

# ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ KHÍ KHÔ HOÀN LƯU TRONG BẢO QUẢN XE TĂNG T-90S TRONG KHO VÀ TIỀM NĂNG ÁP DỤNG CHO XE TĂNG LỢI NƯỚC, TRANG BỊ KỸ THUẬT BIỂN - ĐẢO

APPLICATION OF CLOSED-LOOP DRY-AIR TECHNOLOGY FOR THE IN-STORAGE PRESERVATION OF T-90S TANKS WITH POTENTIAL EXTENSION TO AMPHIBIOUS VEHICLES AND MARITIME EQUIPMENT

DOÃN QUÝ HIẾU\*, HÀ HỮU SƠN

Viện Độ bền Nhiệt đới, Trung tâm Nhiệt đới Việt Nga

\*Email liên hệ: dqhieus7@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.65154/jmst.930>

## Tóm tắt

Việc ứng dụng công nghệ khí khô để bảo quản vũ khí trang bị trong điều kiện khí hậu nhiệt đới nóng ẩm tại Việt Nam thu hút được sự quan tâm của nhiều nhà khoa học trong nước và trên thế giới. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu và thử nghiệm ứng dụng công nghệ khí khô theo phương pháp hoàn lưu nhằm bảo quản đồng thời 06 xe tăng T-90S trong điều kiện khí hậu điển hình của miền Bắc Việt Nam. Hệ thống sử dụng thiết bị thổi khí khô TTK-1 do Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga chế tạo, kết nối các xe bằng các ống dẫn tuần hoàn khép kín. Kết quả cho thấy công nghệ khí khô giúp duy trì độ ẩm bên trong khoang xe ổn định dưới 60%, ngăn chặn hoàn toàn hiện tượng nấm mốc trên vật liệu polymer - da - cao su, giảm đáng kể nguy cơ ăn mòn điện hóa đối với linh kiện điện - điện tử và thiết bị quang học. Mô hình bảo quản này có tiềm năng mở rộng áp dụng cho các khoang thủy của xe tăng lợi nước, khoang kín trên tàu mặt nước, cùng các trạm radar, thông tin ven biển - nơi điều kiện ẩm, muối biển và sương mặn gây hư hại nghiêm trọng cho khí tài.

**Từ khóa:** Công nghệ khí khô, tăng thiết giáp, nấm mốc, ăn mòn, biển đảo.

## Abstract

The application of dry-air preservation technology in Vietnam's hot and humid tropical environment has increasingly attracted attention from the international research community due to its potential to mitigate moisture-induced degradation of military assets. This study reports the development and large-scale testing of a closed-loop dry-air system designed to preserve six T-90S main battle tanks under representative

climatic conditions of northern Vietnam. The system employs the TTK-1 dry-air generator, developed by the Vietnam-Russia Tropical Center, and distributes dehumidified air through a sealed recirculating duct network. Experimental results demonstrate that the system reliably maintains in-tank relative humidity below 60%, thereby eliminating mold growth on polymer, leather, and rubber components, and significantly reducing electrochemical corrosion of electronic and optical devices. Owing to its stability, low energy demand, and high protective efficiency, this preservation approach shows strong potential for broader deployment in amphibious vehicle compartments, enclosed spaces on naval surface vessels, and coastal radar or communication stations—where elevated humidity, salt aerosols, and marine atmospheric conditions accelerate material degradation.

**Keywords:** Dry air technology, armored vehicles, mold, corrosion, maritime and island.

## 1. Mở đầu

Việt Nam nằm trong khu vực khí hậu nhiệt đới ẩm gió mùa, tiếp giáp biển, với đặc trưng nền nhiệt độ cao quanh năm, độ ẩm lớn, bức xạ mặt trời và lượng mưa cao. Các yếu tố môi trường này là nguyên nhân trực tiếp và thường xuyên gây ra hiện tượng ăn mòn điện hóa, oxy hóa kim loại, lão hóa vật liệu phi kim (cao su, nhựa, sơn,...), đồng thời thúc đẩy sự phát triển của vi sinh vật và nấm mốc. Điều này dẫn đến các loại vũ khí trang bị kỹ thuật (VKTBKT) bị xuống cấp, suy giảm tính năng sử dụng, làm ảnh hưởng nghiêm trọng đến độ tin cậy, hiệu quả khai thác và khả năng sẵn sàng chiến đấu.

