

GIẢI PHÁP CHILLER HẤP THỤ SỬ DỤNG NƯỚC NÓNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI

Võ Văn Hoàng, Nguyễn Hiếu Nghĩa*

Khoa Công nghệ Nhiệt lạnh, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh

*Tác giả liên hệ: nguyenhieunghia@iuh.edu.vn

Từ khóa: Chiller hấp thụ mặt trời, điều hòa không khí bằng mặt trời, điều hòa không khí bền vững

TÓM TẮT. Nghiên cứu đề xuất giải pháp chiller hấp thụ vận hành bằng nước nóng năng lượng mặt trời cho hệ thống điều hòa không khí trung tâm tại một trường học ở Việt Nam với công suất lạnh 50 RT (176 kW). Bài báo phân tích toàn diện từ đặc tính kỹ thuật, tính toán thiết kế collector, đến so sánh kinh tế – môi trường giữa hệ thống đề xuất và hệ thống VRF hiện hữu. Kết quả cho thấy mức giảm 95% điện năng tiêu thụ và giảm 92,9% phát thải CO₂ so với phương án truyền thống.

1. GIỚI THIỆU

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu và khủng hoảng năng lượng toàn cầu đang diễn biến phức tạp, việc tìm kiếm các giải pháp làm mát bền vững trở thành ưu tiên hàng đầu của ngành HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning). Việt Nam với khí hậu nhiệt đới ẩm, nhu cầu điều hòa không khí chiếm tới 40–50% tổng điện năng tiêu thụ của các tòa nhà thương mại và công sở, đang đứng trước áp lực rất lớn trong việc giảm phát thải carbon, hướng tới cam kết Net Zero vào năm 2050.

Công nghệ chiller hấp thụ sử dụng nước nóng từ năng lượng mặt trời đang nổi lên như một giải pháp đột phá, thay thế hoàn toàn điện năng cho máy nén bằng nhiệt năng từ mặt trời – nguồn năng lượng sạch và vô tận. Bức tranh toàn cảnh về việc ứng dụng máy làm lạnh hấp thụ H₂O–LiBr cho công trình xây dựng, so sánh hiệu quả giữa các công nghệ làm lạnh bằng năng lượng mặt trời (hấp thụ, hấp phụ, làm mát hút ẩm) [1]. Cấu hình chiller đơn hiệu ứng/đa hiệu ứng, các tổn thất nhiệt trong bình chứa và đường ống, cùng các chiến lược bơm lưu lượng biến thiên để tối ưu hiệu suất nhiệt [2]. Các phân tích chi phí giữa diện tích bộ thu mặt trời và chỉ số COP của hệ thống H₂O–LiBr [3].

Bài báo đi đầu trong việc sử dụng phần mềm TRNSYS để mô phỏng và tối ưu hóa hệ thống làm lạnh hấp thụ LiBr tích hợp ống thu nhiệt chân không cho vùng khí hậu nhiệt đới [4]. Phân tích chi tiết về Exergy và Energy, chỉ ra rằng khoảng 84% tổn thất Exergy của toàn hệ thống xảy ra ở bộ thu năng lượng mặt trời, đồng thời đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ đầu vào máy sinh hơi (generator) và hiệu quả của bộ trao đổi nhiệt dung dịch [5].

Các đề xuất mô hình kết hợp hai nguồn năng lượng (khí đốt/năng lượng mặt trời) điều khiển máy làm lạnh hai tác dụng [6, 7]. Bên cạnh là các nghiên cứu đánh giá khả năng đáp ứng tải động giữa cung và cầu [8-10].

Bài viết này phân tích chi tiết một nghiên cứu điển hình áp dụng công nghệ này cho một trường học tại Việt Nam với công suất lạnh 50 RT (176 kW) theo đối chiếu ở Bảng 1. Chiller hấp thụ là thiết bị làm lạnh nước hoạt động dựa trên chu trình nhiệt động hấp thụ sử dụng cặp môi chất Nước-Lithium Bromide (H₂O–LiBr). Khác với chiller điện truyền thống (dùng máy nén cơ), chiller hấp thụ sử dụng nguồn nhiệt (hơi nóng, nước nóng, khí đốt) để thực hiện quá trình nén hóa học trong chu trình lạnh.

