



DEVELOPING A PROGRAM TO CALCULATE THE UNIT RESULTANT FORCE OF TRAINS ON VIETNAM RAILWAYS

Do Duc Tuan*, Nguyen Duc Toan

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 8/9/2020

Revised: 4/10/2020

Accepted: 5/10/2020

Published online: 28/10/2020

<https://doi.org/10.47869/tcsj.71.7.3>

* *Corresponding author*

Email: ddtuan@utc.edu.vn; Tel: 0913905814

Abstract: The train traction calculation tasks are to be determining the train mass, testing the train mass, determining the running time and establishing the train operation chart in sections, and so on. To determine the running time and to establish the train operation chart in sections, first of all, it is necessary to determine and establish the resultant force and the unit resultant force of trains in operation. The trains operating on railways are quite diverse, because many different types of locomotives are used for different masses of trains. The determination of the running time and the train operation chart, including the unit resultant force, must be done for each specific train, resulting in a huge amount of computation that takes a long time when calculating by the traditional method. Therefore, it is necessary to develop a general calculation program to solve the problem quickly and accurately. The general program includes some basic modules corresponding to the above tasks. The article presents the process of developing a program to calculate and to establish the unit resultant force curves for trains with locomotives and wagons Railways used in Vietnam as a module in the mentioned general program.

Keywords: calculation program, train traction, unit resultant force, operation chart.



XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN HỢP LỰC ĐƠN VỊ CỦA ĐOÀN TÀU TRÊN ĐƯỜNG SẮT VIỆT NAM

Đỗ Đức Tuấn*, Nguyễn Đức Toàn

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 8/9/2020

Ngày nhận bài sửa: 4/10/2020

Ngày chấp nhận đăng: 5/10/2020

Ngày xuất bản Online: 28/10/2020

<https://doi.org/10.47869/tc.sj.71.7.3>

* Tác giả liên hệ

Email: ddtuan@utc.edu.vn; Tel: 0913905814

Tóm tắt: Nhiệm vụ của việc tính toán sức kéo đoàn tàu đường sắt là xác định khối lượng đoàn tàu, kiểm nghiệm khối lượng đoàn tàu, xác định thời gian chạy và xây dựng biểu đồ vận hành của đoàn tàu trong khu gian... Để xác định thời gian chạy và xây dựng được biểu đồ vận hành của đoàn tàu trong khu gian, trước hết cần xác định và xây dựng được hợp lực và hợp lực đơn vị của đoàn tàu trong quá trình vận hành. Các đoàn tàu vận hành trên đường sắt khá đa dạng, do nhiều loại đầu máy khác nhau đảm nhiệm với các khối lượng đoàn tàu khác nhau. Việc xác định thời gian chạy và biểu đồ vận hành, trong đó có hợp lực đơn vị, phải được tiến hành cho từng đoàn tàu cụ thể, dẫn đến khối lượng tính toán rất lớn, mất nhiều thời gian nếu thực hiện bằng phương pháp tính toán truyền thống. Vì vậy, cần xây dựng một chương trình tính toán tổng hợp để giải quyết bài toán đã nêu một cách nhanh chóng và chính xác. Chương trình tổng hợp này bao gồm một số mô đun cơ bản, tương ứng với các nhiệm vụ đã nêu ở trên. Bài báo này trình bày quá trình xây dựng chương trình tính toán và thiết lập đường cong hợp lực đơn vị cho các đoàn tàu với các loại đầu máy, toa xe sử dụng trong ngành đường sắt Việt Nam (ĐSVN), với tư cách là một mô đun trong chương trình tổng hợp đã nêu.

Từ khóa: chương trình tính toán, sức kéo đoàn tàu, hợp lực đơn vị, biểu đồ vận hành.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quá trình tính toán sức kéo đoàn tàu đường sắt bao gồm các nội dung chính như sau:

1. Xác định khối lượng kéo Q của đoàn tàu đối với một loại đầu máy cụ thể nào đó theo độ dốc tính toán i_t của tuyến đường và tốc độ tính toán V_t của đầu máy [1-4], [6-10]:

$$Q = \frac{F_k - P(\omega_0' + i_t)g}{(\omega_0'' + i_t)g}, \text{ tấn} \quad (1)$$

trong đó:

Q - khối lượng kéo của đoàn tàu, tấn;

F_k - lực kéo tính toán (lực kéo vành bánh) của đầu máy, N;

P - khối lượng tính toán của đầu máy, tấn;

ω_0' và ω_0'' - lực cản cơ bản đơn vị của đầu máy, toa xe ở tốc độ tính toán, N/kN;

i_t - độ dốc tính toán hoặc độ dốc hạn chế (quy đổi) của tuyến đường, (% $_0$);

g - gia tốc trọng trường, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

2. Kiểm nghiệm khối lượng kéo trong một số trường hợp sau đây [1-4], [6-10]:

- Tính toán và kiểm nghiệm khối lượng kéo theo độ dốc đoạn khởi động

- Tính toán và kiểm nghiệm khối lượng kéo theo chiều dài hữu hiệu đường ga

- Tính toán và kiểm nghiệm khối lượng kéo theo bán kính cong nhỏ nhất

- Tính toán và kiểm nghiệm khối lượng kéo theo điều kiện lợi dụng động năng vượt dốc có trị số lớn hơn trị số độ dốc tính toán

3. Xác định thời gian chạy của đoàn tàu trên khu gian và vẽ đồ thị $t = f(S)$ [1-4], [6-10].

4. Xây dựng biểu đồ vận hành của đoàn tàu trên khu gian và vẽ đồ thị $V = f(S)$ [1-4], [6-10].

Đoàn tàu vận hành trên đường sắt rất đa dạng, do nhiều loại đầu máy khác nhau đảm nhiệm với khối lượng đoàn tàu khác biệt nhau. Các nội dung nêu trên cần được thực hiện cho từng đoàn tàu cụ thể, do đó khối lượng tính toán rất lớn. Vì vậy, cần xây dựng một chương trình tính toán tổng hợp, nhằm thực hiện việc tính toán một cách nhanh chóng, thuận lợi và chính xác.

Để tính toán và xây dựng được các đồ thị $t = f(S)$ và $V = f(S)$, trước hết cần tính toán *hợp lực đơn vị* tác dụng lên đoàn tàu cụ thể vừa xác định. Nội dung bài báo này trình bày việc “Xây dựng chương trình tính toán *hợp lực đơn vị* của đoàn tàu trên đường sắt Việt Nam”, là một phần trong chương trình tổng quát của đề tài NCKH cấp Trường “Xây dựng quy trình tính toán sức kéo đoàn tàu trong ngành đường sắt Việt Nam”, mã số T2020-CK-011.

2. CƠ SỞ TÍNH TOÁN HỢP LỰC VÀ XÂY DỰNG ĐƯỜNG CONG HỢP LỰC ĐƠN VỊ CỦA ĐOÀN TÀU

2.1. Hợp lực tác dụng lên đoàn tàu

Trong quá trình vận hành, đoàn tàu chịu ba loại lực tác dụng lên nó là lực kéo, lực cản và lực hãm, các lực này đều là hàm số của tốc độ đoàn tàu. Khi vận hành trên đường thẳng và bằng phẳng, không có đường hãm, thì *hợp lực* tác dụng lên đoàn tàu ở các trạng thái vận hành là [1-4], [6-10]:

Trạng thái vận hành kéo:

$$C_k = F_k - W_0 = f_1(V), \text{ kN} \quad (2)$$

Trạng thái vận hành chạy đà:

$$C_{cd} = -W_{cd} = f_2(V), \text{ kN} \quad (3)$$

Trạng thái vận hành hãm:

$$C_h = -(W_{cd} + B_T) = f_3(V), \text{ kN} \quad (4)$$

trong đó:

F_k - lực kéo của đầu máy, kN;

W_0 - lực cản cơ bản của đoàn tàu, kN;

W_{cd} - lực cản cơ bản của đoàn tàu khi chạy đà, kN;

B_T - lực hãm của đoàn tàu, kN.