Trong bối cảnh đó, công tác bảo quản và niêm cất VKTBKT được xác định là nhiệm vụ kỹ thuật trọng

tâm, không chỉ nhằm duy trì trạng thái kỹ thuật ổn định trong thời gian dài mà còn bảo đảm khả năng triển khai nhanh chóng, hiệu quả trong mọi tình huống. Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga (TTNĐVN) - với hơn 35 năm hình thành và phát triển - đã có nhiều đóng góp quan trọng trong lĩnh vực nghiên cứu và ứng dụng các giải pháp bảo quản phù hợp với đặc điểm khí hậu Việt Nam [1-3]. Trung tâm đã xây dựng và làm chủ công nghệ bảo quản tiên tiến, sử dụng công nghệ khí khô (công nghệ cưỡng bức và hoàn lưu) với ưu điểm dễ áp dụng và đạt hiệu quả cao cho nhiều loại VKTBKT, đặc biệt là tăng thiết giáp kể cả trong chế độ sẵn sàng chiến đấu cũng như bảo quản dài hạn.

Trong những năm gần đây, nhiều nghiên cứu đã minh chứng hiệu quả của việc ứng dụng các phương pháp sử dụng công nghệ khí khô để bảo quản VKTBKT [4-8]. Bảo quản thiết bị quân sự và vật phẩm kim loại chống lại tác động của ẩm ướt và ăn mòn là một chủ đề được nghiên cứu rộng rãi trong nhiều năm qua. Tiêu chuẩn GOST 9.014-78 của Liên bang Nga quy định các yêu cầu chung về bảo vệ tạm thời chống ăn mòn cho sản phẩm kim loại trong quá trình bảo quản và vận chuyển, đóng vai trò nền tảng trong các hệ thống tiêu chuẩn về chống ăn mòn và lão hóa [10].

Nhiều nghiên cứu và ứng dụng công nghiệp gần đây đã tập trung vào việc kiểm soát độ ẩm như một giải pháp bảo quản hiệu quả. Fisair (2020) và Dry-Air Ltd. (2021) đều nhấn mạnh vai trò việc duy trì độ ẩm tương đối (RH) ở mức an toàn nhằm ngăn chặn quá trình oxy hóa và nấm mốc phát triển [11], [12]. Turnbull Restoration (2024) cũng chỉ ra rằng nhiệt độ và độ ẩm là hai yếu tố quan trọng hàng đầu cần kiểm soát khi lưu trữ súng và vũ khí cá nhân, đề xuất mức RH lý tưởng vào khoảng 40-50% và nhiệt độ ổn định từ 15-20°C [13].

Về mặt công nghệ, Wang et al. (2020) đã đưa ra cái nhìn tổng quan về các phương pháp hút ẩm, bao gồm công nghệ hút ẩm bằng chất rắn, hấp phụ và làm lạnh, đồng thời phân tích những tiến bộ gần đây trong việc tối ưu hóa hiệu quả năng lượng và độ ổn định hoạt động [14, 15]. Trong nghiên cứu tiếp theo, Hussain et al. (2022) đã đánh giá hiệu quả của hệ thống làm mát bay hơi kết hợp với hút ẩm rắn, cho thấy tiềm năng lớn trong việc duy trì điều kiện môi trường ổn định trong các kho lưu trữ dài hạn [16].

Trong điều kiện khí hậu nhiệt đới nóng ẩm và môi trường biển - đảo có độ muối cao, các trang bị kỹ thuật như xe tăng thiết giáp, xe chiến đấu lội nước, khoang kín trên tàu chiến và các tổ hợp radar ven biển đều chịu tác động mạnh của ăn mòn, oxy hóa và nấm mốc. Bên cạnh ứng dụng cho xe tăng thiết giáp, công nghệ

khí khô còn có ý nghĩa thực tiễn đối với các phương tiện thủy bộ như xe tăng lội nước, tàu đổ bộ, cũng như các khoang máy, buồng điều khiển và hệ thống điện - điện tử trên tàu mặt nước. Độ ẩm cao kết hợp với sương muối biển là nguyên nhân trực tiếp gây ăn mòn nhanh các thiết bị radar, thông tin, cảm biến trên các trạm ven biển và nhà giàn. Trên cơ sở đó, bài báo này trình bày kết quả thử nghiệm hệ thống khí khô hoàn lưu áp dụng cho 06 xe tăng T-90S và đánh giá khả năng mở rộng công nghệ này cho các trang bị hoạt động trong môi trường hàng hải và biển - đảo.