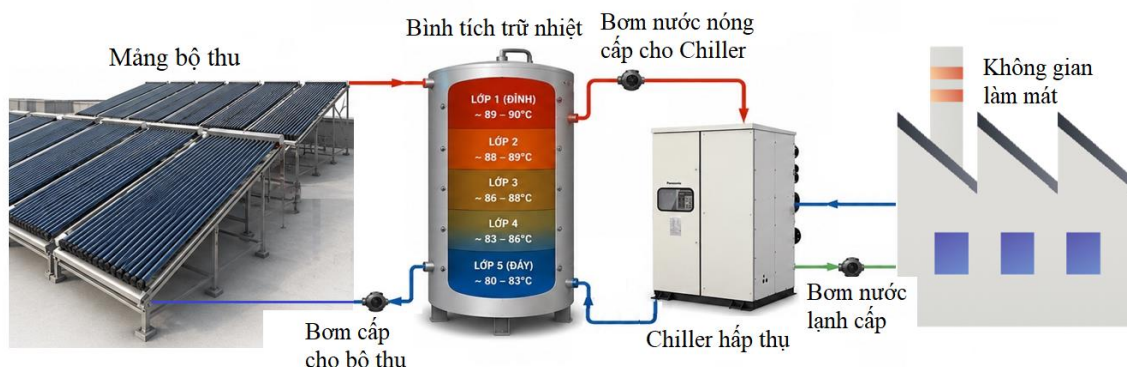
Bảng 1. Đối chiếu giữa chiller hấp thụ và chiller điện

Tiêu chí	Chiller điện (ly tâm)	Chiller hấp thụ + NLMT
Nguồn năng lượng	Điện năng (máy nén)	Nhiệt năng từ mặt trời
Điện năng tiêu thụ	100%	Chỉ 5%
Môi chất lạnh	R-134a (GWP=1.430)	Nước (GWP=0)
Tiếng ồn & rung	Cao	Rất thấp
Chi phí vận hành	Cao (giá điện tăng 7–8%/năm)	Rất thấp

2. PHƯƠNG PHÁP

2.1. Giải pháp cho chiller hấp thụ

Mô hình kết hợp giữa ba cụm thiết bị chính: trường bộ thu năng lượng mặt trời ống chân không, bồn tích nhiệt phân tầng và chiller hấp thụ H₂O–LiBr thụ đơn hiệu ứng. Chu trình tận dụng nước nóng từ bộ thu mặt trời để cấp nhiệt cho máy sinh hơi (generator), để làm mát không gian học đường được trình bày ở Hình 1.



Hình 1. Hệ thống nước nóng mặt trời cấp nhiệt chiller hấp thụ làm mát không gian trường học

Bồn tích nhiệt đặt giữa trường bộ thu và chiller đóng vai trò làm đệm nhiệt, giúp ổn định nhiệt độ nước nóng cấp cho máy sinh hơi và giảm thiểu tác động do sự biến động tức thời của bức xạ mặt trời.

Khu vực trường học tại TP.HCM có khí hậu nhiệt đới nắng nóng quanh năm, đồng thời các phòng học thường có mật độ tập trung người rất đông (học sinh, giáo viên) và nhiều thiết bị điện tử. Do đó, suất công suất lạnh tiêu chuẩn thường yêu cầu từ 150 – 220 W/m². Áp dụng cho các khu vực hành lang rộng, hội trường lớn, hoặc các phòng học có cách nhiệt tốt, ít chịu nắng gắt chiếu trực tiếp. Để làm mát không gian trường học tại Thành phố Hồ Chí Minh có diện tích làm mát đạt khoảng 1.100 – 1.200 m², công suất lạnh là 50 USRT (176 kW) được lựa chọn có thông số đầu vào của thiết kế được trình bày ở Bảng 2.

Bảng 2. Thông số đầu vào của thiết kế

Thông số	Giá trị
Công suất lạnh yêu cầu	50 USRT (176 kW)
Hệ số COP của Chiller hấp thụ	0,70
Nhiệt cấp yêu cầu	≈ 251–256 kW
Nhiệt độ nước nóng cấp	80–90°C
Lưu lượng nước nóng	22 m ³ /h
Thời gian vận hành	07:00 – 17:30 (10,5 giờ/ngày)
Bồn tích nhiệt phân tầng	10 m ³ , cách nhiệt PU 100mm
Nhiệt độ đầu ngày	89°C
Nhiệt độ cuối ngày	90°C