Tỷ số giữa hợp lực C tác dụng lên đoàn tàu với trọng lực của nó được gọi là hợp lực đơn vị, ký hiệu là c :

$$c = \frac{C}{(P+Q)g}, \text{ N/kN} \quad (5)$$

Độ lớn và phương của hợp lực tác dụng lên đoàn tàu quyết định trạng thái vận động của nó, do đó muốn phân tích sự vận động đoàn tàu để xác định tốc độ V , thời gian chuyển động t , quãng đường hãm S_h và quan hệ giữa chúng, thì phải biết qui luật biến đổi của hợp lực tác dụng lên đoàn tàu ở các tốc độ khác nhau. Vì vậy, trong tính toán sức kéo cần phải xây dựng đường cong hợp lực phụ thuộc vào tốc độ, hay gọi đơn giản là đường cong hợp lực. Trong thực tế người ta thường dùng đường cong hợp lực đơn vị có dạng tổng quát là $c = f(V)$. Đường cong này là cơ sở để giải quyết các vấn đề về tính toán sức kéo đoàn tàu.

2.2. Hợp lực đơn vị và đường cong hợp lực đơn vị của đoàn tàu

Để xây dựng đường cong hợp lực đơn vị của đoàn tàu, trước tiên cần tính và lập bảng hợp lực đơn vị của đoàn tàu ở ba trạng thái vận hành: kéo, chạy đà và hãm tương ứng với tốc độ khác nhau. Khi tính toán và vẽ đường cong hợp lực có thể lợi dụng đặc điểm lực cản phụ đường dốc quy đổi không phụ thuộc vào tốc độ, do đó lúc này chưa xét đến lực cản phụ, lấy đây làm cơ sở để vẽ ra đường cong hợp lực đơn vị, sau đó khi sử dụng đường cong hợp lực mới xét đến ảnh hưởng của lực cản phụ [1-4], [6-10].

a. Công thức tính hợp lực đơn vị

- Hợp lực đơn vị vận hành kéo:

$$c_k = \frac{F_k - W_0}{(P+Q)g} = \frac{F_k - (P\omega_0 + Q\omega_0'')g}{(P+Q)g}, \text{ N/kN} \quad (6)$$

- Hợp lực đơn vị khi chạy đà:

$$c_{cd} = \frac{-W_{cd}}{(P+Q)g} = \frac{-(P\omega_{0cd} + Q\omega_0'')g}{(P+Q)g} = \frac{-(P\omega_{0cd} + Q\omega_0'')}{(P+Q)}, \text{ N/kN} \quad (7)$$

- Hợp lực đơn vị khi hãm thường:

$$c_h = \frac{-(B_T + W_{cd})}{(P+Q)g} = -\left[\beta_m 1000 \rho_{qd} \theta_{qd} + \frac{(P\omega_{0cd} + Q\omega_0'')}{(P+Q)} \right] = -(0,5b_T + \omega_{0cd}), \text{ N/kN} \quad (8)$$

trong đó:

F_k - lực kéo vành bánh của đầu máy; nếu nhiều máy kéo hoặc phụ đẩy thì là tổng lực kéo các đầu máy, N.

ω'_0, ω'_{0cd} - lực cản cơ bản đơn vị của đầu máy ở chế độ kéo và chạy đà, N/kN;

ω''_0 - lực cản cơ bản đơn vị của toa xe, N/kN;

β_{ht} - hệ số hãm thường, được lấy là 0,5 ($\beta_{ht} = 0,5$);

φ_{qd} - hệ số ma sát quy đổi giữa guốc hãm với bánh xe;

θ_{qh} - hãm suất quy đổi của đoàn tàu;

b_T - lực hãm đơn vị quy đổi (chuyển đổi), N/kN.

2.3. Quy trình xây dựng đường cong hợp lực đơn vị

2.3.1. Các thông số ban đầu

a. Thông số kỹ thuật của đầu máy

Các thông số kỹ thuật cơ bản và đặc tính sức kéo của các loại đầu máy sử dụng trong ngành đường sắt Việt Nam (ĐSVN) được cho trong bảng 1.

Sức cản cơ bản đơn vị của các loại đầu máy sử dụng trong ngành đường sắt Việt Nam được xác định theo biểu thức tổng quát trong [6] và được cụ thể hóa trong [5] và thể hiện cho trong bảng 2.

Bảng 1. Đặc tính sức kéo một số loại đầu máy diesel đang sử dụng trong ngành ĐSVN.

Thông số	Loại đầu máy và lực kéo đầu máy F_k , kN								
	D5H	D9E	D10H	D11H	D12E	D13E	D18E	D19E	D20E
Công thức trục	2-2	2 ₀ -2 ₀	2-2	2-2	2 ₀ -2 ₀	3 ₀ -3 ₀	3 ₀ -3 ₀	3 ₀ -3 ₀	3 ₀ -3 ₀
Khối lượng chính bị, t	$P=40,0$	$P=54,5$	$P=58,0$	$P=56,0$	$P=56,0$	$P=72,0$	$P=84,0$	$P=81,0$	$P=81,0$
Khối lượng trục, t	$q=10,0$	$q=13,6$	$q=14,5$	$q=14,0$	$q=14,0$	$q=12,0$	$q=14,0$	$q=13,5$	$q=13,5$
Tốc độ, km/h	Sức kéo, kN								
0	$F_{kt}=99,64$	$F_{kt}=156,0$	$F_{kt}=192,0$	$F_{kt}=162,0$	$F_{kt}=146,0$	$F_{kt}=216,0$	$F_{kt}=255,0$	$F_{kt}=370,0$	$F_{kt}=260,0$
$V_\infty = 9,7$	$F_k^\infty = 80,07$	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	128,0	135,4	140,0	142,0	179,0	200,0	340,0	254,3
$V_\infty = 12,0$	-	$F_k^\infty = 123,0$	-	-	-	-	-	-	-
$V_\infty = 15,5$	-	-	-	-	-	$F_k^\infty = 160,5$	-	-	-
$V_\infty = 15,6$	-	-	-	-	-	-	$F_k^\infty = 190,0$	$F_k^\infty = 221,0$	-
$V_\infty = 16,0$	-	-	-	-	$F_k^\infty = 123,0$	-	-	-	-
$V_\infty = 16,2$	-	-	$F_k^\infty = 108,0$	-	-	-	-	-	-
$V_\infty = 18,8$	-	-	-	-	-	-	-	-	$F_k^\infty = 234,0$
20	-	91,5	93,7	$F_k^\infty = 95,0$	110,0	135,0	140,0	170,0	225,0
30	-	66,0	64,6	78,0	63,0	84,0	105,0	116,0	154,4
40	-	48,0	41,7	56,0	46,0	62,0	80,0	88,0	115,0
50	-	35,0	33,3	46,0	35,5	49,0	62,0	73,0	90,8
60	-	28,5	29,2	37,5	29,3	41,0	52,0	60,0	75,0
70	-	24,0	25,6	31,9	25,0	34,0	45,0	50,0	64,6
80	-	21,5	-	28,0	22,5	30,0	38,0	45,0	57,0
90	-	18,5	-	26,0	-	28,8	30,0	42,0	50,4
100	-	16,0	-	25,0	-	-	28,8	37,1	45,0
110	-	-	-	-	-	-	-	-	-
120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V_{max}	65	114	70	100	80	96	96	100	120

(Nguồn: Ban Đầu máy-Toa xe, Tổng Công ty ĐSVN)

Bảng 2. Biểu thức sức cản cơ bản đơn vị của đầu máy diesel trong ngành ĐSVN thiết lập theo biểu thức tổng quát của QTSK 1985.

Đầu máy	Thông số kỹ thuật của đầu máy								Biểu thức sức cản cơ bản đơn vị, N/kN
	P_0 , t	n	q_0 , t	q , kN	D , m	R , m	C , m	S , m ²	$\omega_0 = A + BV + CV^2$
D5H	40	4	10	100	10,06	2,82	3,825	10,787	$\omega_0 = 1,97 + 0,00931V + 0,000122V^2$
D9E	54,5	4	13,6	136	9,144	2,743	3,658	10,034	$\omega_0 = 1,621 + 0,00931V + 0,000834V^2$
D10H	58	4	14,5	145	12,676	3,046	3,793	11,553	$\omega_0 = 1,56 + 0,00931V + 0,000902V^2$
D11H	56	4	14	140	14,006	2,870	3,608	10,355	$\omega_0 = 1,593 + 0,00931V + 0,000838V^2$
D12E	56	4	14	140	13,306	2,754	3,854	10,614	$\omega_0 = 1,593 + 0,00931V + 0,000859V^2$
D13E	72	6	12	120	14,476	2,730	3,635	9,927	$\omega_0 = 1,75 + 0,00931V + 0,000625V^2$
D18E	84	6	14	140	15,50	2,800	3,800	10,64	$\omega_0 = 1,593 + 0,00931V + 0,000574V^2$
D19E	81	6	13,5	135	16,892	2,90	3,900	11,31	$\omega_0 = 1,623 + 0,00931V + 0,000633V^2$
D20E	81	6	13,5	135	19,18	2,82	3,945	11,125	$\omega_0 = 1,593 + 0,00931V + 0,000622V^2$

b. Thông số kỹ thuật của toa xe

Các thông số kỹ thuật cơ bản của các loại toa xe sử dụng trong ngành ĐSVN được cho trong bảng 3.

