

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN ĐỘNG LỰC HỌC LƯU CHẤT ĐỂ CẢI TIẾN THIẾT KẾ VĂN PHÒNG LÀM VIỆC

Applying computational fluid dynamics method to improve office design

Phạm Hải¹, và Trương Tích Thiện²

¹Học viên cao học Trường Đại học Kinh tế Công nghiệp Long An, Long An, Việt Nam
nguyen.a@daihoclongan.edu.vn

²Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG TP.HCM, Việt Nam
tttruong@hcmut.edu.vn

Tóm tắt — Ngày nay, đa số văn phòng làm việc đều sử dụng máy điều hòa không khí để tạo cảm giác thoải mái cho người làm việc. Một số văn phòng thường được thiết kế với một số mặt là kính và các mặt còn lại giáp với những tòa nhà khác, vì vậy lượng nhiệt bức xạ mặt trời, lượng nhiệt tỏa ra từ cơ thể người, các thiết bị văn phòng (máy tính, tủ lạnh,...) mà văn phòng nhận được là tương đối lớn. Theo tiêu chuẩn Việt Nam, quá trình thiết kế hệ thống thông gió điều hòa không khí phải đảm bảo các thông số của không khí trong không gian văn phòng thỏa mãn tiện nghi về nhiệt, độ ẩm, vận tốc gió, lưu lượng gió tươi cấp vào,... Bài toán này hoàn toàn có thể được giải quyết nhờ sự ra đời của phương pháp tính toán động lực học lưu chất (CFD), được xem là “phương pháp thứ ba” trong động lực học lưu chất. Trong nghiên cứu này, phương pháp CFD được ứng dụng để phân tích hiệu quả trao đổi nhiệt độ - không khí trong văn phòng làm việc.

Abstract — Nowadays, most offices use air conditioning to create a comfortable feeling for workers. Some offices are often designed with some glass sides and the remaining sides adjacent to other buildings, so the amount of solar radiation heat, the amount of heat emitted from the human body, office equipment (computers, refrigerators, etc.) that the office receives is relatively large. According to Vietnamese standards, the design process of air conditioning ventilation systems must ensure that the air parameters in the office space satisfy the comfort of temperature, humidity, wind speed, fresh air flow, etc. This problem can be completely solved thanks to the advent of the computational fluid dynamics (CFD) method, considered the "third method" in fluid dynamics. In this study, the CFD method is applied to analyze the efficiency of heat exchange - air in the office.

Từ khóa — Thông gió, động lực học lưu chất, tương tác lưu chất, Ventilation, fluid dynamics, fluid interaction.

1. Sự cần thiết của đề tài

Thông gió là quá trình thay đổi hoặc thay thế không khí trong bất kỳ không gian nào để cung cấp không khí chất lượng cao bên trong (tức là để kiểm soát nhiệt độ, bổ sung oxy, hoặc loại bỏ hơi ẩm, mùi hôi, khói, hơi nóng, bụi, vi khuẩn trong không khí và cacbon dioxide). Hệ thống thông gió được sử dụng để loại bỏ những mùi khó chịu và hơi ẩm quá mức, đưa không khí ở bên ngoài vào, duy trì sự lưu thông không khí trong các tòa nhà, và để ngăn chặn tình trạng trì trệ của không khí bên trong.

Việc thông gió độc lập, trực tiếp vào phòng không thông qua hệ thống điều hòa không khí có nhược điểm là trường nhiệt độ không khí vào phòng và phân bố khí tươi

không đều. Trong trường hợp cấp gió tươi thực hiện thông qua hệ thống điều hòa không khí, gió tươi sẽ hòa trộn với gió hồi và cấp vào phòng nên phân bố đều và tránh làm thay đổi trường nhiệt độ trong phòng. Trong các hệ thống này khí tươi được đưa trực tiếp hoặc hòa trộn với không khí tuần hoàn sau đó đưa đến IU để làm lạnh (hoặc gia nhiệt) rồi mới cấp vào phòng, theo sơ đồ thẳng, sơ đồ tuần hoàn một cấp hoặc hai cấp.

