

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA THUYỀN VIÊN VÀ SĨ QUAN ĐIỀU KHIỂN TÀU BIỂN TRONG SỰ CỐ CHÁY NỔ TRÊN TÀU BẰNG PHƯƠNG PHÁP HFACS VÀ CÁC BÁO CÁO ĐIỀU TRA TAI NẠN A STUDY ON SHIP OFFICERS CONTRIBUTION TO SHIPBOARD FIRE AND EXPLOSION INCIDENTS USING THE HFACS FRAMEWORK

INTEGRATED WITH INVESTIGATION REPORTS

ĐỖ CÔNG HOAN, VŨ ĐĂNG THÁI*, HOÀNG THANH LONG

Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: vudangthai@vamaru.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.65154/jmst.657>

Tóm tắt

Cháy nổ trên tàu biển, mặc dù chỉ chiếm tỷ lệ nhỏ trong tổng số các tai nạn hàng hải được thống kê, nhưng lại gây ra những thiệt hại đặc biệt nghiêm trọng về người, tài sản và môi trường. Nhiều nghiên cứu đã khẳng định yếu tố con người đóng vai trò trung tâm trong phần lớn các sự cố hàng hải, song việc phân tích có hệ thống các nguyên nhân liên quan đến con người trong các vụ cháy nổ trên tàu vẫn còn hạn chế. Nghiên cứu này áp dụng phương pháp HFACS (Human Factors Analysis and Classification System) kết hợp với dữ liệu thống kê toàn cầu và các báo cáo điều tra tai nạn từ giai đoạn 2005-2024 để nhận diện, phân loại và đánh giá mức độ ảnh hưởng của các yếu tố con người trong chuỗi nguyên nhân. Kết quả phân tích cho thấy các sai sót thao tác, điều kiện tiên quyết như mệt mỏi và thiếu huấn luyện, cũng như sự giám sát chưa đầy đủ từ tổ chức là những mắt xích quan trọng dẫn đến sự cố. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất một số giải pháp nhằm góp phần phòng ngừa và giảm thiểu rủi ro cháy nổ tàu biển trong tương lai.

Từ khóa: Sự cố hàng hải, cháy trên tàu biển, phân tích dữ liệu, phương pháp HFACS.

Abstract

Although fire and explosion incidents on ships account for only a small proportion of the total number of reported maritime accidents, they often result in severe consequences for human life, property, and the marine environment. Previous studies have confirmed that human factors play a central role in the majority of maritime accidents; however, systematic analyses of human-related causes in shipboard fire and explosion incidents

remain limited. This study applies the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) in combination with global statistical data and accident investigation reports from the period 2005-2024 to identify, categorize, and assess the influence of human factors within the causal chain. The findings reveal that operational errors, preconditions such as fatigue and inadequate training, and insufficient organizational supervision are critical links contributing to such incidents. Based on these insights, the study proposes several measures aimed to prevention and mitigation of shipboard fire and explosion risks in the future.

Keywords: Maritime incidents, fire on ships, data analysis, Human Factors Analysis and Classification System.

1. Đặt vấn đề

Cháy nổ trên tàu biển tuy chiếm tỷ lệ nhỏ trong tổng thể tai nạn hàng hải, nhưng hậu quả lại đặc biệt nghiêm trọng về người, tài sản và môi trường [11], nhất là trên đội tàu container và ro-ro quy mô lớn [2], [8]. Nhiều báo cáo ngành gần đây tiếp tục cảnh báo xu hướng gia tăng các vụ cháy do hàng nguy hiểm khai báo sai hoặc không khai báo (ví dụ pin lithium-ion) [11], khiến công tác phòng ngừa và ứng phó phức tạp hơn trong điều kiện tàu cỡ siêu lớn và kết cấu boong kín. Các thống kê và bình luận kỹ thuật từ những tổ chức uy tín và cộng đồng bảo hiểm hàng hải nhấn mạnh “hỏa hoạn vẫn là nguyên nhân tổn thất lớn” và liên hệ mạnh mẽ tới khâu khai báo, đóng gói và xếp dỡ hàng nguy hiểm trong chuỗi cung ứng [8], [11], [9].

Trong học thuật, vai trò trung tâm của yếu tố con người trong tai nạn hàng hải đã được xác lập rõ [21]. Trên cơ sở đó, HFACS được điều chỉnh cho bối cảnh hàng hải (HFACS-MA) để phân tích có hệ thống các

sai sót thao tác, điều kiện tiên quyết, giám sát không an toàn và ảnh hưởng tổ chức [22]. Nghiên cứu kinh điển của Metin Celik & Selcuk Cebi [14] đặt nền tảng mở đầu cho phương pháp HFACS, từ đó Chauvin và cộng sự [5] đã cho thấy phần lớn va chạm có nguồn gốc ở lỗi quyết định (decision errors), minh chứng giá trị của HFACS khi phân tích chuỗi nhân quả người-tổ chức.

