

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HIỆN TƯỢNG GIA TĂNG MÓN NƯỚC TỚI CHUYỂN ĐỘNG TÀU VÀ DỰ PHÒNG CHIỀU SÂU BẢO ĐẢM AN TOÀN HÀNG HẢI CHO TÀU TRONG LUỒNG HẸP

RESEARCH ON THE EFFECT OF INCREASED DRAFT ON SHIP MANOEUVRING AND SAFETY NAVIGATION DEPTH IN NARROW MARINE CHANNELS

TRẦN KHÁNH TOÀN

Khoa Công trình, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: toantk.ctt@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Trong công tác bảo đảm an toàn và thiết kế luồng hàng hải, hiện tượng gia tăng món nước tàu (squat) gây ra bởi chuyển động tương đối của thân tàu so với khối nước bao quanh thân tàu. Hiện tượng này ảnh hưởng đến chuyển động tàu cũng như việc tính toán dự phòng chiều sâu trong thiết kế luồng hàng hải, đặc biệt luồng hẹp.

Việc tính toán, phân tích ảnh hưởng của hiện tượng gia tăng món nước tới chuyển động tàu sẽ giúp cho người thiết kế tính toán chính xác dự phòng chiều sâu bảo đảm an toàn hàng hải cho tàu trong luồng nông và hẹp, góp phần lựa chọn tối ưu giá trị chiều sâu chạy tàu, vừa hạn chế tối đa nguy cơ chạm đáy hoặc mắc cạn, vừa tiết kiệm chi phí nạo vét duy tu luồng.

Từ khóa: Gia tăng món nước tàu, chiều sâu chạy tàu, thiết kế luồng, an toàn hàng hải, nạo vét luồng.

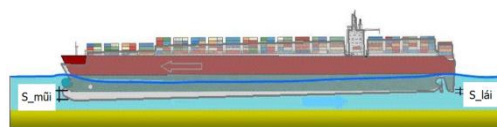
Abstract

In maritime safety engineering and designing marine channel design, the phenomenon of increased draft (squat) is caused by the relative movement of the ship's hull compared to the water mass surrounding. This phenomenon affects the ship's movement as well as the calculation of reserve depth in marine channel design, especially for narrow channels. Calculating and analyzing the effect of the phenomenon of increased draft on ship's movement will help the designer accurately calculate the reserve depth to ensure maritime safety for ships in narrow and shallow channels, contributing to the optimal selection of the value of ship's navigation depth, minimizing the risk of hitting the ship bottom, running aground, and saving the dredging costs for channel maintenance.

Keywords: Squat, Navigation depth, marine channel design, maritime safety, channel dredging.

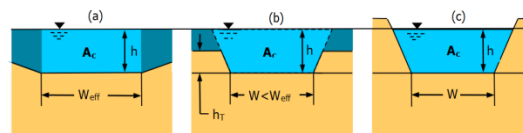
1. Đặt vấn đề

Hiện tượng gia tăng món nước tàu hay tàu bị chìm thêm một khoảng (Squat) là do sự thay đổi áp suất phân bố quanh thân tàu khi chuyển động. Hiệu ứng này càng rõ rệt khi tàu chuyển động ở vùng nước nông hoặc gần bờ. Hiện tượng này tạo ra một lực thẳng đứng hướng xuống làm tàu chìm thêm, đồng thời xuất hiện mômen chúi là nguyên nhân làm cho có sự khác nhau về giá trị gia tăng món nước giữa mũi và lái tàu (mũi thường chìm nhiều hơn lái) tùy thuộc đặc tính phân bố áp suất nước quanh thân tàu [1, 2].



Hình 1. Hiện tượng gia tăng món nước tàu (Squat)

Hiện tượng gia tăng món nước tàu luôn xuất hiện khi tàu chuyển động, đặc biệt quan trọng đối với các tàu cỡ lớn, có tốc độ khai thác cao và khi ra vào luồng hẹp với độ dự trữ chân hoa tiêu nhỏ, tiềm ẩn nguy cơ chạm đáy hoặc mắc cạn.



