

Nghiên cứu xây dựng khung tiêu chuẩn quốc gia về đánh giá an toàn công trình hạ tầng cảng hàng không, sân bay

Development Of A National standards framework for structural safety assessment of airport and aerodrome infrastructure

> TS NGUYỄN THỊ THU TRÀ, TS NGUYỄN PHI LONG*, TS MAI THỊ HẰNG

Khoa Xây dựng, Học viện Hàng không Việt Nam

*Email: longnp@vaa.edu.vn

TÓM TẮT

Ngành hàng không Việt Nam với tốc độ tăng trưởng 15-20%/năm đang tạo áp lực lớn lên hạ tầng, làm bộc lộ các khoảng trống kỹ thuật trong hệ thống tiêu chuẩn hiện hành vốn thiếu tính chuyên biệt và chậm chuyển đổi sang phương pháp ACR-PCR. Bài báo đề xuất khung Tiêu chuẩn Quốc gia (TCVN) mới dựa trên phương pháp luận Đánh giá dựa trên Hiệu suất (PBA) và Quản lý rủi ro chủ động, tích hợp công nghệ Kiểm tra không phá hủy (NDT) và Giám sát sức khỏe kết cấu (SHM). Khung tiêu chuẩn thiết lập bộ tiêu chí định lượng (PCI, PCR, Ma sát, IRI) và lộ trình chuyển đổi sang mô hình quản lý dựa trên dữ liệu (APMS, SMS) nhằm đảm bảo an toàn khai thác và tính bền vững cho công trình hàng không.

Từ khóa: An toàn kết cấu; tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN); đánh giá dựa trên hiệu suất (PBA); quản lý rủi ro; ACR-PCR; SHM.

ABSTRACT

The Vietnamese aviation sector faces immense infrastructure pressure due to consistent 15-20% annual growth, revealing regulatory gaps in current standards that rely on civil construction norms and the obsolete ACN-PCN methodology. This study proposes a National Standards Framework (TCVN) grounded in Performance-Based Assessment (PBA) and Proactive Risk Management, integrating NDT and SHM technologies. The framework establishes quantitative performance indicators (PCI, PCR, Friction, IRI) and a transition roadmap toward data-driven management models (APMS, SMS) to enhance the safety and sustainability of critical aviation infrastructure.

Keywords: Structural safety; TCVN; performance-based assessment (PBA); risk management; ACR-PCR; SHM.

1. GIỚI THIỆU

Ngành Hàng không Việt Nam duy trì tốc độ tăng trưởng trung bình 15-20% mỗi năm, đặt hệ thống hạ tầng trước những thách thức lớn về năng lực khai thác, đòi hỏi công tác đánh giá an toàn phải chuyển đổi từ hoạt động bảo trì thông thường sang quy trình quản lý rủi ro chiến lược và phòng ngừa chủ động. Tính cấp thiết của nghiên cứu xuất phát từ các khoảng trống kỹ thuật nghiêm trọng khi hệ thống TCVN hiện hành còn phân mảnh, phụ thuộc vào tiêu chuẩn xây dựng dân dụng và đặc biệt là sự chậm trễ trong việc chuyển đổi bắt buộc từ hệ thống ACN-PCN sang ACR-PCR theo quy định mới của ICAO. Áp lực từ các dòng tàu bay thân rộng thế hệ mới vượt ngưỡng thiết kế, cộng hưởng với tác động khắc nghiệt của khí hậu nhiệt đới gió mùa lên vật liệu và nền móng, yêu cầu bộ tiêu chuẩn phải được cập nhật và "nhiệt đới hóa" ngay lập tức. Mục tiêu chiến lược của nghiên cứu là xây dựng luận cứ khoa học cho khung TCVN mới, tích hợp hài hòa các chuẩn mực quốc tế ICAO và FAA với điều kiện Việt Nam. Khung tiêu chuẩn này dựa trên phương pháp

