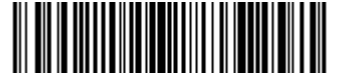




(12) **BẢN MÔ TẢ GIẢI PHÁP HỮU ÍCH THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN
GIẢI PHÁP HỮU ÍCH**

(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ**

(11)



2-0003375

(51) **F24J 3/08**
2006.01

(13) **Y**

(21) 2-2021-00537

(22) 08/12/2021

(45) 25/10/2023 427

(43) 25/02/2022 407

(73) Khoa Các khoa học liên ngành, Đại học Quốc gia Hà Nội (ĐKQGHN) (VN)
Nhà G7, 144 Xuân Thủy, Dịch Vọng Hậu, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

(72) Hoàng Văn Hiệp (VN); Vũ Văn Tích (VN); Trần Quốc Cường (VN); Đoàn Văn
Tuyến (VN).

(54) QUY TRÌNH TÍNH TOÁN VÀ LẮP ĐẶT HỆ THỐNG ĐIỀU HOÀ KHÔNG KHÍ TIẾT
KIỆM ĐIỆN SỬ DỤNG BƠM NHIỆT ĐẤT

(57) Giải pháp hữu ích đề xuất đến giải pháp công nghệ quy trình tính toán và lắp đặt hệ thống điều hòa không khí tiết kiệm điện sử dụng năng lượng tái tạo địa nhiệt hay địa nhiệt tầng nông từ bơm nhiệt đất. Giải pháp đề xuất hướng đi mới trong việc khai thác, sử dụng hệ thống điều hòa không khí thân thiện với môi trường góp phần giảm thiểu tác động đến biến đổi khí hậu (tiết kiệm lượng điện năng tiêu thụ), giảm phát thải Carbon (2.394,08 kg CO₂/năm cho hệ thống công suất đáp ứng diện tích 42m²), tiết kiệm kinh phí - chi phí vận hành và có tuổi thọ cao (khoảng 25 năm thay vì 5-7 năm như hệ thống điều hòa không khí thông thường). Giải pháp thử nghiệm tại Hà Nội xác định được lòng đất ở độ sâu > 5m luôn có nhiệt độ ổn định 24-26 °C. Đồng thời, qua đánh giá hệ thống mẫu, giải pháp đưa ra được kết quả hiệu suất năng lượng COP4 (tính với tổng công suất điện tiêu thụ của máy nén trong bơm nhiệt, bơm trong, bơm ngoài và bơm giếng - với vòng hồ) có thể đạt >3,5, cho khả năng tiết kiệm năng lượng 20% tương đương mức trung bình đang áp dụng ở vùng nóng ẩm của Mỹ (5,7-34,6%). Giải pháp công nghệ được đánh giá hiệu quả, phù hợp, có thể ứng dụng triển khai lắp đặt rộng rãi.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Giải pháp hữu ích đề cập đến quy trình tính toán và lắp đặt hệ thống điều hoà không khí tiết kiệm điện sử dụng năng lượng tái tạo địa nhiệt (địa nhiệt tầng nông) từ bơm nhiệt đất. Đây là một loại hình khai thác nhiệt năng trực tiếp từ nhiệt lòng đất phục vụ điều hoà không khí tại các công trình nhà ở, các toà nhà cao tầng, cơ quan hành chính công, v.v.. Hệ thống này có thể khai thác nhiệt lòng đất phục vụ sưởi ấm vào mùa đông, làm mát vào mùa hè góp phần giảm lượng điện năng tiêu thụ, không phát thải các khí nhà kính như điều hoà không khí thông thường (sử dụng khí gas cho mục đích sưởi ấm và làm mát), giảm thiểu các tác động tiêu cực đến biến đổi khí hậu.

Tình trạng kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Sự phát triển kinh tế thế giới kéo theo nhu cầu sử dụng năng lượng ngày càng gia tăng. Các nguồn năng lượng vì thế ngày càng được khai thác và sử dụng nhiều, đặc biệt là các loại nhiên liệu hóa thạch: than đá, dầu mỏ, khí thiên nhiên. Tình trạng gia tăng khai thác và sử dụng các nguồn năng lượng hóa thạch nói trên đang gây ra nguy cơ cạn kiệt nhiên liệu, gây ô nhiễm môi trường; và tạo ra rất nhiều thách thức lớn với loài người. Thách thức đầu tiên phải kể đến là biến đổi khí hậu toàn cầu đang diễn ra ngày một nghiêm trọng, được đánh giá là một trong những thách thức lớn nhất đối với nhân loại trong thế kỷ 21. Biến đổi khí hậu đã và đang tạo ra các tác động bất lợi đến tài nguyên thiên nhiên, điều kiện môi trường sống và các ngành kinh tế, đồng thời cũng tác động tiêu cực ngược lại với ngành kinh tế có khai thác và sử dụng năng lượng.

Việc gia tăng mức độ sử dụng năng lượng hóa thạch (than, dầu, khí đốt) luôn kèm theo nguy cơ gây ô nhiễm môi trường và góp phần làm suy giảm chất lượng môi trường toàn cầu do sự phát thải các khí nhà kính như CO_2 , CH_4 , N_2O , v.v., vào Khí quyển ngày càng nhiều; từ đó làm gia tăng hiệu ứng nhà kính, gây ra hiện tượng nóng lên của trái đất hoặc thủng tầng ozon. Hiện nay các nhà khoa học đang chú ý nhiều đến các nguồn năng lượng tái tạo trong đó có năng lượng địa nhiệt. Năng lượng địa Nhiệt (Geothermal energy)

là nguồn nhiệt năng có sẵn trong lòng đất. Nguồn năng lượng nhiệt này thông thường tập trung ở khoảng vài kilomet dưới bề mặt trái đất (phần trên cùng của vỏ trái đất). Nguồn nhiệt lượng liên tục từ lòng đất này được ước đoán tương đương với với một khoảng năng lượng cỡ 42 triệu MW. Ở hầu hết các lục địa, gradient nhiệt trung bình là 2,5-3°C/100m, nên ở độ sâu 4 km luôn có nhiệt độ trên 100°C, có thể khai thác được bằng kỹ thuật công nghệ hiện có theo hướng khai thác trực tiếp hoặc gián tiếp. Đối với các định hướng sử dụng trực tiếp hiện nay, năng lượng địa nhiệt được khai thác cho bơm nhiệt (Ground source heat pump) trong các hệ thống điều hoà không khí phục vụ mục đích sưởi ấm về mùa đông, làm mát về mùa hè cho các công trình nhà ở, các toà nhà cao tầng, cơ quan hành chính, v.v.. Khai thác năng lượng địa nhiệt từ bơm nhiệt đất sử dụng cho điều hoà không khí là phương pháp tối ưu không phát thải các khí nhà kính, gây biến đổi khí hậu.

Việc khai thác, sử dụng năng lượng địa nhiệt cho điều hoà không khí từ bơm nhiệt đất hiện nay đang được thực hiện phổ biến trên thế giới. Một số giải pháp hữu ích, sáng chế liên quan đến vấn đề này nổi bật phải kể đến sáng chế số KR101041745B1 được thực hiện bởi nhóm tác giả Kim Do-Gyu, Park Hyung-Joon, Yoo Hae-Seong. Sáng chế này được thực hiện với mục đích kết hợp giữa năng lượng mặt trời và nguồn nhiệt từ hệ thống bơm nhiệt được kiểm soát từ xa. Trong thời gian mùa hè hoặc mùa thu, hệ thống sử dụng nhiệt lòng đất để làm mát thông qua điện năng thu từ hệ thống pin mặt trời. Tại mùa đông, để đảm bảo có nước nóng, pin mặt trời đóng vai trò cung cấp điện năng để tăng nhiệt nước (thậm chí đun sôi) trong hệ thống ống chìm dưới mặt đất để phục vụ sưởi ấm hoặc tắm. Ngoài ra, có thể kể đến sáng chế số US20110162821A1 của tác giả Dennis G.Manzer. Tác giả đã sử dụng nhiệt từ nước dưới đất để làm mát pin mặt trời và các phần tử tạo nhiệt của hệ thống phát điện căn cứ nhiệt lòng đất.