Sức cản cơ bản đơn vị của toa xe sử dụng trong ngành ĐSVN được cho trong bảng 4 [3,4-6].

Bảng 3. Thông số kỹ thuật cơ bản của các loại toa xe sử dụng trong ngành ĐSVN.

TT	Ký hiệu toa xe	Tốc độ cấu tạo	Tự trọng	Tải trọng	Chiều dài (giữa 2 đầu đăm)	Số guốc hãm
	Toa xe khách					
1	A	80	30	10	19,7	16
2	A-TH2	100	40	10	20,7	16
3	An	80	30	10	19,7	16
4	An-TH2	100	36	8	20,7	16
5	An-TH2	100	36,5	7,5	20,7	16
6	B	80	30	10	19,7	16
7	Bn	80	30	10	19,7	16
8	Bn-TH2	100	36	8	20,7	16
9	CVPĐ	80	39,5	2,5	19,7	16
10	CVPĐ-TH2	100	41,5	2,5	20,7	16
11	DLCC-TH2	100	36	8	20,7	16
	Toa xe hàng					
12	G-Ấn Độ	80	18	35	13,5	8
13	G-Ru	80	20	30	14,7	8
14	G-TQ	80	15,7	30	12,7	8
15	G-VN	80	20	30	12,7	8
16	G-VN mới	100	20	35	14,7	8
17	H-Ấn Độ	80	16	40	13,5	8
18	HC	80	30	10	19,7	16
19	HC-TH2	100	36	8	20,7	16
20	H-Ru	80	20	30	14,7	8
21	H-TQ	80	14,4	30	12,8	8

22	M-TQ	80	15,5	35	13,8	8
23	N-TQ	80	13	30	12,7	8
24	N-VN	80	15	30	12,7	8
25	P-TQ	80	16,8	30	11,2	8
26	P-VN	80	15	30	11,3	8
27	R-TQ	80	19	40	12,2	8
28	T-VN	80	19,6	10	12,7	8
29	XT-TQ	80	25,6	40	16,7	12

(Nguồn: Ban Đầu máy-Toa xe, Tổng Công ty ĐSVN)

Bảng 4. Lực cản cơ bản đơn vị của toa xe sử dụng trong ngành ĐSVN.

Toa xe 4 trục	Loại ổ trục	Công thức sức cản đơn vị, N/kN
Hàng nặng	Ổ trượt	$\omega_0'' = 1,0 + 0,04.V + 0,00032V^2$
Hàng rỗng		$\omega_0'' = 1,2 + 0,02.V + 0,0017V^2$
Hàng nặng	Ổ lăn	$\omega_0'' = 0,7 + 0,04.V + 0,00032V^2$
Hàng rỗng		$\omega_0'' = 0,9 + 0,02.V + 0,0017V^2$
Khách	Ổ trượt	$\omega_0'' = 2,6 + 0,036.V + 0,00029V^2$
	Ổ lăn	$\omega_0'' = 1,5 + 0,026.V + 0,00029V^2$

2.3.2. Các bước tiến hành

Để tiến hành tính toán hợp lực đơn vị cho một đoàn tàu cụ thể nào đó, cần thực hiện các bước theo trình tự cho trong bảng 5, như sau [1], [7 ÷ 9]:

Bảng 5. Bảng thông số tính toán hợp lực đơn vị của đoàn tàu.

TT	Chế độ kéo									Chế độ chạy đà				Chế độ hãm		
	v km/h	F_k N	ω_0' N/kN	W_0' N	ω_0'' N/kN	W_0'' N	W_0 N	$F_k - W_0$ N	$f_k - \omega_0$ N/kN	ω_{0cd} N/kN	W_{0cd} N	$W_{0cd} + W_0'$ N	ω_{cd} N/kN	φ_{ms}	b_r N/kN	$\omega_{0cd} + 0,5b_r$ N/kN
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
0																

max																

- Cột 1: Tốc độ của đầu máy từ 0 đến tốc độ cấu tạo V_{max} .
- Cột 2: Sức kéo của đầu máy (tính bằng N) tương ứng với tốc độ đã cho. Số liệu này lấy từ đường đặc tính sức kéo của đầu máy (bảng 1).
- Cột 3: Tính sức cản cơ bản đơn vị ω_0' của đầu máy tương ứng với tốc độ đã cho theo các công thức trong bảng 2.
- Cột 4: Tính sức cản cơ bản của đầu máy tương ứng với tốc độ đã cho theo công thức

$$W_0' = P\omega_0'g, N \tag{9}$$

- Cột 5: Tính sức cản cơ bản đơn vị của toa xe ω_0'' tương ứng với tốc độ đã cho theo các công thức trong bảng 3.
- Cột 6: Tính sức cản cơ bản của đoàn xe tương ứng với tốc độ đã cho theo công thức

$$W_0'' = Q\omega_0''g, N \tag{10}$$

- Cột 7: Tính sức cản cơ bản của đoàn tàu tương ứng với tốc độ đã cho theo công thức

$$W_0 = W_0' + W_0'', N \tag{11}$$

- Cột 8: Tính hợp lực tác dụng lên đoàn tàu ở chế độ vận hành kéo theo công thức

$$C_k = F_k - W_0, N \tag{12}$$

- Cột 9: Tính hợp lực đơn vị tác dụng lên đoàn tàu ở chế độ vận hành kéo theo công thức

$$c_k = \frac{F_k - W_0}{(P + Q)g} = f_k - \omega_0, \text{ N/kN} \quad (13)$$

- Cột 10: Tính sức cản cơ bản đơn vị khi chạy đà của đầu máy theo công thức

$$\omega_{0cd} = 2,4 + 0,01V + 0,00035V^2, \text{ N/kN} \quad (14)$$

- Cột 11: Tính sức cản cơ bản khi chạy đà của đầu máy theo công thức

$$W_{0cd} = P\omega_{0cd}g, \text{ N} \quad (15)$$

- Cột 12: Tính lực cản cơ bản của đoàn tàu khi chạy đà theo công thức

$$W_{cd} = W_{0cd} + W_0'', \text{ N} \quad (16)$$

- Cột 13: Tính lực cản cơ bản đơn vị của đoàn tàu khi chạy đà theo công thức

$$c_{cd} = \omega_{cd} = -\frac{W_{cd}}{(P + Q)g}, \text{ N/kN} \quad (17)$$

- Cột 14: Tính toán hệ số ma sát guốc hãm quy đổi theo công thức

$$\varphi_{qd} = 0,27 \frac{V + 100}{5V + 100} \quad (18)$$

- Cột 15: Tính toán lực hãm đơn vị đoàn tàu theo công thức

$$b_T = \frac{B_T}{(P + Q)g} = \frac{1000\varphi_{qd} \sum K_{qd}}{(P + Q)g} = 1000\varphi_{qd}\theta_{qd}, \text{ N/kN}. \quad (19)$$

trong đó:

$$\theta_{qd} = \frac{\sum K_{qd}}{(P + Q)g} \quad (20)$$

hãm suất quy đổi đoàn tàu, là thông số phản ánh năng lực hãm đoàn tàu.

Việc tính toán hãm suất quy đổi của đoàn tàu: bao gồm hãm suất quy đổi của đầu máy và hãm suất quy đổi của toa xe.