Đánh giá dựa trên Hiệu suất (PBA), chuẩn hóa công nghệ NDT như FWD/HWD và hướng tới xây dựng Hệ thống Quản lý Mặt đường Sân bay (APMS) để chuyển đổi sang mô hình quản lý tài sản dựa trên dữ liệu, đảm bảo tính bền vững cho hạ tầng quốc gia.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Khung pháp lý và tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành của Việt Nam

Hệ thống quản lý an toàn hạ tầng hàng không Việt Nam hiện vận hành dựa trên khung pháp lý gồm Nghị định 06/2021/NĐ-CP của Chính phủ, Thông tư 24/2021/TT-BGTVT về quy trình bảo trì và Thông tư 29/2021/TT-BGTVT về Hệ thống Quản lý An toàn (SMS) của Bộ Giao thông vận tải. Các chỉ tiêu kỹ thuật được quy định bởi TCVN 8753:2011, TCVN 10907:2015 cùng các tiêu chuẩn cơ sở như TCCS 06:2009/CHK (PCI) và TCCS 23:2018/CHK (ma sát).

Tuy nhiên, hệ thống này bộc lộ những khoảng trống kỹ thuật nghiêm trọng. Thứ nhất, việc áp dụng các tiêu chuẩn chung của xây

dựng dần dựng dẫn đến sự thiếu tương thích với tải trọng động đặc thù của tàu bay. Thứ hai, các TCVN nền tảng dựa trên ICAO Annex 14 phiên bản cũ (2009) đã trở nên lạc hậu so với chuẩn mực quốc tế mới. Điểm nghẽn lớn nhất là sự chậm trễ trong việc chuyển đổi từ hệ thống đánh giá sức chịu tải ACN-PCN sang ACR-PCR (bắt buộc từ 11/2024 theo ICAO), gây rủi ro về an toàn và hội nhập. Cuối cùng, sự phân mảnh giữa các tiêu chuẩn riêng lẻ khiến ngành thiếu vắng một khung tích hợp để đánh giá an toàn tổng thể và dự báo tuổi thọ công trình một cách khoa học.

2.2. Tham chiếu quốc tế và các phương pháp luận tiên tiến

Để đảm bảo tính tương thích toàn cầu và khắc phục các hạn chế kỹ thuật trong nước, nghiên cứu định hướng tích hợp hài hòa khung pháp lý an toàn của ICAO (trọng tâm là chuyển đổi sang chuẩn ACR-PCR), các hướng dẫn kỹ thuật thực tiễn từ FAA và nền tảng tính toán kết cấu theo trạng thái giới hạn của Eurocodes. Về phương pháp luận, khung tiêu chuẩn mới đánh dấu sự chuyển dịch sang mô hình quản lý chủ động dựa trên dữ liệu, lấy triết lý Đánh giá dựa trên Hiệu suất (PBA) làm cốt lõi. Theo đó, các kết quả đánh giá kỹ thuật định lượng được sử dụng làm đầu vào trực tiếp cho quy trình Quản lý rủi

ro trong Hệ thống Quản lý an toàn (SMS), thay thế tư duy tuân thủ quy tắc thụ động. Việc thực thi dựa trên sự chuẩn hóa các công nghệ Kiểm tra không phá hủy (NDT) tiên tiến như FWD/HWD và GPR, đồng thời áp dụng nguyên tắc “thích ứng hóa” (tương tự cơ chế NDPs) để điều chỉnh các hệ số an toàn và tiêu chuẩn độ bền vật liệu phù hợp với điều kiện khí hậu nhiệt đới và môi trường đặc thù của Việt Nam.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu áp dụng quy trình ba bước hệ thống: Phân tích hiện trạng, Đối sánh quốc tế và Tổng hợp chiến lược thích ứng.

Bước đầu tiên tập trung rà soát khung pháp lý (Nghị định 06/2021/NĐ-CP, Thông tư 24/2021/TT-BGTVT) và xác nhận sự bắt cập khi áp dụng các tiêu chuẩn xây dựng dân dụng “vay mượn” cho kết cấu hàng không, gây ra sự thiếu nhất quán trong đánh giá an toàn. Bước thứ hai thực hiện đối sánh TCVN với các chuẩn mực quốc tế (ICAO, FAA, Eurocodes) để lượng hóa các khoảng trống kỹ thuật cốt lõi (Bảng 1). Bước cuối cùng tổng hợp các phân tích để đề xuất định hướng tích hợp và nội địa hóa tiêu chuẩn mới (Bảng 2) dựa trên triết lý Đánh giá dựa trên Hiệu suất (PBA).