Ở Việt Nam hiện nay mới chỉ có những nghiên cứu về năng lượng địa nhiệt và nghiên cứu lý thuyết về bơm nhiệt. Các nghiên cứu đó hoàn toàn độc lập và chưa có nghiên cứu nào kết hợp sử dụng bơm nhiệt và nguồn năng lượng địa nhiệt để phục vụ khai thác và sử dụng cho điều hoà không khí. Việc khai thác, sử dụng nhiệt lòng đất cho điều hoà không khí này tại Việt Nam còn phụ thuộc vào đặc điểm nguồn nhiệt đất, khí hậu và công nghệ sử dụng cho khu vực. Điều này đòi hỏi phải có nghiên cứu, chạy thử nghiệm và đánh giá hiệu quả khai thác trong quá trình vận hành thử tại nước ta hiện nay.

Bản chất kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Mục đích của giải pháp hữu ích nhằm hoàn thiện quy trình tính toán và lắp đặt hệ thống điều hoà không khí tiết kiệm điện sử dụng năng lượng tái tạo địa nhiệt với các mục tiêu sau:

(1) Xác định các yếu tố, thông số cần thiết cho việc triển khai tính toán, thiết kế lắp đặt hệ thống điều hoà không khí sử dụng nhiệt đất cho mục đích làm mát, sưởi ấm.

(2) Xây dựng quy trình tính toán và lắp đặt hệ thống điều hoà không khí tiết kiệm điện sử dụng năng lượng tái tạo địa nhiệt.

Để đạt được mục đích nêu trên, giải pháp hữu ích tiến hành thực hiện theo các bước như sau:

- Xác định các yếu tố, thông số điều kiện gắn với khu vực dự kiến lắp đặt hệ thống điều hoà sử dụng bơm nhiệt đất phục vụ xây dựng cơ sở cho tính toán, thiết kế hệ thống với quy mô phù hợp (nhiệt độ lòng đất, điều kiện khí hậu, độ dẫn nhiệt...);

- Xây dựng quy trình tính toán và lắp đặt hệ thống điều hoà địa nhiệt tầng nông áp dụng cho khu vực dự kiến lắp đặt phù hợp;

- Tiến hành lắp đặt - chạy thử nghiệm hệ thống bơm nhiệt đất điều hoà không khí nhằm đánh giá khả năng làm việc trực tiếp của bơm nhiệt theo mùa (hè, đông), đánh giá độ ổn định căn cứ theo các yếu tố nền địa chất-địa nhiệt, thời tiết và các hiệu quả năng lượng-kinh tế thu lại được từ hệ thống thử nghiệm từ quy trình nêu trên.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình vẽ thể hiện sự phân bố độ dẫn nhiệt ($W/m.K$) ở khu vực Hà Nội cho hai thành tạo: a-đất đá tuổi Đệ Tứ, b-đất đá tuổi Neogen

Hình 2 là hình vẽ thể hiện đặc trưng biến thiên trong năm của nhiệt độ không khí, nhiệt độ dưới mặt đất và nhiệt độ “lớp trung hòa nhiệt” ở Hà Nội, bao gồm: $T_{\text{dat}}(2m)$ (Nhiệt độ dưới mặt đất ở độ sâu 2 m); T_{kk} (Nhiệt độ không khí); $T_{\text{dat}}(30m)$ (Nhiệt độ ở độ sâu 30 m)

Hình 3 là hình vẽ thể hiện quy trình kiểm tra độ nhạy, hiệu quả của phương pháp khai thác nhiệt đất của hệ thống điều hoà bơm nhiệt đất

Hình 4 là không gian mô hình thử nghiệm bơm nhiệt đất điều hoà không khí

Hình 5 là sơ đồ hệ thống điều hoà không khí sử dụng bơm nhiệt đất tầng nông vòng hở và theo dõi nhiệt độ trên máy tính

Mô tả chi tiết giải pháp hữu ích

Giải pháp công nghệ theo giải pháp hữu ích tiến hành trình tự như sau:

(1)- Xác định các yếu tố, thông số điều kiện gắn với khu vực dự kiến lắp đặt hệ thống điều hoà sử dụng bơm nhiệt đất phục vụ xây dựng cơ sở cho tính toán, thiết kế hệ thống với quy mô phù hợp:

+ Đo độ dẫn nhiệt của các tầng đất đá khu vực dự kiến lắp đặt hệ thống để đánh giá hiệu quả dẫn nhiệt của các hệ thống trầm tích, đá, nước dưới đất khu vực.

+ Đo carota nhiệt của các tầng trầm tích, nước dưới đất tại các lỗ khoan sâu như các giếng khai thác nước của người dân, các lỗ khoan quan trắc thủy văn và môi trường, các lỗ khoan khảo sát địa chất hoặc các lỗ khoan quan trắc để điều, v.v., phục vụ đánh giá nhiệt độ dưới đất theo độ sâu. Để thực hiện được công tác này, thiết bị đo đều được đảm bảo các điều kiện tối thiểu: nhỏ gọn, điện trở lớn (nhằm cho phép sử dụng dây dẫn dài tương ứng với lỗ khoan sâu mà không ảnh hưởng lớn đến độ chính xác, trễ nhiệt), có khoảng đo nhiệt rộng (từ -60°C đến $+125^{\circ}\text{C}$, sai số $0,03^{\circ}\text{C}$).

+ Đánh giá điều kiện khí hậu gắn với biến thiên nhiệt độ khu vực dự kiến lắp đặt phục vụ lựa chọn công nghệ.

(2)- Thực hiện quy trình tính toán và lắp đặt hệ thống điều hoà không khí sử dụng bơm nhiệt đất cho khu vực dự kiến lắp đặt hệ thống theo các bước như sau:

- Bước 1: Ước tính nhiệt độ của đất khu vực lắp đặt.

Mục đích: Dùng cho việc xác định kích thước của bộ trao đổi nhiệt. Nhiệt độ của đất cũng được dùng để tính toán hao tổn nhiệt ở nền toà nhà.

Nhiệt độ liên tục của đất $T_g (^{\circ}\text{F})$ có thể được tính bằng công thức:

$$T_g(X_s, t) = \bar{T}_g - A_s \exp\left(-X_s \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right) \cos\left(\frac{2\pi}{365}\left[t - t_0 - \frac{X_s}{2} \sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}}\right]\right) \quad (1)$$

Trong đó,

- X_s : độ sâu của đất (feet),
- t : ngày của năm,
- $\bar{T}_g$: giá trị trung bình hàng năm của nhiệt độ bề mặt đất,

- A_s : biên độ dao động nhiệt độ bề mặt đất hàng năm ($T_{max}-T_{min}$),
- α : hệ số khuếch tán nhiệt của đất,
- t_o : hằng số pha được biểu diễn bằng ngày.

