XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH TÍNH THỦY LỰC HỆ THỐNG CẤP BỌT ĐỂ PHÒNG VÀ CHỮA CHÁY CHO TÀU BIỂN

DEVELOPING THE HYDRAULIC CALCULATION PROGRAM FOR FIREFIGHTING SYSTEM BY FOAM ON MARINE VESSELS

QUẢN TRỌNG HÙNG*, BÙI THỊ HẰNG, NGUYỄN THỊ NHÀN

Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

** Email liên hệ: qtrhung@vimaru.edu.vn*

Tóm tắt

Trong bài báo phân tích sự cần thiết phải tính toán thủy lực cho hệ thống phòng và chữa cháy bằng bọt trên tàu biển. Dựa trên cơ sở lý thuyết và các bài toán tính thủy lực đường ống dẫn chất lỏng, tác giả đã lựa chọn thuật toán và xây dựng chương trình tính thủy lực cho hệ thống đường ống dẫn dung dịch tạo bọt cho hệ thống phòng và chữa cháy trên tàu biển đáp ứng các yêu cầu của Quy phạm Đăng kiểm Việt Nam.

***Từ khóa**: Tính thủy lực, hệ thống phòng chữa cháy.*

Abstract

This paper presents the necessity of hydraulic calculation for the firefighting system by foam on marine vessels. Based on the theoretical basis and hydraulic calculations of fluid pipelines, the author selects the algorithm and develops a hydraulic calculation program for the foaming solution piping system of the firefighting system in marine vessels, which meets the requirements of the Vietnam Register.

***Keywords**: Hydraulic calculation, firefighting system.*

1. Đặt vấn đề

Để đảm bảo khả năng công tác và sự an toàn tuyệt đối phương tiện và thuyền viên, việc trang bị hệ thống phòng và chữa cháy cho các tàu biển có những yêu cầu rất chặt chẽ. Về vấn đề này, Việt Nam đang áp dụng các quy định mới nhất của Tổ chức Hàng hải quốc tế (IMO), thông qua các bản sửa đổi của SOLAS vào "Quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép", QCVN 21:2014/BGTVT. Nói chung, các công chất phục vụ phòng và chữa cháy phải cung cấp được đến tất cả các khu vực có khả năng xảy ra hỏa hoạn trên tàu với hai thông số cần đảm bảo là: Sản lượng và áp suất công chất được cấp tại các vòi phun theo quy định.

Hiện nay, để tính toán và lựa chọn các thành phần hệ thống chữa cháy, người ta thường sử dụng các công thức tính gần đúng, đặc biệt việc tính toán thủy lực hệ thống phun bọt chữa cháy cho buồng máy chưa được tính một cách đầy đủ và thường được lấy từ thiết kế của nước ngoài. Bài báo liên quan đến việc xây dựng chương trình tính thủy lực đường ống hệ thống phòng và chữa cháy cho tàu biển, nó sẽ cho phép lựa chọn các phương án thiết kế theo các yêu cầu của Quy phạm.

2. Cơ sở lý thuyết

Với hệ thống phòng và chữa cháy bằng bọt trên tàu, Quy phạm Việt Nam đã có những điều khoản cần tuân thủ, cụ thể là yêu cầu về bố trí nguồn cấp và thiết bị chữa cháy, trị số sản lượng và áp suất của công chất ra khỏi các vòi phun [2, 8]. Trong khi đó, áp suất phun không chỉ phụ thuộc vào thông số bơm cấp, còn phụ thuộc vào sức cản trên hệ thống đường ống dẫn. Vấn đề này cần phải giải quyết thông qua bài toán tính toán thủy lực (tính sức cản) của hệ thống đường ống dẫn.

Đặc điểm của hệ thống cấp bọt phòng và chữa cháy trên tàu là đường ống dài với nhiều nhánh chính, trên mỗi nhánh chính được chia thành nhiều nhánh phụ, với các nhánh phụ sẽ dẫn tới các vòi phun. Nghiên cứu các tài liệu cơ học ứng dụng [1, 3, 5], với phương pháp sử dụng hệ đặc trưng lưu lượng K, việc tính thủy lực của hệ thống đường ống dẫn chất lỏng trên tàu sẽ thuận lợi nhiều. Ở đây, tổn thất cột áp trên một đoạn ống có thể được tính bằng:

$$H = h_w \approx h_d = J.L \quad (1)$$

Trong đó: J - độ dốc thủy lực (độ giáng áp suất);

L - chiều dài của ống.