Bảng 1. Tổng hợp so sánh và khoảng trống Tiêu chuẩn

Tiêu chí	Tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành (TCVN, TCCS chung)	Tiêu chuẩn quốc tế (ICAO, FAA, Eurocodes)	Khoảng trống/Hạn chế của TCVN Việt Nam
Phạm vi	Xây dựng dân dụng, công nghiệp chung.	Chuyên biệt cho hàng không, toàn diện.	Thiếu tính chuyên biệt cho hàng không, chưa bao quát hết các yêu cầu đặc thù.
Trọng tâm	Thiết kế, thi công, chất lượng chung.	An toàn khai thác, hiệu suất, quản lý rủi ro, vật liệu, phân tích kết cấu chi tiết.	Ít tập trung vào phương pháp đánh giá an toàn, dự báo tuổi thọ, quản lý rủi ro cụ thể cho cảng hàng không.
Tải trọng	Tải trọng thông thường, ít đề cập đến tải trọng động đặc thù của máy bay.	Đề cập chi tiết tải trọng máy bay (ACN-PCN, ADG, TDG), tải trọng động, rung động, ảnh hưởng môi trường.	Chưa có quy định cụ thể về tính toán tải trọng khai thác đặc thù, tải trọng động, ảnh hưởng của môi trường đặc biệt cho kết cấu cảng hàng không.
An toàn & Đánh giá	Ít đề cập đến các khía cạnh an toàn chuyên sâu. Phương pháp đánh giá chung chung.	Tích hợp an toàn, quy trình đánh giá chi tiết, có chỉ số định lượng, phương pháp phân tích hiện đại.	Hạn chế về phương pháp đánh giá định lượng, thiếu các chỉ số đánh giá rủi ro chuyên biệt, chưa có hướng dẫn chi tiết về áp dụng NDT, SHM, AI trong đánh giá an toàn.
Tính địa phương	Ít có cơ chế điều chỉnh theo điều kiện địa phương.	Có cơ chế NDPs cho phép điều chỉnh theo điều kiện quốc gia.	Cần có cơ chế để điều chỉnh tiêu chuẩn cho phù hợp với điều kiện khí hậu, địa chất, kinh tế - kỹ thuật đặc thù của Việt Nam.