Đồng thời, Chen và cộng sự năm 2013 đã đề xuất thủ tục phân tích HFACS-MA dành riêng cho điều tra tai nạn hàng hải tập trung sâu vào yếu tố tổ chức và con người [6], đặt nền móng cho các nghiên cứu mở rộng định lượng sau này [12], [22].

Gần đây hơn, các hướng tích hợp HFACS-MA vào mô hình suy luận, chẳng hạn như: Ánh xạ sang mạng Bayes [12], Fuzzy [18], hybrid [17], tiếp tục cho phép định lượng rủi ro yếu tố con người và mô phỏng kịch bản [16], mở ra cơ hội kết hợp dữ liệu thống kê quy mô lớn với tri thức điều tra.

Ở chiều trường hợp điển hình, một ví dụ đặc biệt là vụ cháy Maersk Honam (2018) cho thấy sự phức tạp khi nguyên nhân cuối cùng không thể kết luận dứt khoát, nhưng nhiều khả năng khởi phát từ phân hủy hàng nguy hiểm (Class 9) trong hầm hàng số 3; tình huống này làm nổi bật các mắt xích HFACS liên quan đến khai báo, xếp dỡ, giám sát và kiểm soát rủi ro hàng nguy hiểm trong tổ chức.

Rõ ràng, hiện nay các nghiên cứu sử dụng phương pháp HFACS/HFACS-MA trên dữ liệu kết hợp (thống kê toàn cầu + báo cáo điều tra đa nguồn) để lượng hóa mức độ ảnh hưởng của từng tầng nhân tố và làm rõ đóng góp của con người trong tai nạn hàng hải nói chung hay sử dụng một vụ việc điển hình để mô phỏng đánh giá là rất nhiều, nhưng tập trung vào cháy nổ tàu biển là chưa có. Do đó, nghiên cứu này hướng tới áp dụng HFACS trên bộ dữ liệu giai đoạn 2005-2024, đối chiếu bằng chứng từ các báo cáo điều tra và thống kê để nhận diện các mắt xích cá nhân/tổ chức chi phối cũng như lập bản đồ chuỗi nhân quả nhiều tầng.

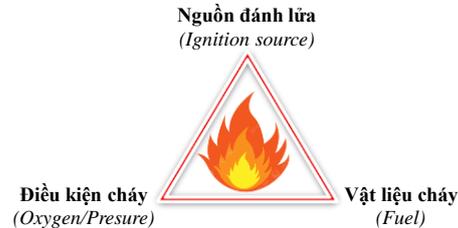
2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Phạm vi và khái niệm

Sự cố cháy nổ trên tàu bắt nguồn từ sự xuất hiện nguồn mồi lửa/ đánh lửa (ignition), sự hiện diện nhiên liệu/chất cháy (fuel), và điều kiện oxy/áp suất dẫn tới cháy hoặc nổ như mô tả trong Hình 1.

Phân loại điển hình theo khu vực trên tàu dựa trên dữ liệu thống kê sự cố cháy trên tàu giai đoạn 2005-2024 chủ yếu xảy ra tại buồng máy, hầm hàng/boong hàng, khoang ở, bếp, buồng điện; đối với tàu chở

dầu/hóa chất: Boong ống, két hàng; đối với Ro-Ro/Container: Boong xe/ hầm container và nguyên nhân xảy ra theo cơ chế khởi phát như sinh nhiệt trong làm việc/hàn cắt, điện, ma sát/quá nhiệt, rò rỉ nhiên liệu/khí, phản ứng hóa học hay mất kiểm soát nhiệt của pin, tự bốc cháy hàng nguy hiểm, hơi khí tích tụ trong không gian kín.



Hình 1. Điều kiện cơ bản gây ra cháy

2.2. Khung HFACS chuyên biệt cho cháy nổ

Nghiên cứu áp dụng HFACS theo cấu trúc 4 hoặc 5 cấp. Trong nghiên cứu này sử dụng cấu trúc 5 cấp điều chỉnh cho bối cảnh cháy nổ được mô tả như Hình 2. Các cấp độ cụ thể như sau:

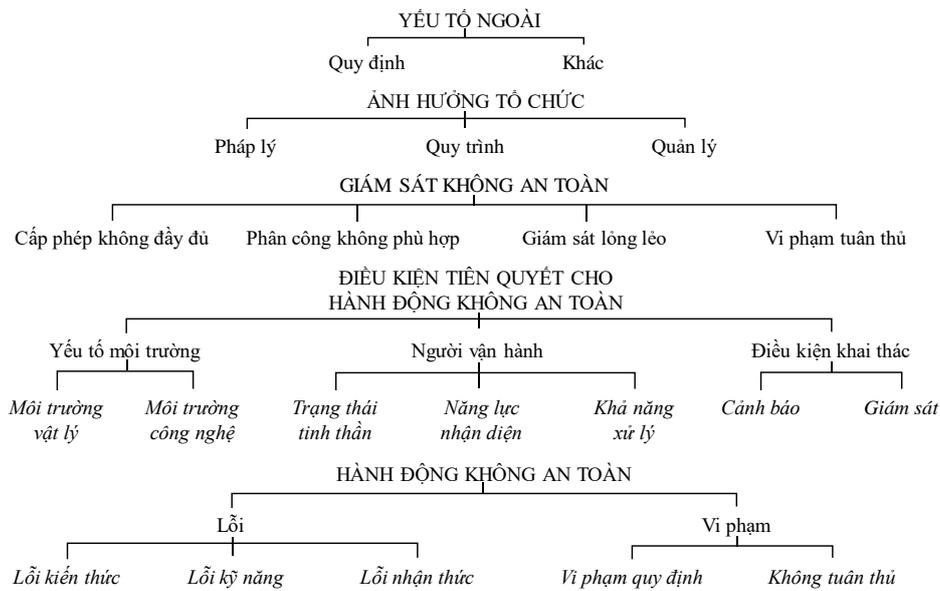
External Factors (Yếu tố bên ngoài) - Quy chuẩn/giám sát cảng, yêu cầu IMDG/SOLAS, áp lực chuỗi cung ứng, thực tiễn xếp dỡ tại cảng, điều kiện khí tượng - hải văn bất lợi.

Organizational Influences (Ảnh hưởng tổ chức) - Hệ thống quản lý an toàn (SMS/ISM) về công việc sinh nhiệt, kiểm soát nguồn đánh lửa; chính sách bảo dưỡng, hiệu chuẩn đầu báo/khí; văn hóa an toàn đối với hàng nguy hiểm (khai báo, phân loại, xếp dỡ, dán nhãn).

Unsafe Supervision (Giám sát không an toàn) - Cấp phép công việc sinh nhiệt không đầy đủ; bỏ sót kiểm tra “không khí an toàn/khí tro”; phân công ca trực PCCC không phù hợp; giám sát lỏng lẻo khi sửa chữa trong không gian kín; không thực thi/giám sát tuân thủ IMDG và thủ tục cô lập năng lượng.

Preconditions for Unsafe Acts (Điều kiện tiên quyết) - Mệt mỏi ca trực; thiếu năng lực nhận biết dấu hiệu sớm (mùi khét, tăng nhiệt bất thường, báo cháy giả lập lại); thông tin hàng hóa thiếu/nhầm; giao tiếp kém giữa boong-máy-cảng; điều kiện làm việc rối rắm/dầu mỡ tích tụ; cảm biến báo cháy/khí hiệu chuẩn kém; bố trí tài nguyên cận nguy hiểm (oxidizer sát vật liệu dễ cháy, pin sát nguồn nhiệt).

Unsafe Acts (Hành vi không an toàn) - gồm Errors (Lỗi): Sai quy tắc (rule-based) khi xử lý công việc sinh nhiệt; sai kiến thức (knowledge-based) khi ứng phó kiểm soát nhiệt; trượt-lỡ (slip/lapse) như quên tải lắp che chắn nhiệt và Violations (Vi phạm): Bỏ qua LoTo



Hình 2. Khung HFACS cho sự cố cháy/nổ trên tàu

(Lock out/ Tag out - cô lập nguồn vật chất dễ cháy); hút thuốc/nấu nướng ngoài khu vực; vô hiệu hóa đầu báo/chuông báo; không tuân thủ quy trình cấp phép.

2.3. Quy tắc mã hóa HFACS cho dữ liệu

Đơn vị mã hóa: Một vụ cháy/nổ; với chuỗi sự kiện, ghi nhận sự kiện nếu tạo nguyên nhân độc lập (ví dụ: Nổ thứ cấp).

Biên bối cảnh cháy nổ: Loại tàu; vị trí trên tàu; loại hàng/nguyên liệu; nguồn đánh lửa suy đoán/xác nhận; trạng thái ngăn chặn (đầu báo, sprinkler/CO₂, foam, inert gas); điều kiện không gian kín/ventilation.

Biên HFACS: Cho phép đa nhãn (multi-label) trong mỗi tầng; ghi mức độ tin cậy bằng chứng.

Lịch phân loại: Ưu tiên mã “Preconditions” khi bằng chứng cho thấy điều kiện môi trường/nhân lực dẫn tới lỗi; ưu tiên “Violations” khi có bằng chứng ý thức bỏ qua quy trình; khi mơ hồ giữa supervision và organization, áp dụng tiêu chí: Lỗi giám sát tại ca/kế hoạch cụ thể → 3; thiếu hụt hệ thống/quy chế dài hạn → 2.

Chia đoạn thời gian: 2005-2011/ 2012-2018/ 2019-2024 để phản ánh các thay đổi công nghệ, hàng hóa và thực hành quản lý.

Sau đó thực hiện chỉ báo phân tích gắn với HFACS-cháy nổ, phân tầng theo loại tàu/khu vực/vị trí trên tàu cho từng nút HFACS.

Chỉ số đóng góp của mỗi tầng theo nhóm vụ việc, hỗ trợ ưu tiên can thiệp.

