

CFD ANALYSIS OF SLOSHING IN THE WATER TANK OF FOREST FIRE TRUCK DURING EMERGENCY BRAKING

Tran Cong Chi

Vietnam National University of Forestry

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Received: 04/11/2024</p> <p>Revised: 29/11/2024</p> <p>Published: 30/11/2024</p>	<p>Minimizing the sloshing of liquids such as gasoline, oil, and water in storage tanks during transportation is particularly important. In this study, water sloshing in the storage tank of a multi-purpose forest fire fighting vehicle was analyzed using the CFD method, assuming the vehicle was moving at 80 km/h, braking sharply to a stop within 40 m, and then remaining stationary for a period. The 6.13 m³ tank was analyzed at fill levels of 5.40 m³, 4.32 m³, and 2.16 m³ with two tank designs with and without baffles. The time-varying pressure on the front and rear walls aligned with the motion direction of the vehicle is examined for all cases. The results indicated that the baffle plates in the tank design significantly reduced sudden pressure surges and peak pressures on the tank walls, particularly at lower fill levels. Therefore, applying baffle plate designs effectively controls liquid oscillations within the tank of the forest fire fighting vehicle, especially under emergency braking conditions. This enhancement contributes to improved vehicle performance and safety.</p>
<p>KEYWORDS</p> <p>CFD Analysis</p> <p>Water Tank</p> <p>Water sloshing</p> <p>Baffle plate</p> <p>Forest firefighting vehicle</p>	

PHÂN TÍCH CFD SỰ VA ĐẬP TRONG THÙNG CHỨA NƯỚC CỦA XE CHỮA CHÁY RỪNG ĐA NĂNG KHI PHANH KHẨN CẤP

Trần Công Chi

Trường Đại học Lâm nghiệp

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
<p>Ngày nhận bài: 04/11/2024</p> <p>Ngày hoàn thiện: 29/11/2024</p> <p>Ngày đăng: 30/11/2024</p>	<p>Giảm thiểu sự va đập của chất lỏng như xăng, dầu, nước,... trong các thùng chứa khi vận chuyển có ý nghĩa đặc biệt quan trọng. Trong nghiên cứu này, sự va đập của nước trong bình chứa của xe chữa cháy rừng đa năng đã được phân tích bằng phương pháp CFD, giả định xe di chuyển với tốc độ 80 km/h, phanh gấp dừng lại sau 40 m và giữ nguyên vị trí trong một thời gian. Bình chứa dung tích 6,13 m³ được nghiên cứu ở các mức nước 5,40 m³, 4,32 m³ và 2,16 m³ với hai thiết kế có và không có vách chắn sóng. Sự thay đổi áp suất theo thời gian trên các vách phía trước và phía sau theo hướng chuyển động của xe đã được phân tích cho tất cả các trường hợp. Kết quả cho thấy, các vách chắn sóng trong thiết kế thùng chứa giúp giảm đáng kể sự gia tăng áp suất đột ngột và giảm áp suất tối đa trên các thành thùng, đặc biệt khi mức nước thấp. Do đó, việc áp dụng thiết kế có vách chắn sóng là một giải pháp hiệu quả trong việc kiểm soát sự dao động của chất lỏng trong thùng chứa của xe chữa cháy rừng, đặc biệt trong điều kiện phanh gấp. Điều này giúp nâng cao hiệu suất và đảm bảo an toàn khi vận hành của xe.</p>
<p>TỪ KHÓA</p> <p>Phân tích CFD</p> <p>Thùng chứa nước</p> <p>Nước va đập</p> <p>Vách chắn sóng</p> <p>Xe chữa cháy rừng</p>	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.11474>

Email: trancongchi_bk@yahoo.com

<http://jst.tnu.edu.vn>

339

Email: jst@tnu.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Hiện tượng va đập chất lỏng thường xảy ra trong các thùng chứa nhiên liệu ô tô, thùng vận chuyển chất lỏng như xăng, dầu, và các loại hóa chất trên xe tải... [1]. Quá trình này là một hiện tượng phức tạp, liên quan đến các tính chất phi tuyến của chất lỏng [2], [3]. Nó bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như hình dạng và cường độ của các lực bên ngoài, cấu trúc thùng chứa, mức độ đầy chất lỏng... [4]. Sự va đập mạnh có thể tạo ra lực tác động cục bộ rất cao lên thành hoặc trần của bồn chứa, dẫn đến nguy cơ hư hỏng bồn chứa. Ngoài ra, lực tác động này có thể tạo ra mô men đủ lớn để ảnh hưởng đến độ ổn định của xe chở thùng chứa chất lỏng được đổ một phần. Tình huống này đặc biệt nghiêm trọng khi tần số kích thích bên ngoài gần với tần số cộng hưởng của hệ thống, làm tăng khả năng xảy ra dao động mạnh và có thể gây ra sự cố nghiêm trọng [5].