Bảng 2. Định hướng tham chiếu tích hợp Tiêu chuẩn quốc tế

Tiêu chí	ICAO (Annex14, Doc 9157)	FAA (Advisory Circulars - ACs)	Eurocodes (EN 1990-1998)	Mức độ Liên quan và cách Việt Nam tham chiếu
Phạm vi	Toàn cầu, quy hoạch, thiết kế sân bay, vận hành bay, an toàn chung.	Quốc gia (Hoa Kỳ), rất chi tiết kỹ thuật cho thiết kế, xây dựng, bảo trì sân bay.	Châu Âu và quốc tế, bộ tiêu chuẩn thiết kế kết cấu toàn diện cho nhiều loại công trình.	Việt Nam cần tích hợp cả ba cấp độ: nguyên tắc chung từ ICAO, chi tiết thực tiễn từ FAA, và nền tảng kỹ thuật từ Eurocodes.
Trọng tâm	Nguyên tắc vận hành, an toàn bay, thiết kế bề mặt sân bay, ít chi tiết tính toán kết cấu.	Chi tiết kỹ thuật, vật liệu, quy trình thi công/bảo trì, an toàn khai thác sân bay.	Nền tảng kỹ thuật, phương pháp tính toán theo trạng thái giới hạn (Limit State Design), nguyên tắc về an toàn, sử dụng và độ bền.	ICAO: Nền tảng quốc tế về an toàn chung, quy hoạch. FAA: Nguồn tham khảo chi tiết, thực tiễn cho thiết kế, xây dựng, bảo trì và đánh giá. Eurocodes: Nguồn tham khảo cho nguyên tắc thiết kế kết cấu, vật liệu, nhưng cần điều chỉnh đặc thù sân bay và Việt Nam.
Đối với Kết cấu	Cung cấp yêu cầu chung về kích thước, tải trọng (ACN-PCN), ít chi tiết tính toán.	Chi tiết về thiết kế đường băng, đường lăn, sân đỗ, vật liệu, móng, chịu tải.	Cung cấp phương pháp luận chi tiết về tính toán kết cấu (bê tông, thép, liên hợp), tải trọng, vật liệu, độ bền, ổn định.	Cần tham chiếu FAA cho các yêu cầu kỹ thuật cụ thể và Eurocodes cho phương pháp tính toán sâu hơn.
Lý do Tham chiếu	Đảm bảo an toàn toàn cầu, hội nhập quốc tế.	Tính thực tiễn cao, chi tiết, có thể áp dụng trực tiếp cho các dự án.	Nền tảng khoa học vững chắc, linh hoạt điều chỉnh theo quốc gia thông qua cơ chế NDPs.	Để tiếp thu kinh nghiệm, nâng cao chất lượng, đảm bảo an toàn, hội nhập quốc tế, và làm cơ sở xây dựng TCVN chuyên ngành.
Thách thức khi áp dụng tại VN	Ít chi tiết về kết cấu, cần bổ sung.	Khác biệt về điều kiện kinh tế, khí hậu, môi trường, có thể cần điều chỉnh.	Cần điều chỉnh NDPs, bổ sung cho đặc thù sân bay, điều kiện khí hậu, kinh tế Việt Nam.	Khí hậu và Môi trường: Nhiệt đới, ẩm, ăn mòn, biến đổi khí hậu (cần điều chỉnh vật liệu, hệ số an toàn). Kinh tế: Chi phí cao của một số công nghệ/vật liệu quốc tế. Tính đặc thù: Cần bổ sung các tải trọng, điều kiện khai thác đặc thù của Việt Nam.

4. BÀI TOÁN ÁP DỤNG: XÂY DỰNG BỘ TIÊU CHÍ KỸ THUẬT CHUYÊN BIỆT

4.1. Đường Cát hạ cánh (CHC): Giao diện an toàn cốt tử

Đường Cát hạ cánh là hạng mục quan trọng nhất, chịu tải trọng động lớn và quyết định an toàn bay. Nghiên cứu đề xuất bộ tiêu chí tích hợp bắt buộc gồm: Sức chịu tải kết cấu (ACR-PCR), Tình trạng vật lý (PCI) và Chức năng bề mặt (Ma sát, IRI).

Bảng 3. Bộ Tiêu chí kỹ thuật Cốt lõi cho Đường Cát hạ cánh (CHC)