So sánh 3 giai đoạn 2005-2011/ 2012-2018/ 2019-2024 để nhận diện thay đổi mô hình lỗi liên quan đến

hàng nguy hiểm mới (pin Li-ion, methanol/LNG) hay quy trình sửa chữa hiện đại.

3. Thực hiện nghiên cứu

3.1. Nguồn dữ liệu

Nghiên cứu sử dụng hai nhóm dữ liệu chính:

Dữ liệu thống kê công bố toàn cầu: Được trích xuất từ các cơ sở dữ liệu tai nạn hàng hải quốc tế như IMO GISIS [10], MAIB [19], NTSB [20], cũng như báo cáo của các cơ quan hàng hải quốc gia khác [2], [8], [11]. Giai đoạn thu thập được giới hạn từ 2005-2024 nhằm phản ánh đầy đủ cả sự gia tăng của các loại hàng nguy hiểm mới (ví dụ: Pin lithium-ion, nhiên liệu sạch LNG/methanol) và sự thay đổi trong khung pháp lý quốc tế.

3.2. Quy trình thực hiện

Lý thuyết áp dụng HFACS cho nghiên cứu ảnh hưởng của yếu tố con người trong sự cố cháy nổ trên tàu được xây dựng theo 5 bước chính như Hình 3.

Theo đó, việc quan trọng nhất ban đầu là thu thập được dữ liệu phù hợp với những tiêu chí lựa chọn chính: Một là, sự cố phải được xác định là cháy hoặc nổ trên tàu biển; Hai là có thông tin mô tả về yếu tố con người hoặc quy trình quản lý; và Ba, được công bố chính thức bởi cơ quan điều tra hoặc tổ chức quốc tế có uy tín. Loại trừ: Các sự cố chỉ liên quan đến thiệt hại thiết bị nhỏ, không có báo cáo chi tiết về nguyên nhân; các sự cố không có dấu vết yếu tố con người.

3.3. Mã hóa theo HFACS

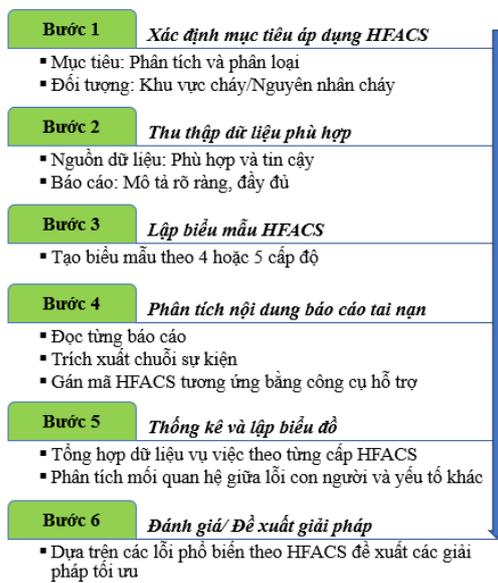
Quá trình mã hóa được thực hiện theo HFACS

chuyên biệt cho cháy nổ đã trình bày ở phần Cơ sở lý thuyết, và quy trình thực hiện trong Hình 3 (Bước 3 và 4). Các bước cụ thể gồm:

Đọc và phân tích báo cáo điều tra: Xác định diễn biến, khu vực khởi phát, nguồn mồi lửa, loại hàng/chất cháy.

Ảnh xạ các chi tiết sang HFACS: Gán các lỗi thao tác, vi phạm, điều kiện tiên quyết (mệt mỏi, thiếu huấn luyện, thông tin hàng hóa sai), giám sát không đầy đủ, ảnh hưởng tổ chức và yếu tố bên ngoài.

Đa nhãn (multi-label coding): Cho phép một sự cố có nhiều hơn một yếu tố HFACS ở mỗi tầng.



Hình 3. Phương pháp triển khai HFACS trong nghiên cứu

3.4. Phân tích định tính và định lượng

Định tính: Trích xuất các chuỗi nguyên nhân điển hình (ví dụ: Thiếu huấn luyện → giám sát lỏng lẻo → vi phạm công việc sinh nhiệt → cháy nổ). Từ đó xây dựng sơ đồ cây và tháp nguyên nhân để minh họa mối liên kết giữa các tầng nhân tố.

Định lượng: Thống kê tần suất xuất hiện của từng nhóm nhân tố HFACS, so sánh theo:

Loại tàu (container, Ro-Ro, dầu khí, hàng rời).

Khu vực sự cố (buồng máy, hầm hàng, boong xe, kết hàng).

Giai đoạn thời gian (2005-2011; 2012-2018; 2019-2024).

Trực quan hóa: Sử dụng Excel, SPSS hoặc Matlab để vẽ biểu đồ cột, heatmap, dendrogram nhằm thể hiện mức độ liên kết và tầm quan trọng của từng nhân tố.

3.5. Đảm bảo độ tin cậy và hạn chế

Để giảm thiểu sai lệch trong các báo cáo hoặc trong quá trình tổng hợp, nghiên cứu tiến hành đối chiếu chéo nhiều nguồn (IMO, MAIB, báo cáo bảo hiểm, cơ quan quốc gia).