Nhiều giải pháp thiết kế khác nhau được đưa ra để ngăn ngừa tất cả những vấn đề này. Phổ biến nhất trong số này là việc bổ sung vách ngăn chắn sóng với hình dạng và kích thước khác nhau trong các thùng chứa [6]. Tuy nhiên, việc sử dụng vách ngăn chắn sóng lại làm tăng trọng lượng thùng và chi phí sản xuất. Hiện nay, việc nghiên cứu chống va đập, giảm trọng lượng và chi phí trong thiết kế thùng chứa chất lỏng đều có thể được thực hiện bằng phương pháp động lực học chất lỏng tính toán (Computational Fluid Dynamics, CFD) kết hợp với các phần mềm chuyên dùng [7], [8]. Với phương pháp CFD, tất cả các đặc tính và thông số như gia tốc, lực, chế độ dòng chảy, đặc tính chất lỏng, hình dạng kết cấu thùng, mức độ đầy, hình dạng vách ngăn chắn sóng, số lượng và vị trí các vách này có thể được kiểm tra theo các kết hợp khác nhau để xác định thiết kế tối ưu. Chitkara và cộng sự (2013) đã sử dụng phương pháp CFD để so sánh hai loại bình nhiên liệu 40 lít trong trường hợp 40% nhiên liệu và 60% không khí, từ đó dự đoán tác động của lực và mô men lắc của cấu trúc bình khi xem xét với gia tốc dọc [9]. Mishra và cộng sự [10] nghiên cứu giải quyết vấn đề va đập thường xảy ra trong các thùng nhiên liệu Boeing 747-200. Họ đã thực hiện mô phỏng CFD bằng phần mềm Ansys với mô hình đa pha thể tích chất lưu. Kết quả cho thấy sau khi thêm các vách ngăn nằm ngang vào mô hình ban đầu, năng lượng động học hỗn loạn đã giảm 11,239%. Arslan và cộng sự [8] đã nghiên cứu sự va đập của bình nhiên liệu của một xe tải hạng nặng có hệ thống phanh khẩn cấp bằng phương pháp phân tích CFD. Kết quả cho thấy với việc sử dụng các vách ngăn chống va đập, áp suất tối đa, tốc độ tăng áp suất và va đập của chất lỏng đã giảm đi 2-3 lần đối với các trường hợp khác nhau. Ngoài ra, nhiều nghiên cứu ứng dụng CFD để nghiên cứu thùng chứa chất lỏng khác cũng đã được thực hiện, cho thấy tiềm năng và hiệu quả của phương pháp [2], [11] - [16].



Hình 1. Xe chữa cháy rừng đa năng

Xe chữa cháy rừng đa năng do Việt Nam sản xuất là một thiết bị tích hợp nhiều chức năng phục vụ công tác chữa cháy rừng. Xe có khả năng di chuyển trên địa hình dốc và được trang bị lưỡi cưa ở phần đầu giúp cắt xẻ cây cối và vật cản một cách nhanh chóng và hiệu quả hơn so với phương pháp thủ công. Việc cắt cây này còn để tạo ra các hành lang cách ly với đám cháy. Xe còn được trang bị hệ thống phun đất tạo ra áp suất cao để dập tắt lửa và có thể sử dụng đất cát tại chỗ để hỗ trợ trong việc dập tắt đám cháy. Ngoài ra, trên xe cũng bố trí bình chứa nước cùng với

phun nước với phạm vi rộng (Hình 1). Thiết bị này đã được thiết kế, chế tạo và có nhiều nghiên cứu được thực hiện để đánh giá kết cấu, độ ổn định, hệ thống treo,... [17] - [20]. Tuy nhiên, việc xem xét ảnh hưởng của thiết kế thùng đến sự va đập của nước khi xe di chuyển vẫn chưa được thực hiện. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm khảo sát hiện tượng va đập của nước trong thùng chứa bằng phương pháp mô phỏng động lực học chất lỏng CFD với mô hình nhiễu loạn k-ε. Cụ thể, nghiên cứu giả lập tình huống xe đang di chuyển ở tốc độ 80 km/h và thực hiện phanh khẩn cấp để dừng lại sau 40m, sau đó đứng yên trong một khoảng thời gian. Trong quá trình phanh, sự thay đổi áp suất theo thời gian trên các vách phía trước và phía sau (theo hướng chuyển động của xe) được phân tích kỹ lưỡng để so sánh giữa hai trường hợp có và không có vách chắn sóng trong thùng chứa. Kết quả nghiên cứu sẽ giúp tối ưu hóa thiết kế thùng chứa nước trên xe, từ đó nâng cao khả năng hoạt động an toàn và ổn định của xe chữa cháy rừng trong tình huống khẩn cấp.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Phân tích CFD về hiện tượng va đập trong thùng chứa nước của xe chữa cháy rừng đã năng được thực hiện bằng mô đun Flow Simulation của phần mềm SolidWorks qua bốn bước. Đầu tiên, mô hình thùng chứa nước được thiết kế cho hai trường hợp có và không có vách ngăn, cùng với việc xác định mức nước. Bước thứ hai là thiết lập và kiểm tra cấu trúc lưới của các mô hình. Ở bước ba, các điều kiện chuyển động và điều kiện biên được thiết lập. Cuối cùng, các phương pháp phân tích, thuật toán giải phù hợp với mục đích đã được áp dụng và kết quả mô phỏng được đánh giá.