2.2. Tính toán mô phỏng

Các thông số đầu vào của thiết kế cho hệ thống Chiller 50 USRT kết hợp ống chân không tại trường học (TP.HCM), các thông số cốt lõi được xác định.

$$\text{Lưu lượng khối lượng: } \dot{m} = \frac{22000}{3600} = 6,11 \text{ kg/s}$$

$$\text{Nhiệt dung riêng nước: } C_p = 4,186 \text{ kJ/kg.K}$$

$$\text{Độ tăng nhiệt: } \Delta T = 10 \text{ °C}$$

$$\text{Công suất cần cấp: } Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T = 6,11 \cdot 4,186 \cdot 10 = 255,7 \text{ kW}$$

Hiệu suất bộ thu ống chân không EN12975 theo hãng TVP Solar ($\eta_0 = 0,73$; $a = 1,45$; $b = 0,008$) được xác định [11]:

$$\eta = \frac{Q_{u-\text{Collector}}}{A_a \cdot G} = \eta_0 - a \frac{(\bar{t} - t_a)}{G} - b \frac{(\bar{t} - t_a)^2}{G}$$

- A_a : diện tích nhận bức xạ của bộ thu (m^2)
- G : cường độ bức xạ mặt trời W/m^2
- $\bar{t}$: nhiệt độ trung bình trong bộ thu $\bar{t} = \frac{t_{in} + t_{out}}{2} = \frac{t_{in} + t_{out}}{2} = 85 \text{ (}^\circ\text{C)}$
- T_a : nhiệt độ môi trường $T_a = 32 \text{ (}^\circ\text{C)}$

Hiệu suất collector tấm phẳng chân không đạt đỉnh 62% vào lúc 12:00 trưa khi cường độ bức xạ mặt trời cực đại (900 W/m^2). Đây là kết quả kiểm định theo tiêu chuẩn châu Âu EN12975, đảm bảo độ tin cậy cho thiết kế được trình bày ở Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả tính toán năng lượng của hệ thống

Giờ	Bức xạ (W/m^2)	Hiệu suất η	Năng lượng hữu ích (kWh/m^2)
7:00	180	0,178	0,032
8:00	350	0,446	0,156
9:00	550	0,549	0,302
10:00	700	0,588	0,412
11:00	820	0,609	0,499
12:00	900	0,620	0,558
13:00	880	0,617	0,543
14:00	760	0,599	0,455
15:00	600	0,564	0,338
16:00	400	0,482	0,193
17:00	180	0,178	0,032
Tổng	6320	-	0,352

Hiệu suất trung bình của bộ thu ống chân không (theo tiêu chuẩn EN12975):

$$\eta_{\text{avg}} = \frac{Q_{u-\text{Collector}}}{A_a \cdot G} = \frac{6320}{3521} = 0,56$$

Tổng năng lượng bức xạ ngày:

$$H = \sum G_i = 6320 \text{ Wh/m}^2 = 6,32 \text{ kWh/m}^2$$

Năng lượng chiller tiêu thụ:

$$Q_{\text{load}} = 256 \cdot 10,5 = 2688 \text{ kWh}$$

Năng lượng để tăng từ 89°C lên 90°C cho bồn sau một đêm:

$$Q_{\text{tank}} = m \cdot C_p \cdot \Delta T = 10000 \cdot 4,186 \cdot 1 = 41860 \text{ kJ} = 11,63 \text{ kWh/}^\circ\text{C}$$

Tổn thất ban ngày $\sim 1\%$ (từ bồn, đường ống, van):

$$Q_{\text{loss}} = 0,01 \cdot 2688 = 27 \text{ kW}$$

Tổng năng lượng mặt trời phải cung cấp:

$$Q_{\text{solar}} = Q_{\text{load}} + Q_{\text{tank}} + Q_{\text{loss}} = 2688 + 11,63 + 27 = 2726,6 \text{ kWh}$$

Năng lượng hữu ích trên 1 m^2 collector:

$$Q_u = H \cdot \eta_{\text{avg}} = 6,32 \cdot 0,56 = 3,54 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ngày}$$

Diện tích collector:

$$A_a = \frac{Q_{\text{solar}}}{\eta_{\text{avg}} \cdot H} = \frac{2726,6}{0,56 \cdot 6,32} = 770,1 \text{ m}^2$$

Ở điều kiện tổng năng lượng bức xạ ngày (tại TP.HCM): $H = 6,32 \text{ kWh/m}^2$, diện tích bộ thu yêu cầu $\sim 770 \text{ m}^2$ đặc hướng Nam, góc nghiêng 15° ; Dung tích bồn chứa 10 m^3 ; Tổng năng lượng NLMT cần cung cấp: $2726,6 \text{ kWh/ngày}$.