Ngày nay, ngành công nghệ máy tính phát triển ngày càng nhanh, máy tính ngày càng có cấu hình mạnh tạo điều kiện thuận lợi để ứng dụng các chương trình tính toán hiện đại vào để phân tích các bài toán kỹ thuật phức tạp như các bài toán đa môi trường.



Hình 1. Minh họa không gian làm việc trong văn phòng

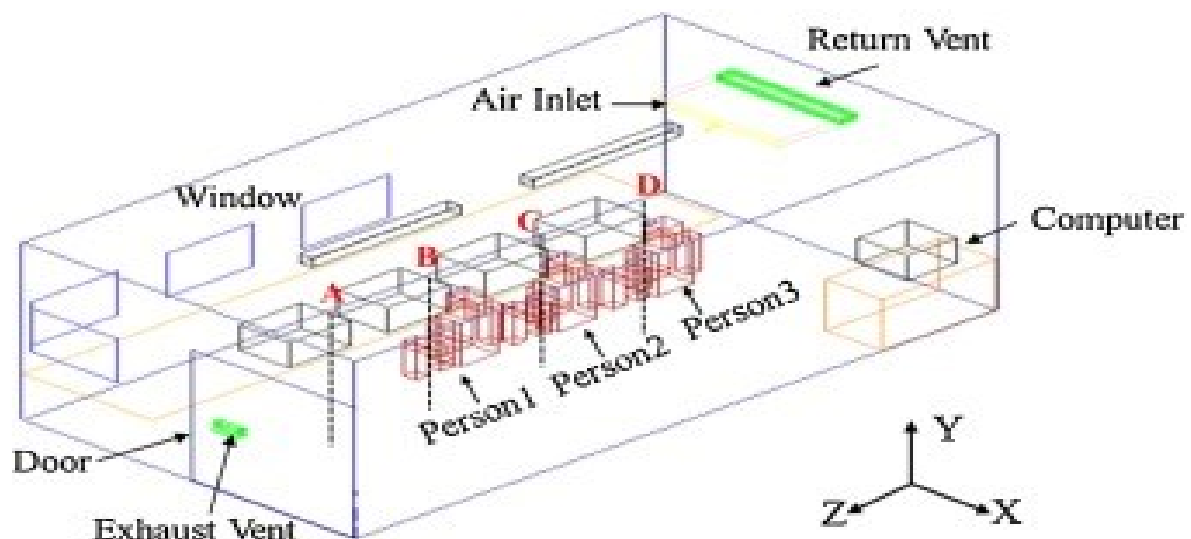
Nguyễn Anh Tuấn (2018) đã sử dụng phương pháp CFD để nghiên cứu, tính toán và mô phỏng dòng không khí lưu thông trong căn hộ chung cư nhằm đánh giá khả năng thông gió cho căn hộ.

Cao Quốc Bảo (2019) đã sử dụng phương pháp CFD để nghiên cứu, tính toán và mô phỏng dòng lưu chất trong phòng phẫu thuật. Kết quả đạt được của nghiên cứu cho thấy phương pháp CFD rất phù hợp với các bài toán phân tích cấp đổi nhiệt - lưu chất trong các môi trường kín. Các tác giả trên đã nghiên cứu đánh giá mức độ thoải mái trong

không gian, sau đó cải thiện bằng cách tái thiết kế và lắp đặt hệ thống thông gió. Nhưng chưa nghiên cứu về không gian có máy lạnh.

2. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu tập trung mô phỏng trường nhiệt độ, trường vận tốc dòng không khí trong không gian văn phòng được mô tả như Hình 2. Các nguồn nhiệt trong mô hình bao gồm bức xạ nhiệt tại các vách có cửa sổ, nhiệt độ tỏa ra từ cơ thể người, máy tính trong văn phòng. Trong không gian văn phòng có bố trí 1 máy điều hòa không khí (return vent).