2.1. Mô hình thùng chứa nước trên xe chữa cháy rừng đã năng

Trong bước đầu tiên của nghiên cứu, thùng chứa nước trên xe chữa cháy rừng đã năng được thiết kế với hai loại có và không có vách ngăn với một số thông số như Hình 2. Thùng chứa có hình dạng hộp chữ nhật lồi phía trên với kích bên trong là dài 3000 mm, rộng 1800 mm, cao 1200 mm và độ dày 3 mm, tổng dung tích đạt 6,13 m³. Đối với mô hình có vách ngăn, các vách ngăn này được thiết kế với các lỗ ở đáy và hai bên, giúp nước lưu thông bên trong thùng chứa. Ngoài ra, một số chi tiết hình học đã được đơn giản hóa nhằm rút ngắn thời gian giải quyết và cải thiện chất lượng cấu trúc lưới trong quá trình mô phỏng. Phần mềm SolidWorks được sử dụng để xây dựng mô hình 3D.

2.2. Phương pháp và điều kiện phân tích

Trong bài báo này, phương pháp thể tích chất lỏng (Volume of Fluid) được sử dụng để phân tích chất lỏng tức thời trong quá trình va đập với hai pha khí-lỏng sử dụng phương trình thể tích pha (1), phương trình bảo toàn động lượng (2) và mô hình k-ε [8].

$$\frac{\partial \alpha_i}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_i u) = 0 \quad (1)$$

Trong đó, α là hàm thể tích pha; u là vector vận tốc; t là thời gian.

$$\frac{\partial (\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u u) = -\nabla p + \nabla \tau + f \quad (2)$$

Trong đó, ρ là mật độ hỗn hợp được tính dựa trên phần thể tích của từng pha; p là áp suất; τ là ứng suất; f là ngoại lực.

Mô hình k-ε Standard được sử dụng với động năng hỗn loạn (k) và tốc độ tiêu tán (ε) được thể hiện trong các phương trình (3) và (4):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - \rho \varepsilon + S_k \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + G_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - G_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (4)$$

Trong đó, u_i là thành phần vận tốc, μ là độ nhớt, μ_t là độ nhớt động lực học, x_i, x_j là các điểm trong không gian, G_k là biểu diễn sự tạo năng lượng rối, S_k và S_ε là đại lượng “nguồn” biến do người dùng xác định, $G_{1\varepsilon}$ và $G_{2\varepsilon}$ là các hệ số của phương trình.

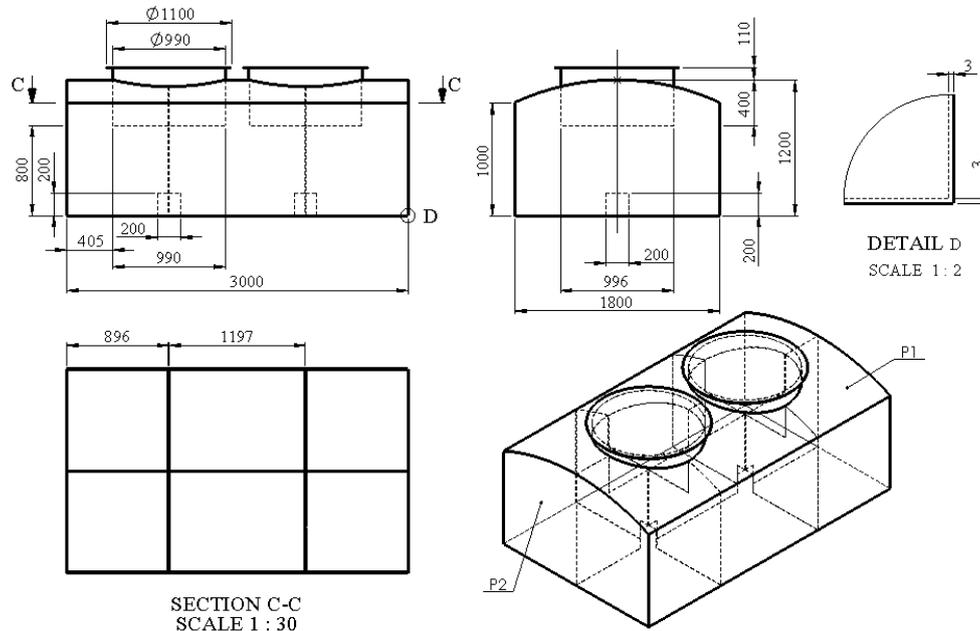
Thùng chứa nước của xe chữa cháy rừng được phân tích khi đang di chuyển với tốc độ 80 km/h sau đó phanh đột ngột và dừng lại ở khoảng cách sau 40 m (Hình 3a). Gia tốc phanh và thời gian phanh được xác định theo các phương trình (5) và (6).