Từ phương trình (1), giá trị nhỏ nhất và lớn nhất của nhiệt độ đất ở bất kỳ độ sâu nào có thể biểu diễn như sau:

$$T_{g, min} = \bar{T}_g - A_s \exp\left(-X_S \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right) \quad (2)$$

$$T_g(X_S, t) = \bar{T}_g + A_s \exp\left(-X_S \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right) \quad (3)$$

- Bước 2: Tính toán tải lượng làm mát, sưởi ấm cho công trình

Phương trình tổng thể tải của tòa nhà như là một hàm của nhiệt độ không khí bên ngoài và nhiệt độ đất mà có thể được lấy bằng tổng của tất cả n thành phần tải phía trên mặt đất và m dưới mặt đất.

$$q_{tot} = \sum_{j=1}^n C_{0,j} T_0 + \sum_{j=1}^n C_{1,j} T_0 + \sum_{j=1}^n C_{0,j} T_0^2 + \sum_{k=1}^m d_{0,k} + \sum_{k=1}^m d_{1,k} T_g \quad (4)$$

Công thức (4) được rút gọn cách tính thành:

$$q_{tot} = C_0 + C_1 T_0 + c_2 T_0^2 + d_0 + d_1 T_g \quad (5)$$

Trong đó,

- q_{tot} : tải tổng thể của tòa nhà,
- T_g : nhiệt độ đất xung quanh các thành phần nền móng,
- $d_{0,k}, d_{1,k}$: hệ số đa thức xuất phát từ đặc điểm vật lý của tòa nhà cho mỗi thành phần nền móng k.
- Mỗi c_i hoặc d_i là tổng của tất cả các c_{ij} cá nhân hoặc d_{ik}

- Bước 3: Xác định đặc điểm nhiệt của nền đất khu vực lắp đặt bơm nhiệt: Độ sâu của lỗ khoan, hiệu quả khai thác nhiệt của hệ thống bơm nhiệt phụ thuộc vào đặc điểm địa chất, địa chất thủy văn khu vực lắp đặt hệ thống bơm nhiệt.

- Bước 4: Tính toán, thiết kế lỗ khoan trao đổi nhiệt và đánh giá hiệu suất truyền nhiệt của hệ thống bơm địa nhiệt.

Các lỗ khoan hoạt động tương tự như bất kỳ thiết bị trao đổi nhiệt nào. Chúng được phân tích thông qua lý thuyết trao đổi nhiệt. Hiệu suất của lỗ khoan trao đổi nhiệt bị ảnh hưởng bởi các thông số chính như: điện trở nhiệt của lỗ khoan (R_b), độ sâu của lỗ khoan (H), tốc độ dòng chảy của chất dẫn (m_w). Việc tính toán các ảnh hưởng này đến hiệu suất truyền nhiệt (ε) được biểu hiện qua công thức:

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{max}} = 1 - \exp\left(-\frac{H}{m_w c_w R_b}\right) \quad (6)$$

Trong đó,

- Q : nhiệt lượng thực tế truyền giữa lòng đất và dung dịch,
- Q_{max} : nhiệt lượng tối đa có thể được truyền nếu thiết bị trao đổi nhiệt lý tưởng (nhiệt độ đầu ra của chất lỏng bằng nhiệt độ lòng đất),

Giá trị R_b bị ảnh hưởng bởi ba yếu tố: điện trở nhiệt đối lưu giữa chất lỏng và thành ống, điện trở nhiệt dẫn truyền qua đường ống và điện trở nhiệt của các tầng đất đá xung quanh.

- Bước 5: Đưa ra được ước lượng về số lượng, độ sâu và khoảng cách của các lỗ khoan khai thác nhiệt bằng các phương pháp thiết kế truyền thống.

- Bước 6: Xây dựng tập hợp các giải pháp thay thế đơn vị bơm địa nhiệt có thể có.

Để có thể tìm ra thiết bị bơm nhiệt đất có công suất tối ưu nhất (bao gồm cả việc thiết kế các lỗ khoan hợp lý tránh lãng phí) cần có sự so sánh hiệu suất giữa các lựa chọn thay thế khác nhau.

Việc so sánh thử nghiệm này cần được thực hiện giữa ít nhất hai thiết bị có công suất danh định khác nhau, được chọn theo cách sau ví dụ: công suất của thiết bị thứ nhất phải dựa trên nhu cầu điện năng trung bình hàng tháng lớn nhất giữa các tháng khi thiết kế để sưởi ấm hoặc/và làm mát. Công suất của tổ máy thứ hai phải phù hợp với nhu cầu điện năng trung bình theo mùa lớn nhất giữa toàn bộ thời gian sưởi ấm và làm mát.

- Bước 7: Tạo bộ máy phát điện dự phòng: Công suất của máy phát điện nằm trong khoảng từ tải làm mát/sưởi ấm cao nhất theo yêu cầu của toà nhà và công suất sưởi ấm/làm mát của thiết bị bơm nhiệt đất.

- Bước 8: Kiểm tra độ nhạy, hiệu quả của phương pháp khai thác nhiệt đất của hệ thống điều hoà bơm nhiệt đất.

Trong giai đoạn này, các công việc được thực hiện theo trình tự sau:

1. Chọn đơn vị bơm nhiệt nổi đất, máy phát điện và số lượng lỗ khoan-loại lỗ khoan khai thác nhiệt.

2. Đưa ra phỏng đoán ban đầu cho: tốc độ dòng chảy vòng nổi đất, độ sâu và khoảng cách của các lỗ khoan khai thác nhiệt; giá trị đề xuất là:

- Tốc độ dòng chảy của chất dẫn (m_w) phải đảm bảo dòng chảy hỗn loạn ($Re_D \geq 6000$) trong các lỗ khoan;
- Độ sâu của mỗi lỗ khoan (H) được cho phép tối đa dựa theo mức độ kinh phí và khả năng tác động xấu đến môi trường. Các lỗ khoan điển hình trong độ sâu tối đa khoảng 80-120m tùy theo đặc điểm địa chất, địa chất thủy văn khu vực khai thác nhiệt;
- Khoảng cách giữa các lỗ khoan khai thác nhiệt (Z) thông thường khoảng 6-8 m.

3. Bắt đầu đánh giá và áp dụng quy trình tối ưu hóa, xác định chuỗi các hệ số tải trọng nhiệt tòa nhà cho sưởi ấm (heating) (f_H) và hệ số tải trọng nhiệt tòa nhà cho làm mát (cooling) (f_C) tối ưu khi cố định với giá trị hiện tại của độ sâu của lỗ khoan đơn lẻ (H) và tốc độ dòng chảy của chất dẫn (m_w), trong đó, công thức xác định f_H và f_C được xác định như sau:

$$f_H = \left(\frac{Q_E}{Q_I} \right) \left(\frac{\langle COP \rangle}{\langle COP \rangle - 1} \right); \quad f_C = \left(\frac{Q_C}{Q_I} \right) \left(\frac{\langle EER \rangle}{\langle EER \rangle + 1} \right);$$

Trong đó:

- Q_E : Năng lượng nhiệt bay hơi.
- Q_I : Năng lượng nhiệt của tải nhiệt tòa nhà.
- Q_C : Năng lượng nhiệt của thiết bị điện.
- COP: Hệ số hiệu suất (làm mát/sưởi ấm) của hệ thống.
- EER: Tỷ lệ hiệu quả năng lượng (là tỷ lệ giữa năng lượng làm mát đầu ra (*tính bằng BTU*) với năng lượng điện đầu vào (*tính bằng watt*) tại một điểm vận hành nhất định).

