

Ngày nhận bài: 21/01/2025; Ngày thẩm định: 25/02/2025; Ngày duyệt đăng: 27/02/2025.

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ THIẾT BỊ PHUN NƯỚC CHỮA CHÁY PHÂN TÁN SỬ DỤNG CHO KHÔNG GIAN KÍN, KHÓ TIẾP CẬN

Trung tá, ThS VŨ THỊ THU NGUYỆT

Khoa Tự động và Phương tiện kỹ thuật PCCC&CNCH, Trường Đại học PCCC

*Tác giả liên hệ: Vũ Thị Thu Nguyệt (Email: vuthunguyetnd@gmail.com)

Tóm tắt: Các đám cháy xảy ra trong khu vực không gian kín, khó tiếp cận thường gây ra nhiều khó khăn và nguy hiểm cho lực lượng chữa cháy. Do đó, khi chữa cháy khu vực không gian kín, khó tiếp cận ngoài việc lựa chọn chiến thuật và biện pháp chữa cháy phù hợp, lực lượng chữa cháy cần được trang bị các thiết bị hỗ trợ chữa cháy đặc thù. Bài báo đề cập đến một giải pháp thiết kế thiết bị phun nước chữa cháy phù hợp cho khu vực không gian kín, khó tiếp cận.

Từ khóa: không gian kín; chữa cháy; thiết bị phun nước phân tán.

Abstract: Fires occurring in confined spaces often present significant challenges and hazards for firefighters. Consequently, when combating fires in such enclosures, it is imperative that firefighters are equipped with specialized firefighting equipment in addition to selecting appropriate firefighting tactics and strategies. This article presents a for the design of water spray systems tailored for effective fire suppression in confined spaces.

Keywords: enclosures; firefighting; water distribution nozzle.

1. Đặt vấn đề

Các đám cháy trong không gian kín thường rất khó kiểm soát và luôn đi kèm với các mối đe dọa đến tính mạng, tài sản của con người. Quy mô của đám cháy có thể khác nhau tùy thuộc vào nhiều yếu tố, như: vị trí khởi phát; đặc điểm kiến trúc, công nghệ, tính chất sử dụng; khả năng chống cháy của vật liệu kết cấu bao quanh; chất cháy; điều kiện thông gió.... Khi xảy ra sự cố cháy trong không gian kín (khoang tàu, tầng hầm, hầm cáp, mương cáp trong các nhà máy công nghiệp, nhà ống chỉ có một lối thoát nạn bị sập đổ cấu kiện xây dựng làm cản trở lối tiếp cận duy nhất...) việc tiếp cận để chữa cháy và cứu nạn, cứu hộ bị hạn chế. Các đám cháy trong không gian kín thường có sự phát triển phức tạp hơn so với không gian mở. Vùng nhiệt tác động của các đám cháy trong không gian kín do nhiệt bức xạ và nhiệt đối lưu quyết

định. Các dòng nhiệt đối lưu ở đám cháy trong không gian kín bị cấu kiện xây dựng bao che ngăn cản làm ảnh hưởng tới vùng nhiệt tác động. Chính vì vậy, nhiệt đối lưu ở các đám cháy này thường gây ra những nguy hại tới người bị mắc kẹt và chính bản thân lực lượng tham gia chữa cháy. Ngoài ra, do sản phẩm cháy (khói, khí độc, khí nóng...) tích tụ lại bên trong nên ở các đám cháy trong không gian kín luôn có vùng khói rất lớn, cản trở hoạt động tiếp cận để tìm kiếm người bị nạn cũng như để chữa cháy.

Thực tiễn cho thấy, công tác chữa cháy cho khu vực không gian kín, khó tiếp cận gặp rất nhiều khó khăn. Với những đám cháy sử dụng nước làm chất chữa cháy, phương tiện dùng để phun nước vào đám cháy hiện nay chủ yếu là lăng cầm tay, lăng giá và Robot chữa cháy. Lăng giá thường được sử dụng để phun mặt ngoài nhằm làm mát kết cấu bao che khi lực