Áp lực guốc hãm quy đổi

$$\sum K_{qd} = K_{qd}^{dm} + K_{qd}^{tx}, \text{ kN} \quad (21)$$

trong đó:

K_{qd}^{dm} - áp lực guốc hãm quy đổi của đầu máy, kN;

$$K_{qd}^{dm} = m_{dm}K_{dm}, \text{ kN} \quad (22)$$

K_{qd}^{tx} - áp lực guốc hãm quy đổi của toa xe, kN;

$$K_{qd}^{tx} = m_{tx}K_{tx}, \text{ kN} \quad (23)$$

với: m_{dm}, m_{tx} - số trục của một đầu máy và một toa xe;

K_{dm}, K_{tx} - áp lực guốc hãm trên một trục của đầu máy và toa xe, được lấy theo Quy trình sức kéo của ĐSVN, kN.

Sau khi tính được hãm suất quy đổi theo công thức (19), thay vào công thức (18) sẽ xác định được lực hãm đơn vị b_T của đoàn tàu.

Kết quả tính toán được điền đầy đủ vào bảng 5. Từ kết quả trong các cột 9, 13 và 16 có thể vẽ được 3 đường hợp lực đơn vị:

- Đường hợp lực đơn vị khi vận hành kéo: $c_k = f_1(V)$;

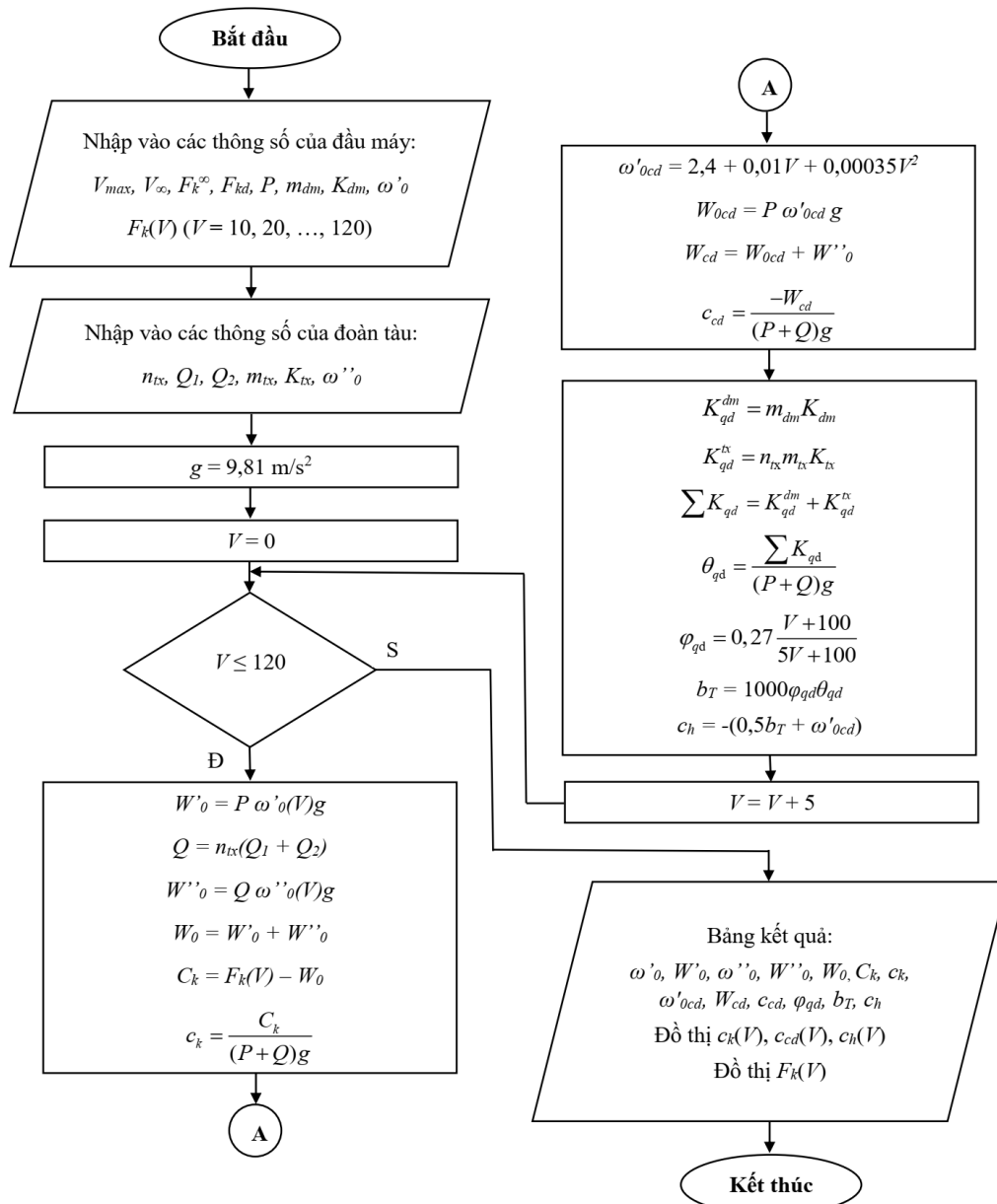
- Đường hợp lực đơn vị khi chạy đà: $c_{cd} = f_2(V)$;

- Đường hợp lực đơn vị khi hãm thường: $c_h = f_3(V)$.

3. XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN VÀ THIẾT LẬP ĐƯỜNG CONG HỢP LỰC ĐƠN VỊ CỦA ĐOÀN TÀU

3.1. Lưu đồ thuật toán

Bằng ngôn ngữ lập trình Java, tiến hành xây dựng chương trình tính toán với lưu đồ thuật toán thể hiện trên hình 1.



Hình 1. Lưu đồ thuật toán của chương trình.

Chương trình có các chức năng chủ yếu như sau:

Tệp tin: Tạo mới, lưu tệp, mở tệp, thoát.

Kết quả tính toán: Bảng kết quả tính toán tổng hợp, bảng kết quả tính toán hợp lực đơn vị.

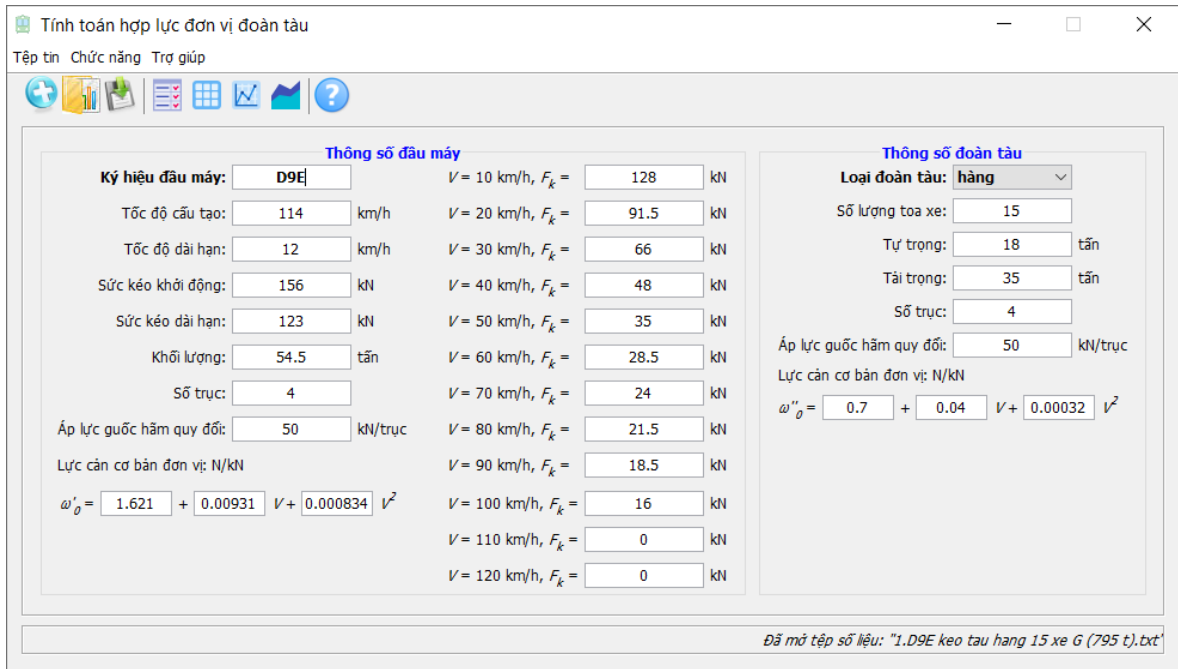
Vẽ đồ thị: đường đặc tính sức kéo đầu máy, các đường cong hợp lực đơn vị tương ứng với các đoàn tàu cụ thể.