4. Tiến hành giai đoạn thứ hai của quy trình tối ưu hóa, xác định các giá trị tối ưu của H , Z và m_w , giả sử kết quả của bước này coi là điểm (c) là điểm kiểm soát (xem hình 3), điểm (d) là kết quả cho ra giá trị so sánh sai (khi các tiêu chí không thỏa mãn);

5. Lặp lại giữa các điểm (c) và (d), cho đến khi một tiêu chí hội tụ được thỏa mãn. Quy trình này được thể hiện tổng thể theo sơ đồ hình 3.

(3)- Tiến hành lắp đặt - chạy thử nghiệm hệ thống bơm nhiệt đất điều hoà không khí nhằm đánh giá khả năng làm việc trực tiếp của bơm nhiệt theo mùa (hè, đông), đánh giá độ ổn định căn cứ theo các yếu tố nền địa chất-địa nhiệt, thời tiết và các hiệu quả năng lượng-kinh tế thu lại được từ hệ thống thử nghiệm. Hệ thống bắt đầu từ Phần (I)-Vòng tuần hoàn dưới đất bao gồm 01 bơm nước B1 và hai giếng cấp (G1) và giếng xả (G2). Về mùa hè, nhiệt độ nước từ giếng cấp sẽ nhỏ hơn nhiệt độ mong muốn điều biến và nhiệt độ của giếng xả; điều này ngược lại vào mùa đông (nhiệt độ giếng cấp cao hơn so với nhiệt độ mong muốn điều biến và nhiệt độ của giếng xả). Nước sau khi hút từ giếng cấp (G1) sẽ đi qua Phần (II)-Vòng tuần hoàn trung gian bao gồm giàn trao đổi nhiệt trung gian (HE), bơm nước (B2). Tại đây, nhiệt độ của nước sẽ được xác định thông qua đầu đo nhiệt độ T1 trước khi chuyển qua bơm nhiệt chính. Thông tin nhiệt độ xác định tại đầu đo T1 sẽ được chuyển về máy tính được cài đặt sẵn phần mềm tại Phần (III)-Phòng điều hành thông qua Bộ thu và truyền số liệu nhiệt độ từ các đầu đo nhiệt đến máy tính (SL). Nhiệt từ nước tại bơm nhiệt sẽ được xác định lại một lần thông qua đầu đo nhiệt T4 và đẩy vào Phần (IV)-Vòng tuần hoàn trong nhà từ bơm nhiệt B3 đẩy qua dàn quạt FCU tại phòng điều hoà không khí. Không khí đồng thời cũng được luân chuyển ngược lại bơm nhiệt từ phòng điều hoà để đảm bảo vận hành quá trình điều biến nhiệt. Tại bơm nhiệt, nhiệt thải đầu ra tiếp tục được truyền vào nước đã được trao đổi nhiệt từ nguồn cấp và xả về giếng xả. Tại nguồn cấp (hệ thống nước dưới đất, nước xả hoà với nước nguồn và chuyển về trạng thái nhiệt độ ổn định như nước cấp ban đầu. Nhiệt độ nước tuần hoàn tại các đầu đo T1, T2, T3, T4, T5, T6, đầu đo nhiệt độ không khí trong phòng T7, và đầu đo nhiệt độ ngoài trời T9 đều được hiển thị tại màn hình theo dõi nhiệt độ DK hoặc truyền về máy tính hiển thị diễn biến nhiệt độ và lưu trữ số liệu PC tại Phòng điều hành (Hình 5).

Sơ đồ hình 4 mô tả thực tế hệ thống điều hoà địa nhiệt tầng nông sử dụng bơm

nhệt đất để điều hoà không khí được triển khai lắp đặt bao gồm 3 phần chính: (1) khu bố trí lỗ khoan đặt dàn đất (giếng cấp, giếng xả) vòng ngoài và các lỗ khoan quan trắc nhiệt độ dưới đất là nền đất trồng cỏ; (2) khu đặt bơm nhiệt, máy bơm tuần hoàn và thiết bị; (3) không gian điều hòa là phòng họp 18 tại tầng 2 phía trên gian đặt bơm nhiệt, có diện tích 42 m², thể tích 147 m³, kích thước dài x rộng x cao = 7,0 m x 6,6 m x 3,5 m. Một số chi tiết thông tin các hợp phần của hệ thống thực tế cụ thể như sau:

- Hệ thống giếng xả, giếng cấp được tạo từ hệ thống ống có kích cỡ Ø25mm, vật liệu inox, đặt trong giếng khoan Ø300mm tới độ sâu 30 m.

- Bơm nhiệt sử dụng là chiller hai chiều mini kiểu GHP07B với các thông số kỹ thuật: Bơm nhiệt công suất 1,68 kW sử dụng môi chất lạnh R410A, lượng nạp 1,35 kg, áp suất làm việc tối đa 4,2 MPa, dàn bay hơi và ngưng tụ đều là loại trao đổi nhiệt tấm bản, đường nối nước phía trong nhà và ngoài nhà đều là G1 (1 inch). Ở chế độ sưởi: nhiệt độ thiết kế nước ra 50°C, nước trở về 45°C, COP = 4,19, lưu lượng nước nóng (phía trong nhà) 1,2 m³/h, phía ngoài nhà 1,53 m³/h. Ở chế độ làm lạnh: nhiệt độ thiết kế nước ra 7°C, nước trở về 12°C, COP = 4,49, lưu lượng nước lạnh (phía trong nhà) 1,32 m³/h và phía ngoài nhà 1,61 m³/h. Điện nguồn 1 pha, 50 Hz, độ ồn 49 dB(A), nguồn điện dùng trực tiếp với lưới điện cho sinh hoạt có sẵn trong nhà. Trọng lượng 80 kg.

- Máy bơm vòng ngoài (B1, B2) cho tuần hoàn nước trong dàn đất nối với dàn trao đổi nhiệt trung gian là loại Willo công suất 750 W đặt tại ban công tầng 1 cùng bơm nhiệt. Đường ống từ bơm nhiệt đến bơm nước ngoài và dàn trao đổi nhiệt dưới đất là ống kim loại.

- Vòng tuần hoàn trong nhà gồm 1 máy bơm (B3) công suất 350 W đặt tại ban công tầng 1 nối với đường ống dẫn nước tuần hoàn từ bơm nhiệt lên dàn quạt FCU gắn trần phòng điều hòa tại tầng 2. Hệ thống ống dẫn nước vòng trong là kim loại được bọc cách nhiệt. Dàn quạt FCU là loại FP-170 WA/LA kiểu gắn trên trần nhà với các thông số:

- Công suất điện đầu vào: 152 W
- Công suất trao đổi nhiệt nóng: 13.500 W
- Công suất trao đổi nhiệt lạnh: 10,0 kW;
- Tốc độ thổi gió: Cao: 1700 m³/giờ; trung bình: 1250 m³/giờ; thấp: 850 m³/giờ.
- Độ ồn: 45 dB (A)
- Kích thước ống trao đổi nhiệt: Ø 9,52 mm + lá nhôm

- Số lượng motor quạt: 02 chiếc - Kích thước đầu nối ống dẫn: ZG3/4" ống đồng đã có gien sẵn - Kích thước: 1.92m*0.53m*0.26 m
- Trọng lượng: 27 kg

Hệ quan trắc nhiệt độ của hệ thống còn có thể đo lưu lượng nước vào và nước ra, áp suất của trao đổi nhiệt tấm bản trong bơm nhiệt của hệ thống. Chế độ hiển thị và ghi lưu tập tin về nhiệt độ của hệ thống được thực hiện tự động bằng phần mềm Multi channel temperature sensor network.