Tiêu chí Kỹ thuật cốt lõi	Chỉ số đề xuất	Luận giải Biện chứng và Căn cứ kỹ thuật	Tham chiếu
1. Khả năng Chịu lực kết cấu	Chuyển đổi bắt buộc sang ACR-PCR, PCR ≥ ACR của tàu bay khai thác.	Hệ thống ACN-PCN lỗi thời, thiếu chính xác, và không thể mô hình hóa cơ chế phá hủy mới. ACR-PCR dựa trên phân tích đàn hồi nhiều lớp và Hệ số Hư hỏng Tích lũy (CDF), cho phép dự báo tuổi thọ còn lại và quản lý khai thác quá tải một cách khoa học. Phương pháp đánh giá: Sử dụng thiết bị đo vòng FWD/HWD để phân tích ngược (back-calculation) mô đun đàn hồi.	ICAO Annex 14; TCVN 11365:2016; TCVN 11364:2016.
2. Tình trạng Vật lý bề mặt	Ngưỡng duy trì PCI > 70 ("Tốt").	PCI là công cụ chuẩn hóa (ASTM D5340) để lượng hóa mức độ hư hỏng (nứt, lún, bong bật), cung cấp dữ liệu đầu vào tin cậy cho Hệ thống Quản lý Mặt đường (APMS) và xác định ngưỡng can thiệp.	TCCS 06:2009/CHK; ASTM D5340.
3. Chức năng bề mặt (Ma sát)	Hệ số Ma sát Tối thiểu ≥ 0.5 (ướt).	Ma sát là yếu tố sống còn để ngăn ngừa hiện tượng trượt nước (aquaplaning), đặc biệt trong điều kiện khí hậu mưa nhiều của Việt Nam. Cần áp dụng mô hình quản lý 3 cấp độ ICAO (MFL, MPL) để chuyển từ phản ứng sang chủ động phòng ngừa.	TCCS 23:2018/CHK; ICAO Annex 14.
4. Độ Bằng phẳng bề mặt	IRI ≤ 2.0 m/km (khuyến nghị cho mới/cải tạo). Sai số cục bộ ≤ 3 mm trên thước dài 3m.	Độ phẳng giảm thiểu tải trọng động xung kích lên càng tàu bay, bảo vệ thiết bị điện tử nhạy cảm, và là công cụ phòng ngừa nguy cơ trượt nước cục bộ. Dữ liệu IRI tại SGN có đoạn vượt 4.02 m/km cho thấy tính cấp thiết phải chuẩn hóa chỉ số này.	TCVN 8865:2011; TCVN 11364:2016.
5. Thoát nước	Bề mặt phải khô ráo, không đọng nước sâu > 3mm trong 30 phút sau mưa cường độ thiết kế.	Đảm bảo khả năng thoát nước nhanh chóng là "hệ thống an toàn kép" nhằm ngăn ngừa trượt nước và bảo vệ kết cấu nền móng khỏi bị suy yếu do nước xâm nhập.	ICAO Annex 14.

4.2. Đường Lăn (TWY): Kiểm chứng Rủi ro tích lũy

Đường lăn chịu ứng suất cắt lớn tại các khúc cua và tải trọng lặp tần suất cao. Tiêu chuẩn đánh giá tập trung vào khả năng chống hư hỏng mỏi (Fatigue), độ êm thuận khi di chuyển và kiểm soát nguy cơ phát sinh Vật ngoại lai (FOD) từ hư hỏng bề mặt.

Bảng 4. Bộ Tiêu chí kỹ thuật cốt lõi cho Đường lăn (TWY)

Tiêu chí Kỹ thuật cốt lõi	Chỉ số đề xuất	Luận giải Biện chứng và Căn cứ kỹ thuật	Tham chiếu
1. Khả năng Chịu tải kết cấu	PCN/PCR ≥ 50 cho các đường lăn chính tại cảng quốc tế.	Ngưỡng 50 được thiết lập để đảm bảo tương thích an toàn và không hạn chế với các tàu bay thân rộng Code E chủ lực (A350, B787), vốn có ACN/ACR thường nằm trong khoảng 45 - 60. PCR ≥ 50 tạo biên độ an toàn chống lại suy giảm kết cấu theo hàm mũ do tải trọng lặp tần suất cao tại Việt Nam.	ICAO Annex 14; Phân tích tải trọng khai thác.
2. Độ Bằng phẳng bề mặt	IRI ≤ 2.5 m /km.	Ngưỡng 2.5 m /km được coi là mức "Êm thuận" (Smooth) theo thông lệ quốc tế. IRI cao gây tải trọng động xung kích, đẩy nhanh hư hỏng càng và thiết bị tàu bay, ảnh hưởng đến sự thoải mái và an toàn của tổ lái.	TCVN 8865:2011; Phân tích thực nghiệm.
3. Khả năng Chống trượt	Hệ số Ma sát ≥ 0.40 (ướt).	Mức này thấp hơn CHC do tốc độ di chuyển trên TWY thấp hơn, nhưng vẫn đủ cao để đảm bảo an toàn phanh và chuyển hướng tại các khúc cua trong điều kiện mưa lớn, ngăn ngừa trượt nhốt.	TCCS 23:2018/CHK.
4. Quản lý Vật ngoại lai (FOD)	PCI < 70 là "Khu vực Cảnh báo FOD".	Hư hỏng kết cấu (lún, nứt, bong tróc) trên đường lăn là nguồn gốc chính tạo ra FOD. Tiêu chí này dùng PCI làm chỉ số đầu vào trực tiếp cho quản lý rủi ro FOD, yêu cầu tăng cường kiểm tra và thu gom (ít nhất 2 lần/ngày).	Phân tích rủi ro khai thác.
5. Hình học An toàn	Độ dốc dọc/ngang tối đa 1.5 %	Các giới hạn độ dốc và khoảng cách ly (Separation Distance) phải tuân thủ nghiêm ngặt ICAO Annex 14 để đảm bảo an toàn cho đầu mút cánh và ngăn ngừa va chạm trên mặt đất.	ICAO Annex 14.