3.2. Các giao diện chính của chương trình

Các giao diện chính thể hiện trên các hình 2-4.

Hình 2. Giao diện nhập số liệu ban đầu.

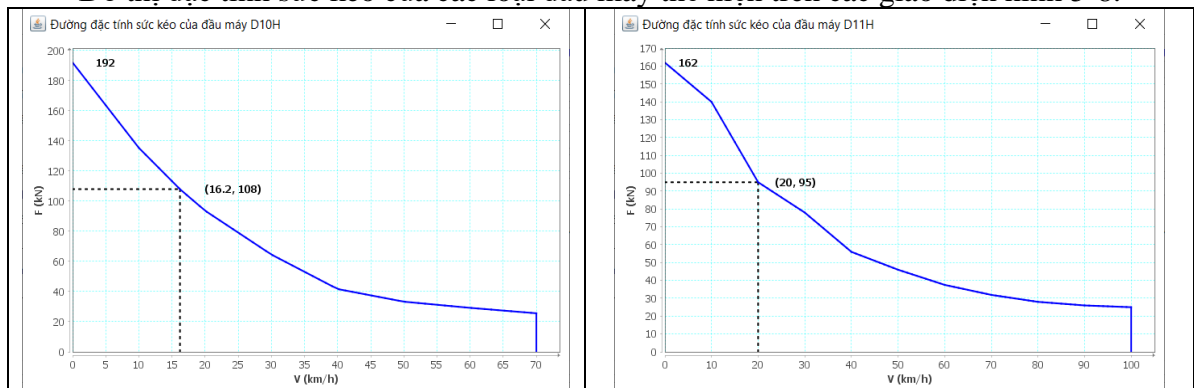
Hình 3. Giao diện mở tệp số liệu.



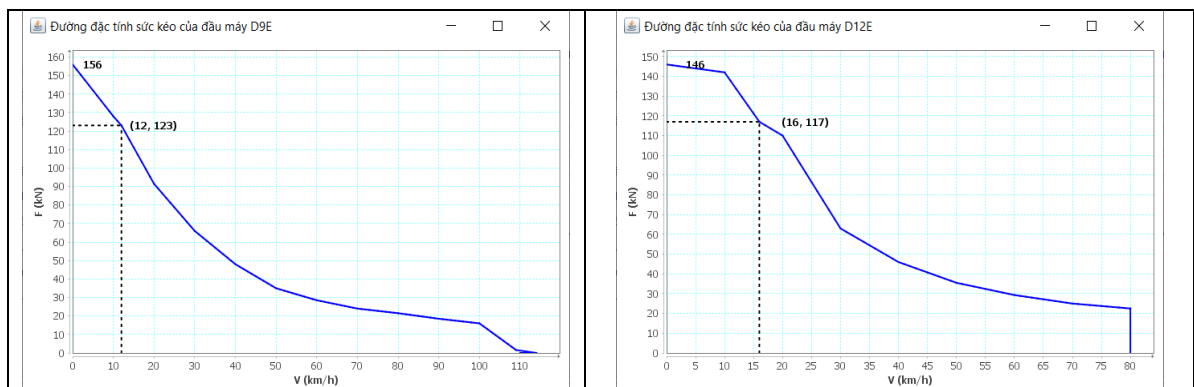
Hình 4. Giao diện hiển thị số liệu tính toán.

3.3. Một số kết quả tính toán

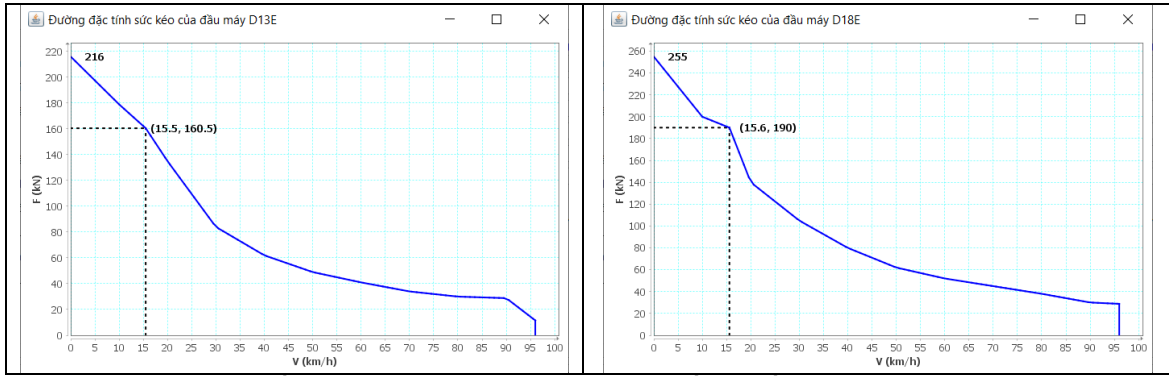
Đồ thị đặc tính sức kéo của các loại đầu máy thể hiện trên các giao diện hình 5-8.



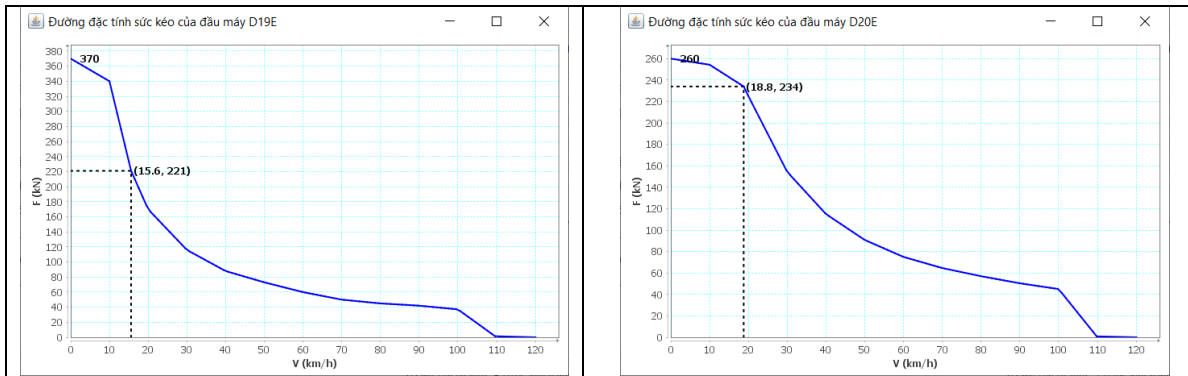
Hình 5. Đồ thị đường đặc tính sức kéo thực tế của đầu máy D10H và D11H.



Hình 6. Đồ thị đường đặc tính sức kéo thực tế của đầu máy D9E và D12E.



Hình 7. Đồ thị đường đặc tính sức kéo thực tế của đầu máy D13E và D18E.



Hình 8. Đồ thị đường đặc tính sức kéo thực tế của đầu máy D19E và D20E.

Kết quả tính toán tổng hợp và kết quả tính toán hợp lực đơn vị ở các chế độ kéo, chạy đà và hãm đối với đoàn tàu hàng 795 tấn do đầu máy D19E kéo, gồm 15 toa xe G cho dưới dạng bảng số và đồ thị, thể hiện trên các giao diện hình 9-11.