$$v^2 = v_0^2 + 2as \quad (5)$$

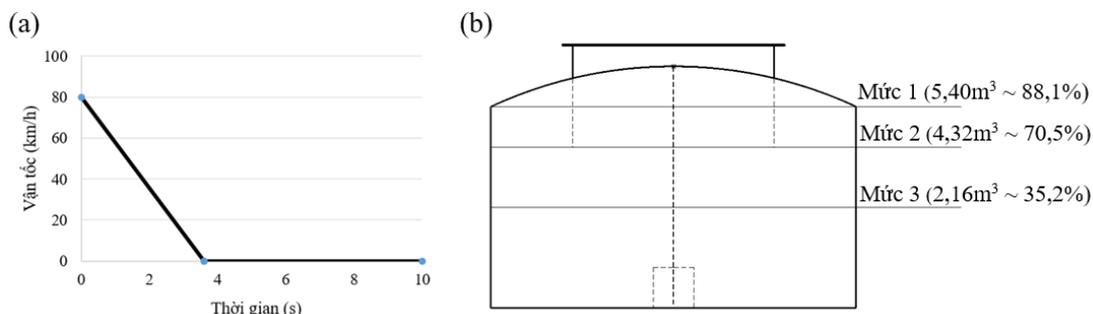
$$v = v_0 + at \quad (6)$$

Trong đó v là vận tốc cuối (m/s), v_0 là vận tốc ban đầu (m/s), a là gia tốc (m/s²) và s là quãng đường (m).

Do đó, gia tốc phanh tính toán được là 6,17 m/s² và thời gian xe phanh trong 3,6 giây sau đó xe và dừng lại giữ nguyên vị trí cho đến giây thứ 10 để xem xét hiện tượng va đập trong thùng chứa.



Hình 2. Một số kích thước của thùng chứa nước của xe ô tô chữa cháy rừng



Hình 3. Đồ thị vận tốc theo thời gian (a) và các mức nước khi mô phỏng (b)

Hai pha trong bình chứa là nước và không khí, khối lượng riêng của nước là 998,2 kg/m³ và độ nhớt động là 1,003×10⁻³ kg/(m·s). Phân tích được tiến hành với 3 mức nước khác nhau là 5,40

m^3 (88,1%), 4,32 m^3 (70,5%) và 2,16 m^3 (35,2%) trong hai trường hợp có và không có vách chắn sóng (Hình 3b). Do mô hình thùng chứa có kết cấu đơn giản và dòng chảy không phức tạp nên nghiên cứu chọn loại lưới toàn cục, chế độ thiết lập lưới tự động ở mức 3, đây là mức thường mô phỏng các hiện tượng dòng chảy cơ bản mà không tiêu tốn quá nhiều tài nguyên tính toán. Kết quả thu được cho mô hình không có vách ngăn là 3700 phần tử và mô hình có vách ngăn là 5093 phần tử. Các thông số khác thiết lập khi phân tích được giới thiệu trong Bảng 1. Áp suất tổng lớn nhất tác dụng lên vách phía trước (P1) và vách phía sau (P2) đã được phân tích trong quá trình mô phỏng (Hình 2).