lượng chữa cháy chưa tiếp cận được vào bên trong. Để sử dụng lăng cầm tay, đòi hỏi phải có không gian để chiến sỹ cầm lăng tiếp cận trực tiếp vào đám cháy. Robot chữa cháy là thiết bị chữa cháy hiện đại được sử dụng cho những đám cháy phức tạp, nhiều nguy hiểm như: các đám cháy hóa chất, xăng dầu, các khu vực có chất phóng xạ..., giúp bảo đảm an toàn cho lực lượng tham gia chữa cháy. Tuy nhiên, Robot chữa cháy hiện có giá thành khá cao nên việc trang bị cho lực lượng chữa cháy tại các địa phương còn hạn chế. Mặt khác, với những đám cháy trong không gian kín mà vị trí xảy ra cháy ở tầng cao (không phải tầng mặt đất), khó tiếp cận (cháy không gian kín trong nhà cao tầng; cháy tầng trên nhà ống trong ngõ nhỏ, lối tiếp cận duy nhất ở tầng 1 bị cản trở...), ngay cả khi được trang bị robot chữa cháy cũng rất khó để triển khai do các điều kiện như địa hình, khả năng leo bậc hay vượt chướng ngại vật của robot....

Trên thế giới đã có một số phương tiện, thiết bị phun nước chữa cháy cho khu vực không gian kín, khó tiếp cận, như thiết bị phun sương, phun xuyên thấu do các hãng của Mỹ, Ấn Độ, Hàn Quốc... sản xuất. Tuy nhiên, giá thành các thiết bị đó khá cao, để trang bị thiết bị phun phân tán cho lực lượng chữa cháy, cần một nguồn kinh phí đáng kể. Ngoài ra để có thể kết nối thiết bị đó với các phương tiện chữa cháy hiện có của lực lượng chữa cháy tại Việt Nam hiện nay, cần trang bị thêm các phương tiện chuyên dụng, các thiết bị chuyển đổi liên kết.



Hình 1: Thiết bị phun sương (a) và phun xuyên thấu (b)

Như vậy có thể thấy, việc nghiên cứu thiết kế một thiết bị phun nước hỗ trợ công tác chữa cháy sử dụng riêng cho khu vực không gian kín, khó tiếp cận có kích thước nhỏ, gọn, dễ sử dụng, có kết nối phù hợp với phương tiện hiện có của lực lượng Cảnh sát

PCCC&CNCH Việt Nam, mà không cần tiếp cận trực tiếp với đám cháy, là rất cần thiết.

2. Yêu cầu thiết kế

Từ phân tích đánh giá đặc điểm nguy hiểm cháy nổ và các phương pháp, biện pháp chữa cháy khu vực không gian kín, khó tiếp cận, căn cứ vào mục đích sử dụng cũng như các yêu cầu của TCVN 13261:2021; QCVN 03:2023/BCA thiết bị chữa cháy cho khu vực này cần đáp ứng một số các yêu cầu cơ bản sau:

- Có kích thước nhỏ gọn, có thể đưa vào khu vực xảy ra cháy mà lực lượng chữa cháy không cần tiếp cận trực tiếp, chỉ cần phá dỡ cấu kiện xây dựng với diện tích đủ nhỏ để đưa thiết bị vào.
- Phô phun nước của thiết bị phải phân tán trong phạm vi rộng của không gian kín đang cháy giúp làm mát, giảm nhiệt độ vùng cháy để hạn chế các hiện tượng Backdraft hay Flashover và tiến tới dập tắt đám cháy.
- Thiết bị hoạt động ổn định tại áp suất làm việc;
- Vật liệu làm thiết bị phải chịu được nhiệt độ cao, chịu được va đập, có tính chống ăn mòn.
- Kết cấu của thiết bị phải đảm bảo độ bền và độ kín;
- Thiết bị có kết nối phù hợp với các phương tiện hiện có của lực lượng Cảnh sát PCCC&CNCH.

3. Thiết kế thiết bị phun nước phân tán sử dụng chữa cháy trong khu vực không gian kín, khó tiếp cận

3.1. Chỉ tiêu kỹ thuật

Tương tự các thiết bị phun nước chữa cháy khác, thiết bị phun phân tán chữa cháy khu vực không gian kín, khó tiếp cận phải đảm bảo 3 thông số cơ bản: lưu lượng, áp suất và phổ phun (phạm vi bảo vệ). Các thông số này phụ thuộc vào nhau.

Theo sổ tay công tác chữa cháy [6], áp suất tại đầu lăng chữa cháy đối với lăng cầm tay phải đảm bảo $H = 25 \div 35(\text{m.c.n})$. Thiết bị phun nước phân tán để chữa cháy khu vực khó tiếp cận vẫn phải do con người sử dụng, đưa thiết bị đến vị trí phun, do đó, áp lực quá lớn sẽ gây khó khăn cho người vận hành. Vì vậy, để đảm bảo an toàn cho người sử dụng đồng thời cấp đủ áp để chữa cháy, lựa chọn cột áp tại thiết bị phun $H = 35\text{m.c.n}$.