Hình 1. Mô hình tính toán

3. Kết quả nghiên cứu

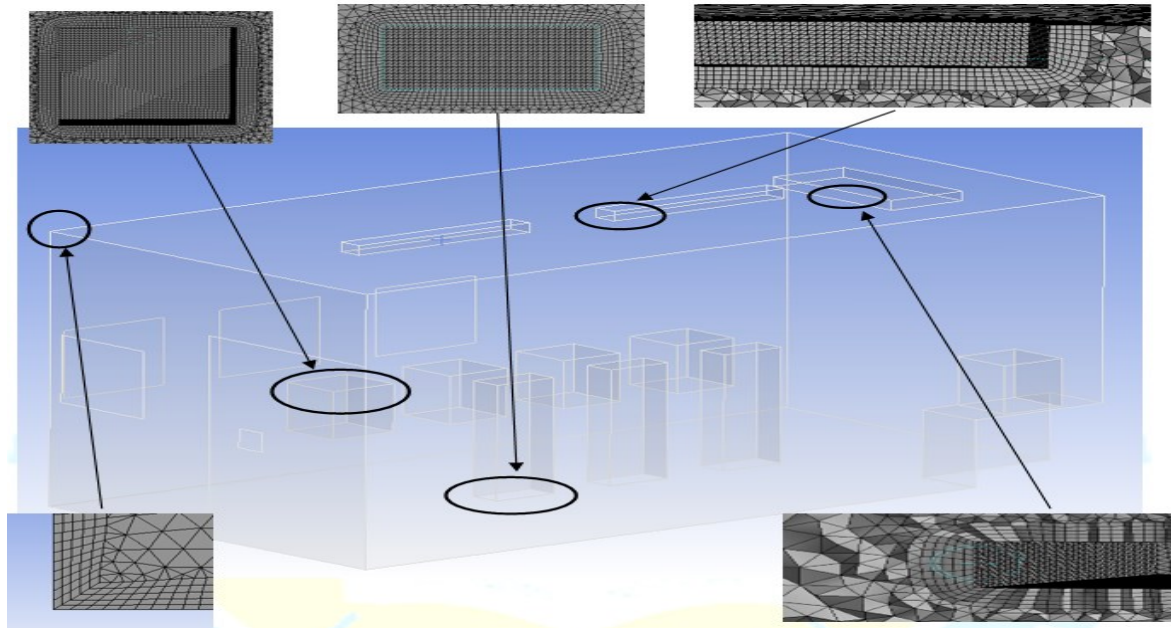
3.1. Bài toán 1

Bài toán được thực hiện dựa trên mô hình thí nghiệm “Evaluation of thermal

environment by coupling CFD analysis and wireless sensor measurements of a full-scale room with cooling system” của nhóm nghiên cứu Xiaofang Shan, Wei Xu, Yi-Kuen Lee, Wei-Zhen Lu [8]. Bài toán mô phỏng văn

phòng làm việc với các nguồn nhiệt từ máy tính, con người, đèn,... Bài toán sử dụng mô hình cháy rối RNG k-ε [7]. Mô hình thể tích hữu hạn của bài toán được mô hình bằng ba

loại phần tử Tetrahedral 10 nút, Wedge 15 nút và Pyramidal 13 nút như Hình 3. Điều kiện biên của bài toán được trình bày trong Bảng 1.



Hình 3. Mô hình thể tích hữu hạn

Bảng 1. Thông số điều kiện biên

Thành phần	Loại điều kiện biên	Thông số
Inlet	Inlet	0.3 m ³ /s
Return Vent	Outlet	0 Pa
Exhaust Vent	Opening	0 Pa; 33 °C
Window	Wall	20 W/m ²
Door	Wall	20 W/m ²
External wall	Wall	20 W/m ²
Internal walls	Wall	10 W/m ²
Computers	Wall	100 W/each
Humans	Wall	75 W/person
Lamps	Wall	35W/each

Giá trị vận tốc và nhiệt độ dòng không khí lạnh được đo tại một số vị trí có độ cao cụ thể được trình bày trong Bảng 2 và 3. Các kết quả đo được từ mô phỏng cũng được so sánh với kết quả thí nghiệm trong bài báo [8].