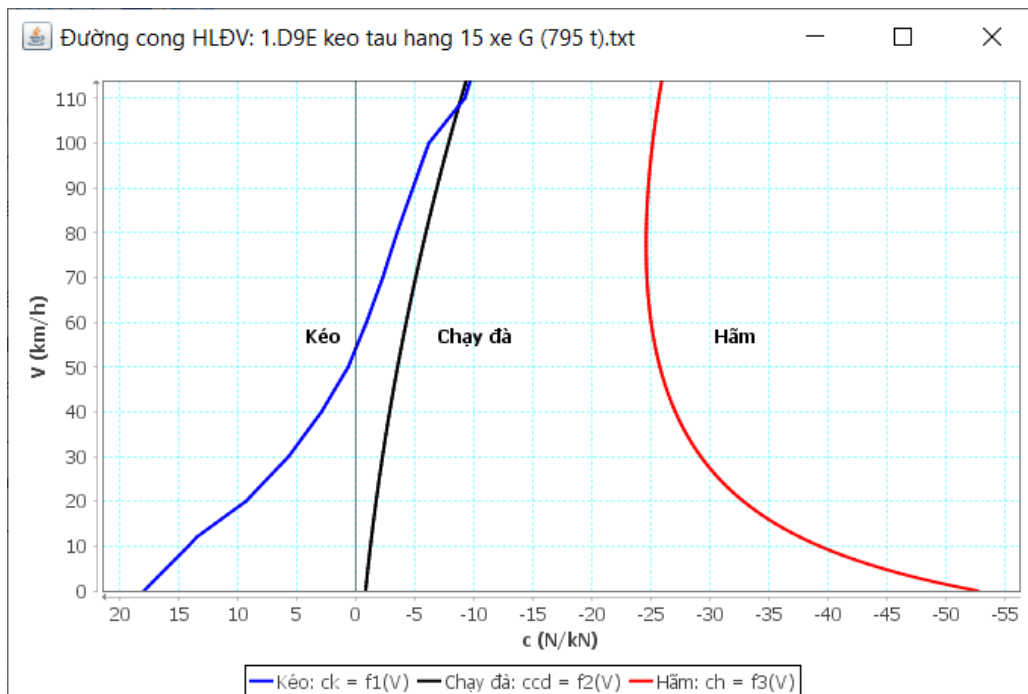
Bảng kết quả tính toán HLDV: 1.D9E kéo tàu hàng 15 xe G (795 t).xt

V (km/h)	Fk (N)	$\omega\phi'$ (N/kt)	W0' (N)	$\omega\phi''$ (N/kt)	W0'' (N)	W0 (N)	Ck (N)	ck (N/kt)	ωcd (N/kt)	Wcd (N)	Wdctcd (N)	$\omega\phi cd$ (N/kt)	ϕms	bT (N/kt)	ch (N/kt)
0.0	156000	1.621	866.660	0.700	5459.265	6325.925	149674.0...	17.960	2.400	1283.148	6742.413	-0.809	0.270	103.677	-52.647
5.0	142000	1.688	902.695	0.908	7081.447	7984.141	134015.8...	16.081	2.459	1314.558	8396.005	-1.007	0.227	87.088	-44.552
10.0	128000	1.797	961.024	1.132	8828.411	9789.436	118210.5...	14.185	2.535	1355.325	10183.736	-1.222	0.198	76.030	-39.237
12.0	123000	1.853	990.599	1.226	9562.137	10552.735	112447.2...	13.493	2.570	1374.252	10936.388	-1.312	0.189	72.574	-37.599
15.0	111188	1.948	1041.649	1.372	10700.159	11741.808	99445.692	11.933	2.629	1405.448	12105.607	-1.453	0.177	68.130	-35.518
20.0	91500	2.141	1144.568	1.628	12696.691	13841.259	77658.741	9.319	2.740	1464.927	14161.618	-1.699	0.162	62.206	-32.802
25.0	78750	2.375	1269.782	1.900	14818.005	16087.787	62662.213	7.519	2.869	1533.763	16351.768	-1.962	0.150	57.598	-30.761
30.0	66000	2.651	1417.290	2.188	17064.103	18481.393	47518.607	5.702	3.015	1611.955	18676.057	-2.241	0.140	53.912	-29.197
35.0	57000	2.968	1587.094	2.492	19434.983	21022.077	35977.923	4.317	3.179	1699.503	21134.486	-2.536	0.133	50.896	-27.984
40.0	48000	3.328	1779.192	2.812	21930.647	23709.839	24290.161	2.915	3.360	1796.407	23727.055	-2.847	0.126	48.382	-27.038
45.0	41500	3.729	1993.584	3.148	24551.095	26544.679	14955.321	1.795	3.559	1902.668	26453.762	-3.174	0.120	46.256	-26.302
50.0	35000	4.172	2230.272	3.500	27296.325	29526.597	5473.403	0.657	3.775	2018.285	29314.610	-3.518	0.116	44.433	-25.734
55.0	31750	4.656	2489.254	3.868	30166.339	32655.592	-905.592	-0.109	4.009	2143.258	32309.597	-3.877	0.112	42.853	-25.304
60.0	28500	5.182	2770.530	4.252	33161.135	35931.666	-7431.666	-0.892	4.260	2277.588	35438.723	-4.253	0.108	41.471	-24.988
65.0	26250	5.750	3074.102	4.652	36280.715	39354.817	-13104.817	-1.573	4.529	2421.274	38701.989	-4.644	0.105	40.251	-24.770
70.0	24000	6.359	3399.968	5.068	39525.079	42925.047	-18925.047	-2.271	4.815	2574.316	42099.394	-5.052	0.102	39.167	-24.635
75.0	22750	7.011	3748.129	5.500	42894.225	46642.354	-23892.354	-2.867	5.119	2736.714	45630.939	-5.476	0.099	38.197	-24.574
80.0	21500	7.703	4118.584	5.948	46388.155	50506.739	-29006.739	-3.481	5.440	2908.469	49296.623	-5.915	0.097	37.324	-24.577
85.0	20000	8.438	4511.335	6.412	50006.867	54518.202	-34518.202	-4.142	5.779	3089.580	53096.447	-6.371	0.095	36.534	-24.638
90.0	18500	9.214	4926.379	6.892	53750.363	58676.743	-40176.743	-4.821	6.135	3280.047	57030.410	-6.843	0.093	35.816	-24.751
95.0	17250	10.032	5363.719	7.388	57618.643	62982.362	-45732.362	-5.488	6.509	3479.871	61098.513	-7.332	0.092	35.160	-24.912
100.0	16000	10.892	5823.353	7.900	61611.705	67435.058	-51435.058	-6.172	6.900	3689.051	65300.756	-7.836	0.090	34.559	-25.115
105.0	8000	11.793	6305.282	8.428	65729.551	72034.833	-64034.833	-7.684	7.309	3907.587	69637.137	-8.356	0.089	34.006	-25.359
110.0	0	12.737	6809.506	8.972	69972.179	76781.685	-76781.685	-9.214	7.735	4135.479	74107.658	-8.893	0.087	33.496	-25.640
114.0	0	13.521	7228.937	9.419	73456.126	80685.064	-80685.064	-9.682	8.089	4324.530	77780.656	-9.333	0.086	33.115	-25.891

Hình 9. Kết quả tính toán tổng hợp cho dưới dạng bảng số đối với đoàn tàu hàng 795 tấn do đầu máy D19E kéo, gồm 15 toa xe G.

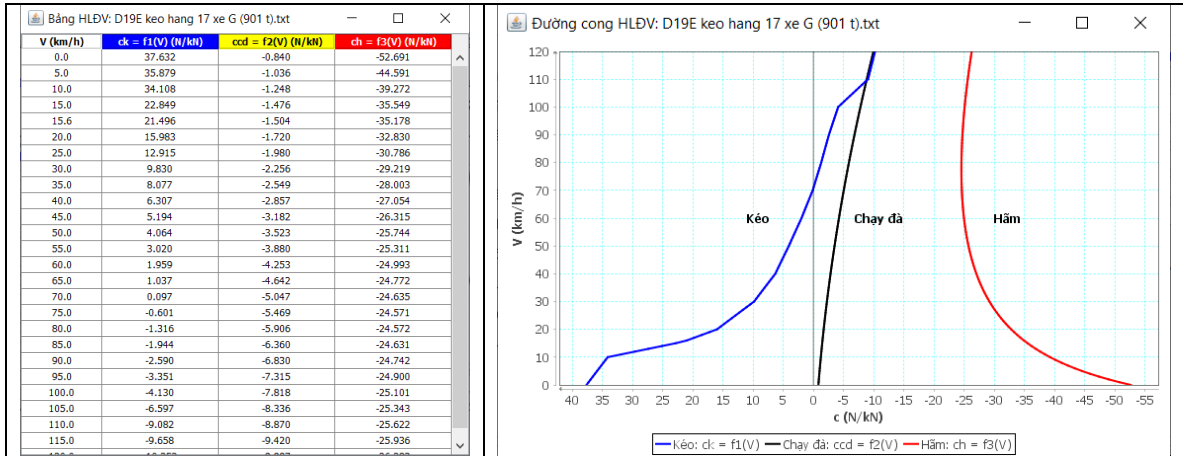
V (km/h)	ck = f1(V) (N/kN)	ccd = f2(V) (N/kN)	ch = f3(V) (N/kN)
0.0	17.960	-0.809	-52.647
5.0	16.081	-1.007	-44.552
10.0	14.185	-1.222	-39.237
12.0	13.493	-1.312	-37.599
15.0	11.933	-1.453	-35.518
20.0	9.319	-1.699	-32.802
25.0	7.519	-1.962	-30.761
30.0	5.702	-2.241	-29.197
35.0	4.317	-2.536	-27.984
40.0	2.915	-2.847	-27.038
45.0	1.795	-3.174	-26.302
50.0	0.657	-3.518	-25.734
55.0	-0.109	-3.877	-25.304
60.0	-0.892	-4.253	-24.988
65.0	-1.573	-4.644	-24.770
70.0	-2.271	-5.052	-24.635
75.0	-2.867	-5.476	-24.574
80.0	-3.481	-5.915	-24.577
85.0	-4.142	-6.371	-24.638
90.0	-4.821	-6.843	-24.751
95.0	-5.488	-7.332	-24.912
100.0	-6.172	-7.836	-25.115
105.0	-6.884	-8.356	-25.359
110.0	-7.214	-8.893	-25.640
114.0	-9.682	-9.333	-25.891