Hình 2. Phân loại luồng theo mặt cắt ngang:

(a) Luồng không hạn chế - U; (b) Luồng hạn chế/MC không đầy đủ - R; (c) Kênh đào/MC đầy đủ - C

Trong điều kiện luôn phải dành nguồn kinh phí đầu tư đáng kể cho công tác nạo vét duy tu các luồng hàng hải và khu nước, việc nghiên cứu để ước tính chính xác giá trị gia tăng món nước tàu sẽ góp phần giảm thiểu nguy cơ mất an toàn cho tàu khi hành hải

trên luồng hẹp, tiết giảm chi phí khai thác và bảo trì luồng, tăng độ tin cậy khi tính toán dự phòng chiều sâu trong thiết kế luồng hàng hải.

2. Tổng quan các phương pháp tính toán giá trị gia tăng mớn nước

Hiện nay, có một số phương pháp và công thức thông dụng để ước tính giá trị gia tăng mớn nước, thường ký hiệu là S_b (thường lấy giá trị Squat phía mũi tàu), gồm có:

- 1- Công thức Tuck 1966;
- 2- Công thức Huuska/Guiev 1976;
- 3- Quy trình thiết kế kênh biển 1976;
- 4- Công thức ICORELS 1980;
- 5- Công thức Yoshimura 1986;
- 6- Công thức Romisch 1989;
- 7- Công thức Eryuzlu-2 1994;
- 8- Công thức Barrass-3 2002.

Thông thường, nội dung tính toán giá trị Squat chỉ xét đến tàu trong điều kiện trạng thái ổn định với tốc độ không đổi, luồng được coi là thẳng mà không có bất kỳ thay đổi đột ngột nào về các thông số chuẩn tắc [5]. Tuy nhiên, thực tế giá trị Squat thường gia tăng đáng kể tại những thời điểm xuất hiện những yếu tố làm thay đổi trạng thái chuyển động của tàu, như thay đổi độ sâu đột ngột từ vùng nước sâu sang vùng nước nông, khi tàu bắt buộc phải tăng tốc, khi tàu qua đoạn cong, chuyển động gần bờ, đoạn có nhiều bùn ở đáy, khi tránh vượt tàu khác,...

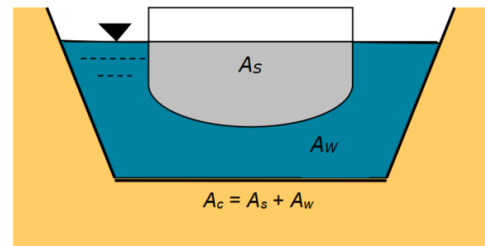
Để làm rõ sự thay đổi giá trị Squat trong môi trường quan với chuyển động tàu khi có sự thay đổi về chiều sâu chạy tàu, thay đổi vận tốc tàu, trong nghiên cứu này tác giả tập trung vào 3 nhóm công thức tính với 4 công thức đại diện được lựa chọn để áp dụng tính toán thử nghiệm, phân tích và so sánh:

- Nhóm công thức có xét đến hệ số cân hình học S của tàu trên luồng (tỷ số giữa diện tích mặt cắt ngang ướt của tàu A_s và diện tích mặt cắt ngang ướt của luồng A_c), sự thay đổi về chiều sâu chạy tàu H_{CT} , mối quan hệ giữa vận tốc chạy tàu V_s và chiều sâu chạy tàu H_{CT} thông qua hệ số Froude độ sâu - đặc trưng cho sức cản chuyển động tàu: Quy trình thiết kế kênh biển 1976, Công thức Yoshimura 1986.

- Nhóm công thức không xét đến hệ số cân hình học S của tàu trên luồng, chỉ xét đến sự thay đổi về chiều sâu chạy tàu H_{CT} , mối quan hệ giữa vận tốc chạy tàu V_s và chiều sâu chạy tàu H_{CT} : Công thức ICORELS 1980.

- Nhóm công thức không xét đến hệ số cân hình học S của tàu trên luồng, sự thay đổi về chiều sâu chạy

tàu H_{CT} , mối quan hệ giữa vận tốc V_s và chiều sâu chạy tàu H_{CT} : Công thức Barrass-3 2002.