## 2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là xe tăng T-90S của Việt Nam và các phụ tùng, khối riêng lẻ, mô đun lưu trữ trong kho bảo quản. Trong giai đoạn đầu, nhóm nghiên cứu tiến hành thu thập và xử lý dữ liệu về những thay đổi trạng thái kỹ thuật của xe tăng thiết giáp do Nga sản xuất trong quá trình vận hành và bảo quản trong điều kiện nhiệt đới. Phương pháp tiến hành là quan sát bằng mắt thường, kết hợp chụp ảnh bằng công nghệ macro, thu thập dữ liệu nhiệt độ, độ ẩm, phương pháp bảo quản hiện tại theo sổ kỹ thuật tại các nhà kho. Từ đó xây dựng và đề xuất các biện pháp nâng cao độ bền nhiệt đới cho xe tăng T-90S trong vận hành và bảo quản. Trong quá trình xây dựng phương án bảo quản cho xe tăng thiết giáp bằng công nghệ khí khô, nhóm nghiên cứu đã thử nghiệm bảo quản cho 01 xe tăng bằng công nghệ khí khô [4], sau đó trên cơ sở thử nghiệm thành công đã tiến hành thử nghiệm bảo quản cho 06 xe tăng T-90S.

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Kết quả khảo sát cho thấy, dưới tác động ảnh hưởng bởi khí hậu nhiệt đới, đặc biệt là độ ẩm, khá nhiều các phụ tùng trang bị trên xe tăng T-90S bị lão hóa, ăn mòn, đặc biệt xảy ra hiện tượng nấm mốc trên các chi tiết cao su, vải, da, dây cáp tín hiệu,... các gioăng cao su bị cứng, lão hóa theo thời gian, dẫn đến cửa đóng không được kín tuyệt đối, càng tạo thêm điều kiện cho độ ẩm xâm nhập. Để khắc phục tình trạng này, đối với các xe tăng niêm cất bảo quản dài hạn có thể sử dụng túi bảo quản bọc xe tăng. Phương pháp này cũng có những nhược điểm như túi vải dày, nặng, mỗi lần tháo lắp rất mất công sức, thời gian. Do xe tăng đã đỗ trong nhà kho đã có mái che nên không cần loại vải dày, chống gió, tia UV.

Các khối thiết bị quang học dự trữ cho xe T-90S bảo quản tại kho xuất hiện nấm mốc từ bên trong, gây mờ kính ngắm dù được niêm cất trong hòm kín theo

quy định. Các cụm khối điện tử, vật liệu bằng da, cao su bị ăn mòn, nấm mốc. Những vấn đề này cần được đưa vào định hướng nghiên cứu, nhằm hoàn thiện giải pháp bảo quản tổng thể cho xe tăng thiết giáp và các loại VKTBKT hoạt động trong điều kiện khí hậu nhiệt đới ở Việt Nam.

Trước hết cần tính toán công suất thiết bị thổi khí khô để đảm bảo thử nghiệm cho 06 xe tăng T-90S. Đối với hệ thống 06 xe tăng, phương án thổi khí khô cưỡng bức sẽ không tối ưu, vì thể tích chung của cả hệ thống lớn, sẽ gây thất thoát khí, thiết bị khí khô sẽ phải làm việc thường xuyên hơn. Do đó phương án thổi khí khô hoàn lưu sẽ hợp lý trong trường hợp này. Sau đây là tính toán cho thiết bị TKK-1 với công suất 6,25 l/h để đảm bảo công suất khử ẩm cho 06 xe tăng T-90S.

**Bảng 1. Thông số kỹ thuật thiết bị TKK-1**

TT	Tên chỉ tiêu	ĐVT	Giá trị
1	Điện áp nguồn cấp cho thiết bị	V	220
2	Tần số của nguồn điện cung cấp	Hz	50
3	Công suất hút ẩm lớn nhất	L/1h	6.23
4	Công suất tiêu thụ lớn nhất	W	1583
5	Dòng điện	A	7.2
6	Khối lượng	Kg	63.7
7	Kích thước D×R×C	mm	600×360×980

Tính thời gian đuổi hết không khí ẩm trong khoang xe:

$$\tau = \frac{V_b}{V_1} \cdot 60, \text{ phút}$$

$V_b$  - Thể tích không khí trong khoang,  $m^3$  (đối với xe tăng T-90S là khoảng  $15m^3$ );

$V_1$  - Lưu lượng gió thổi vào,  $m^3/h$ .