Lưu lượng qua thiết bị phun tỷ lệ với căn bậc hai của áp suất cấp theo công thức (1).

$$Q = K\sqrt{p} \quad (1)$$

Trong đó, Q là lưu lượng (l/s); K là hệ số phun (l/s.m^{0.5}); p là áp suất (m).

Vận tốc dòng tia qua một lỗ phun được xác định theo công thức (2):

$$v = \frac{Q}{\pi(d/2)^2} \quad (2)$$

Hoặc công thức (3):

$$v = C\sqrt{\frac{2p}{\rho}} \quad (3)$$

Trong đó, d là đường kính lỗ phun (m); C là hệ số tổn thất; ρ là khối lượng riêng của nước (kg/m³).

Các thông số thủy lực này ảnh hưởng đến kích thước hạt nước khi phun, từ đó ảnh hưởng đến cơ chế tác động chữa cháy của nước đến đám cháy. Phương trình (2) hoặc (3) được sử dụng để ước tính vận tốc giọt ban đầu khi giải phương trình trao đổi động lượng (4) giữa hạt nước và pha khí xung quanh (phương trình Lagrangian).

$$m_d \frac{d\vec{u}_d}{dt} = \vec{F}_g + \vec{F}_a \quad (4)$$

Trong đó, m_d là khối lượng hạt nước (kg); $\vec{u}_d$ là vector vận tốc hạt nước (m/s); t là thời gian (s); $\vec{F}_g$ và $\vec{F}_a$ lần lượt là vector lực hấp dẫn và lực cản không khí (N).

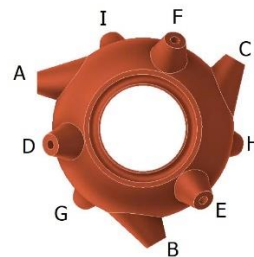
Phương trình (4) có thể được giải bằng phương pháp số cho từng hướng tọa độ để xác định quỹ đạo hạt nước với các điều kiện biên ban đầu (lưu lượng, cột áp, đường kính lỗ phun, khối lượng riêng của nước...). Từ đó xác định phạm vi bao phủ của thiết bị.

Từ các nghiên cứu lý thuyết và thực tế phương tiện, thiết bị chữa cháy được trang bị hiện nay, thiết bị phun phân tán cần đạt lưu lượng 16l/s ở áp suất cấp 3,5bar tạo ra được phổ phun phân tán trong phạm vi đường kính 10m.

3.2. Thiết kế chi tiết

Quá trình phun phân tán nước không chỉ phụ thuộc vào điều kiện vận hành, mà còn phụ thuộc vào loại vòi phun. Thiết bị phun phân tán được thiết kế với 2 thành phần chính: thân vòi phun (để phân phối nước) và ống dẫn (để dẫn dòng).

Để đảm bảo nước phân tán đều vào không gian xảy ra cháy, thiết bị phun phân tán được thiết kế với 09 lỗ phun như hình 2, tương ứng với mỗi lỗ phun có một đoạn vòi chiều dài so với thân thiết bị $l_v = 10\text{mm}$. Các vòi phun A, B và C được đặt trên chu vi của mặt phẳng quay và nghiêng một góc 60° so với tiếp tuyến của mặt phẳng quay tròn. Các vòi phun D, E và F nằm ở giữa nửa trên hướng lên trên một góc 45° so với phương thẳng đứng. Các vòi phun G, H và I nằm ở nửa dưới hướng xuống dưới một góc 45° so với phương thẳng đứng. Góc giữa các lỗ phun theo phương ngang cách đều nhau 40°. Khi hoạt động, nhờ lực tạo ra bởi dòng chảy qua các vòi A, B, C thân vòi phun sẽ xoay tròn để phân tán nước ra không gian khu vực cháy.



Hình 2: Thân vòi phun phân tán với 9 lỗ phun.