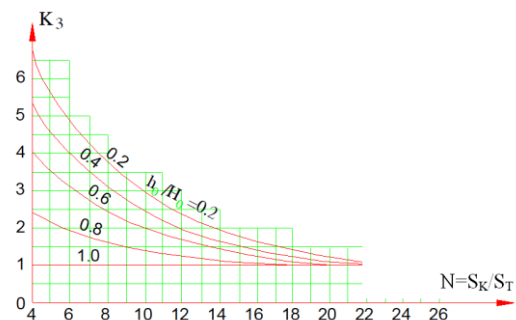


Hình 3. Hệ số cân theo diện tích mặt cắt ướt (A_s là diện tích mặt cắt ngang tàu, A_c diện tích mặt cắt ngang luồng, $S=A_s/A_c$ là hệ số cân của tàu trên luồng)

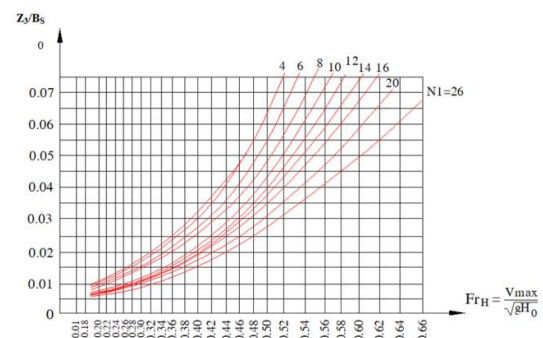
2.1. Quy trình thiết kế kênh biển 1976 [2]

Tính toán dự phòng thiết kế chiều sâu luồng do sự gia tăng mớn nước giữa trạng thái chuyển động và trạng thái đứng yên Z_3 (tương đương S_b).

Z_3 được xác định thông qua mối quan hệ với tỷ số diện tích mặt cắt ngang ướt của tàu S_T và diện tích mặt cắt ngang ướt của luồng S_K , tỷ số giữa chiều sâu luồng đào h_0 và chiều sâu thiết kế H_0 (trường hợp này tương đương chiều sâu chạy tàu H_{CT}), hệ số K_3 , hệ số Froude độ sâu, tỷ số giữa Z_3 và bề rộng tàu B_s để tính Z_3 .



Hình 4. Đồ thị xác định hệ số K_3



Hình 5. Đồ thị xác định tỷ số Z_3/B_s

Quy trình tính toán bao gồm các công thức tính và đồ thị thực nghiệm để xác định các đại lượng trung gian để tính Z_3 [2].

$$S_b = \left[\left(0.7 + 1.5 \frac{1}{T} \right) \left(\frac{C_B}{L_{PP}} \right) + 15 \frac{1}{T} \left(\frac{C_B}{L_{PP}} \right) \right] \frac{V_e^2}{g} \quad (1)$$

Trong đó: S_b là giá trị gia tăng món nước, h là chiều sâu chạy tàu, T là món nước tàu, L_{PP} là chiều dài tàu, C_B là hệ số béo của tàu.

V_e là vận tốc tàu qui đổi phụ thuộc vào hình dạng mặt cắt ngang của luồng và hệ số cản của tàu: $V_e = V_S$ nếu luồng có dạng không hạn chế (U); $V_e = V_S/(1-S)$ nếu luồng có dạng hạn chế (R) hoặc kênh đào (C).

2.2. Công thức ICORELS 1980 [3]

$$S_b = C_S \frac{\nabla}{L_{PP}^2} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1-F_{nh}^2}} \quad (2)$$

Trong đó: S_b là giá trị gia tăng món nước, F_{nh} là hệ số Froude, L_{PP} là chiều dài tàu, ∇ là thể tích nước bị tàu chiếm chỗ, C_S là hệ số phụ thuộc hệ số béo của tàu. $C_S = 1,7$ nếu $C_B < 0,70$; $C_S = 2,0$ nếu $0,70 \leq C_B < 0,80$; $C_S = 2,4$ nếu $C_B \geq 0,80$.

Hệ số Froude: $F_{nh} = V_S/\sqrt{gh}$.

2.3. Công thức Barrass-3 2002 [3]

$$S_b = \frac{C_B V_K^2}{100/K} \quad (3)$$

Trong đó: S_b là giá trị gia tăng món nước, C_B là hệ số béo của tàu, V_K là vận tốc tàu; K hệ số phụ thuộc hệ số cản S của tàu trên luồng: $K = 5,74S^{0,76}$.