Trên cơ sở công thức trên thành lập bảng:

$V_b, m^3$	15	15	<b>15</b>	15	15
$V_1, m^3/h$	30	60	<b>150</b>	240	360
$\tau, \text{Phút}$	30	15	<b>6</b>	3.75	2.5

Với lưu lượng thổi vào từng xe là  $150m^3/h$  thì lượng khí trong khoang được trao đổi, thay thế bằng khí khô trong 60 phút đạt  $60/6 = 10$  lần. Với 10 lần trao đổi này thì việc đạt được thông số độ ẩm trong khoang dưới 60% theo thiết kế là hoàn toàn khả thi.

Lưu lượng dòng khí khô đủ để cấp cho 06 xe là:  $150m^3/h \times 6 = 900m^3/h$ . Thiết bị TKK-1 có lưu lượng khí là  $1000m^3/h$ , công suất hút ẩm 6,25l/h. Như vậy

đủ khả năng bảo đảm lưu lượng khí khô cho 06 xe tăng T-90S.

Bội số tuần hoàn (hay số lần thay đổi không khí trong xe một giờ):

$$K = V_1/V_b = 150/15 = 10 \text{ (lần/giờ)}$$

**Tính toán công suất máy hút ẩm [9]:**

- Lượng ẩm cần xử lý mỗi giờ:

$$g_a = G \cdot (d_o - d_1) = V \cdot \rho_1 (d_o - d_1)$$

$G$  - Khối lượng không khí đi qua thiết bị,  $kg/h$ ;

$V$  - Lưu lượng không khí đi qua thiết bị,  $m^3/h$ ;

$\rho_1$  - Khối lượng riêng không khí đầu ra,  $kg/m^3$ ;

$d_o, d_1$  - Dung ẩm trong không khí đầu vào và đầu ra thiết bị,  $kg/kg$  không khí ẩm.

Với trạng thái không khí đầu vào:  $t_0=21^\circ C$  và  $\varphi_0=90\%$  tra đồ thị I-d [9] ta được  $d_0=0,020kg/kg$ .

Với trạng thái không khí đầu vào:  $t_1=25^\circ C$  và  $\varphi_1=50\%$  tra đồ thị I-d [9] ta được  $d_1=0,0144 kg/kg$  và  $\rho_1=1,1kg/m^3$ .

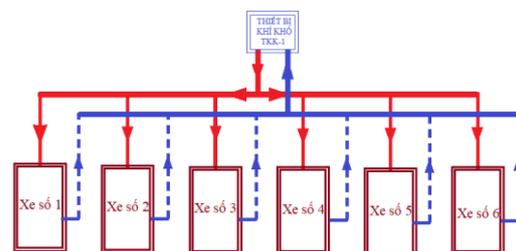
Thể tích của 6 xe tăng là  $V=150 \times 6 = 900 m^3$ .

$$g_a = V \cdot \rho_1 (d_o - d_1) = 900 \times 1,1 \times (0,020 - 0,0144) = 5.544 kg/h.$$

Công suất khử ẩm tối thiểu của thiết bị theo giờ: 5,544 kg/h, như vậy thiết bị TKK-1 với công suất 6,25 l/h đủ để đảm bảo công suất khử ẩm cho 06 xe tăng T-90S. Tính chọn đường ống thổi gió vào xe tăng thiết giáp:

$$d = \sqrt{\frac{4V_1}{\pi \cdot \omega_1 \cdot 3600}} = 0,092, m$$

Trong đó  $\omega_1$  - Tốc độ không khí trên đường ống, chọn  $\omega_1=5m/s$ . Chọn đường ống thổi khí cho các xe tăng có đường kính 100mm. Các đường ống dẫn khí được kết nối giữa 06 xe tăng và thiết bị TKK-1 tạo thành 1 vòng tuần hoàn khép kín như trên Hình 1.



**Hình 1. Sơ đồ hệ thống thổi khí khô**

Đường ống dẫn khí từ TKK-1 đi các xe và đi về ống thu khí vào thiết bị TKK-1. Các đường ống được

bọc xốp tráng bạc nhằm đảm bảo duy trì nhiệt độ, độ ẩm bên trong hệ thống luôn ổn định không thất thoát ra môi trường xung quanh.