Biết lưu lượng (Q) của dòng chảy đều trong ống có áp là :

$$Q = v.S \quad (m^3/s) \quad (2)$$

Trong đó: v - Vận tốc dòng cháy(m/s);

S - Diện tích mặt cắt ống (m^2).

Ta có, vận tốc của dòng chảy được xác định theo công thức Sêdi là:

$$v = C.\sqrt{RJ}\ ; \quad (3)$$

Trong đó: R - Bán kính thủy lực;

C - Hệ số Sedi được tính theo công thức: $C = \frac{1}{n}.\left(\frac{d}{4}\right)^y$;

y - Hệ số phụ thuộc R;

n - Độ nhám tương đối bề mặt ống [5].

Từ các công thức trên ta có lưu lượng qua ống là:

$$Q = S.C\sqrt{R.J} \quad (4)$$

Nếu đặt: $K = S.C\sqrt{R}$ ta có: $Q = K.\sqrt{J}$. (5)

Nếu cho J = 1 thì Q = K (m^3/s), có nghĩa K là lưu lượng của dòng chảy qua mặt cắt ướt có độ dốc thủy lực bằng 1 đơn vị và được gọi là hệ số đặc trưng lưu lượng được tra bảng theo đường kính ống d và độ nhám tương đối bề mặt ống n [5].

Thay: $J = \frac{h_d}{L}$ vào Q, ta có: $H = h_d = \frac{Q^2}{K^2}.L$ (6)

Các trị số của K và L/K^2 được tính sẵn cho các loại đường ống có d và n khác nhau và lập thành bảng cho v ≥ 1,2 m/s - ứng với chế độ chảy rối hay là khu vực sức cản bình phương [5].

Từ đó, để tính với các hệ đường ống phức tạp ta có các trường hợp như sau:

- Các đoạn ống nối tiếp: Trên các đoạn ống có cùng lưu lượng Q, nhưng tổn thất cột áp bằng tổng tổn thất trên các đoạn, ta có:

$$H = \sum h_d = Q^2.\sum_{i=1}^{m}\frac{L_i}{K_i^2} \quad \text{và} \quad Q = \sqrt{\frac{H}{\sum L_i/K_i^2}} \quad (7)$$

- Các đoạn ống song song: Khi đó coi cột áp (H) giữa nút đầu và cuối trên mỗi nhánh bằng nhau, còn lưu lượng Q của đoạn ống góp bằng tổng lưu lượng các đoạn ống nhánh, ta có:

$$Q_1 = K_1.\sqrt{H/L_i}\ ,\ Q_2 = K_2.\sqrt{H/L_2}\ \cdots\cdots \quad Q_m = K_m.\sqrt{H/L_m} \quad (8)$$

Từ đó suy ra: $Q = \sum Q_i = \sqrt{H}.\sum_{i=1}^{m}(K_i/L_i)$ (9)

và cũng có thể viết được: $Q_i = Q.\frac{K_i.\sqrt{L_i}}{\sum_{i=1}^{m} K_i/\sqrt{L_i}}$ (10)

Sử dụng công thức (10) ta có thể tính được lưu lượng của hai nhánh ống khi cùng xuất phát từ một nhánh ống chính.

3. Xây dựng chương trình tính thủy lực đường ống dẫn dung dịch tạo bọt trên tàu biển

Do yêu cầu khi mở van cấp chính dung dịch bọt được phun đồng thời tới tất cả các khu vực với áp suất phun trong thời gian quy định nên trên các ống nhánh không lắp van, phân tích hệ thống cấp bọt đã được sơ đồ hóa (xem Hình 1), có thể rút ra nhận xét sau:

- Dung dịch tạo bọt với 96% là nước và 4% là chất tạo bọt [2, 8], với sai số chấp nhận được có thể sử dụng phương pháp tính thủy lực cho đường ống nước để tính toán.