Kết quả về vận tốc dòng không khí lạnh có sự sai khác tương đối so với kết quả thí nghiệm, đặc biệt là tại các vị trí ở độ cao thấp nhất và cao nhất. Kết quả về nhiệt độ dòng không khí lạnh tại các điểm đo rất sát với kết quả thí nghiệm.

Bảng 2. Kết quả vận tốc mô phỏng và thực nghiệm của dòng không khí lạnh trong văn phòng

Số thứ tự	Vị trí	Độ cao (m)	Vận tốc mô phỏng (m/s)	Vận tốc thí nghiệm (m/s)	Sai số
1	A	0.05	0.6586	0.61	7.97%
2	A	1	0.1502	0.14	7.29%
3	A	2	0.2011	0.18	11.72%
4	A	2.5	0.2441	0.2	22.05%
5	B	0.05	0.1006	0.08	25.75%
6	B	1	0.0205	0.02	2.50%
7	B	2	0.2502	0.28	10.64%
8	B	2.5	0.3018	0.31	2.65%

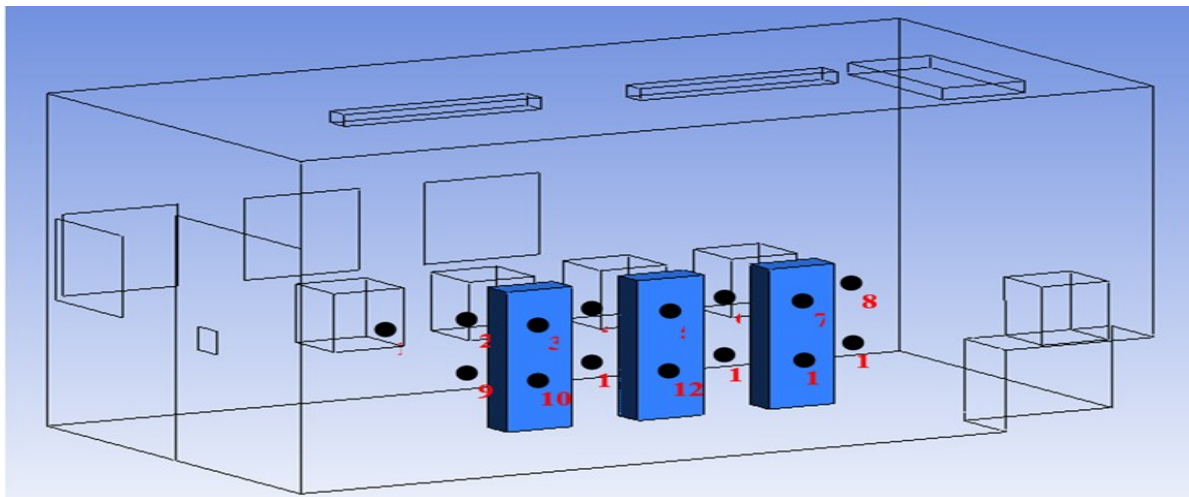
9	C	2	0.3256	0.35	6.97%
10	C	2.5	0.1331	0.12	10.92%
11	D	0.05	0.0833	0.1	16.70%
12	D	1	0.2281	0.21	8.62%
13	D	2	0.6406	0.58	10.45%
14	D	2.5	0.9639	1.02	5.50%

Bảng 3. So sánh kết quả nhiệt độ mô phỏng và thực nghiệm

Số thứ tự	Vị trí	Độ cao (m)	Nhiệt độ mô phỏng (K)	Nhiệt độ thí nghiệm (K)	Sai số
1	A	0.05	295.863	295.2	0.22%
2	A	1	296.231	295.8	0.15%
3	A	2	296.1	295.9	0.07%
4	A	2.5	296.149	296.1	0.02%
5	B	0.05	297.778	297.5	0.09%
6	B	1	298.182	298	0.06%
7	B	2	297.954	296.9	0.36%
8	B	2.5	296.455	296	0.15%
9	C	2	297.195	297.1	0.03%
10	C	2.5	296.813	296.2	0.21%
11	D	0.05	297.503	297.2	0.10%
12	D	1	298.431	298	0.14%
13	D	2	295.813	295.6	0.07%
14	D	2.5	294.998	293.8	0.41%