3. KẾT QUẢ & THẢO LUẬN

Lợi ích kinh tế của giải pháp chiller hấp thụ sử dụng nước nóng năng lượng mặt trời thể hiện rõ nét nhất ở khả năng cắt giảm chi phí vận hành trong suốt vòng đời hệ thống. Kết quả tính toán cho thấy, đối với công trình trường học có công suất lạnh 50 RT, hệ thống VRF hiện hữu tiêu thụ khoảng 167.097 kWh điện mỗi năm, tương ứng với chi phí xấp xỉ 19.923 USD. Trong khi đó, hệ thống chiller hấp thụ kết hợp năng lượng mặt trời chỉ tiêu thụ khoảng 11.880 kWh điện mỗi năm — phần điện năng này chủ yếu phục vụ các bơm tuần hoàn, tháp giải nhiệt và hệ thống điều khiển — tương ứng với chi phí chỉ khoảng 1.416 USD. Mức giảm này tương đương với tỷ lệ tiết kiệm khoảng 92,9% (Bảng 4), tức tiết kiệm tuyệt đối gần 18.507 USD mỗi năm (khoảng 450 triệu đồng theo tỷ giá hiện hành). Trong bối cảnh giá điện thương mại tại Việt Nam liên tục điều chỉnh tăng với mức bình quân 7–8% mỗi năm, khoản tiết kiệm này sẽ còn mở rộng đáng kể theo thời gian, khiến lợi ích kinh tế tích lũy của hệ thống ngày càng trở nên vượt trội so với phương án truyền thống.

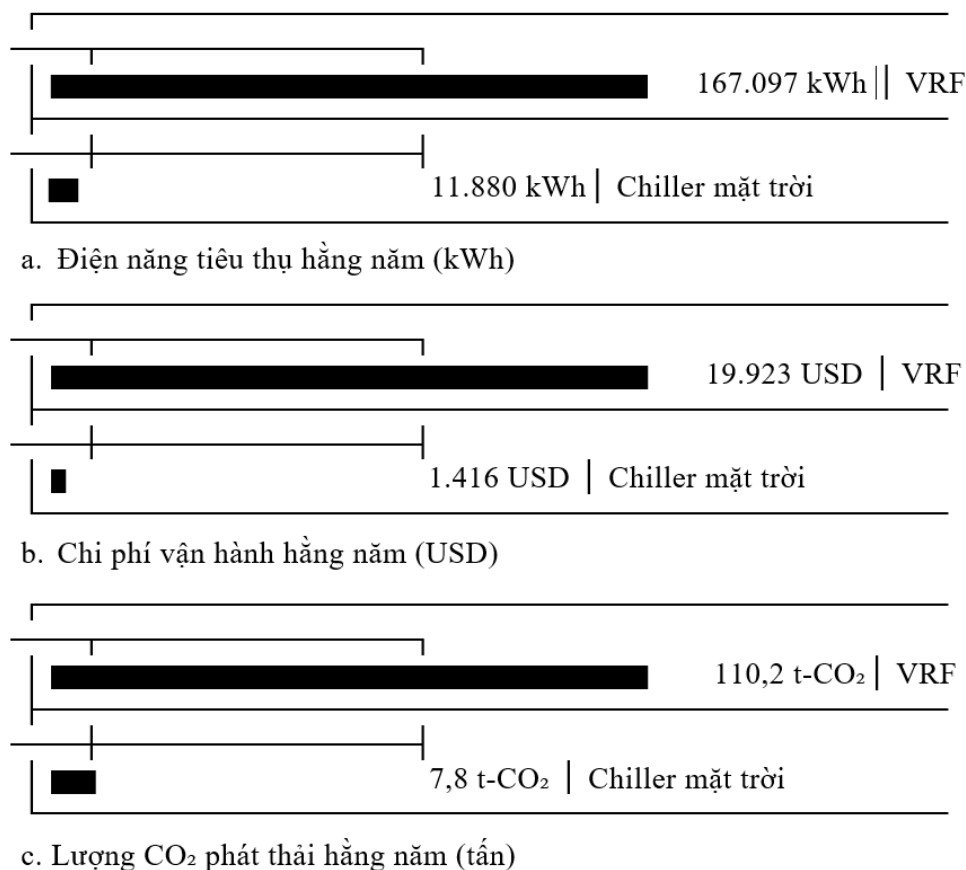
Bên cạnh chi phí điện năng, hệ thống còn mang lại lợi ích kinh tế gián tiếp thông qua việc cắt giảm công suất đỉnh tiêu thụ. Do chiller hấp thụ sử dụng nguồn nhiệt mặt trời thay vì máy nén điện, tải điện đỉnh của công trình được hạ thấp đáng kể, từ đó giảm chi phí hợp đồng công suất và chi phí điện năng trong khung giờ cao điểm theo biểu giá bậc thang. Ngoài ra, chiller hấp thụ có cấu tạo gồm rất ít bộ phận chuyển động cơ học — không có máy nén, không có động cơ lớn — nên chi phí bảo trì định kỳ và chi phí thay thế phụ tùng cũng thấp hơn đáng kể so với chiller điện hoặc hệ thống VRF.