**Tính tổn thất áp suất trên đường ống nhánh**

Hệ thống sử dụng vòng tuần hoàn khép kín, gồm: 1 ống chính cấp khí, 6 nhánh cấp vào từng xe, 6 nhánh hồi khí, 1 ống hồi chính. Giả thiết rằng lưu lượng phân bố đều: 150 m<sup>3</sup>/h/xe, đường ống tròn, nhẵn (ống mềm bọc bảo ôn), nhiệt độ làm việc ổn định. Tổn thất ma sát dọc đường ống được tính theo công thức Darcy-Weisbach [9]:

$$\Delta p_{ms} = \lambda \frac{L \rho v^2}{D \cdot 2}$$

Chọn hệ số ma sát:  $\lambda=0,03$ , chiều dài ống nhánh lớn nhất:  $L=15m$ , khối lượng riêng không khí:  $\rho=1,2kg/m^3$ , vận tốc:  $v=5m/s$  tính được  $\Delta p_{ms} = 67,5 Pa$ . Tổng hệ số tổn thất cục bộ (co, tê phân nhánh, cửa ra, cửa vào xe tăng):  $\zeta=3$ ;

$$\Delta p_{cb} = \zeta \frac{\rho v^2}{2} = 45 Pa$$

**Tổng tổn thất áp suất nhánh ống xa nhất**

$$\Delta p_T = \Delta p_{ms} + \Delta p_{cb} = 67,5 + 45 = 112,5 Pa$$

Áp suất quạt của thiết bị thổi khí khô TTK-1 lớn hơn 300Pa (theo đặc tính thiết bị), tổn thất lớn nhất của nhánh xa nhất  $\approx 113Pa$ . Như vậy hệ thống hoàn toàn đủ áp để đảm bảo lưu lượng 150m<sup>3</sup>/h cho từng xe. Bài toán thông gió đã được tính toán thông qua xác định lưu lượng yêu cầu cho từng xe, lựa chọn đường kính ống dẫn, và đánh giá tổn thất áp suất trong nhánh xa nhất. Kết quả cho thấy hệ thống đảm bảo đủ áp suất và lưu lượng để duy trì độ ẩm yêu cầu đến từng xe tăng.

**3. Kết quả và thảo luận**

Trong phần này, chúng tôi trình bày kết quả khảo sát, thu thập và xử lý dữ liệu về sự thay đổi trạng thái kỹ thuật của các loại tăng thiết giáp do Liên bang Nga sản xuất khi khai thác ở vùng nhiệt đới, nghiên cứu khảo sát đánh giá điều kiện bảo quản xe tăng tại các kho. Từ đó tiến hành thử nghiệm hệ thống bảo quản cho 6 xe tăng T-90S bằng công nghệ khí khô.

**3.1. Khảo sát trạng thái kỹ thuật xe tăng T-90S tại nhà kho**

Nhóm nghiên cứu đã đi khảo sát điều kiện cất giữ bảo quản xe tăng T-90S ở các nhà kho. Tại lữ đoàn đang bảo quản xe tăng T-90S, các xe tăng được bảo quản trong 2 kho có mái che, thông thoáng. Kết quả kiểm tra cho thấy tình trạng bên ngoài của các chi tiết như hệ thống bảo vệ «Shtora», nòng pháo, giáp nổ, chấn bùn đều đạt yêu cầu. Tuy nhiên bên trong khoang

xe, thường xuyên xảy ra tình trạng nấm mốc phát triển do độ ẩm, đặc biệt tại các vị trí các chi tiết bằng cao su, dây cáp kim loại, ghế ngồi, mũ bảo hiểm cho kíp xe. Cáp tín hiệu trên xe tăng được bọc bằng vải cách nhiệt trong quá trình bảo quản trên bề mặt vải bọc đã xuất hiện cho nấm mốc màu trắng (Hình 2).