3. Lựa chọn mô hình tàu, tính toán thử nghiệm

Để tính toán thử nghiệm, lựa chọn mô hình tàu tính toán là tàu container SR108 [4] chạy trên luồng hàng hải 2 chiều với các thông số được thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Thông số luồng và mô hình tàu tính toán

STT	Thông số	Giá trị
I	Luồng hàng hải (2 chiều)	
1	Cao độ đáy thiết kế: Z_{TK} (m)	-8
2	Cao độ đáy tự nhiên: Z_{TN} (m)	-5
3	Bề rộng luồng: B_c (m)	120
4	Hệ số mái dốc: m	10
5	Chiều sâu thiết kế: H_{TK} (m)	9.8
II	Mô hình tàu	
1	Tên mô hình tàu container	SR108
2	Chiều dài L_{PP} (m)	175
3	Chiều rộng B_S (m)	24.5
4	Món nước T (m)	8.5
5	Hệ số béo C_B	0.559

Lựa chọn thông số mực nước chạy tàu và vận tốc chạy tàu phù hợp thực tế. Tính riêng theo từng phương pháp với tình huống tàu chạy ở dải chiều sâu chạy tàu

H_{CT} khác nhau (theo các mực nước chạy tàu khác nhau) và dải vận tốc chạy tàu V_S khác nhau.

Mực nước chạy tàu ($MNCT$): 1,8m, 2,8m, 3,8m;

Vận tốc chạy tàu V_S : 5, 6, 7, 8, 9 knots.

Chiều sâu chạy tàu H_{CT} tương ứng tại các mực nước chạy tàu $MNCT$ được thể hiện trên Bảng 2.

Bảng 2. Tính toán các chiều sâu chạy tàu H_{CT}

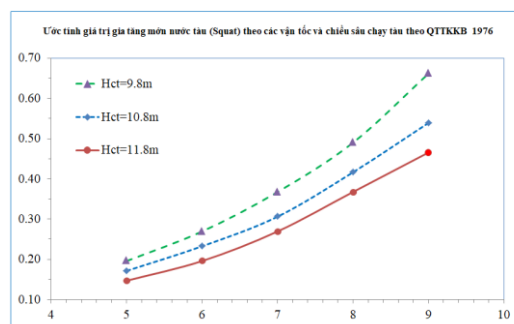
Chiều sâu chạy tàu	Giá trị	Đơn vị	Kiểm tra UKC (m)
H_{CT1} ($MNCT_1 = 1.8\text{m}$)	9.8	m	1.3
H_{CT2} ($MNCT_2 = 2.8\text{m}$)	10.8	m	2.3
H_{CT3} ($MNCT_3 = 3.8\text{m}$)	11.8	m	3.3

Kiểm tra dự trữ độ sâu dưới đáy tàu thỏa mãn điều kiện: $UKC \geq 0,85\text{m}$ (10%T).

Kết quả tính toán thu được như sau:

3.1. Tính theo Quy trình thiết kế kênh biển 1976

Đồ thị tổng hợp kết quả tính toán giá trị gia tăng món nước Z_3 (tương đương S_b) theo 3 giá trị H_{CT} và 5 giá trị vận tốc V_S (xem Hình 6).



Hình 6. Đồ thị tổng hợp Z_3 tính theo QTTKKB 1976

Kết quả tính toán chi tiết:

* Tại $H_{CT1} = 9,8\text{m}$ được thể hiện tại Bảng 3.

* Tại $H_{CT1} = 10,8\text{m}$ được thể hiện tại Bảng 4.

* Tại $H_{CT1} = 11,8\text{m}$ được thể hiện tại Bảng 5.