Cuối cùng, giải pháp còn mở ra các cơ hội kinh tế mới thông qua việc tham gia thị trường tín chỉ carbon. Với mức giảm phát thải hơn 100 tấn CO₂ mỗi năm, công trình có thể được chứng nhận và bán tín chỉ carbon theo các cơ chế quốc tế như CORSIA hay sàn giao dịch ETS, tạo thêm nguồn thu phụ để bù đắp chi phí đầu tư ban đầu.

Bảng 4. Đối sánh giữ hệ VRF hiện hữu

Tiêu chí	Hệ VRF hiện hữu	Giải pháp chiller hấp thụ + NLMT	Mức cải thiện
Model	U64MS3H7HE	QP-50LT	-
Điện năng tiêu thụ (kW)	43,6	3,1	92,9%
Điện năng/năm (kWh)	167.097	11.880	92,9%
Chi phí điện/năm (USD)	19.923	1.416	92,9%
CO ₂ phát thải/năm (tấn)	110,2	7,8	92,9%
10 năm giảm CO ₂ (tấn)	-	1.024	~8.265 cây xanh

Giải pháp chiller hấp thụ H₂O–LiBr kết hợp năng lượng mặt trời (Model QP-50LT, công suất 50 USRT / 176 kW) trên 3 tiêu chí cốt lõi: điện năng tiêu thụ, chi phí vận hành hàng năm và lượng phát thải CO₂ được xem xét. Biểu đồ Hình 2 chứng minh hiệu quả của việc thay thế hoàn toàn máy nén điện đắt đỏ bằng nguồn nhiệt mặt trời sẵn có và miễn phí.



Hình 2. Đối sánh điện năng, chi phí và phát thải

Từ biểu đồ Hình 2 có thể thấy, hệ thống Chiller hấp thụ dùng NLMT vượt trội hoàn toàn so với hệ thống VRF truyền thống trên cả ba tiêu chí quan trọng nhất: điện năng, chi phí và phát thải. Xét về phát thải gián tiếp, việc giảm 155.217 kWh điện năng tiêu thụ mỗi năm so với hệ thống VRF hiện hữu tương đương với việc giảm hơn 102 tấn CO₂ phát thải hàng năm (dựa trên hệ số phát thải của lưới điện Việt Nam khoảng 0,6598 kg CO₂/kWh). Tính lũy kế trong 10 năm vòng đời hệ thống, tổng lượng phát thải được cắt giảm lên tới 1.024 tấn CO₂, tương đương với khả năng hấp thụ carbon của khoảng 8.265 cây xanh trưởng thành — một con số hết sức ý nghĩa đối với một công trình đơn lẻ. Xét ở góc độ vĩ mô, nếu giải pháp này được nhân rộng ra hàng trăm trường học và tòa nhà công sở trên cả nước, tiềm năng cắt giảm phát thải quốc gia là rất lớn, góp phần trực tiếp vào việc thực hiện cam kết Net Zero vào năm 2050 mà Việt Nam đã đưa ra tại COP26.