Bảng 1. Thông số thiết lập khi phân tích

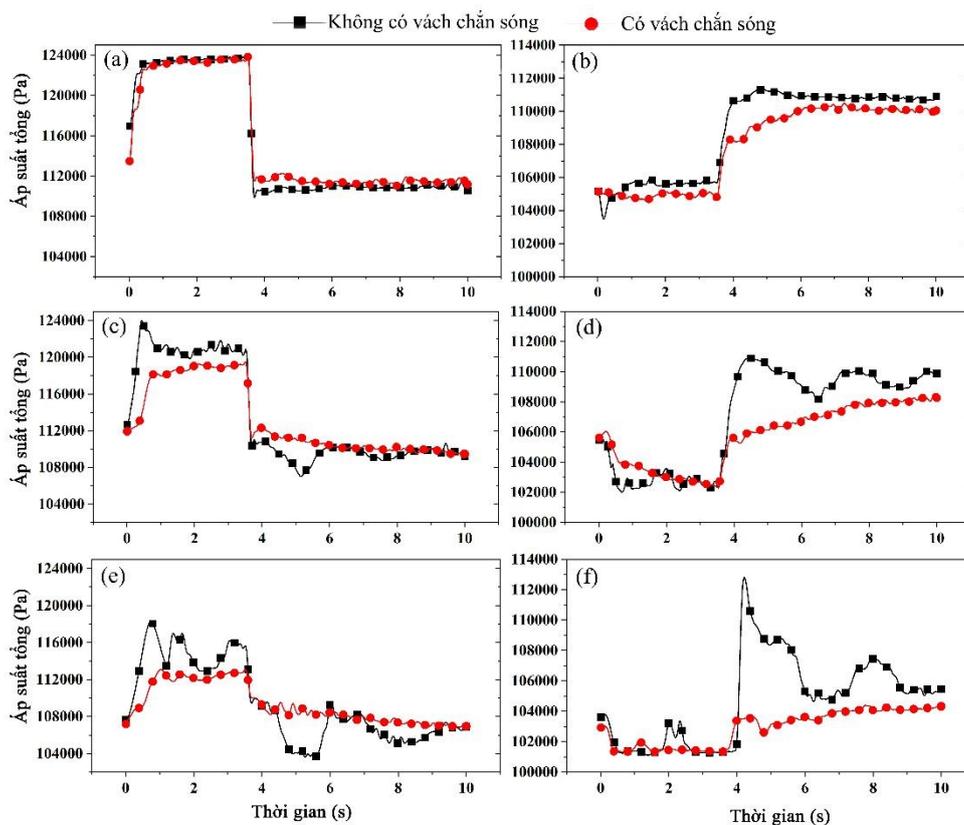
STT	Thông số phân tích (đơn vị)	Giá trị
1	Kiểu dòng chảy	Chảy rối
2	Tham số nhiễu loạn	1
3	Loại chất lỏng trong thùng chứa	Nước và không khí
4	Nhiệt độ (°C)	25
5	Áp suất khí quyển (Pa)	101325
6	Thời gian phân tích (s)	10
7	Bước thời gian (s)	0,01
8	Số bước thời gian	1000
9	Số lần lặp tối đa mỗi bước thời gian	20
10	Phần dư	10^{-5}
11	Gia tốc trọng trường (m/s^2)	9,81

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

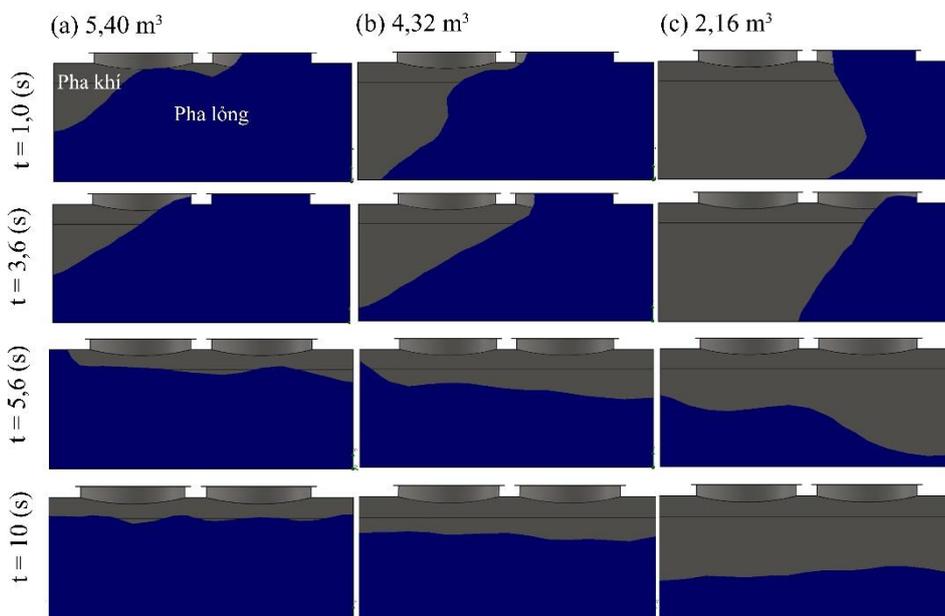
Kết quả của các phân tích về sự va đập của nước trong thùng chứa của xe chữa cháy rừng đã được tổng hợp, với các giá trị áp suất theo thời gian cho thành thùng phía trước (P1) và phía sau (P2) theo hướng chuyển động của xe. Hình 4 cho thấy sự thay đổi áp suất trong các thiết kế thùng có và không có vách ngăn chắn sóng tương ứng với các mức nước khác nhau.