- Để thuật giải đỡ phức tạp, trên mỗi đoạn ống ta thay các thành phần cản cục bộ bằng đoạn ống thay thế có trị số cản ma sát tương đương. Do các thông số đường kính ống và chiều dài ống đã biết còn lại các thông số Q_i , H_i, P_i , h_i,… là các thông số phụ thuộc vào nhau, với số phương trình nhỏ hơn ẩn số, cần sử dụng phương pháp tính gần đúng dần, với trình tự tính toán như sau:

1. Sử dụng sức cản ma sát trên đoạn ống tương đương để thay thế các yếu tố cản cục bộ:

-Tính chiều dài đoạn ống thay thế yếu tố cản cục bộ:

$$L_e = \frac{\sum \xi_i.d_i}{\lambda_i} \quad (11)$$

Trong đó: L_e - Chiều dài đoạn ống thay thế, (m);

d_i - đường kính ống,(m);

$\sum\xi$ - Tổng hệ số sức cản cục bộ trên đoạn ống;

λ_i - Hệ số ma sát của ống, do đường ống thô sức cản không phụ thuộc vào hệ số Reynold (R_e), có thể sử dụng công thức gần đúng sau để tính [4]:

$$\lambda = 0,093.\varepsilon^{0,25} \quad (12)$$

Với: ε- Hệ số, tính bằng $\varepsilon = e_o/ r$;

e_o - Độ thô hình học tuyệt đối của mặt trong ống, với ống thép đúc có làm sạch là e_o = 0,1 mm;

r - Bán kính đường ống, $r = d_i/2_i$;

- Chiều dài tổng tương đương khi tính sức cản đường ống là:

$$L_t = L_i + L_e \quad (13)$$

Trong đó: L_i - Chiều dài thực tế đoạn ống (tính cho cản ma sát, m).

2. Tính tổng sức cản các đoạn ống của hệ thống đường ống (gần đúng lần thứ nhất).

Từ đó, ta có công thức tính tổng sức cản trên đoạn ống bằng như sau:

Do: $v_i = \frac{Q_i}{F_i} = \frac{4.Q_i}{\pi.d_i}$

Nên: $h_i = \frac{8.\lambda.L_i}{2.g.\pi^2.d_i^5}$ (14)

Trong đó: Q_i - Sản lượng chất lỏng trong nhánh ống, bằng tổng sản lượng công chất tới các nhánh ống kế tiếp.

3. Tính lại giá trị lưu lượng ($Q_{i,1}$ và $Q_{i,2}$) trên 2 nhánh rẽ tiếp theo theo nguyên tắc đã biết lưu lượng (Q_i) trên nhánh thứ i (với i = 1, chính là sản lượng công chất trên ống cấp chính từ nút số 1). Từ bước 2 như trên ta đã có các giá trị h_i, căn cứ vào đó tính được độ dốc thủy lực:

$$J_{1,i+1} = \frac{h_{i,i+1,1}}{L_{i,i+1,1}} \quad (15)$$

Từ đó tra bảng ta xác định được các hệ số K_i - Hệ số lưu lượng dòng chảy trong nhánh ống rẽ thứ 1 và 2. Căn cứ vào công thức (7) có thể tính được lưu lượng vào các nhánh rẽ như sau:

$$Q_{i,i+1} = Q_i.\frac{K_{i+1}\sqrt{L_{i+1}}}{\sum K_{i+1}/\sqrt{L_{i+1}}} \quad (16)$$

4. Hiệu chỉnh lại kết quả tính

Sau khi có các Q_i trên các nhánh rẽ, tính lại tổn thất do sức cản h_i theo công thức (14) và tính lưu lượng công thức theo (16). Việc tính toán sẽ chấp nhận được nếu thỏa mãn điều kiện:

$$100.Q/Q^* \le 5\% \quad (17)$$

Với: Q^*_i là trị số lưu lượng trong lần tính trước thì kết quả tính toán có thể chấp nhận được và chuyển sang tính cho các nhánh tiếp theo cho đến nhánh hở cuối cùng của tới vòi phun.

5. Tính tiếp cho các nhánh nối tiếp theo bằng cách tính lặp lại tương tự như các bước 3 và 4 như trên. Kết quả cuối cùng ta xác định được các Q_i trên các đoạn ống trên nhánh.