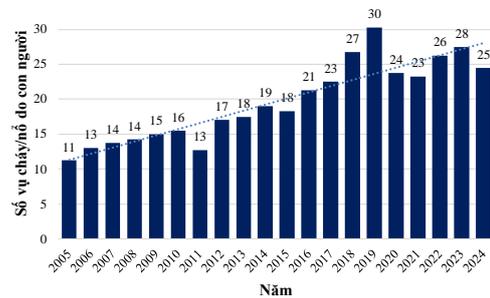
Đối với trường hợp mơ hồ khi phân loại (giữa lỗi thao tác và vi phạm, hoặc giữa giám sát và tổ chức), nghiên cứu áp dụng quy tắc phân loại đã định nghĩa trong phần lý thuyết và thực hiện phân tích nhạy để kiểm chứng.

Hạn chế tiềm ẩn gồm: Sự thiếu đồng nhất về mức độ chi tiết trong báo cáo điều tra; khả năng thiếu sót báo cáo chi tiết với các sự cố nhỏ hoặc chưa công bố rộng rãi.

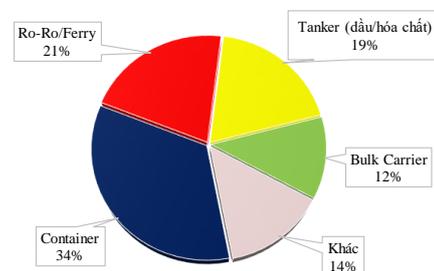
4. Kết quả và Thảo luận

4.1. Thống kê tổng quan giai đoạn 2005-2024

Trong giai đoạn 2005-2024, cơ sở dữ liệu tổng hợp ghi nhận khoảng 1.120 sự cố cháy nổ trên tàu biển, trong đó có gần 70% gây thiệt hại lớn về tài sản hoặc phải sơ tán thuyền viên. Số vụ cháy nổ được ghi nhận có 395 vụ xác định lỗi xảy ra cháy xuất phát từ con người. Thống kê cụ thể qua từng năm được mô tả trong Hình 4.



Hình 4. Thống kê cháy nổ trên tàu do yếu tố con người (giai đoạn 2005-2024)



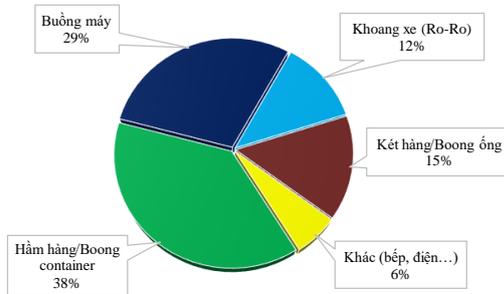
Hình 5. Phân loại sự cố cháy nổ theo loại tàu

Phân theo loại tàu, được thể hiện trong Hình 5.

Trong đó, tàu container chiếm tỷ trọng cao nhất (34%), tiếp đến là tàu Ro-Ro/ferry (21%), tàu dầu/hóa

chất (19%), còn lại là tàu hàng rời và tàu chuyên dụng khác. Con số này phản ánh đúng cảnh báo từ các báo cáo bảo hiểm quốc tế: Container và Ro-Ro là nhóm dễ tổn thương nhất do kết cấu kín và đặc thù hàng hóa.

Phân bố theo khu vực xảy ra cháy nổ, tỉ lệ như Hình 6.



Hình 6. Phân bố sự cố theo khu vực trên tàu

Cụ thể, khu vực hầm hàng tàu hàng hoặc boong tàu container chiếm tỉ lệ cao nhất xảy ra cháy xuất phát từ con người: 38%, Buồng máy: 29%, Khoang sinh hoạt/bếp điện: 12%, Kết hàng và boong ống (tàu dầu/hóa chất): 15% và các khu vực khác còn lại (boong xe, khoang phụ): 6%

So sánh theo ba giai đoạn thời gian như Bảng 1.

Bảng 1. So sánh đặc trưng sự cố cháy/nổ theo giai đoạn

Giai đoạn	Đặc trưng chính	Loại tàu nổi bật	Nguyên nhân chủ yếu
2005 - 2011	Chủ yếu sự cố từ buồng máy	Tàu dầu, bulk	<ul style="list-style-type: none"> Bảo dưỡng kém, Rò rỉ nhiên liệu, Giám sát công việc sinh nhiệt yếu
2012 - 2018	Gia tăng cháy tàu container / Ro-Ro	Container, Ro-Ro	<ul style="list-style-type: none"> Hàng nguy hiểm khai báo sai, Thiếu kiểm soát xếp dỡ
2019 - 2025	Nguy cơ mới từ pin Li-ion, LNG/methanol	Container, tàu năng lượng mới	<ul style="list-style-type: none"> Thiếu kiến thức về kiểm soát nhiệt, Chính sách an toàn chưa bắt kịp

Xu hướng có sự thay đổi rõ rệt:

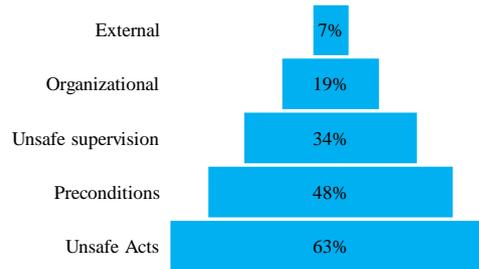
2005-2011: Tập trung ở buồng máy, nguyên nhân chủ yếu do lỗi bảo dưỡng, rò rỉ dầu nhiên liệu, thiếu giám sát công việc sinh nhiệt.