Bảng 3. Tính gia tăng món nước Z_3 tại $H_{CT1} = 9,8\text{m}$

V_S (knots)	$N = S_K/S_T$	h_0/H_{CT}	K_3	N_1	Fr_H	Z_3/B_s	Z_3 (m)
5	10.3	0.31	2.6	26.7	0.26	0.008	0.20
6	10.3	0.31	2.6	26.7	0.31	0.011	0.27
7	10.3	0.31	2.6	26.7	0.37	0.015	0.37
8	10.3	0.31	2.6	26.7	0.42	0.020	0.49
9	10.3	0.31	2.6	26.7	0.47	0.027	0.66

Bảng 4. Tính gia tăng mớn nước Z_3 tại $H_{CT2} = 10,8m$

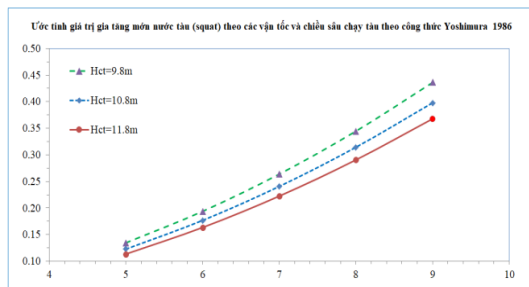
V_S (knots)	$N=$ S_R/S_T	$h_0/$ H_{CT}	K_3	N_I	Fr_H	Z_3/B_s	Z_3 (m)
5	11.8	0.28	2.25	26.6	0.25	0.007	0.17
6	11.8	0.28	3.25	38.4	0.30	0.010	0.23
7	11.8	0.28	4.25	50.3	0.35	0.013	0.31
8	11.8	0.28	5.25	62.1	0.40	0.017	0.42
9	11.8	0.28	6.25	73.9	0.45	0.022	0.54

Bảng 5. Tính gia tăng mớn nước Z_3 tại $H_{CT2} = 11,8m$

V_S (knots)	$N=$ S_R/S_T	$h_0/$ H_{CT}	K_3	N_I	Fr_H	Z_3/B_s	Z_3 (m)
5	13.5	0.25	1.9	25.6	0.24	0.006	0.15
6	13.5	0.25	2.9	39.1	0.29	0.008	0.20
7	13.5	0.25	3.9	52.6	0.33	0.011	0.27
8	13.5	0.25	4.9	66.1	0.38	0.015	0.37
9	13.5	0.25	5.9	79.6	0.43	0.019	0.47

3.2. Tính theo Công thức Yoshimura 1986

Đồ thị tổng hợp kết quả tính giá trị gia tăng mớn nước S_b theo 3 giá trị H_{CT} và 5 giá trị vận tốc V_S (xem Hình 7).



Hình 7. Đồ thị tổng hợp S_b tính theo Công thức Yoshimura 1986

Kết quả tính toán chi tiết:

- * Tại $H_{CT1} = 9,8m$ được thể hiện tại Bảng 6.
- * Tại $H_{CT1} = 10,8m$ được thể hiện tại Bảng 7.
- * Tại $H_{CT1} = 11,8m$ được thể hiện tại Bảng 8.

Bảng 6. Tính gia tăng mớn nước S^b tại $H_{CT1} = 9,8m$

V_S (knots)	A_c	A_s	S	H_{CT}/T	Ve (m/s)	S_b (m)
5	2136.4	208.3	0.10	1.15	2.85	0.13
6	2136.4	208.3	0.10	1.15	3.42	0.19
7	2136.4	208.3	0.10	1.15	3.99	0.26
8	2136.4	208.3	0.10	1.15	4.56	0.34
9	2136.4	208.3	0.10	1.15	5.13	0.44

Bảng 7. Tính gia tăng mớn nước S_b tại $H_{CT2} = 10,8m$

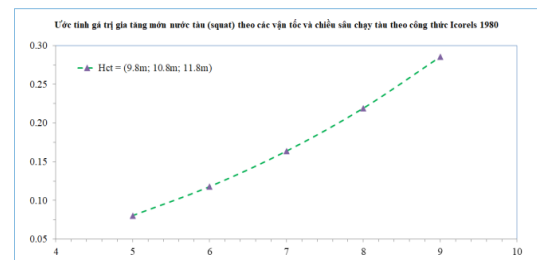
V_S (knots)	A_c	A_s	S	H_{CT}/T	Ve (m/s)	S_b (m)
5	2462.4	208.3	0.08	1.27	2.81	0.12
6	2462.4	208.3	0.08	1.27	3.37	0.18
7	2462.4	208.3	0.08	1.27	3.93	0.24
8	2462.4	208.3	0.08	1.27	4.49	0.31
9	2462.4	208.3	0.08	1.27	5.05	0.40