Hình 2. Nấm mốc trên bề mặt vỏ bọc cao su của dây cáp điện bên trong các xe tăng

Mặc dù đơn vị đã triển khai thường xuyên vệ sinh theo chế độ định kỳ hàng tuần, nhưng với môi trường độ ẩm và nhiệt độ cao, nấm mốc đã không ngừng hình thành, phát triển nhất là tại các vị trí khó vệ sinh, lau chùi. Nấm mốc đã phát triển và lan ra cả các bó cáp tín hiệu bằng kim loại. Nếu không xử lý triệt để, sẽ dẫn đến hỏng hóc cho các bộ phận cao su và kim loại của các bó cáp tín hiệu, ngoài ra còn có thể lây lan sang các bộ phận khác. Tình trạng thiết bị điện tử có một số dấu hiệu rỉ sét hay ăn mòn tại vị trí các đầu nối.

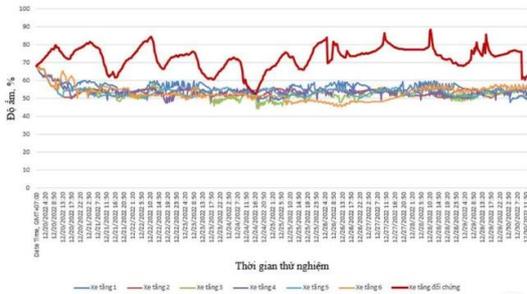
**3.2. Thử nghiệm bảo quản bằng công nghệ khí khô cho xe tăng thiết giáp**

Hình ảnh bố trí hệ thống bảo quản bằng công nghệ khí khô cho xe tăng thiết giáp như Hình 3. Theo tài liệu [10, 11] các thông số làm việc của Thiết bị thổi khí khô TTK-1 được đặt là nhiệt độ  $T=26^{\circ}C$ ,  $R_{Hmin}=45\%$ ,  $R_{Hmax}=55\%$ . Thời gian làm việc của thiết bị là 40 phút, sau đó tự động nghỉ 15 phút.



Hình 3. Thử nghiệm bảo quản đồng thời cho 06 xe tăng

Sử dụng thiết bị đo và lưu nhiệt độ & độ ẩm tự động HOBO Oneset UX100-003 để xác định độ ẩm theo thời gian trong khoang của xe được bảo quản. Sau quá trình thử nghiệm, đồ thị độ ẩm ở trong khoang 06 xe tăng T-90S như Hình 4. Qua đồ thị có thể thấy, bằng công nghệ thổi khí khô hoàn lưu, độ ẩm trong cả 6 xe tăng được duy trì dưới 60%, là mức theo tiêu chuẩn [10].



**Hình 4. Độ ẩm trong 06 xe tăng thử nghiệm**

Với thiết kế máy thổi khí khô đặt ở giữa, các xe tăng ở gần máy thổi sẽ có độ ẩm được duy trì tốt hơn (dao động từ 50-55%) so với các xe tăng ở xa. Các xe tăng được xếp theo hàng ngang, xe số 1 đến xe số 6 từ trái qua phải. Thiết bị khí khô TKK-1 được đặt ở giữa xe tăng số 3 và số 4, thổi khí khô theo đường ống dẫn khí đi cho các xe. Các xe ở gần máy TKK-1 như xe số 2, 3, 4, 5 có độ ẩm biến thiên đều hơn nằm đúng trong khoảng từ 50-55% như thiết lập cho máy TKK-1. Các xe tăng số 1, 6 ở xa thiết bị TKK-1 hơn, với khoảng cách khoảng 15m, đồ thị độ ẩm bên trong xe biến thiên không đều và không có quy luật ổn định, tuy nhiên vẫn đủ duy trì dưới 60% như Bảng 2.

**Bảng 2. Độ ẩm trong các xe tăng**

Vị trí	RH trung bình, %	RH cao nhất, %
Xe tăng 1	56,89	58,89
Xe tăng 2	54,34	56,32
Xe tăng 3	52,68	55,66
Xe tăng 4	51,22	53,48
Xe tăng 5	53,35	57,99
Xe tăng 6	57,74	59,42
Xe tăng ĐC	75,66	90

Trong khi đó bên trong xe tăng đối chứng độ ẩm phần lớn thời gian thử nghiệm trên 60%, có thời điểm lên đến 80-90%. Như vậy hệ thống thổi khí khô hoàn lưu với công suất và thiết kế như trên đã đảm bảo yêu cầu bảo quản đồng thời cho 06 xe tăng T-90S. Trước bảo quản:  $R_H = 80-95\%$ , xuất hiện nấm mốc trên các chi tiết như cao su, dây cáp, ghế da, kính quang học. Sau bảo quản:  $R_H$  duy trì 50-60%, không xuất hiện nấm mốc trang bị trong xe tăng, bề mặt sạch, ổn định.