- Áp cấp tới thiết bị phun dự kiến 3,5bar tạo ra dòng có vận tốc:

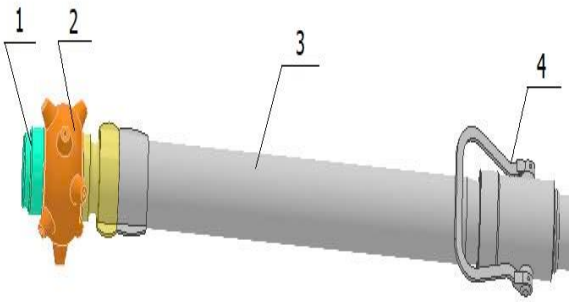
$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 35} = 26,2 \left(\frac{m}{s}\right)$$

- Thiết bị có lưu lượng dự kiến 16l/s tại áp suất 3.5 bar. Lưu lượng phân bố đều cho 9 lỗ phun, với lưu lượng qua mỗi lỗ 1,78 l/s.

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,78 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 26,2}} = 9,3 \text{ mm}$$

→ Lựa chọn đường kính lỗ phun $d = 9\text{mm}$.

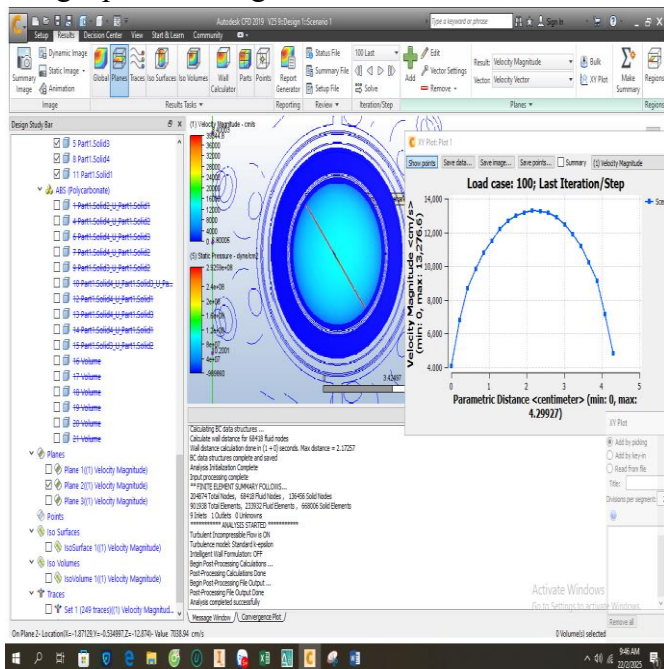
- Ống dẫn với chiều dài thiết kế 1,5m dùng để kết nối vòi chữa cháy với thiết bị phun. Ống dẫn có thể tháo lắp dễ dàng với 2 đầu ống được ren ngoài có đầu ngầm. Trên ống dẫn có tay khóa để điều khiển đóng/mở nước. Tay khóa điều khiển thiết bị phun cho phép người sử dụng mở hoặc ngắt dòng; tăng hoặc giảm lưu lượng. Các van này cho phép người sử dụng mở/ đóng vòi từ từ để điều chỉnh tăng/giảm dần lưu lượng để tránh hiện tượng nước va (đặc biệt khi đóng vòi).



Hình 3: Thiết bị phun phân tán dạng mô phỏng
1 – Nắp bịt; 2 – Thân vòi; 3 – Ống dẫn; 4 – Tay khóa.

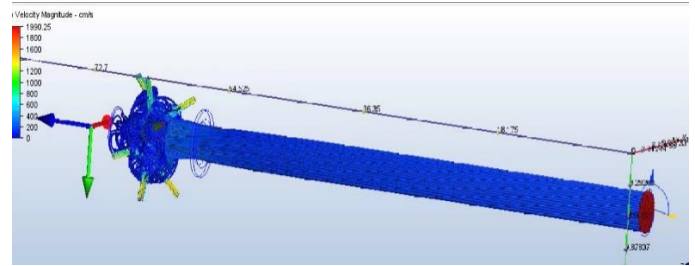
3.3. Mô phỏng kiểm tra kết quả bằng phần mềm chuyên dụng trên máy tính

Để tối ưu hóa các chi tiết và thông số của thiết bị trước khi chế tạo, sử dụng phần mềm CFD để mô phỏng sự làm việc của thiết bị trên máy tính. Mô phỏng CFD (còn được gọi là Mô phỏng động lực học dòng chảy) sử dụng phương pháp số để giải quyết (mô tả, phân tích, phỏng đoán) các bài toán liên quan đến sự chuyển động của chất lưu. Sử dụng CFD để mô phỏng về chuyển động của dòng chất lỏng bên trong thiết bị từ các thông số cơ bản (điều kiện biên): lưu lượng, áp suất, thông số hình học của thiết bị.