Bảng 8. Tính gia tăng mớn nước S_b tại $H_{CT2} = 11,8m$

V_S (knots)	A_c	A_s	S	H_{CT}/T	Ve (m/s)	S_b (m)
5	2808.4	208.3	0.07	1.39	2.78	0.11
6	2808.4	208.3	0.07	1.39	3.33	0.16
7	2808.4	208.3	0.07	1.39	3.89	0.22
8	2808.4	208.3	0.07	1.39	4.44	0.29
9	2808.4	208.3	0.07	1.39	5.00	0.37

3.3. Tính theo Công thức ICORELS 1980

Đồ thị tổng hợp kết quả tính giá trị gia tăng mớn nước S_b theo 3 giá trị H_{CT} và 5 giá trị vận tốc V_S (xem Hình 8).



Hình 8. Đồ thị tổng hợp S_b tính theo Công thức ICORELS 1980

Kết quả tính toán chi tiết:

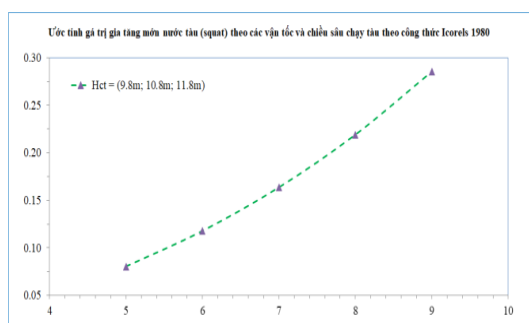
- * Tại $H_{CT} = (9,8m; 10,8m; 11,8m)$: S_b không phụ thuộc H_{CT} được thể hiện tại Bảng 9.

Bảng 9. Tính gia tăng mớn nước S_b tại $H_{CT} = (9,8m; 10,8m; 11,8m)$

V_S (knots)	∇	Fr	S_b (m)
5	20372.1	0.24	0.07
6	20372.1	0.29	0.10
7	20372.1	0.33	0.13
8	20372.1	0.38	0.18
9	20372.1	0.43	0.23

3.4. Tính theo Công thức Barrass-3 2002

Đồ thị tổng hợp kết quả tính giá trị gia tăng mớn nước S_b theo 3 giá trị H_{CT} và 5 giá trị vận tốc V_S (xem Hình 9).



Hình 9. Đồ thị tổng hợp S_b tính theo Công thức Barrass-3 2002

Kết quả tính toán chi tiết:

* $H_{CT} = (9,8m; 10,8m; 11,8m)$: S_b không phụ thuộc H_{CT} được thể hiện tại Bảng 10.

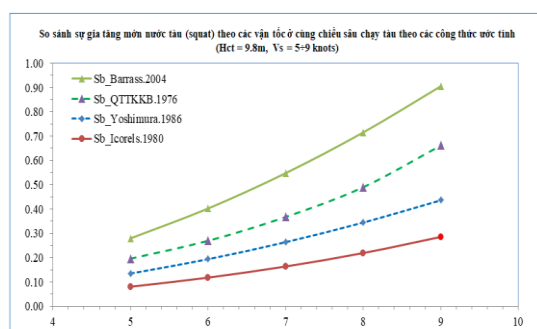
Bảng 10. Tính gia tăng mớn nước S_b tại $H_{CT} = (9,8m; 10,8m; 11,8m)$

V_s (knots)	C_B	S_b (m)
5	0.56	0.28
6	0.56	0.40
7	0.56	0.55
8	0.56	0.72
9	0.56	0.91

3.5. So sánh kết quả tính theo 4 phương pháp

Lựa chọn kết quả tính sự gia tăng mớn nước bất lợi nhất (S_b lớn nhất) cùng tại mực nước $H_{CTI} = 9,8m$ theo cả 4 phương pháp.

Đồ thị tổng hợp, so sánh kết quả tính toán giá trị gia tăng mớn nước S_b theo H_{CTI} và 5 vận tốc V_s như trên Hình 10.