Về phát thải trực tiếp, đây có thể coi là ưu điểm mang tính đột phá của công nghệ Chiller hấp thụ. Trong khi các hệ thống lạnh truyền thống (VRF, Chiller điện) sử dụng môi chất lạnh HFC có chỉ số tiềm năng nóng lên toàn cầu (GWP) rất cao — ví dụ R-134a có GWP lên đến 1.430, R-410A thậm chí cao hơn — gây rò rỉ khí nhà kính cực mạnh ra môi trường trong suốt quá trình vận hành và bảo trì, thì Chiller hấp thụ H₂O-LiBr sử dụng nước tinh khiết làm môi chất lạnh. Nước là chất có GWP bằng 0 và ODP (Ozone Depletion Potential) bằng 0, hoàn toàn không gây hiệu ứng nhà kính và không phá hủy tầng ozon.

4. KẾT LUẬN

Giải pháp Chiller hấp thụ sử dụng nước nóng năng lượng mặt trời cho hệ thống điều hòa không khí trung tâm tại trường học công suất 50 RT thể hiện sự hội tụ của ba trụ cột phát triển bền vững: lợi ích kinh tế với mức tiết kiệm 92,9% và tiềm năng thu nhập từ tín chỉ carbon; lợi ích môi trường với việc cắt giảm 1.024 tấn CO₂ trong 10 năm và sử dụng môi chất lạnh nước có GWP bằng 0; lợi ích xã hội với vai trò phòng thí nghiệm sống phục vụ giáo dục năng lượng

xanh, tạo việc làm chất lượng cao và nâng cao chất lượng môi trường sống cộng đồng. Sự kết hợp hài hòa này biến giải pháp từ một lựa chọn kỹ thuật đơn thuần trở thành một chiến lược phát triển toàn diện, có khả năng nhân rộng và tạo tác động lan tỏa tích cực trên phạm vi rộng lớn.

Tài liệu tham khảo

- [1] Al-Yasiri, Q., Szabó, M., & Arıcı, M. (2022). A review on solar-powered cooling and air-conditioning systems for building applications. *Energy Reports*, 8, 2888–2907. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.01.173>
- [2] Shirazi, A., Taylor, R. A., Morrison, G. L., & White, S. D. (2018). Solar-powered absorption chillers: A comprehensive and critical review. *Energy Conversion and Management*, 171, 59–81. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.05.091>
- [3] Grossman, G. (2002). Solar-powered systems for cooling, dehumidification and air-conditioning. *Solar Energy*, 72(1), 53–62. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(01\)00090-1](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(01)00090-1)
- [4] Assilzadeh, F., Kalogirou, S. A., Ali, Y., & Sopian, K. (2005). Simulation and optimization of a LiBr solar absorption cooling system with evacuated tube collectors. *Renewable Energy*, 30(8), 1143–1159. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.09.017>
- [5] Kerme, E. D., Chafidz, A., Agboola, O. P., Orfi, J., Fakeeha, A. H., & Al-Fatesh, A. S. (2017). Energetic and exergetic analysis of solar-powered lithium bromide-water absorption cooling system. *Journal of Cleaner Production*, 145, 631–647. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.060>
- [6] Liu, Y. L., & Wang, R. Z. (2004). Performance prediction of a solar/gas driving double effect LiBr–H₂O absorption system. *Renewable Energy*, 29(11), 1677–1695. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.01.016>
- [7] Balaras, C. A., Grossman, G., Henning, H.-M., Infante Ferreira, C. A., Podesser, E., Wang, L., & Wiemken, E. (2007). Solar air conditioning in Europe—An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(2), 299–314. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.02.003>
- [8] Ibrahim, N. I., Yahiaoui, A., Garkuwa, J. A., Ben Mansour, R., & Rehman, S. (2024). Solar cooling with absorption chillers, thermal energy storage, and control strategies: A review. *Journal of Energy Storage*, 97, Article 112762. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.112762>
- [9] Soliman, A. S., & Cheng, P. (2026). Investigation of a new H₂O–LiBr absorption system using concentrated photovoltaic cell and PCM. *Applied Thermal Engineering*, 292, Article 130392. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2025.130392>
- [10] Song, M., Li, N., Liu, Q., Shi, F., & Wang, M. (2026). Dynamic supply-demand matching and operational parametric study of a solar single-effect absorption/compression cascade thermal battery system. *Energy*, 342, Article 139612. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.139612>
- [11] Nguyễn Hiếu Nghĩa, Giáo trình năng lượng mặt trời và ứng dụng, Nhà xuất bản Đại học Công nghiệp TP. HCM, 2026