6. Tính áp suất nút cuối của từng đoạn ống bằng công thức chung :

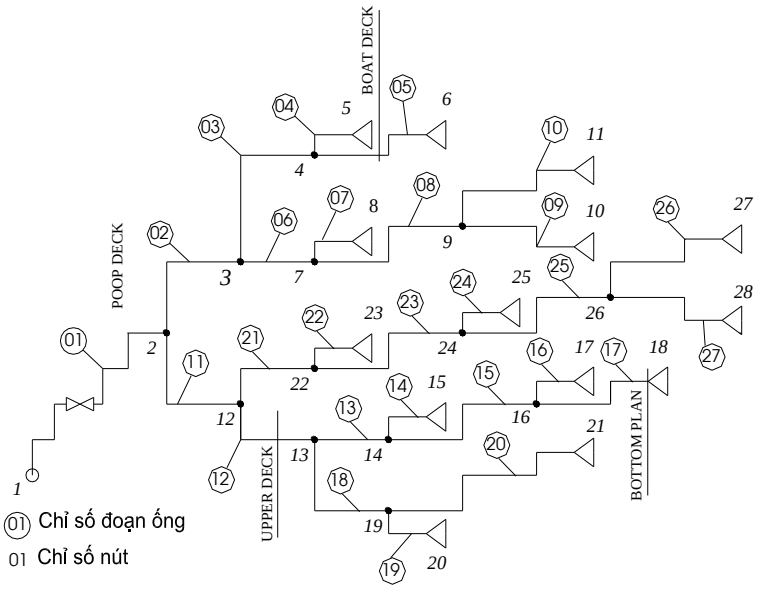
$$p_{2,i} = \gamma.(\frac{p_{1,i}}{\gamma} - \Delta z_i - h_i) \quad (18)$$

Với: $P_{1,i}$- áp suất công chất tại mặt đầu vào đoạn ống thứ i;

$P_{2,i}$ - trị số áp suất của mặt đầu ra cuối đoạn ống thứ i.

Bài toán được tính lần lượt từ nút đầu tiên của ống chính (1) đến nút cuối cùng (N) của từng nhánh ống đến vòi phun. Trong đó: $P_{1,1}$ là áp suất của công chất ra tại mặt cắt của đường ống chính ra khỏi các bình chứa công chất, ta xác định được sản lượng và áp suất tại các vòi phun công chất.

Với các công thức tính toán thủy lực đường ống cấp bọt cho hệ thống phòng và chữa cháy trên tàu thủy được trình bày như trên, với thuật toán đã được xây dựng, tác giả đã sử dụng ngôn ngữ Pascal chạy trên nền Window để xây dựng chương trình tính toán.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống đường ống dẫn cấp bọt để phòng và chữa cháy trên tàu biển

4. Ví dụ tính toán

Ví dụ tính cho hệ thống phòng và chữa cháy buồng máy bằng dung dịch tạo bọt CO_2 của một tàu chở dầu trọng tải 4200 tấn, được sơ đồ hóa trên Hình 1.

i. Các đại lượng cho trước:

Từ hệ thống cấp bọt được thiết kế có các thông số sau:

- Hệ thống phòng và chữa cháy bằng bọt cho buồng máy là dung dịch bọt CO_2, được chứa trong 15 bình chứa 45 kg/bình với áp suất công chất trong bình: 58 bar.
- Như vậy tổng khối lượng CO_2 chứa trong các bình là: 675 kg.
- Hệ thống đường ống được sơ đồ hóa bao gồm 27 đoạn đường ống với 28 nút và 14 vòi phun, với hệ số diện tích làm việc của vòi phun là 0,8.
- Theo sơ đồ, chiều cao vòi phun so với vị trí đặt các bình chứa CO_2 là: (-10,98) ÷ (+2.7) m.
- Các thông số đường kính, chiều dài các đoạn ống, các yếu tố gây cản cục bộ và độ cao hình học giữa các nút cuối và đầu chỉ ra trên Bảng 1 (từ cột 1 đến cột 11). Với khuyến cáo trong lưu lượng công chất trong ống được tính toán khoảng Q=1200 ÷1 600 kg/ph [8, 9], chọn lưu lượng công chất trong đường ống phân phối chính là Q_1=1460 kg/ph để tính toán trong lần tính đầu tiên của bài toán.
- Căn cứ vào diện tích quản lý và tính nguy hiểm của khu vực từ thiết kế, sản lượng các vòi phun theo yêu cầu (giả thiết để tính cho lần gần đúng đầu tiên) là: Q_{pi}, Q_{p2},... Q_{pn} (kg/ph).

ii. Các đại lượng cần tính:

- Lưu lượng công chất đi trong các đoạn ống Q_i và tại các vòi phun công chất Q_{pi} .
- Áp suất công chất tại các van xả bọt P_{pi} (bar).
- Thời gian tính bằng giây (s) để lượng công chất được phun qua các vòi phun đạt được 85% lượng công chất chứa của hệ thống ($t_{p\Sigma}$), được xác định bằng công thức:

$$t_{p\Sigma} = \frac{0,85.Q_{ht}}{60.\sum_{n=1}^{n} Q_{pi}} \quad (19)$$

Trong đó: Q_{pi} - lưu lượng công chất được phun qua các vòi phun (kg/ph);
Q_{ht} - Lượng công chất chứa trong hệ thống (kg).

- Lượng phun trên đơn vị lỗ phun Q_{pi} (kg/ph/mm^2) được xác định là:

$$q_{pi} = \frac{4.Q_{pi}}{\pi.d_p} \quad (20)$$

Trong đó: Q_{pi} - Lưu lượng công chất các vòi phun (kg/ph);
d_p - Đường kính lỗ phun (mm).

Bảng 1. Số liệu đầu vào để tính hệ thống phun bọt cứu hỏa

Thứ tự đoạn ống	Nút đầu	Nút cuối	Vòi phun số	Kích thước (mm)		Các yếu tố gây cản cục bộ				Độ cao giữa nút cuối và đầu (m)	Lưu lượng trong ống, Q_i (kg/ph)	Áp suất (bar)	
				Đường kính, d	Chiều dài, l	Si1	Si2	Si3	Si4			Nút đầu	Nút cuối
(1)	*(2)*	*(3)*	*(4)*	*(5)*	*(6)*	*(7)*	*(8)*	*(9)*	*(10)*	*(11)*	*(12)*	*(13)*	*(14)*
1	1	2		53,3	8,11	1	1		4	-1,9	1460	51,73	47,68
2	2	3		53,3	3,6		2		1	0	503,33	47,68	47,5
3	3	4		22	3,8		3		1	3,8	197,52	47,50	43,92
4	4	5	402	22	4,3		4	1	1	2,4	100,35	43,92	43,45
5	4	6	401	22	4,3		5		1	-0,85	97,17	43,92	42,73
6	3	7		36,3	2,1		6	1		0	305,81	47,5	47,15
7	7	8	201	22	0,85		7		1	-0,85	122,67	47,15	46,83
8	7	9		22	5,21		8	1	1		183,14	47,15	42,16
9	9	10	203	22	1,85		9	1	1	-0,85	92,63	42,16	41,64
10	9	11	202	22	3,95		10		2	-0,85	90,51	42,16	41,10
11	2	12		53,3	3,37		11		1	-4,0	959,27	47,68	46,67
12	12	13		53,3	4		12		1		563,48	46,67	46,54
13	13	14		42,2	6,14			1			348,6	46,54	46,05
14	14	15	101	22	3,5		1		1	-3,5	109,95	46,05	45,43
15	14	16		36,3	6,25			1	1		238,65	46,05	45,54
16	16	17	102	22	0,85		1		1	-0,85	107,78	45,54	44,97
17	16	18	103	22	8,23			1	1	-0,85	130,87	45,54	42,32
18	13	19		36,3	4		1		1		214,88	46,54	46,17
19	19	20	104	22	0,85		1		1	-0,85	111,75	46,17	45,68
20	19	21	105	22	8,45			2	2		103,13	46,17	44,02
21	12	22		42,2	1,5		1		1		395,79	46,67	46,28
22	22	23	204	22	0,85		1		1	-0,85	112,37	46,28	45,79
23	22	24		36,3	4,9			1	1		283,42	46,28	41,96
24	24	25	205	22	1,2		1		1	-1,2	125,83	41,96	41,44
25	24	26		22	4,6			1	1		157,59	41,96	38,36
26	26	27	206	22	4,09		1		2	-0,85	79,15	38,36	37,69
27	26	28	207	22	3,62			1	1	-0,85	78,44	38,36	37,44

Ghi chú: Trong Bảng 1 có Si1- Số yếu tố cản do van chặn; Si2- Số yếu tố cản do 3 ngả rẽ nhánh; Si3- Số yếu tố cản do 3 ngả đi thẳng; Si4- Số lượng yếu tố cản do ống cong 90^0.

iii. Kết quả tính toán:

Sử dụng chương trình tính đã được xây dựng, với ví dụ tính toán trên kết quả được lập trong các Bảng 1 (Cột 12 - 14) và Bảng 2 như sau:

- Với các vòi phun có hành trình phun là h = 9 mm và đường kính lỗ phun là d = 9,24 mm thì sau 24s, lượng công chất được xả ra qua các vòi phun là 591,4kg đạt gần 86% với yêu cầu là 688 kg và hoàn toàn thỏa mãn các yêu cầu đặt ra của Quy phạm.