4.3. Sân đỗ Tàu bay (APN): Rủi ro Địa phương và Tải trọng Tĩnh

Sân đỗ chịu tải trọng tĩnh dài hạn và tác động hóa học/nhiệt độ. Tiêu chí đánh giá chú trọng độ bền lâu dài (chống lún vệt hằn, biến dạng từ biến) và tích hợp dữ liệu kỹ thuật vào Hệ thống Quản lý an toàn (SMS) để quản lý rủi ro vận hành.

Bảng 5. Bộ Tiêu chí Kỹ thuật cốt lõi cho Sân đỗ (APN)

Tiêu chí Kỹ thuật cốt lõi	Chỉ số đề xuất	Luận giải Biện chứng và Căn cứ kỹ thuật	Tham chiếu
1. Khả năng Chịu tải kết cấu	PCN/PCR phải ≥ ACN của tàu bay nặng nhất được khai thác thường xuyên tại vị trí đỗ.	Tải trọng tĩnh kéo dài gây mỏi vật liệu và biến dạng từ biến (Creep Deformation) ở BTN, phá hủy mép khe co giãn ở BTXM. Cần đánh giá PCN 5 năm/lần bằng FWD/HWD, đặc biệt chú trọng các vị trí đỗ Code E/F.	TCCS 01:2015; ICAO Doc 9157.
2. Tình trạng Vật lý bề mặt	Ngưỡng duy trì PCI > 70.	Ưu tiên đánh giá các hư hỏng đặc trưng: lún vệt hằn (rutting) do tải trọng tĩnh và nhiệt độ cao; bong tróc, nứt vỡ cục bộ tại khe co giãn; hư hỏng do hóa chất/nhiệt độ từ luồng khí phụt động cơ.	TCCS 06:2009/CHK.
3. Thoát nước & Độ dốc	Độ dốc ngang 1% - 1.5%. Không đọng nước sâu > 3 mm quá 15 phút sau mưa.	Độ dốc cân bằng giữa hiệu quả thoát nước (chống mưa lớn Việt Nam) và an toàn vận hành GSE/tàu bay tĩnh. Việc thoát nước nhanh là cần thiết để ngăn ngừa suy yếu nền móng và giảm thiểu rủi ro trượt chân/ngã cho nhân viên mặt đất.	TCVN 10907:2015.

Tiêu chí Kỹ thuật cốt lõi	Chỉ số đề xuất	Luận giải Biện chứng và Căn cứ kỹ thuật	Tham chiếu
4. Quản lý An toàn vận hành (SMS)	Dữ liệu kỹ thuật (PCI, PCR) phải là đầu vào của quy trình nhận dạng mối nguy (Hazard Identification) trong SMS.	Chuyển đổi từ quản lý phản ứng sang chủ động, sử dụng dữ liệu kỹ thuật để dự báo rủi ro (ví dụ: PCI thấp → Nguy cơ FOD cao).	Thông tư 29/2021/TT-BGTVT.
5. Kiểm soát Vật ngoại lai (FOD)	Kiểm tra FOD hàng ngày, đặc biệt tại vị trí đỗ và luống GSE.	APN là khu vực có nguy cơ FOD cao do mật độ hoạt động và sự hiện diện của nhiều loại vật tư, thiết bị. Cần tạo ra các quy trình kiểm soát nhân sự và nhà thầu nghiêm ngặt.	Phân tích rủi ro vận hành.

5. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Thực nghiệm tại sân bay Tân Sơn Nhất khẳng định mô hình đánh giá tích hợp (kết hợp PCR, PCI và IRI) vượt trội hoàn toàn trong việc nhận diện các “rủi ro ẩn” về kết cấu và động học mà phương pháp đơn lẻ truyền thống thường bỏ sót. Tuy nhiên, việc triển khai đại trà mô hình này gặp rào cản lớn do sự phân mảnh của hệ thống tiêu chuẩn hiện hành và tình trạng thiếu hụt trầm trọng chuyên gia có năng lực phân tích dữ liệu NDT để vận hành hệ thống quản lý mặt đường (APMS). Để khắc phục, nghiên cứu kiến nghị ba giải pháp chiến lược: khẩn trương ban hành TCVN khung được nội địa hóa các tham số kỹ thuật (NDPs), xây dựng cơ sở dữ liệu hạ tầng quốc gia tập trung và ưu tiên đào tạo nhân lực chuyên sâu nhằm đảm bảo lộ trình chuyển đổi sang hệ thống ACR-PCR được thực thi hiệu quả.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xác lập cơ sở khoa học cho việc xây dựng khung Tiêu chuẩn Quốc gia (TCVN) chuyên ngành, nhằm giải quyết cấp bách các khoảng trống kỹ thuật và đáp ứng yêu cầu chuyển đổi bắt buộc sang phương pháp ACR-PCR của ICAO. Dựa trên triết lý Đánh giá dựa trên Hiệu suất (PBA) tích hợp công nghệ tiên tiến, bộ tiêu chí đề xuất cung cấp công cụ định lượng chính xác giúp chuyển dịch tư duy từ bảo trì phản ứng sang quản trị rủi ro dự báo. Việc đồng bộ hóa giữa hoàn thiện thể chế pháp lý, đầu tư công nghệ giám sát và nâng cao năng lực đội ngũ kỹ thuật là điều kiện tiên quyết để đảm bảo sự an toàn, hiệu quả và tính bền vững cho hệ thống hạ tầng hàng không Việt Nam trong giai đoạn mới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nghị định số 06/2021/NĐ-CP: Quy định chi tiết một số nội dung về quản lý chất lượng, thi công xây dựng và bảo trì công trình xây dựng. Truy cập tại: <https://vanban.chinhphu.vn/default.aspx?pageid=27160&docid=202154>.
- [2]. Thông tư số 24/2021/TT-BGTVT: Quy định về hoạt động của tàu bay không người lái và các phương tiện bay siêu nhẹ. Truy cập tại: <https://vbpl.vn/botuphap/pages/vbqp-toanvan.aspx?ItemID=154751>.
- [3]. Luật Hàng không dân dụng Việt Nam (số 66/2006/QH11 và Luật sửa đổi, bổ sung số 61/2014/QH13).
- [4]. Luật số 66/2006/QH11: Luật Hàng không dân dụng Việt Nam. Truy cập tại: <https://vbpl.vn/TW/Pages/vbqp-toanvan.aspx?ItemID=12109>.
- [5]. Luật sửa đổi, bổ sung số 61/2014/QH13: Luật sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Hàng không dân dụng Việt Nam. Truy cập tại: <https://vbpl.vn/bothongtin-truyenthong/Pages/vbqp-toanvan.aspx?ItemID=30325>.
- [6]. Thông tư số 29/2021/TT-BGTVT: Quy định chi tiết về quản lý, khai thác cảng hàng không, sân bay. Truy cập tại: <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Giao-thong-Van-tai/Thong-tu-29-2021-TT-BGTVT-quan-ly-khai-thac-cang-hang-khong-san-bay-498064.aspx>.

[7]. QCVN 03:2022/BXD: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về Phân loại, phân cấp công trình xây dựng. Truy cập tại: <https://moc.gov.vn/vn/pages/chi-tiet.aspx?chude=vlxd&id=56105>.