Giải pháp hữu ích được xây dựng với các yếu tố khác biệt như sau:

- Lần đầu tiên xây dựng quy trình tính toán và lắp đặt hệ thống điều hoà địa nhiệt tầng nông, xác định khả năng khai thác nhiệt từ lòng đất dùng cho điều hoà không khí phục vụ sưởi ấm vào mùa đông, làm mát vào mùa hè bằng hệ thống bơm nhiệt từ lòng đất. Giải pháp đưa đến hướng đi mới trong việc khai thác, sử dụng hệ thống điều hoà không khí thân thiện với môi trường góp phần giảm thiểu tác động đến biến đổi khí hậu (tiết kiệm lượng điện năng tiêu thụ), giảm phát thải Carbon, tiết kiệm kinh phí - chi phí vận hành và có tuổi thọ cao (khoảng 25 năm thay vì 5-7 năm như hệ thống điều hoà không khí thông thường).

Lần đầu tiên tiến hành nghiên cứu, bước đầu xác định hiệu quả của hệ thống điều hoà địa nhiệt tầng nông theo nguyên lý hệ thống nước-nước vòng hở khai thác nhiệt lòng đất từ các bơm nhiệt. Bước đầu, giải pháp xác định được lòng đất ở độ sâu > 5m luôn có nhiệt độ ổn định 24-26 °C. Đồng thời, qua đánh giá hệ thống mẫu, giải pháp đưa ra được kết quả hiệu suất năng ượng COP4 (tính với tổng công suất điện tiêu thụ của máy nén trong bơm nhiệt, bơm trong, bơm ngoài và bơm giếng - với vòng hở) có thể đạt >3,5, cho khả năng tiết kiệm năng lượng 20% tương đương mức trung bình đang áp dụng ở vùng nóng ẩm của Mỹ (5,7-34,6%).

Ví dụ thực hiện giải pháp hữu ích

Dưới đây là ví dụ minh hoạ nhằm làm sáng tỏ bản chất của giải pháp hữu ích, phạm vi của giải pháp hữu ích không bị hạn chế bởi ví dụ cụ thể này:

Ví dụ 1: Hệ thống điều hoà không khí sử dụng bơm nhiệt đất khai thác nhiệt lòng đất nhằm sưởi ấm vào mùa đông, làm mát vào mùa hè.

Mô hình thử nghiệm của ví dụ này là triển khai cho phòng họp diện tích 42m^2 có công suất định danh tiêu thụ là 3.300 W/h tại Hà Nội. Có 02 hệ thống điều hoà để đối chứng là hệ thống máy LG có công suất định danh tiêu thụ là 5.540 W/h . Yêu cầu nhiệt độ phòng đạt 25°C .

- Kết quả đánh giá điều kiện khí hậu gắn với biến thiên nhiệt độ khu vực Hà Nội phục vụ lựa chọn công nghệ:

+ Hà Nội thuộc vùng có khí hậu nhiệt đới gió mùa với hai mùa chủ yếu trong năm là mùa mưa - nóng và mùa khô - lạnh đặc trưng cho khí hậu đồng bằng và trung du Bắc Bộ. Hà Nội quanh năm tiếp nhận được lượng bức xạ mặt trời rất dồi dào và có nhiệt độ cao. Tổng bức xạ trung bình hàng năm ở Hà Nội là $122,8\text{ kcal/cm}^2$ với 1641 giờ nắng và nhiệt độ không khí trung bình hàng năm là $23,6^\circ\text{C}$, cao nhất là tháng 6 ($29,8^\circ\text{C}$), thấp nhất là tháng 1 ($17,2^\circ\text{C}$). Hà Nội có độ ẩm và lượng mưa khá lớn. Độ ẩm tương đối trung bình hàng năm là 79%. Lượng mưa trung bình hàng năm là 1.800mm và mỗi năm có khoảng 114 ngày mưa.

+ Đặc điểm khí hậu Hà Nội: từ tháng 5 đến tháng 9 là mùa nóng và mưa, nhiệt độ trung bình $29,2^\circ\text{C}$. Từ tháng 11 đến tháng 3 năm sau là mùa đông, thời tiết khô ráo, nhiệt độ trung bình $15,2^\circ\text{C}$. Giữa hai mùa đó lại có hai thời kỳ chuyển tiếp (tháng 4 và tháng 10).

+ Khu vực Hà Nội có độ ẩm cao: trung bình 79% và cao nhất tới 99%. Độ ẩm cao làm cho nhiệt độ không khí cũng như nhiệt độ đất có sự lan truyền và cân bằng nhanh trong không gian, nên nhiệt độ không khí ngoài trời, trong nhà, trong bóng râm có sự chênh lệch rất ít, sự tích lũy và lưu giữ của nhiệt độ đất cao và dài hơn nhiệt độ không khí.

- Kết quả tính toán nhiệt độ của nền đất khu vực lắp đặt: trên cơ sở các tính toán nêu trên, theo các kết quả đánh giá với mực nước tĩnh ở độ sâu -21m , nhiệt độ nước ngầm dao động trong khoảng $24-26^\circ\text{C}$.

- Kết quả tính toán tải lượng làm mát, sưởi ấm cho công trình: Với phòng họp diện tích 42 m^2 kết quả xác định tải lượng thông thường của 01 của điều hòa không khí tính trung bình theo tháng được thiết lập như sau:

+ Với yêu cầu làm mát về mùa hè, tải lượng được ước tính cao nhất vào tháng Bảy với công suất $7,8\text{ kW}$.

+ Với yêu cầu sưởi ấm về mùa đông, tải lượng cao nhất vào tháng Hai là 6,6 kW.

- Kết quả xác định đặc điểm nhiệt của nền đất khu vực lắp đặt bơm nhiệt: Khu vực lắp đặt hệ thống bơm nhiệt được xác định với đặc trưng của tầng nước ngầm Pleistocen phân bố trong lớp cát cuội sỏi của trầm tích Đệ Tứ ở độ sâu từ -23m đến -39m. Kết quả quan trắc nhiệt độ trong lỗ khoan: nhiệt độ ổn định theo mùa (lớp trung hòa nhiệt hay lớp thường ôn) từ độ sâu -12m có nhiệt độ ổn định của tầng nước ngầm.

- Kết quả tính toán, thiết kế lỗ khoan trao đổi nhiệt và đánh giá hiệu suất truyền nhiệt của hệ thống bơm địa nhiệt: kết quả quan trắc khu vực bơm nhiệt cho thấy độ dẫn nhiệt của lớp sét, sét pha từ mặt đất đến độ sâu 24m là 1,8 W/(m.K), độ dẫn nhiệt tầng cát pha, cuội, sỏi chứa nước là 2,2 - 2,4 W/(m.K).

- Kết quả ước lượng về số lượng, độ sâu và khoảng cách của các lỗ khoan khai thác nhiệt bằng các phương pháp thiết kế truyền thống:

+ Hệ thống lỗ khoan khai thác nhiệt bên ngoài (dưới đất) ban đầu được thí nghiệm là vòng kín (closed cycle) theo tính toán Bảng phần mềm thiết kế với các tham số môi trường và không gian điều hòa đã xác định gồm 3 ống inox chữ U $\Phi 25$ mm chiều dài 30m đặt trong lỗ khoan $\Phi 300$ mm.