2012-2018: Gia tăng mạnh ở container và Ro-Ro, nhiều vụ xuất phát từ hàng nguy hiểm khai báo sai hoặc không khai báo.

2019-2024: Nổi bật lên các vụ cháy do pin lithium-ion và hàng năng lượng mới (methanol, LNG), cùng với các sự cố liên quan tới sửa chữa, hàn cắt trong giai đoạn tàu neo chờ.

4.2. Phân tích theo khung HFACS

Kết quả phân tích theo khung HFACS dựa trên tỉ lệ xuất hiện của mỗi thành phần trong toàn bộ gần 400 sự cố được ghi nhận và tổng hợp được mô tả trực quan theo biểu đồ tháp Hình 7. Cụ thể:



Hình 7. Biểu đồ tháp mức độ xuất hiện của thành phần HFACS trong các sự cố cháy nổ

- Unsafe Acts (Hành vi không an toàn) chiếm 63%. Trong đó, sai sót thao tác (errors) chiếm ưu thế (41%), điển hình là việc không kiểm soát nhiệt độ khi hàn cắt, thao tác sai với hệ thống van dầu, hoặc nhầm lẫn khi xử lý báo cháy giả. Vi phạm quy trình (violations) chiếm 22%, bao gồm hút thuốc ngoài khu vực cho phép, bỏ qua quy định LoTo, hoặc vô hiệu hóa chuông báo khói để tránh “gây phiền”.

- Preconditions for Unsafe Acts (Điều kiện tiên quyết) chiếm khoảng 48% vụ có bằng chứng về điều kiện tiên quyết góp phần gây ra sự cố. Các yếu tố nổi bật là:

Mệt mỏi, căng thẳng ca trực: 15%

Thiếu huấn luyện chuyên biệt về PCCC và hàng nguy hiểm: 15%

Thông tin hàng hóa thiếu hoặc sai lệch: 11%

Hệ thống cảm biến/báo cháy thiếu hiệu chuẩn: 7%

Đáng chú ý, các vụ liên quan tới pin lithium-ion thường có yếu tố thiếu năng lực nhận diện rủi ro mới (ví dụ mất kiểm soát nhiệt), cho thấy thiếu sót trong chương trình đào tạo hiện tại.

- Unsafe Supervision (Giám sát không an toàn) được xác định là mắt xích trong 34% vụ việc. Các tình huống điển hình:

Cấp phép công việc sinh nhiệt mà không kiểm tra khí cháy nổ trong kết hàng.

Bỏ sót kiểm tra hàng nguy hiểm khai báo chưa đầy đủ.

Giám sát ca trực PCCC không thường xuyên trong hành trình dài.

Điều này cho thấy vai trò quan trọng của tuyến chỉ huy trực tiếp trên tàu trong việc duy trì hàng rào an toàn.

- Organizational Influences (Ảnh hưởng tổ chức). Khoảng 19% vụ có liên quan tới cấp tổ chức. Phần lớn xuất phát từ:

Văn hóa an toàn yếu: Áp lực tiến độ dẫn tới bỏ qua quy trình kiểm tra.

Chính sách bảo dưỡng không đầy đủ: Cắt giảm chi phí hiệu chuẩn thiết bị báo cháy, khí trơ.

- External factors (Yếu tố bên ngoài) chỉ chiếm khoảng 7% vụ chịu ảnh hưởng từ yếu tố bên ngoài: Quy định chưa chặt chẽ (trước khi IMDG Code bổ sung phần lithium-ion), điều kiện thời tiết xấu khiến ứng phó cháy khó khăn, hoặc thiếu giám sát từ cảng/cơ quan kiểm tra khi tiếp nhận hàng nguy hiểm.

Kết quả tổng hợp xây dựng sơ đồ cây như Hình 8 và phân cụm với $k=5$ trong Hình 9 cũng đã mô tả và tái khẳng định sự tương tác đa tầng, trong đó yếu tố con người xuyên suốt mọi cụm và quyết định diễn biến sự cố.