- Áp suất phun bọt tại các vòi phun từ 37,44 bar (tại vòi phun số 207) đến 45,79 bar (tại vòi phun số 204), trị số áp suất đều đạt so với yêu cầu 25 bar.

Bảng 2. Kết quả tính lưu lượng và áp suất công chất tại các vòi phun

Vị trí vòi phun	5	6	8	10	11	13	17	18	20	21	23	25	27	28
Lưu lg. phun, Q_{pi} (kg/ph)	100	97,2	123	92,4	90,5	110	108	131	118	103	112	126	79,2	78,5
Áp suất phun P_{pi} (bar)	43	42,7	46,8	41,6	41,1	45,4	45,0	42,3	45,9	44,0	45,8	41,4	37,7	37,4
Lg. CO_2 phun sau 24 s ở vòi phun (kg)	40	45,3	49,1	37,1	36,2	43,9	43,1	52,4	44,7	41,3	44,9	50,3	31,7	31,4
Yêu cầu	47	47,0	57,0	47,0	47,0	57,0	47,0	57,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0

Ghi chú: Vị trí các vòi phun trong Bảng 2 ứng với nút cuối các nhánh rẽ cuối trong Bảng 1

5. Kết luận

1. Đã chọn lựa thuật toán và xây dựng phần mềm chuyên dụng để tính toán thủy lực đường ống cho hệ thống cấp bọt phòng và chữa cháy trên tàu, phù hợp với các yêu cầu thực tế.

2. Sử dụng chương trình tính cho tàu chở dầu 4200 tấn. Các kết quả tính toán là phù hợp và thỏa mãn các yêu cầu đặt ra của Quy phạm [2, 8]…

3. Khi sử dụng chương trình tính cho phép ta có thể thay đổi các thông số kích thước đường ống để có thể hiệu chỉnh cho các thông số lưu lượng và áp suất trên các vòi phun công chất chữa cháy theo các yêu cầu trong quá trình thiết kế hệ thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nguyễn Hữu Chí. *Cơ học chất lỏng ứng dụng*. Tập I và II. NXB Đại học và THCN. Hà Nội, 1976.

[2] Đăng kiểm Việt Nam (VR). *Quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép*. TCVN 6259-3:2015.

[3] Lê Danh Liên. *Cơ học chất lỏng ứng dụng*. Nhà xuất bản KH và KT. Hà Nội. 2007.

[4] Đặng Hộ. *Thiết kế và trang trí động lực tàu thuỷ*. Nhà xuất bản GTVT. Hà Nội, 1986.

[5] Phạm Văn Vĩnh. *Cơ học chất lỏng ứng dụng*. Nhà xuất bản Giáo dục. Hà Nội, 2005.

[6] Hiệp hội chống cháy quốc gia Mỹ - Ủy ban kỹ thuật về bọt. *Tiêu chuẩn về bọt có độ dãn nở cao, thấp trung bình* (NFPA 11), 2002.

[7] Hiệp hội chống cháy quốc gia Mỹ - Ủy ban kỹ thuật về CO_2. *Tiêu chuẩn về hệ thống chữa cháy bằng CO_2* (NFPA 12), 2000.

[8] Hiệp hội chống cháy quốc gia Mỹ - Ủy ban kỹ thuật về phun bọt - nước. *Tiêu chuẩn cho việc lắp đặt hệ thống phun bọt - nước* (NFPA 16), 2003.

[9] Y.E.Ydelting, *Sách hướng dẫn và tra cứu về sức cản thủy lực.* Nhà xuất bản Lêningrat (Tài liệu Tiếng Nga), 1960.

Ngày nhận bài: 04/12/2019
Ngày nhận bản sửa: 28/12/2019
Ngày duyệt đăng: 04/01/2020