+ Hệ thống lỗ khoan khai thác nhiệt bên ngoài (dưới đất) sau đó được thay bằng vòng hở (Open Cycle) lượng nhiệt cần thiết (heat load) chỉ phụ thuộc lưu lượng nước bằng máy bơm trong giếng khoan. Với dàn giải nhiệt tấm bản trung gian và máy bơm đặt dưới giếng khoan $\Phi 110$ mm độ sâu chỉ cần đủ để máy bơm chìm trong tầng nước ngầm (ở đây là 24 m) dễ dàng thực hiện (thậm chí khoan thủ công khi không có không gian cho khoan cơ giới), chi phí thấp và hệ thống điều hoà địa nhiệt tăng nông hoạt động ổn định đáp ứng yêu cầu điều hòa không khí cho không gian phòng họp hoạt động trong mùa hè với thời tiết cực đoan có ngày trên 40°C.

- Chọn đơn vị bơm nhiệt nổi đất, máy phát điện và số lượng lỗ khoan-loại lỗ khoan khai thác nhiệt.

+ Theo tính toán lý thuyết với điều kiện ban đầu chọn theo điều hòa cấp 2 cho Hà Nội. Mùa hè, nhiệt độ ngoài trời $t_N = 37,8^\circ\text{C}$, độ ẩm tương đối $\varphi_N = 53,4\%$ với nhiệt độ ướt $t_{tr} = 29,1^\circ\text{C}$, làm lạnh phòng, nước lạnh $7^\circ\text{C} \div 12^\circ\text{C}$, nhiệt thải cho nước giếng khoan

24 °C ÷ 29 °C. Mùa đông $t_N = 8,6$ °C, độ ẩm tương đối $\phi_N = 83,4\%$, nhiệt độ ướt tư = 7,2 °C, sưởi ẩm phòng, nước nóng 45 °C ÷ 50 °C trong nhà, nhiệt thu của nước giếng khoan 24 °C ÷ 19 °C. Nhiệt độ nước giải nhiệt ra $t_{w2} = 37$ °C, nhiệt độ nước lạnh ra $t_{C2} = 7$ °C. Công suất hữu ích là 3.300w/h.

+ Hệ thống lỗ khoan khai thác nhiệt trong trường hợp này được thiết kế là vòng kín (closed cycle) theo tính toán, thiết kế với các tham số môi trường và không gian điều hòa đã xác định gồm 3 ống inox chữ U $\Phi 25$ mm chiều dài 30m đặt trong lỗ khoan $\Phi 300$ mm.

+ Khoảng cách giữa các lỗ khoan khai thác nhiệt thông thường khoảng 6-8 m. Khoảng cách được thực hiện thực tế trong trường hợp này là 6,5m.

- Căn cứ các yếu tố tính toán, dự báo này và các kết quả đo quan trắc, hiệu quả sử dụng của hệ thống điều hoà địa nhiệt tầng nông này so sánh với điều hoà không khí thông thường như sau:

Bảng 1: Kết quả tính toán theo lí thuyết COP, tiêu thụ năng lượng và tiết kiệm năng lượng cho hệ thống điều hoà không khí địa nhiệt (GSHP) và điều hoà không khí truyền thống (ĐHTT).

Hạng mục	Đơn vị	Điều hoà-GSHP	Điều hoà-ĐHTT
Dạng tuần hoàn		Vòng hở Vòng kín	Vòng kín
Nhiệt độ nước vào/ra bình bay hơi	°C	19/14	6.5/4.5
Nhiệt độ nước vào/ra bình ngưng	°C	45/50	45/50
Hệ số hiệu suất (COP)	kW/kW	5,978	4,166
Công suất năng lượng đầu vào (PIC)	kW/kW	0,167	0,240
Tiêu thụ năng lượng	%	56,5	100
Tiết kiệm năng lượng	%	43,5	0

Bảng 2: Kết quả điện năng tiêu thụ và giảm phát thải khí CO₂ khi sử dụng hệ thống điều hoà không khí (ĐHKK) địa nhiệt

Thời gian (ngày)	Tiêu thụ điện điều hoà GSHP (W)	Tiêu thụ điện điều hoà ĐHTT (W)	Hiệu suất tiết kiệm năng lượng (%)	Quy đổi lượng giảm phát thải khí CO ₂ (Kg)	Hiệu quả tiết kiệm kinh tế (VNĐ)
20	431.063	750.676	43,5	184,16	515.328

Mỗi ngày sử dụng hệ thống điều hoà không khí địa nhiệt thay cho hệ thống điều hoà không khí truyền thống sẽ giảm đi được một lượng khí CO₂ phát thải vào tự nhiên từ 7,45 - 10,93 kg, trong 20 ngày chạy máy giảm thiểu được trung bình 184,16 kg CO₂ phát thải vào không khí.

Với giả thiết 1 năm chạy điều hoà khoảng 260 ngày (không tính Thứ bảy, chủ nhật) thì lượng CO₂ phát thải vào không khí giảm được 2.394,08 kg.

Lợi ích của giải pháp hữu ích

Việc lắp đặt hệ thống điều hoà không khí sử dụng bơm nhiệt đất thay thế cho việc sử dụng khí gas nhằm làm mát về mùa hè và sưởi ấm và mùa đông được đánh giá là giải pháp thiết thực giảm thiểu đáng kể lượng khí thải nhà kính, giảm tải lượng điện năng tiêu thụ cho các công trình dân sinh, các toà nhà cao tầng, các khu cơ quan công sở. Mô hình thí nghiệm thực tế hệ thống điều hoà không khí sử dụng bơm nhiệt đất ở Hà Nội khi bố trí hợp lý công suất bơm sẽ có hiệu suất năng lượng COP₄ có thể đạt >3,5 là một giải pháp hiện thực cho khả năng tiết kiệm năng lượng 20% tương đương mức trung bình đang áp dụng ở vùng nóng ẩm của Mỹ (5,7 – 34,6%). Địa điểm triển khai mô hình thử nghiệm ở Hà Nội là nơi có các điều kiện khí hậu, địa chất đặc trưng của vùng đồng bằng, nên kết quả đánh giá về điều kiện và hiệu quả áp dụng sẽ có giá trị cho các nơi trên lãnh thổ có điều kiện tương tự. Các vùng đồng bằng nơi có nguồn nước mặt (sông, hồ, đầm) và nước ngầm tầng nông, hoặc sử dụng nguồn nước sinh hoạt là điều kiện thuận lợi để áp dụng công nghệ này sẽ cho hiệu quả tương tự như mô hình, ở nơi có điều kiện thuận lợi (tầng nước ngầm nông, nước mặt) có khả năng cho hiệu quả cao hơn.

Khả năng áp dụng trong công nghiệp: Chi phí đầu tư thực tế trên mô hình thí nghiệm trung bình tính cho 1 m² sàn 5,5 Tr.đ./m² (vòng hở), 6,67 Tr.đ./m² (vòng kín) hay tính cho 1 kW công suất cấp nhiệt 19,25 Tr.đ./kW (vòng hở), 23,33 Tr.đ./kW (vòng kín). So sánh với số liệu công bố quốc tế gần gấp 2 lần so với Trung Quốc và Ấn Độ, tương đương giá đầu tư ở Mỹ, và dưới mức thấp ở Châu Âu (trong khi chưa tính thuế, khảo sát, lãi suất, giá điện, v.v). Do giá thành đầu tư ban đầu cao (do thị trường Việt Nam hiện chưa bán các loại thiết bị này nên phải tiến hành nhập khẩu) nên bơm nhiệt đất có hiệu quả kinh tế đối với các công trình có nhu cầu điều hoà không khí liên tục (tốt

nhất là có cả nhu cầu sưởi ấm, sấy) với công suất lớn (kho bảo quản nông sản thực phẩm chất lượng cao, trung tâm thể thao, bệnh viện, khách sạn, khu nghỉ dưỡng, v.v) để hoàn vốn nhanh và giá trị tiết kiệm năng lượng lớn. Với khả năng tiết kiệm điện 20% so với điều hòa không khí thông thường, chi phí đầu tư tương đương ở Mỹ, thời gian hoàn vốn khi áp dụng thực tế sẽ tương đương số liệu tổng kết ở Mỹ là từ 3 năm đến 8 năm, trung bình 5 năm, tuổi thọ của hệ thống được xác định ít nhất là 25 năm.