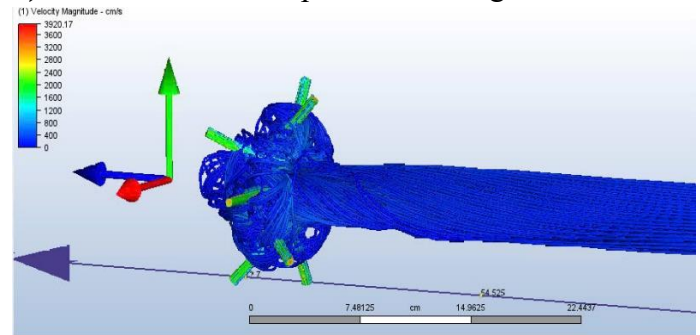
Hình 4: Mô phỏng vận tốc dòng chảy tại lỗ phun bằng CFD.

Căn cứ trên kết quả mô phỏng phân bố vận tốc tại một lỗ phun và kết quả tính toán lý thuyết cho thấy, vận tốc tại lỗ phun theo mô phỏng không đạt giá trị theo tính toán lý thuyết (Hình 5).



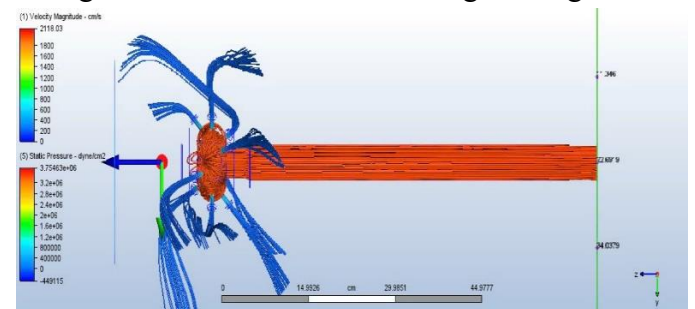
Hình 5: Mô phỏng đường dòng trong thiết bị phun phân tán khi đường kính lỗ 9mm.

Để đảm bảo yêu cầu, điều chỉnh đường kính lỗ phun từ 9mm xuống lần lượt các giá trị 8, 7, 6... mm, sau đó tiến hành chạy mô phỏng. Kết quả mô phỏng cho thấy đường kính lỗ phun 6mm là phù hợp (Hình 6). Do đó, lựa chọn lỗ phun với đường kính 6mm.



Hình 6: Mô phỏng đường dòng trong thiết bị phun phân tán khi đường kính lỗ 6mm.

Kết quả mô phỏng cũng cho thấy, dòng phân tán đều qua các lỗ phun (Hình 7). Tuy nhiên, phạm vi bao phủ của phổ phun và cường độ phun theo các hướng cần được xác định thêm bằng thực nghiệm.



Hình 7: Mô phỏng dòng phân tán qua các lỗ phun.

4. Kết luận

Với phương án thiết kế và kết quả kiểm tra mô phỏng như trên, thiết kế thiết bị phun phân tán chữa cháy trong không gian kín, khó tiếp cận sau khi chế tạo có dạng như mô tả trên Hình 3, các thông số kỹ thuật chính gồm: lưu lượng 16l/s tại áp suất 3,5bar; phạm vi bao phủ 10m; đầu nổi phù hợp TCVN 5739:2023; Số lượng lỗ phun 9 lỗ; đường kính mỗi lỗ phun 6mm. Đây là cơ sở để chế tạo sản phẩm sử dụng trong thực tiễn.■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đinh Ngọc Tuấn (2006), *Những vấn đề cơ bản về chiến thuật chữa cháy – hệ Đại học*, Trường Đại học Phòng cháy chữa cháy, Hà Nội.
2. QCVN 03:2023/BCA, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về phương tiện phòng cháy và chữa cháy, Hà Nội.
3. TCVN 5739:2023, Phòng cháy chữa cháy – Phương tiện chữa cháy – Thiết bị đầu nối, Hà Nội.
4. TCVN 13261:2021, Phòng cháy chữa cháy – Lãng chữa cháy phun nước cầm tay – Yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử, Hà Nội.
5. Lars-Göran Bengtsson (2001), Enclosure fire, NRS Tryckeri, Huskvarna, Sweden.
6. Cục Cảnh sát Phòng cháy chữa cháy (2004), *Sổ tay công tác chữa cháy*, Hà Nội.