Sau khi xe phanh từ tốc độ 80 km/h, kết quả cho thấy áp suất trên thành thùng phía trước có sự tăng mạnh trong cả hai trường hợp có và không có vách ngăn. Điều này là do lực va đập của gia tốc phanh mạnh đã tác động lên chất lỏng bên trong thùng chứa, tạo ra áp suất cao ngay lập tức. Sau khi đạt đỉnh, áp suất có sự dao động nhẹ tùy thuộc vào gia tốc phanh và mức độ dao động của chất lỏng bên trong. Khi quá trình phanh kết thúc sau 3,6s thì áp suất trên thành thùng giảm đột ngột do hiện tượng quay trở lại của chất lỏng. Hiện tượng này đặc biệt rõ rệt ở mức nước 70,5% (Hình 4c) và 35,2% (Hình 4e). Sự dao động này có thể được giải thích bởi hiệu ứng va đập trên diện rộng, nơi không có vách ngăn cản sự lan truyền của sóng [16], [21]. Ngược lại, trong bình chứa sử dụng vách ngăn chắn sóng, các vách ngăn đã giúp làm giảm sự dao động và phân tán lực tác động lên thành thùng, nhờ đó cải thiện tính ổn định của áp suất bên trong. Kết quả phân tích cũng cho thấy với thiết kế có thêm vách chắn sóng, áp suất lớn nhất tác động lên vách phía trước đã giảm khoảng 0,8%; 3,6% và 4,2% tương ứng với 3 mức nước được khảo sát.

Đối với vách thùng phía sau, kết quả quan sát cho thấy áp suất giảm liên tục sau khi phanh cho đến khi xe dừng lại, như minh họa trong Hình 4b, d, f. Hiện tượng này cho thấy lực tác động lên chất lỏng không đồng đều dẫn đến việc nước di chuyển về phía sau thùng chứa, gây ra sự thay đổi của áp suất. Sau khi xe dừng lại, áp suất trên thành thùng phía sau lại tăng lên do dòng chảy của nước, phản ánh sự chuyển động của chất lỏng trong thùng. Đặc biệt, sự chênh lệch rõ rệt giữa thiết kế có và không có vách chắn sóng cho thấy vai trò quan trọng của các vách ngăn trong việc cải thiện khả năng ổn định của hệ thống. Với thiết kế có thêm vách chắn sóng, áp suất lớn nhất tác động lên vách phía sau đã giảm khoảng 0,9%; 2,3% và 7,4% tương ứng với 3 mức nước được khảo sát. Kết quả này cho thấy thiết kế có vách chắn sóng đã chứng minh khả năng giảm thiểu dao động, áp suất lên các thành thùng chứa, do đó có thể nâng cao hiệu suất và an toàn trong quá trình phanh.