Yêu cầu bảo hộ

1. Quy trình tính toán và lắp đặt hệ thống điều hoà không khí sử dụng bơm nhiệt đất cho khu vực dự kiến lắp đặt hệ thống bao gồm các bước sau:

bước 1: ước tính nhiệt độ của đất khu vực lắp đặt nhằm xác định kích thước của bộ trao đổi nhiệt, nhiệt độ của đất phục vụ tính toán hao tổn nhiệt ở nền toà nhà, nhiệt độ tối ưu được xác định trong khoảng 24-26°C;

bước 2: tính toán tải lượng làm mát, sưởi ấm cho công trình dựa theo phương trình tổng thể tải của toà nhà như là một hàm của nhiệt độ không khí bên ngoài và nhiệt độ đất mà có thể được lấy bằng tổng của tất cả toàn bộ các thành phần tải phía trên mặt đất và dưới mặt đất;

bước 3: xác định đặc điểm nhiệt của nền đất khu vực lắp đặt bơm nhiệt, độ sâu của lỗ khoan, hiệu quả khai thác nhiệt của hệ thống bơm nhiệt phụ thuộc vào đặc điểm địa chất, địa chất thuỷ văn khu vực lắp đặt hệ thống bơm nhiệt;

bước 4: tính toán, thiết kế lỗ khoan trao đổi nhiệt và đánh giá hiệu suất truyền nhiệt của hệ thống bơm địa nhiệt, các lỗ khoan điển hình trong độ sâu tối đa khoảng 80 - 120 m tùy theo đặc điểm địa chất, địa chất thuỷ văn khu vực khai thác nhiệt, khoảng cách giữa các lỗ khoan khai thác nhiệt thông thường tối ưu nhất trong khoảng 6 - 8 m;

bước 5: đưa ra được ước lượng về số lượng, độ sâu và khoảng cách của các lỗ khoan khai thác nhiệt bằng các phương pháp thiết kế truyền thống;

bước 6: xây dựng tập hợp các giải pháp thay thế đơn vị bơm địa nhiệt có thể có, thực hiện kiểm chứng, đối sánh giữa các lựa chọn thay thế khác nhau cho hệ thống, việc so sánh thử nghiệm này cần được thực hiện giữa ít nhất hai thiết bị có công suất danh định khác nhau, được chọn theo cách sau: công suất của thiết bị thứ nhất phải dựa trên nhu cầu điện năng trung bình hàng tháng lớn nhất giữa các tháng khi thiết kế để sưởi ấm hoặc/và làm mát, công suất của tổ máy thứ hai phải phù hợp với nhu cầu điện năng trung bình theo mùa lớn nhất giữa toàn bộ thời gian sưởi ấm và làm mát;

bước 7: tạo bộ máy phát điện dự phòng, công suất của máy phát điện nằm trong khoảng từ tải làm mát/sưởi ấm cao nhất theo yêu cầu của toà nhà và công suất sưởi ấm/làm mát của thiết bị bơm nhiệt đất;

bước 8: kiểm tra độ nhạy, hiệu quả của phương pháp khai thác nhiệt đất của hệ thống điều hoà bơm nhiệt đất.

2. Quy trình tính toán và lắp đặt hệ thống điều hoà không khí sử dụng bơm nhiệt đất theo điểm 1, trong đó bước 8 bao gồm các công đoạn sau:

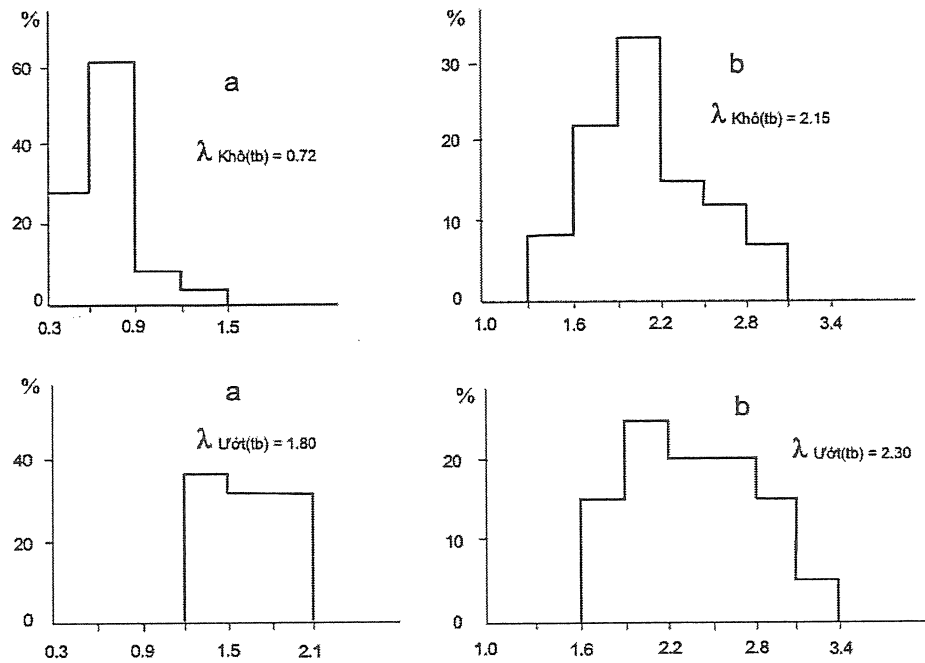
chọn đơn vị bơm nhiệt nổi đất, máy phát điện và số lượng lỗ khoan-loại lỗ khoan khai thác nhiệt;

đưa ra phỏng đoán ban đầu cho: tốc độ dòng chảy vòng nổi đất, độ sâu và khoảng cách của các lỗ khoan khai thác nhiệt, các lỗ khoan điển hình trong độ sâu tối đa khoảng 80-120 m tùy theo đặc điểm địa chất, địa chất thủy văn khu vực khai thác nhiệt, khoảng cách giữa các lỗ khoan khai thác nhiệt thông thường tối ưu nhất trong khoảng 6-8 m;