Hình 10. Kết quả tính toán hợp lực đơn vị ở các chế độ kéo, chạy đà và hãm cho dưới dạng bảng số đối với đoàn tàu hàng 795 tấn do đầu máy D19E kéo, gồm 15 toa xe G.

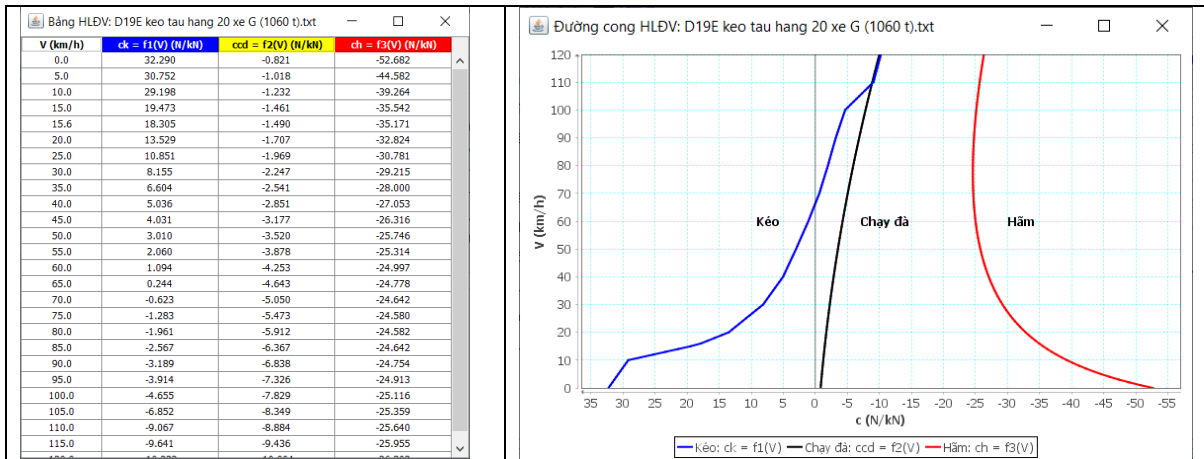


Hình 11. Biểu đồ hợp lực đơn vị ở các chế độ kéo, chạy đà và hãm đối với đoàn tàu hàng 795 tấn do đầu máy D19E kéo, gồm 15 toa xe G.

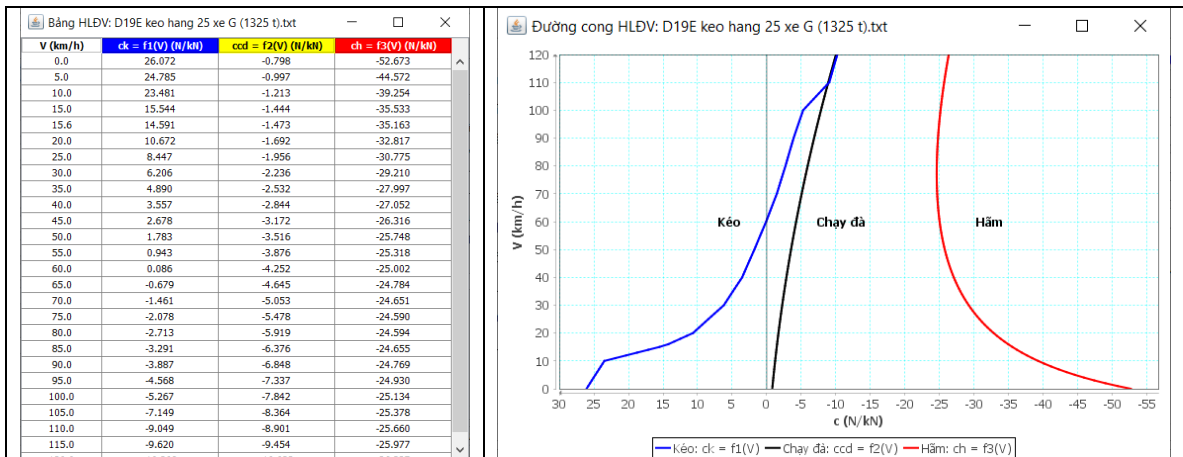
Kết quả tính toán hợp lực đơn vị với một số đoàn tàu cụ thể do các loại đầu máy khác nhau kéo được thể hiện trên các hình 12-18.



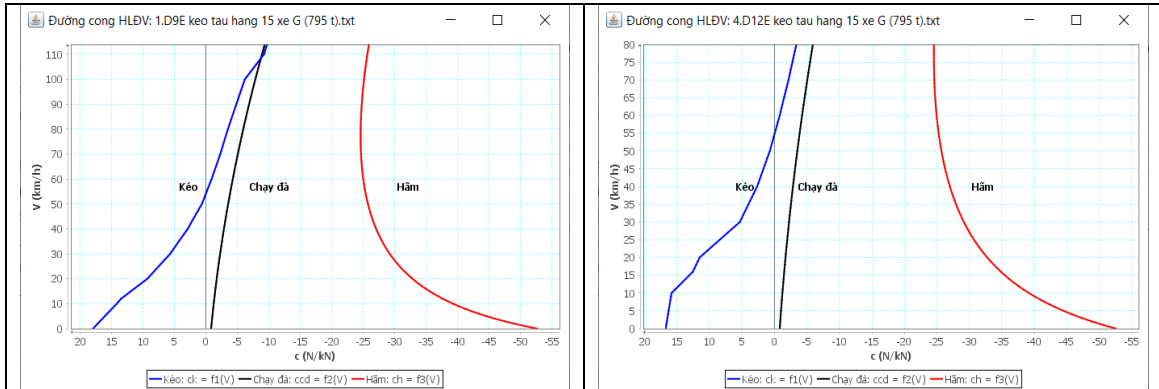
Hình 12. Bảng giá trị và đường cong hợp lực đơn vị của đoàn tàu hàng do đầu máy D19E kéo, khối lượng 901 tấn gồm 17 toa xe G.



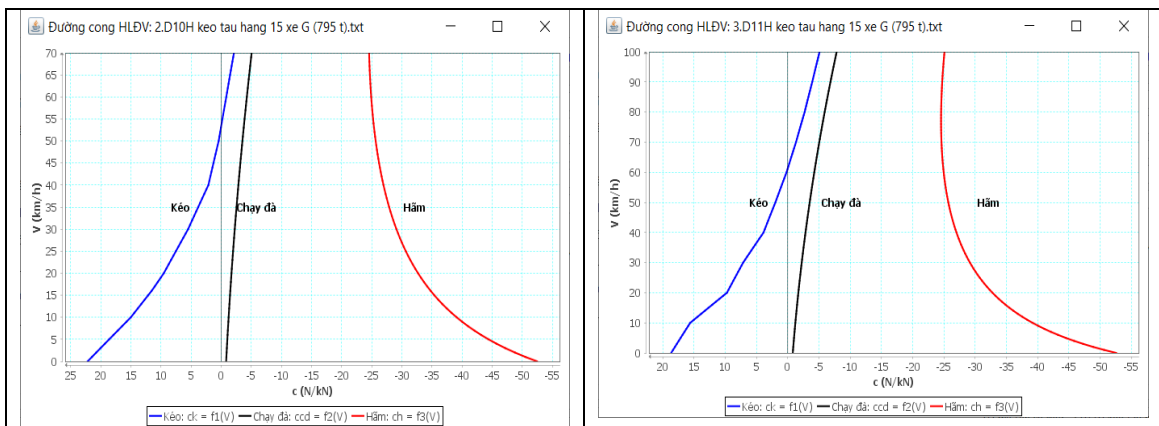
Hình 13. Bảng giá trị và đường cong hợp lực đơn vị của đoàn tàu hàng do đầu máy D19E kéo, khối lượng 1060 tấn gồm 20 toa xe G.