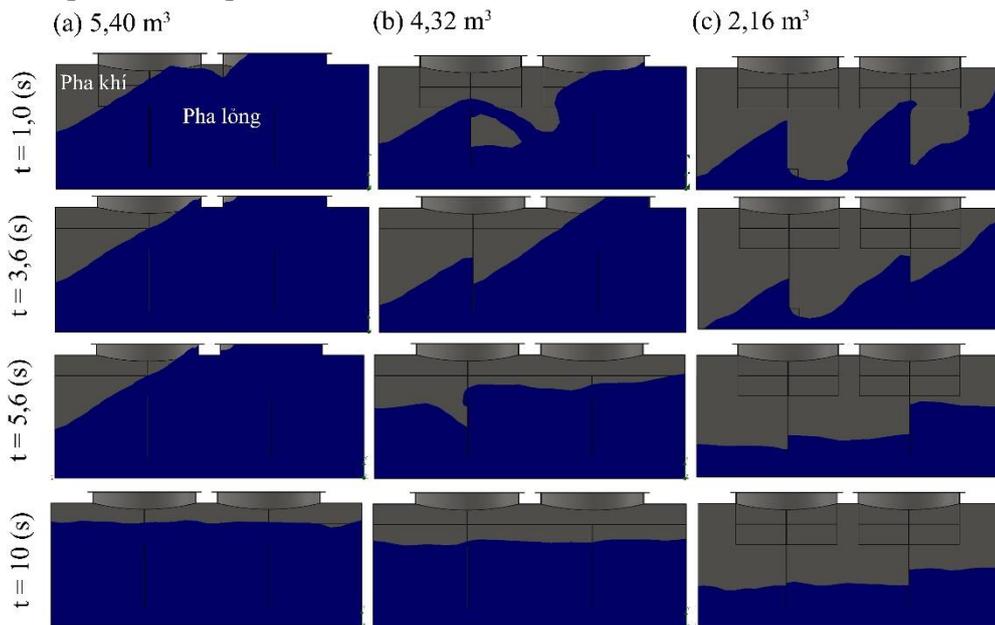


Hình 4. Kết quả áp suất tổng trên: (a) vách phía trước và (b) vách phía sau với mức nước 5,40 m³; (c) vách phía trước và (d) vách phía sau với mức nước 4,32 m³; (e) vách phía trước và (f) vách phía sau với mức nước 2,16 m³



Hình 5. Chuyển động của nước tại các thời điểm khác nhau của thùng không có vách: (a) mức nước 5,40 m³, (b) mức nước 4,32 m³, (c) mức nước 2,16 m³

Hình 5 và Hình 6 trình bày kết quả mô phỏng cho tất cả các mức nước của hai thiết kế thùng chứa với hiện tượng chuyển động của chất lỏng được trực quan hóa tại các thời điểm 1,0 giây, 3,6 giây, 5,6 giây và 10 giây. Ở mức nước cao, hiện tượng chất lỏng bắn tung tóe không có sự khác biệt đáng kể giữa hai thiết kế. Tuy nhiên đối với mức nước thấp, việc phân chia thùng chứa thành ba ngăn riêng biệt bằng các vách chắn sóng đã giúp giảm sự gia tăng áp suất đột ngột và áp suất tối đa trên các thành thùng [22]. Nước được điều chỉnh qua các lỗ ở đáy các vách ngăn một cách từ từ, đảm bảo luôn có một lượng nước nhất định ở đáy, qua đó ngăn ngừa sự gián đoạn trong thùng chứa. Điều này không chỉ cải thiện tính ổn định của áp suất mà còn nâng cao hiệu quả hoạt động của hệ thống.



Hình 6. Chuyển động của nước tại các thời điểm khác nhau của thùng có vách:
(a) mức nước $5,40 \text{ m}^3$, (b) mức nước $4,32 \text{ m}^3$, (c) mức nước $2,16 \text{ m}^3$

4. Kết luận

Nghiên cứu đã chỉ ra rằng việc thiết kế thùng chứa có vách ngăn chắn sóng mang lại những lợi ích rõ rệt trong việc giảm thiểu dao động và phân tán lực tác động lên thành thùng khi xe chữa cháy rừng phanh gấp. Kết quả phân tích áp suất trên các vách thùng trước và sau cho thấy, trong trường hợp thùng không có vách ngăn, áp suất dao động mạnh khi phanh gây nên hiện tượng va đập chất lỏng và làm giảm tính ổn định của xe. Ngược lại, với thiết kế vách ngăn chắn sóng, áp suất được điều tiết một cách hiệu quả hơn, giảm đáng kể hiện tượng dao động mạnh và giúp duy trì sự ổn định bên trong thùng chứa. Do đó, việc thiết kế vách ngăn trong thùng chứa là giải pháp khả thi và hiệu quả để nâng cao an toàn và ổn định của xe chữa cháy rừng trong khi vận hành.

Lời cảm ơn

Tác giả xin cảm ơn PGS.TS Dương Văn Tài, chủ nhiệm đề tài: "Nghiên cứu công nghệ và thiết kế chế tạo các thiết bị chuyên dụng chữa cháy rừng, mã số KC07.13/06 -10" đã tạo điều kiện để tác giả hoàn thành nghiên cứu này

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] E. Zhang, W. Zhu, and L. Wang, "Influencing analysis of different baffle factors on oil liquid sloshing in automobile fuel tank," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, vol. 234, no. 13, pp. 3180-3193, 2020.