Độ ẩm được duy trì tốt bên trong hệ thống khí khô là do hệ thống được lắp đặt các quạt hút, quạt thổi nhằm lưu thông khí và có bọc bảo ôn giúp cách nhiệt, ẩm với môi trường bên ngoài. Nhất là với những ngày mưa lạnh đột ngột, không khí bên ngoài lạnh, bên trong hệ thống nhiệt độ cao hơn sẽ không xảy ra hiện tượng ngưng sương bên trong đường ống dẫn khí, giúp máy TKK-1 làm việc ít hơn. Ngoài ra, về hướng phát triển tiếp theo, có thể lắp thêm các van điều tiết ở đầu các đường ống cung cấp khí khô cho từng xe tăng có cảm biến đóng mở tự động theo lưu lượng khí đi qua, giúp khí khô được cung cấp đều hơn, các xe tăng ở xa cũng sẽ có độ ẩm bên trong xe ổn định hơn. Có thể áp dụng mô hình CFD hoặc mô phỏng dòng khí để tối ưu bố trí ống dẫn và van điều tiết.

Điện năng tiêu thụ của hệ thống đảm bảo khí khô vào khoảng 3-5 kWh/ngày trong điều kiện vận hành thử nghiệm. Thời gian thử nghiệm được tiến hành trong giai đoạn có độ ẩm không khí cao đại diện cho điều kiện bất lợi đối với công tác bảo quản. Trong các giai đoạn khác của năm, khi điều kiện khí hậu ít khắc nghiệt hơn, thời gian vận hành của thiết bị sẽ giảm tương ứng, dẫn đến mức tiêu thụ điện năng thấp hơn.

#### 4. Kết luận

1) Lần đầu tiên triển khai thử nghiệm khí khô cho đồng thời 06 xe T-90S bằng hệ thống hoàn lưu. Nghiên cứu đã chứng minh tính hiệu quả của công nghệ khí khô hoàn lưu trong bảo quản xe tăng T-90S tại điều kiện khí hậu nhiệt đới Việt Nam. Thiết bị TKK-1 đủ công suất cung cấp khí khô cho đồng thời 06 xe tăng, duy trì độ ẩm ổn định dưới 60%, giảm rõ rệt nguy cơ nấm mốc, ăn mòn và lão hóa vật liệu trong khoang xe.

2) Mô hình hệ thống hoàn lưu khí khô cho thấy ưu điểm lớn về độ tin cậy và tiêu thụ năng lượng thấp, phù hợp triển khai tại các kho, trạm bảo quản VKTBKT quy mô lớn. Kết quả thử nghiệm thực tế khẳng định khả năng bảo vệ hiệu quả các chi tiết điện tử, quang học, cáp tín hiệu, vật liệu polymer - da - cao su vốn rất mẫn cảm với độ ẩm cao trong môi trường biển - đảo và miền Bắc Việt Nam vào mùa nồm.

3) Hướng nghiên cứu tiếp theo có thể mở rộng ứng dụng công nghệ khí khô sang: Khoang thủy - khoang nổi của xe tăng lội nước và xe thiết giáp thủy bộ, nơi vi khí hậu ẩm ướt gây ăn mòn nhanh hơn; Các khoang kín của tàu chiến: Phòng máy, buồng điện - điện tử, buồng điều khiển hỏa lực; Hệ thống thiết bị điện - điện tử triển khai tại đảo, nhà giàn và trạm radar ven biển. Việc tích hợp thêm cảm biến tự động điều tiết lưu lượng khí và mô-đun theo dõi từ xa sẽ nâng cao khả năng ứng dụng rộng rãi cho nhiều chủng loại

VKTBKT trong Quân đội trong môi trường biển đảo.

**Lời cảm ơn**

Bài báo này là sản phẩm của nhiệm vụ UBPH T 2.7 tại Viện Độ bền Nhiệt đới. Các tác giả cảm ơn các thủ trưởng Viện Độ bền Nhiệt đới, Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga đã tạo điều kiện thực hiện nghiên cứu này.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1] Ю. П. Авдеев, В. А. Карпов, and В. М. Ольшанский (2013). *К вопросу формирования коррозионно-опасных условий в замкнутых объемах технических устройств*, Коррозия: материалы, защита, No.7. Москва, Россия.