Để đánh giá mức độ thoải mái của con người trong không gian văn phòng, nhóm nghiên cứu tiến hành khảo sát vận tốc và nhiệt độ tại 15 điểm bất kỳ xung quanh vị trí

người ngồi như Hình 4. Nhiệt độ trung bình phòng $T_a = 297,599 \text{ }^\circ\text{K}$.



Hình 4. Tọa độ các điểm xung quanh người ngồi

Lấy các kết quả về vận tốc và nhiệt độ tại 15 điểm mẫu trên. Sau đó tiến hành tính toán chỉ số EDT và đánh giá kết quả và so sánh với tiêu chuẩn về sự thoải mái trong phòng:

$$\begin{cases} \text{Vận tốc} \leq 0.35 \text{ m/s} \\ -1,7\text{K} \leq \theta \text{ (EDT)} \leq 1,1\text{K} \end{cases}$$

Kết quả chỉ số APDI:

Dựa vào Bảng 4, ta thu được 5 điểm được chọn ngẫu nhiên (3,4,5,10,11) không đạt được giá trị về độ thoải mái. Chỉ số ADPI là 66,67% bé hơn tiêu chuẩn là 80%, nên mô hình chưa đạt chất lượng về sự thoải mái. Các điểm không đạt tiêu chuẩn thoải mái hầu hết là do vận tốc lớn hơn 0,35 m/s.

Bảng 4. Kết quả vận tốc, nhiệt độ và chỉ số EDT tại các điểm lấy mẫu

Điểm	Nhiệt độ (K)	Vận tốc	θ (EDT)	Đánh giá
1	297.115	0.1054	-0.1272	Đạt
2	297.349	0.0374	0.6508	Đạt
3	296.195	0.5648	-4.7224	Không đạt
4	295.489	0.5353	-5.1924	Không đạt
5	295.266	1.0471	-9.5098	Không đạt
6	297.248	0.1607	-0.4366	Đạt
7	296.776	0.2179	-1.3662	Đạt
8	296.644	0.0735	-0.343	Đạt
9	296.929	0.1985	-1.058	Đạt
10	295.588	0.6811	-6.2598	Không đạt
11	295.682	0.4978	-4.6994	Không đạt
12	296.512	0.0709	-0.4542	Đạt
13	296.813	0.2169	-1.3212	Đạt
14	296.429	0.1747	-1.3676	Đạt
15	296.709	0.1781	-1.1148	Đạt

3.2. Bài toán 2

Từ bài toán 1 ta nhận thấy tốc độ gió là yếu tố chủ yếu ảnh hưởng đến chỉ số EDT, bài toán 2 sẽ được thiết lập dựa trên mô hình bài toán 1. Thiết lập bài toán trên phần mềm Ansys CFX tương tự bài toán 1. Được thực hiện theo ba trường hợp khác nhau về thông số đầu vào của máy lạnh (vận tốc, nhiệt độ), cụ thể sẽ giảm vận tốc ở miệng thổi. Từ đó

đánh giá mức độ thoải mái của môi trường bên trong từng trường hợp.

Ngoài ra, dựa vào vận tốc trung bình của lỗ thoát khí để tính ra chỉ số ACH, đánh giá theo tiêu chuẩn ASHRAE 62-2001 [3]. Điều kiện biên được thiết lập tương tự bài toán 1, chỉ thay đổi đầu thổi ra của máy lạnh (Inlet) theo 3 trường hợp như Bảng 5.