Hình 10. Đồ thị so sánh kết quả tính toán S_b lớn nhất theo 4 phương pháp tại H_{CTI} tàu chạy với 5 vận tốc V_s

4. Phân tích kết quả tính toán thử nghiệm

Phân tích các giá trị tính được của từng phương pháp kết hợp với đồ thị tổng hợp, so sánh kết quả tính toán giá trị gia tăng mớn nước S_b tại H_{CTI} và 5 vận tốc V_s theo cả 4 phương pháp, rút ra một số nhận định như sau:

* Kết quả tính theo Quy trình thiết kế kênh biển 1976

và Công thức Yoshimura 1986: Do có xét đến đầy đủ hệ số cản của tàu trên luồng S , sự thay đổi về chiều sâu chạy tàu thông qua hệ số Froude độ sâu, do đó kết quả tính toán cho độ tin cậy cao. Giá trị S_b và Z_3 tính được nằm ở khoảng giữa so với 2 công thức còn lại. Tuy nhiên, khi tính Z_3 theo QTTKKB 1976 dễ phát sinh sai số trong quá trình tra các đồ thị thực nghiệm hoặc sử dụng giá trị nội suy, nên độ tin cậy của QTTKKB 1976 thấp hơn Công thức Yoshimura 1986.

* Kết quả tính theo Công thức ICORELS 1980: Do không xét đến hệ số cản S , chỉ xét đến sự thay đổi về chiều sâu chạy tàu thông qua hệ số Froude biểu thị mối quan hệ giữa vận tốc và chiều sâu chạy tàu, do đó kết quả tính toán cho độ tin cậy không cao. Giá trị S_b tính được thấp nhất so với 3 công thức còn lại.

* Kết quả tính theo Công thức Barrass-3 2002: Do không xét đến hệ số cản, sự thay đổi về chiều sâu chạy tàu, mối quan hệ giữa vận tốc và chiều sâu chạy tàu, do đó kết quả tính toán cho độ tin cậy không cao. Giá trị S_b tính được cao nhất so với 3 công thức còn lại.

5. Kết luận

Từ các phân tích trên, có thể thấy Công thức Yoshimura 1986 có độ tin cậy cao nhất khi áp dụng tính toán giá trị gia tăng mớn nước tàu S_b .

Việc sử dụng kết quả tính từ Công thức Yoshimura 1986 cho phép đối chiếu, kiểm tra kết quả tính toán dự phòng độ sâu do gia tăng mớn nước tàu Z_3 trong thiết kế luồng theo Quy trình thiết kế kênh biển 1976.

Phân tích các công thức (1), (2) và (3), cho thấy nếu tốc độ tàu V_s tăng lên k lần thì giá trị gia tăng mớn nước S_b sẽ tăng lên k^2 lần. Do đó, người điều khiển tàu cần đặc biệt lưu ý tránh chạy tàu tốc độ cao trong luồng nông và hẹp để phòng tàu chạm đáy hoặc mắc cạn.

Giá trị gia tăng mớn nước S_b tỷ lệ thuận với hệ số béo thể tích C_B , do đó với những tàu có hệ số C_B lớn (như tàu dầu) cần đặc biệt lưu ý hiện tượng gia tăng mớn nước tàu khi tàu xếp hàng tại cảng, chạy tàu trong luồng hẹp, nông và tuân thủ vận tốc tối đa cho phép của tàu trên luồng.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT24-25.79.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 11419:2016 về Luồng tàu biển - Yêu cầu thiết kế, 2016.
- [2] Trần Khánh Toàn (2019), Luồng tàu và khu nước của cảng, NXB Hàng hải, Hải Phòng.

- [3] PIANC (2014), *Habour approach channels design guidelines*, Report No.121.
- [4] Fossen T.I. (1994), *Guidance and Control of Ocean Vehicles*, John Wiley & Sons, 448 pages.
- [5] Trần Khánh Toàn (2025), *Kỹ thuật bảo đảm an toàn hàng hải trong vùng nước hạn chế*, Giáo trình giảng dạy cao học chuyên ngành Quản lý cảng và An toàn hàng hải.

Ngày nhận bài:	10/04/2025
Ngày nhận bản sửa:	17/04/2025
Ngày duyệt đăng:	17/04/2025