4. Phương pháp tính toán gần đúng trong lý thuyết tàu thủy	34
2.1.5. Các đường cong tính năng của thân tàu và các bảng tính toán mẫu	55
2.1.6. Tính nổi của tàu	71
2.1.7. Trọng lượng và trọng tâm của tàu	74
Chương 3 TÍNH ỔN ĐỊNH CỦA TÀU	
3.1. Ổn định ban đầu	77
3.1.1. Ổn định nghiêng đẳng thể tích nhỏ	77
3.1.2. Ổn định ban đầu, tâm và bán kính ổn định ban đầu	78
3.1.3. Mômen phục hồi và chiều cao ổn định ban đầu	80
3.1.4. Sự thay đổi tư thế tàu và ổn định ban đầu khi có sự chuyển hàng trên tàu	82

3.1.5.	Sự thay đổi tư thế và ổn định ban đầu khi nhận hoặc trả hàng	85
3.1.6.	Ảnh hưởng của hàng treo và hàng lỏng đối với ổn định	88
3.1.6.	Vận dụng các công thức ổn định ban đầu để giải những vấn đề thực tế	90
3.2.	Ổn định góc lớn	96
3.2.1.	Đặc điểm của tàu nghiêng với góc lớn	96
3.2.2.	Đường cong ổn định tĩnh và công dụng của nó	98
3.2.3.	Ảnh hưởng của yếu tố bản thân tàu và cách bố trí hàng hoá đối với đường cong ổn định tĩnh của tàu	101
3.2.4.	Phương pháp tính tay đòn phục hồi $I_0 = f(\theta)$	104
3.2.5.	Ổn định động	112
3.2.6.	Đánh giá mức độ ổn định của tàu - Qui phạm ổn định	118

Chương 4 TÍNH KHÔNG CHÌM

4.1.	Khái niệm chung	123
4.2.	Phân loại các khoang và hệ số ngập nước	123
4.3.	Phương pháp tính toán tư thế và ổn định khi bị tai nạn	125
4.3.1.	Phương pháp nhận thêm hàng lỏng	125
4.3.2.	Tư thế và ổn định của tàu sau khi bị tai nạn theo phương pháp tổn thất sức nổi	127
4.4.	Đường cong chiều dài giới hạn khoang và phương pháp tính toán xây dựng đường cong đó	130
4.4.1.	Đường cong giới hạn chiều dài khoang	131
4.4.2.	Phương pháp xây dựng đường cong chiều dài giới hạn khoang	132

Chương 5 HẠ THỦY

5.1.	Khái niệm chung	135
5.2.	Hạ thủy dọc	135
5.2.1.	Công việc chuẩn bị hạ thủy	136
5.2.2.	Quá trình hạ thủy	136

5.2.3.	Những điều không an toàn có thể xảy ra trong quá trình hạ thủy dọc	139
5.2.4.	Tính toán thủy tĩnh khi hạ thủy	141
5.2.5.	Tính vận tốc khi hạ thủy	146
5.3.	Hạ thủy ngang	147

Chương 6 LẮC CỦA TÀU

6.1.	Khái niệm chung	151
6.2.	Phân loại các lực tác dụng lên tàu khi lắc, phương trình vi phân của dao động	153
6.2.1.	Những lực phục hồi (thủy tĩnh) đặc trưng cho xu thế tàu trở về vị trí cân bằng ban đầu	153
6.2.2.	Lực thủy động bản chất quán tính	154
6.2.3.	Ngoại lực	154
6.3.	Lắc ngang tự do trên nước tĩnh, hay là lắc tự nhiên	155
6.4.	Lắc ngang của tàu trên sóng	157
6.4.1.	Một vài kiến thức về sóng và gió	157
6.4.2.	Dùng phương trình toán học để mô tả sóng	159
6.4.3.	Lắc ngang của tàu trên sóng qui tắc	161
6.4.4.	Ảnh hưởng của lắc ngang	165
6.4.5.	Ảnh hưởng tính không qui tắc của sóng đối với lắc ngang	166
6.5.	Dập dềnh và lắc dọc	177
6.5.1.	Dập dềnh trên nước tĩnh	177
6.5.2.	Lắc dọc trên nước tĩnh	178
6.5.3.	Dập dềnh và lắc dọc trên sóng	179
6.5.4.	Ảnh hưởng của dập dềnh và lắc dọc	180