Bảng 5. Ba trường hợp điều kiện biên Inlet của bài toán 2

	Trường hợp 1	Trường hợp 2	Trường hợp 3
Vận tốc (m/s)	2.38	2.48	2.57
Nhiệt độ ($^{\circ}$ C)	16.5	16.5	16.5

Nhóm cũng khảo sát vận tốc và nhiệt độ tại 15 điểm có tọa độ tương tự bài toán 1 để

tính toán chỉ số EDT tại các điểm này. Nhiệt độ trung bình phòng $T_a = 297,599$ °K.

Bảng 6. Kết quả đánh giá APDI của ba trường hợp

	Trường hợp 1	Trường hợp 2	Trường hợp 3
APDI (%)	53.33	86.67	60
Đánh giá	Không đạt	Đạt	Không đạt

Kết quả ADPI của trường hợp 2 là cao nhất (86,67%) và trường hợp 1 là thấp nhất (53,33%). Trong ba trường hợp chỉ có trường hợp 2 là đạt.

Từ hình ảnh kết quả của ba trường hợp, tác giả nhận thấy khi tăng vận tốc đầu ra của

bộ cấp khí sẽ làm cho vận tốc lưu thông trong phòng cao (vượt qua 0,35 m/s), nhiệt độ sẽ được phân bố đều hơn, ít có sự chênh lệch với nhiệt độ trung bình phòng và ngược lại khi giảm vận tốc.

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã ứng dụng thành công chương trình ANSYS CFX trong việc mô phỏng hướng chuyển động, vận tốc, phân bố nhiệt độ của dòng khí bên trong môi trường văn phòng có lắp đặt máy lạnh. Kết quả thu được khá tin cậy vì phần mô phỏng có so sánh với kết quả thực nghiệm được đăng trong bài báo quốc tế.

Nếu có điều kiện, nhóm nghiên cứu sẽ tiếp tục tính toán thêm nhiều trường hợp để tìm ra được khoảng thông số của bộ cung cấp khí phù hợp với mô hình theo đánh giá chỉ số ADPI và tiêu chuẩn ASHRAE về số lần trao đổi khí với môi trường bên ngoài. Đồng thời về chỉ số ADPI sẽ tiến hành lấy nhiều điểm ngẫu nhiên hơn để đưa ra kết quả càng cụ thể, tiệm cận nhất với thực tế. Có thể sẽ xét thêm về độ ẩm không khí và áp suất ảnh hưởng đến sự thoải mái.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Cao Quốc Bảo (2019). *Khảo sát, đánh giá mức độ thoải mái của môi trường phòng phẫu thuật bằng Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh.
- [2] Nguyễn Anh Tuấn (2019). *Ứng dụng phần mềm CFD tính toán thông gió tự nhiên trong chung cư cao tầng*. Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh.
- [3] ASHRAE Standard 62 (2001). *Ventilation for acceptable indoor air quality*.
- [4] Chen, Z. Z. Z. J. Z. Y. (2007). Evaluation of Various Turbulence Models in Predicting Airflow and Turbulence in Enclosed Environments by CFD: Part 2—Comparison with Experimental Data from Literature. *HVAC&R RESEARCH*, pp. 14-15.
- [5] Julien Waeytens, S. (2018, October 15), Computer-aided placement of air quality sensors using adjoint framework and sensor features to localize indoor source emission. *Building and Environment*, vol. 144, pp. 184-193.
- [6] Sekhar K. W. T. D. S. C. (2002, March). Ventilation characteristics of an air-conditioned office building in Singapore. *Building and Environment*, vol. 37, no. 3, pp. 241-255.
- [7] V. O. S. T. S. G. T. & Yakhot, S. C. (1992). Development of turbulence models for shear flows by a double expansion technique. *Physics of Fluids A*, vol. 4, no. 7, pp. 1510-1520.
- [8] Xiaofang Shana, Wei Xub, Yi-Kuen Leeb & Wei-Zhen Lua (2019). Evaluation of thermal environment by coupling CFD analysis and wireless sensor measurements of a full-scale room with cooling system. *Sustainable Cities and Society* 45, pp. 395-405.

Ngày nhận bài: 20/3/2024

Ngày phản biện: 30/8/2024

Ngày duyệt đăng: 25/9/2024