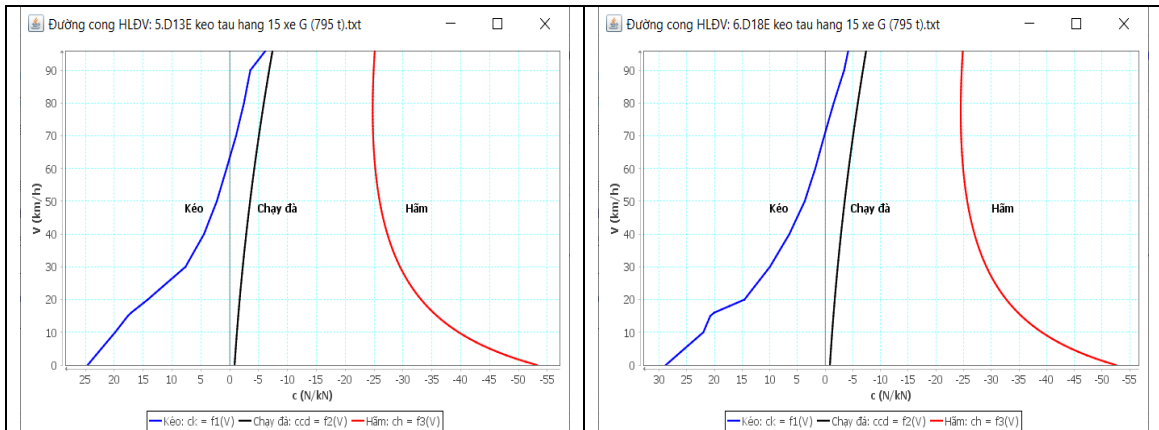
Hình 14. Bảng giá trị và đường cong hợp lực đơn vị của đoàn tàu hàng do đầu máy D19E kéo, khối lượng 1.325 tấn gồm 25 toa xe G.



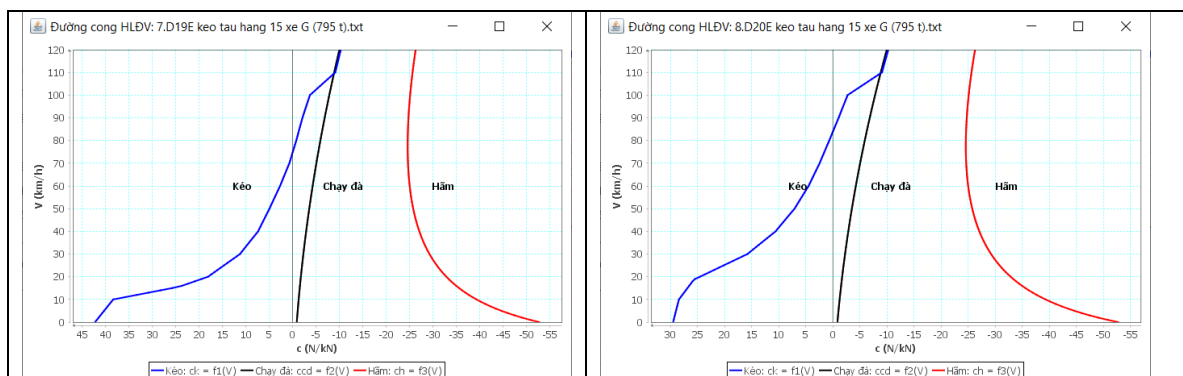
Hình 15. Đường cong hợp lực đơn vị của đoàn tàu hàng 795 tấn gồm 15 toa xe G do đầu máy D9E và D12E kéo.



Hình 16. Đường cong hợp lực đơn vị của đoàn tàu hàng 795 tấn gồm 15 toa xe G do đầu máy D10H và D11H kéo.



Hình 17. Đường cong hợp lực đơn vị của đoàn tàu hàng 795 tấn gồm 15 toa xe G do đầu máy D13E và D18E kéo.



Hình 18. Đường cong hợp lực đơn vị của đoàn tàu hàng 795 tấn gồm 15 toa xe G do đầu máy D19E và D20E kéo.

Trên các hình 11-14 thể hiện biểu đồ hợp lực đơn vị của 04 đoàn tàu hàng do đầu máy D19E kéo, gồm đoàn tàu 15 xe G (795 tấn); 17 xe G (901 tấn); 20 xe G (1060 tấn) và 25 xe G (1.325 tấn) và tốc độ cân bằng tương ứng trên đường bằng lần lượt là xấp xỉ 70, 70, 65 và 60 km/h.

Trên các hình 11-14 thể hiện biểu đồ hợp lực đơn vị của 8 loại đầu máy D9E, D12E, D10H, D11H, D13E, D18E, D19E và D20E kéo cùng một đoàn tàu hàng 15 xe G (795 tấn), và thấy rằng tốc độ cân bằng trên đường bằng của chúng là khác nhau, và lần lượt xấp xỉ là 50, 50, 50, 60, 60, 70, 70 và 80 km/h (trị số chính xác cần được lấy từ kết quả tính toán trong chương trình).

4. KẾT LUẬN

Chương trình đã xây dựng cho phép xác định một cách nhanh chóng trị số hợp lực đơn vị của bất kỳ đoàn tàu cụ thể nào ở ba trạng thái vận hành kéo, vận hành chạy đà và vận hành hãm, được thể hiện dưới dạng bảng số liệu và dưới dạng đồ thị. Giá trị hợp lực đơn vị được sử dụng để tính toán thời gian chạy và tốc độ của đoàn tàu trên khu gian và vẽ các biểu đồ tương ứng $t = f(S)$ và $V = f(S)$.

Đường cong hợp lực đơn vị được sử dụng để phân tích trạng thái vận hành của đoàn tàu, trong đó có: phán đoán chiều hướng lực gia tốc của đoàn tàu; xác định tốc độ cân bằng của đoàn tàu ở các chế độ vận hành trên các độ dốc khác nhau.

Chương trình đã xây dựng chỉ là một mô đun trong chương trình tổng hợp, sẽ được kết nối với chương trình tổng hợp tính toán sức kéo đoàn tàu.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải trong đề tài mã số T2020-CK-011.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Văn Chuyên, Sức kéo đoàn tàu, Trường đại học Giao thông vận tải, Hà Nội, 2001.
- [2]. Lại Ngọc Đường, Sức kéo đoàn tàu và tính toán sức kéo, Trường đại học Giao thông vận tải, Hà Nội, 1985.
- [3]. Đỗ Đức Tuấn, Nghiệp vụ đầu máy, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội, 2004.
- [4]. Đỗ Đức Tuấn, Vũ Duy Lộc, Đỗ Việt Dũng, Nghiệp vụ đầu máy, toa xe, NXB Giao thông Vận

tải, Hà Nội, 2013.

[5]. Đỗ Đức Tuấn, Vũ Văn Hiệp, Cơ sở lựa chọn các biểu thức tính toán sức cản cơ bản đơn vị đầu máy diesel sử dụng trong ngành đường sắt Việt Nam, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, 71 (2020) 305-316. <https://doi.org/10.25073/tcsj.71.3.14>

[6]. Bộ Giao thông vận tải, Quy trình tính toán sức kéo đoàn tàu đường sắt, Hà Nội, 1985.

[7]. Астахов П. Н., Гребенюк П. Т., Скорцова А. И., Справочник по тяговым расчётам, “Транспорт”, Москва, 1973.

[8]. Бабичков А. М., Гурский П. А., Новиков А. П., Тяга поездов и тяговые расчёты, “Транспорт”, Москва, 1971.

[9]. Кузмич В. Д., Руднев В. С., Френкель С. Я., Теория локомотивной тяги, “Маршрут”, Москва, 2005.

[10]. Руднев В. С. Маношин А. В., Тяговые расчёты для магистрального транспорта, МИИТ, Москва, 2009.