Chương 7 LỰC CẢN ĐỐI VỚI TÀU CHẠY

7.1.	Các thành phần của lực cản	183
7.2.	Điều kiện đồng dạng động lực học giữa tàu và mô hình	185

7.3.	Lực cản ma sát	191
7.3.1.	Lực cản của tấm phẳng, mỏng	192
7.3.2.	Lực cản ma sát đối với tàu	195
7.4.	Lực cản xoáy (hoặc lực cản hình dáng) R_v	197
7.5.	Lực cản đối với các bộ phận nhô ra trên thân tàu	199
7.6.	Lực cản do không khí gây nên	201
7.7.	Lực cản gây sóng	202
7.7.1.	Hệ thống sóng khi tàu chạy trên mặt nước	204
7.8.	Các biện pháp để giảm lực cản	210
7.8.1.	Giảm lực cản ma sát, lực cản hình dáng	210
7.8.2.	Giảm lực cản gây sóng	211
7.9.	Ảnh hưởng ngoại cảnh (điều kiện luồng lạch, thời tiết: sóng, gió) tới lực cản đối với tàu	212
7.9.1.	Ảnh hưởng của sóng gió	212
7.9.2.	Ảnh hưởng của luồng lạch	213
7.10.	Lực cản đối với tàu chạy nhanh	218
7.10.1.	Đặc trưng của lực cản khi tàu lướt trên mặt nước	218
7.10.2.	Các thành phần lực cản đối với tàu lướt	219
7.10.3.	Lực cản của tàu đệm khí	222
7.11.	Thử mô hình để tính lực cản của tàu	223
7.12.	Dùng phương pháp gần đúng để tính lực cản của tàu	225
7.12.1.	Phương pháp hệ số hải quân C_E và C_W	225
7.12.2.	Phương pháp Papmiel	228
7.12.3.	Phương pháp A. L. Ayre	230
7.12.4.	Phương pháp tính theo xêri 60 (xem bảng 7.10)	236

Chương 8 THIẾT BỊ ĐẨY

8.1.	Thiết bị đẩy thủy lực lý tưởng	249
8.2.	Một số ứng dụng của lý thuyết thiết bị đẩy lý tưởng	253

8.3.	Các đặc trưng hình học và thủy động học của chân vịt	255
8.3.1	Một số đặc trưng hình học của chân vịt	255
8.3.2.	Thủy động học của phần tử cánh	263

***Chương 9* TÍNH ĐIỀU KHIỂN ĐƯỢC CỦA TÀU**

9.1.	Khái niệm cơ bản về tính điều khiển được của tàu	323
9.2.	Bánh lái và một số tính năng cơ bản của bánh lái	325
9.3.	Tính quay vòng của tàu	326
9.3.1.	Tàu đang trên hành trình	326
9.3.2.	Các nhân tố ảnh hưởng tới tính quay vòng của tàu	329
9.3.3.	Tính toán quay vòng của tàu	330
9.3.4.	Nghiêng ngang khi quay vòng	331
9.3.5.	Quay vòng khi lùi	333
9.4.	Ổn định hướng đi của tàu	334
	Tài liệu tham khảo	337

LÝ THUYẾT TÀU THỦY

Tác giả: NGUYỄN CẢNH THANH

Chịu trách nhiệm xuất bản:

PGS. TS. TÔ ĐĂNG HẢI

Biên tập và sửa bài:

ThS. NGUYỄN HUY TIẾN

QUANG NGỌC

Trình bày bìa:

HƯƠNG LAN

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

70 Trần Hưng Đạo, Hà Nội

In 400 cuốn, khổ 19×27 cm, tại Xí nghiệp In Thương Mại (Bộ Công Thương)

Quyết định xuất bản số: 82-2007/CXB/504-02/KHKT-21/2/2008

In xong và nộp lưu chiểu quý II năm 2008.

2 0 8 0 7 0

lý thuyết tập hợp



1205080000079

90,000đ

Giá: 90.000đ