[2] V. A. Karpov, A. A. Svitich, V. N. Sereda, và D. N. Phạm (2017). *Kết quả phân tích trạng thái kỹ thuật của máy bay thế hệ thứ 4 trong thời gian 20 năm hoạt động ở vùng nhiệt đới Việt Nam*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nhiệt đới, Số 12. DOI: 10.58334/vrtc.jtst.n20.03.

[3] H. P. Nguyen, V. N. Sereda, D. N. Pham, and C. C. Vo (2021). *Application of air-drying technology for helicopter protection in tropical conditions of Vietnam*, IEEE Xplore, pp.70-74.

[4] D. N. Phạm, H. S. Hà, H. P. Nguyễn, và Q. H. Doãn (2022). *Ứng dụng công nghệ khí khô bảo quản vũ khí, trang bị kỹ thuật*, Đặc san Tạp chí Kỹ thuật và Trang bị, tr. 15-20.

[5] C. C. Võ và H. S. Hà (2022). *Nghiên cứu thiết kế, chế tạo và thử nghiệm hệ thống cung cấp gió khô TTK-3*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng, Vol.20, No.10.2, pp.40-43.

[6] H. S. Hà, C. C. Võ, M. T. Đặng, V. V. Nguyễn, và Q. H. Doãn (2025). *Kết quả thử nghiệm hệ thống đảm bảo khí khô đồng thời cho các máy bay SU-22 tại Học viện Phòng không - Không quân*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nhiệt đới, Số 28, tr.195-204. DOI: 10.58334/vrtc.jtst.n28.21.

[7] H. P. Nguyễn, V. N. Sereda, N. M. Lê, and D. N. Phạm (2025). *Thử nghiệm bảo quản máy bay trực thăng họ Mi bằng công nghệ khí khô trong điều kiện nhiệt đới Việt Nam*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nhiệt đới, Số 20, tr. 24-33. DOI: 10.58334/vrtc.jtst.n20.03.

[8] D. N. Phạm, Q. H. Doãn, H. S. Hà, và H. P. Nguyễn (2025). *Một số kết quả nghiên cứu, ứng dụng công nghệ khí khô bảo quản vũ khí trang bị trong điều kiện nhiệt đới Việt Nam*, Tạp chí Khoa

học và Công nghệ Nhiệt đới, Số 24, tr. 284-292. DOI: 10.58334/vrtc.jtst.n24.30.

[9] C. C. Võ (2005). *Giáo trình điều hoà không khí và thông gió*. NXB Khoa học kỹ thuật. Hà Nội.

[10] Единая система защиты от коррозии и старения. *Временная противокоррозионная защита изделий*, Общие требования, ГОСТ 9.014-78.

[11] Fisair (2020). *Humidity Control for Weapons Preservation*. [Online]. Available: <https://fisair.com/applications/arms-preservation/>

[12] Dry-Air Ltd. (2021). *Preservation of Military Equipment with Humidity Control*. [Online]. Available: <https://www.dry-air.co.uk/applications1/preservation-of-military-equipment-with-humidity-control/>

[13] Turnbull Restoration (2024). *Best Temperature and Humidity for Gun Storage*. [Online]. Available: <https://www.turnbullrestoration.com/best-temperature-and-humidity-for-gun-storage/>

[14] J. Wang, F. Peng, Z. Tu, Z. Wei, D. Zhang, J. Guo, and C. Huang (2020). *Brief introduction of dehumidification technology and research progress*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol.568, No. 1, p. 012020. DOI: 10.1088/1755-1315/568/1/012020.

[15] H. M. Muhammad, S. Muhammad, and M. Takahiko (2020). *Solid desiccant dehumidification-based air-conditioning system for agricultural storage application: Theory and experiments*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, Vol.234, No.4, pp. 534-547. DOI: 10.1177/0957650919869503.

[16] G. Hussain, A. Muhammad, S. Muhammad, and S. Uzair (2022). *Evaluating Evaporative Cooling Assisted Solid Desiccant Dehumidification System for Agricultural Storage Application*, Sustainability, Vol.14, No.3, pp.1-25. DOI: 10.3390/su14031479.

Ngày nhận bài:	09/12/2025
Ngày nhận bản sửa:	27/12/2025
Ngày duyệt đăng:	01/01/2026