4.3. Thảo luận

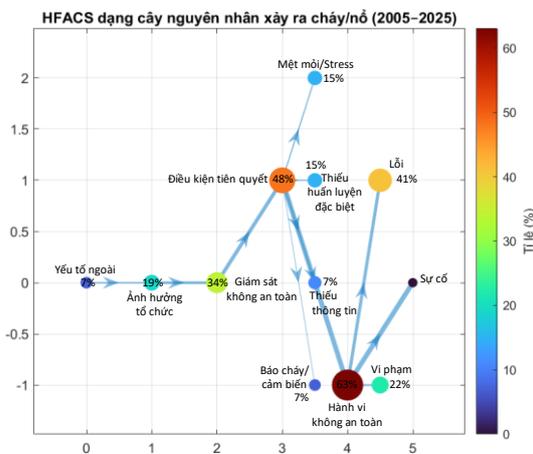
Kết quả cho thấy HFACS là công cụ hữu hiệu để phân tích các vụ cháy nổ tàu biển thành nhiều tầng nhân tố, giúp tránh cái nhìn phiến diện chỉ tập trung vào lỗi thao tác trực tiếp. Các con số thống kê cho thấy chuỗi nguyên nhân đa tầng: trong 70% vụ có lỗi thao tác, ít nhất một nửa đồng thời tồn tại điều kiện tiên quyết hoặc giám sát yếu kém; gần 1/3 lại bắt nguồn từ ảnh hưởng tổ chức. Điều này khẳng định cần xem xét toàn diện, không chỉ đổ lỗi cho cá nhân.

So sánh theo giai đoạn, 2005-2011 phản ánh các vấn đề kỹ thuật cổ điển (rò rỉ nhiên liệu, bảo dưỡng kém); 2012-2018 bùng nổ sự cố container/Ro-Ro với đặc trưng hàng nguy hiểm khai báo sai; còn 2019-2024 đặt ra thách thức mới từ nhiên liệu sạch và pin lithium-ion, buộc khung HFACS phải được áp dụng linh hoạt với các điều kiện tiên quyết mới (thiếu kiến thức, thiếu công cụ phát hiện mất kiểm soát nhiệt).

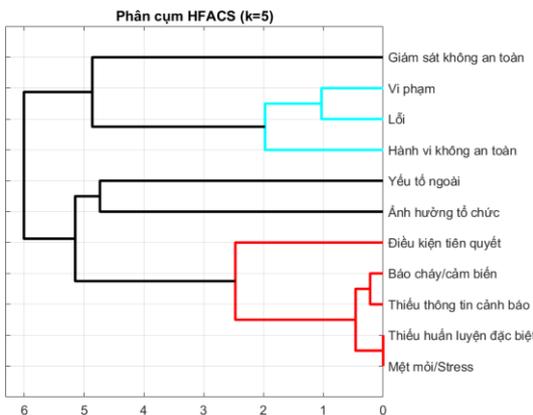
Từ góc độ phòng ngừa, kết quả gợi ý các giải pháp tập trung vào cải thiện huấn luyện chuyên biệt, giám sát quy trình công việc sinh nhiệt và hàng nguy hiểm, cũng như xây dựng văn hóa an toàn mạnh trong tổ chức sẽ mang lại tác động lớn hơn so với chỉ tăng cường thiết bị chữa cháy. Ngoài ra, sự phối hợp giữa quy định quốc tế (IMO, IMDG, SOLAS) và thực thi tại công ty/tuyến giám sát trên tàu cần được nhấn mạnh, bởi yếu tố tổ chức và bên ngoài thường là gốc rễ làm suy yếu hàng rào kiểm soát.

5. Kết luận

Nghiên cứu đã áp dụng khung HFACS để phân tích các yếu tố con người trong gần 400 vụ cháy nổ trên tàu biển giai đoạn 2005-2024, dựa trên dữ liệu thống kê và báo cáo điều tra đã công bố. Kết quả cho thấy hành vi không an toàn chiếm tỷ lệ cao nhất, chủ yếu là sai sót thao tác và vi phạm quy trình. Tuy nhiên, các hành vi này thường gắn với điều kiện tiên quyết như mệt mỏi, thiếu huấn luyện, thông tin hàng hóa không chính xác và tình trạng thiết bị cảnh báo kém.



Hình 8. Sơ đồ cây HFACS nguyên nhân xảy ra sự cố cháy/nổ giai đoạn 2005-2024



Hình 9. Kết quả phân cụm HFACS sự cố cháy/nổ theo 5 nhóm đặc trưng (k = 5)

Thiếu đầu tư đào tạo định kỳ: Đặc biệt trong xử lý hàng nguy hiểm mới.

So sánh giữa các công ty, sự khác biệt trong hệ thống quản lý an toàn (SMS/ISM Code) được phân ánh rõ: Các công ty có quy trình khai báo hàng hóa nghiêm ngặt ít gặp sự cố hơn đáng kể.

Bên cạnh đó, giám sát không an toàn cũng góp phần đáng kể, đặc biệt trong quản lý công việc sinh nhiệt và giám sát hàng nguy hiểm. Ở cấp tổ chức, những hạn chế về văn hóa an toàn và chính sách bảo dưỡng cho thấy ảnh hưởng rõ rệt đến mức độ rủi ro.