- [2] E. E. Topçu and E. Kılıç, "A Numerical Investigation of Sloshing in a 3D Prismatic Tank with Various Baffle Types, Filling Rates, Input Amplitudes and Liquid Materials," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 4, 2023, Art. no. 2474.
- [3] H. Csala, S. Dawson, and A. Arzani, "Comparing different nonlinear dimensionality reduction techniques for data-driven unsteady fluid flow modeling," *Physics of Fluids*, vol. 34, no. 11, 2022, Art. no. 117119.
- [4] H. Akyildiz and N. E. Ünal, "Sloshing in a three-dimensional rectangular tank: numerical simulation and experimental validation," *Ocean engineering*, vol. 33, no. 16, pp. 2135-2149, 2006.
- [5] M. A. Mahmud, R. I. Khan, S. Wang, and Q. Xu, "Comprehensive study on sloshing impacts for an offshore 3d vessel via the integration of computational fluid dynamics simulation, experimental unit, and artificial neural network prediction," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 59, no. 51, pp. 22187-22204, 2020.
- [6] S. M. Hasheminejad and M. Mohammadi, "Effect of anti-slosh baffles on free liquid oscillations in partially filled horizontal circular tanks," *Ocean Engineering*, vol. 38, no. 1, pp. 49-62, 2011.
- [7] S. Narayanasamy, F. Yang, R. Islam, A. Sardar, V. Garaniya, P. Kooshandehfar, and N. Nikolova, "Safety during oil and gas transfer and transport," in *Methods in Chemical Process Safety*, Elsevier, 2018, pp. 169-205.
- [8] T. A. Arslan, H. Bayrakçeken, and H. Yavuz, "CFD Analysis of Sloshing in the Fuel Tank of a Heavy Vehicle with Emergency Braking System," *International Journal of Automotive Science And Technology*, vol. 7, no. 4, pp. 340-348, 2023.
- [9] T. K. Chitkara, Z. Kittur, and R. Soman, "Computational simulation of fuel tank sloshing using CFD techniques," in *SAE Technical Papers*, 2013, doi: 10.4271/2013-01-2868.
- [10] A. K. Mishra, U. Kalita, M. S. Malhi, S. K. Behera, S. Khan, and T. R. Chowdhury, "Modelling and Optimization of a Fuel Tank for Reduction of Sloshing Effect," in *Futuristic Sustainable Energy & Technology*, CRC Press, 2022, pp. 91-101.
- [11] S. J. Magdum, A. Das, V. Shetty, R. Sivakumar, and G. Sakthivel, "DOE study of 'the effect of various parameters on fuel tank sloshing using multiphase CFD'," *International Journal of Ambient Energy*, vol. 42, no. 1, pp. 1-10, 2021.
- [12] Z. Cai, A. Topa, L. P. Djukic, M. T. Herath, and G. M. Pearce, "Evaluation of rigid body force in liquid sloshing problems of a partially filled tank: Traditional CFD/SPH/ALE comparative study," *Ocean Engineering*, vol. 236, 2021, Art. no. 109556.
- [13] L. Lu, R. Zhu, C. Ji, J. Guo, F. Lyu, and S. Xu, "Influence of solid particles in liquid tank on sloshing behaviour based on CFD-DEM coupling method," *Ocean Engineering*, vol. 312, 2024, Art. no. 119068.
- [14] N. V. He, "Effects of computed fluid domain and meshing on the cfd results of viscous resistance acting on a ship," *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 181, no. 05, pp. 105-110, 2018.
- [15] T. H. N. Nguyen, T. H. Pham, C. V. Nguyen, and M. C. Bui, "Numerical study of flow of a non-newtonian fluid over a rotating cylinder," *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 226, no. 15, pp. 36-43, 2021.
- [16] V. Sanapala, T. Selvaraj, K. Ananthasivan, and B. Patnaik, "Numerical simulation of wave impact and high pressure characteristics due to violent sloshing in a rectangular tank," *Ships and Offshore Structures*, vol. 19, no. 5, pp. 625-643, 2024.
- [17] V. V. Luong, P. H. Cao, and T. T. Nguyen, "Effect of suspension system stiffness on dynamic load action chassis multi-purpose forest fire fighting vehicle," *International Journal of Engineering*, vol. 35, no. 8, pp. 1571-1578, 2022.
- [18] V. V. Luong, "Research on the durability of the chassis of multi-purpose forest fire fighting vehicle," (In Vietnamese), PhD Thesis, Vietnam National University of Forestry, Vietnam, 2020.
- [19] X. H. Nguyen, "Dynamic study of multi-purpose forest fire fighting vehicle," (In Vietnamese), PhD Thesis, Vietnam National University of Forestry, Vietnam, 2013.
- [20] V. V. Luong, T. T. Nguyen, T. V. Nguyen, and P. T. Mai, "Optimizing the Structure of the Axle Housing Multi-purpose Forest Fire Fighting Vehicle by Finite Element Method," in *International Conference on Material, Machines and Methods for Sustainable Development*, Springer, 2022, pp. 277-284.
- [21] K.-X. Huang, G.-S. Shui, Y.-Z. Wang, and Y.-S. Wang, "Meta-arrest of a fast propagating crack in elastic wave metamaterials with local resonators," *Mechanics of Materials*, vol. 148, 2020, Art. no. 103497.
- [22] M.-A. Xue, Y. Chen, J. Zheng, L. Qian, and X. Yuan, "Fluid dynamics analysis of sloshing pressure distribution in storage vessels of different shapes," *Ocean Engineering*, vol. 192, 2019, Art. no. 106582.