[8]. TCVN 2737:2023: Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế. Truy cập tại: <https://thuvienxaydung.net/document/tcvn-27372023-tai-trong-va-tac-dong/>.

[9]. TCVN 9386:2012: Thiết kế công trình chịu động đất. Truy cập tại: <http://www.ibst.vn/vi/dichvu/1017/73/tieu-chuan-quoc-gia-tcvn-9386-2012-thiet-ke-cong-trinh-chiu-dong-dat>.

[10]. TCVN 8753:2011: Sân bay dân dụng - Yêu cầu chung về thiết kế và khai thác. Truy cập tại: <https://thuvienphapluat.vn/tcvn/Giao-thong-Van-tai/TCVN-8753-2011-San-bay-dan-dung-Yeu-cau-chung-ve-thiet-ke-va-khai-thac-118833.aspx>.

[11]. TCVN 10907:2015: Sân bay dân dụng - Mặt đường sân bay - Yêu cầu thiết kế. Truy cập tại: <https://thuvienphapluat.vn/tcvn/Giao-thong-Van-tai/TCVN-10907-2015-San-bay-dan-dung-Mat-duong-san-bay-Yeu-cau-thiet-ke-118944.aspx>.

[12]. TCVN 11365:2016: Mặt đường sân bay - Xác định số phân cấp mặt đường bằng thiết bị. Truy cập tại: <https://thuvienphapluat.vn/tcvn/Giao-thong-Van-tai/TCVN-11365-2016-Mat-duong-san-bay-Xac-dinh-so-phan-cap-mat-duong-bang-thiet-bi-119053.aspx>.

[13]. TCCS 06:2009/CHK: Quy trình bảo dưỡng duy tu sân bay dân dụng Việt Nam.

[14]. TCCS 23:2018/CHK: Đo đạc, xây dựng và bảo trì khả năng chống trượt bề mặt đường sân bay.

[15]. TCVN 5574:2018: Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế. Truy cập tại: http://moc.gov.vn/Images/File/2018/12/TCVN_5574_2018_BTCT_20181217112009.pdf.

[16]. TCVN 8865:2011: Mặt đường ô tô - Phương pháp đo và đánh giá xác định độ bằng phẳng theo chỉ số độ gồ ghề quốc tế IRI. Truy cập tại: [https://thuvienphapluat.vn/tcvn/Giao-thong-Van-tai/TCVN-8865-2011-Mat-duong-o-to-Phuong-phap-do-va-danh-gia-xac-dinh-do-bang-phang-theo-chi-118841.aspx](https://thuvienphapluat.vn/tcvn/Giao-thong-Van-tai/TCVN-8865-2011-Mat-duong-o-to-Phuong-phap-do-va-danh-gia-xac-dinh-do-bang-phang-theo-chi-so-do-gồ-gề-quốc-tế-IRI-118841.aspx).

[17]. ICAO, 2022, Annex 14 - Aerodromes, Volume I - Aerodrome Design and Operations (Latest Edition): Phụ lục 14 - Sân bay, Tập I - Thiết kế và khai thác sân bay. Truy cập tại: <https://store.icao.int/en/annex-14-aerodromes-volume-i-aerodrome-design-and-operations>.

[18]. FAA, Các phiên bản, Advisory Circulars (ACs) Series (Ví dụ: AC 150/5380-6C về Bảo trì Mặt đường): Các tài liệu hướng dẫn của Cục Hàng không Liên bang Hoa Kỳ. Truy cập tại: https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars.

[19]. ASTM International, 2018, ASTM D5340 - Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys: Phương pháp thử nghiệm tiêu chuẩn cho khảo sát chỉ số tình trạng mặt đường sân bay. Truy cập tại: <https://www.astm.org/d5340-12.html>.

[20]. ICAO, Các phiên bản, Doc 9157 - Aerodrome Design Manual: Sổ tay hướng dẫn thiết kế sân bay. Truy cập tại <http://img2.caa.gov.vn/2023/12/05/11/02/GM21.pdf>.