So sánh theo giai đoạn, giai đoạn 2005-2011 chủ yếu liên quan đến sự cố buồng máy, 2012-2018 chứng kiến nhiều vụ cháy tàu container và tàu ro-ro do hàng nguy hiểm khai báo sai, còn 2019-2024 nổi bật lên các nguy cơ mới từ pin lithium-ion và nhiên liệu thay thế. Kết quả khẳng định yếu tố con người hiện diện ở mọi góc độ nguyên nhân và có vai trò quyết định trong chuỗi dẫn đến cháy nổ. Việc áp dụng HFACS đã chứng minh hiệu quả trong việc hệ thống hóa nguyên nhân và làm rõ sự dịch chuyển nguy cơ theo thời gian.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT25-26.12**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Adumene S., Afenyo M., Salehi V., William P. (2022), *An adaptive model for human factors assessment in maritime operations*. International Journal of Industrial Ergonomics, Vol.89, 103293.
- [2] Australian Maritime Safety Authority (2021), *Fire incidents on board ships show alarming increase*, AMSA Report, Canberra, Australia.
- [3] Baalisampang T., Abbassi R., Garaniya V., Khan F., Dadashzadeh M. (2018), *Review and analysis of fire and explosion accidents in maritime transportation*. Ocean Engineering, Vol.158, pp.350-366.
- [4] Canada - TSB (Transportation Safety Board).
- [5] Chauvin C., Lardjane S., Morel G., Clostermann J.P., Langard B. (2013), *Human and organisational factors in maritime accidents: analysis of collisions at sea using the HFACS*. Accident Analysis & Prevention, Vol.59, pp.26-37.
- [6] Chen S.T., Wall A., Davies P., Yang Z., Wang J., Chou Y.H. (2013), *A Human and Organisational Factors (HOFs) analysis method for marine casualties using HFACS-Maritime Accidents (HFACS-MA)*. Safety Science, Vol.60, pp.105-114.
- [7] Chowdhury, et al. (2024), *Navigating human factors in maritime safety: A review of risks and improvements in engine rooms of ocean-going vessels*. International Journal of Safety and Security Engineering, Vol.14, No.1, pp.1-14.
- [8] Daniel Wood (2025), *Why fires on container ships are still a major issue*. Allianz reports.
- [9] EU - EMSA (European Maritime Safety Agency).
- [10] IMO - GISIS (Global Integrated Shipping Information System).
- [11] Ioanna Kafka (2024), *Fire on vessels: A growing trend*. SAFETY4SEA.
- [12] Li Y., Cheng Z., Yip T.L., Fan X. & Wu B. (2021), *Use of HFACS and Bayesian network for human and organizational factors analysis of ship collision accidents in the Yangtze River*. Maritime Policy & Management. Vol.49(8), pp.1169-1183.
- [13] Maternová A., Materna M., Dávid A., Török A., Švábová L. (2023), *Human Error Analysis and Fatality Prediction in Maritime Accidents*. Journal of Marine Science Engineering. Vol.11, p. 2287.
- [14] Metin Celik & Selcuk Cebi (2009), *Analytical HFACS for investigating human errors in shipping accidents*. Accident Analysis & Prevention. Vol.41(1), pp.66-75.
- [15] Özkan Uğurlu (2016), *Analysis of fire and explosion accidents occurring in tankers transporting hazardous cargoes*. International Journal of Industrial Ergonomics. Vol.55, pp.1-11.
- [16] Pitana T., Zaman M.B., Perdana D.C.K., Nurwahyudi A. (2017), *Analysis Evacuation Route for KM Zahro Express on Fire Condition using Agent Based Modeling and Fire Dynamics Simulator*. International Journal of Marine Engineering Innovation and Research, Vol.1(4), pp.295-302.
- [17] Sarialioglu S., Ugurlu O., Aydin M., Vardar B., Wang J. (2020), *A hybrid model for human-factor analysis of engine-room fires on ships: HFACS-PV&FFTA*. Ocean Engineering. Vol.217, 107992.
- [18] Soner O., Asan U., Celik M. (2015), *Use of HFACS-FCM in fire prevention modelling on board ships*. Safety Science. Vol.77, pp.25-41.
- [19] UK - MAIB (Marine Accident Investigation Branch - UK).
- [20] USA - NTSB (National Transportation Safety Board - Mỹ).
- [21] Vũ Đăng Thái, Nguyễn Xuân Phương, Nguyễn Tiến Đạt, Đặng Đình Chiến (2024), *Yếu tố con người trong tai nạn hàng hải dưới góc nhìn của IMO và các nghiên cứu gần đây*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, Số 80 (11/2024), tr.77-83.

- [22] Wang X., Zhang B., Zhao X., Wang L., Tong R. (2020), *Exploring the Underlying Causes of Chinese Eastern Star, Korean Sewol, and Thai Phoenix Ferry Accidents by Employing the HFACS-MA*. International Journal of Environmental Research and Public Health. Vol.17(11), p. 4114.

Ngày nhận bài:	16/10/2025
Ngày nhận bản sửa:	11/11/2025
Ngày duyệt đăng:	21/11/2025