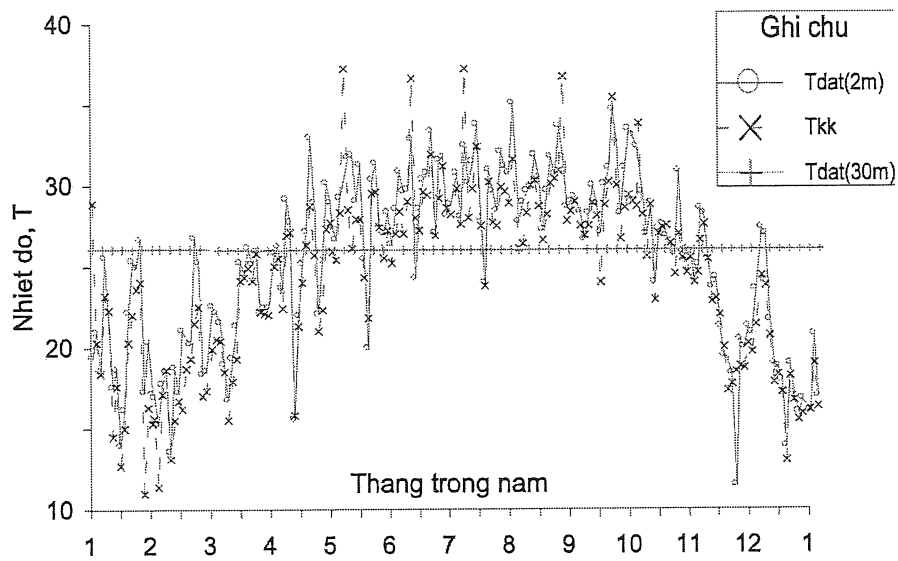
bắt đầu đánh giá và áp dụng quy trình tối ưu hóa, xác định chuỗi các hệ số tải trọng nhiệt tòa nhà cho sưởi ấm (f_H) và hệ số tải trọng nhiệt tòa nhà cho làm mát (f_C) tối ưu khi cố định với giá trị hiện tại của độ sâu của lỗ khoan (H), khoảng cách giữa các lỗ khoan khai thác nhiệt (Z), và tốc độ dòng chảy của chất dẫn (m_w);

tiến hành giai đoạn thứ hai của quy trình tối ưu hóa, xác định các giá trị tối ưu của độ sâu của lỗ khoan (H), khoảng cách giữa các lỗ khoan khai thác nhiệt (Z) và tốc độ dòng chảy của chất dẫn (m_w), lấy kết quả của điểm (c) là điểm kiểm soát; điểm (d) là kết quả cho ra giá trị tối ưu không thỏa mãn quy luật tức kết quả sai.

lặp lại giữa điểm kiểm soát (c) và điểm cho ra giá trị tối ưu không thỏa mãn quy luật (d) cho đến khi một tiêu chí hội tụ được thỏa mãn.

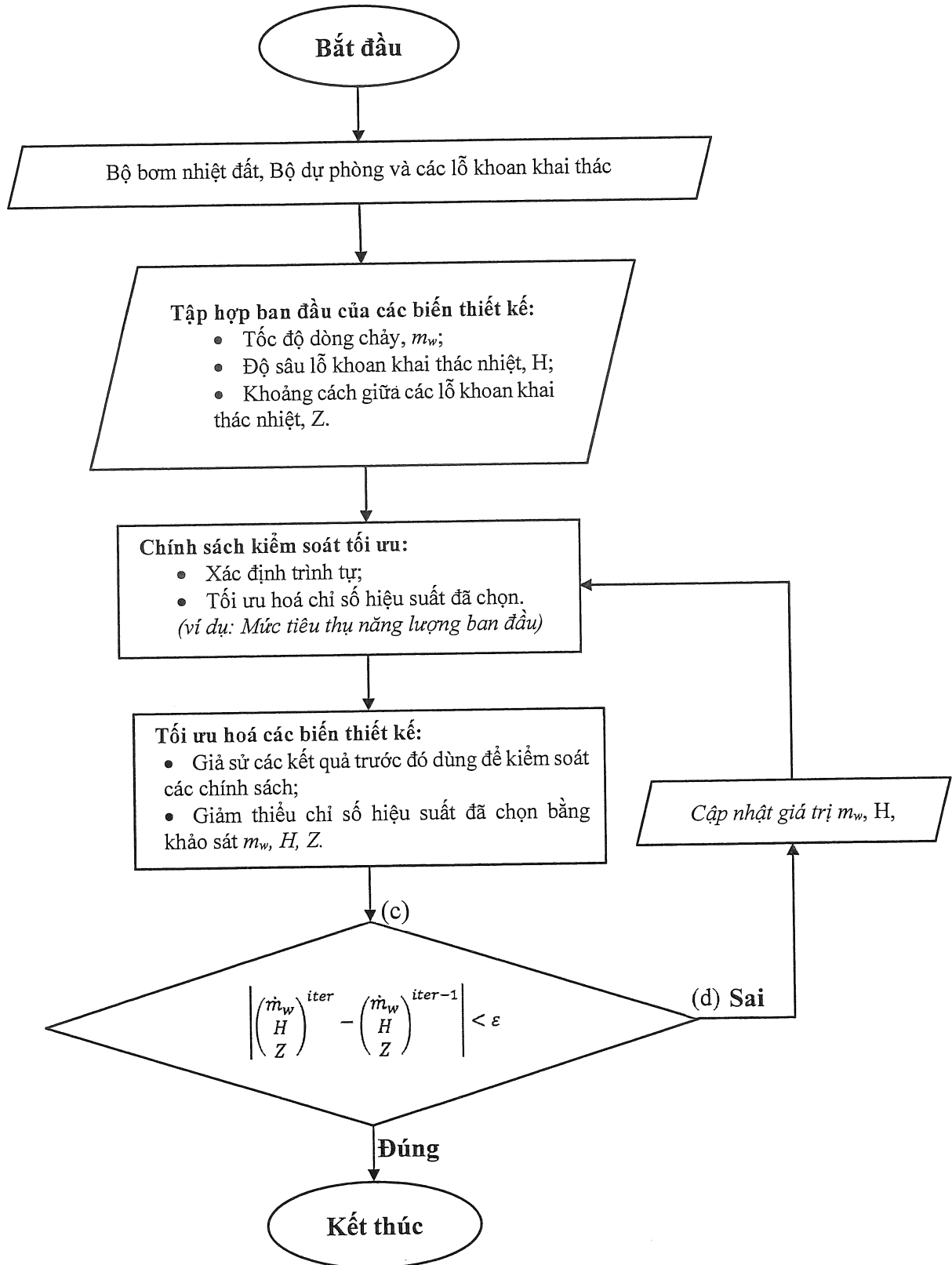


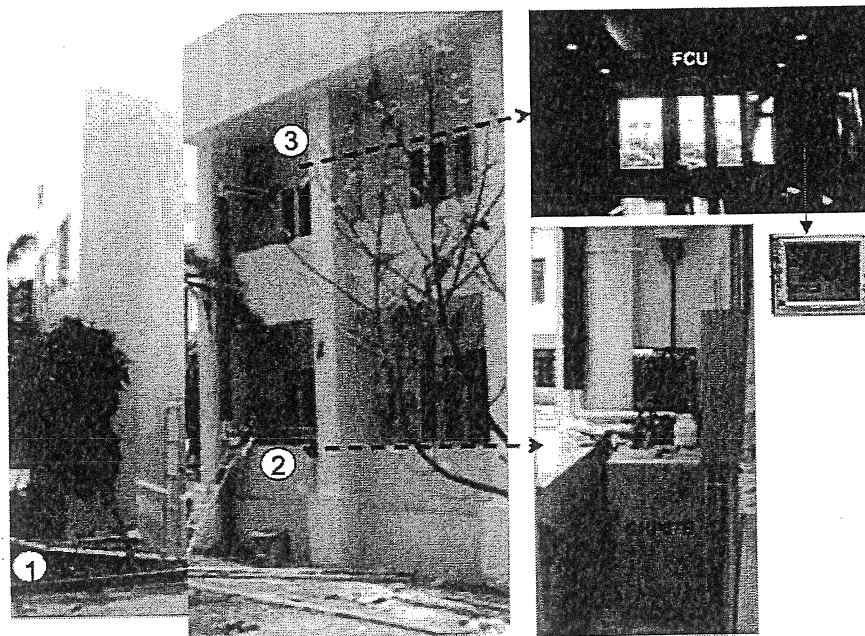
Hình 1



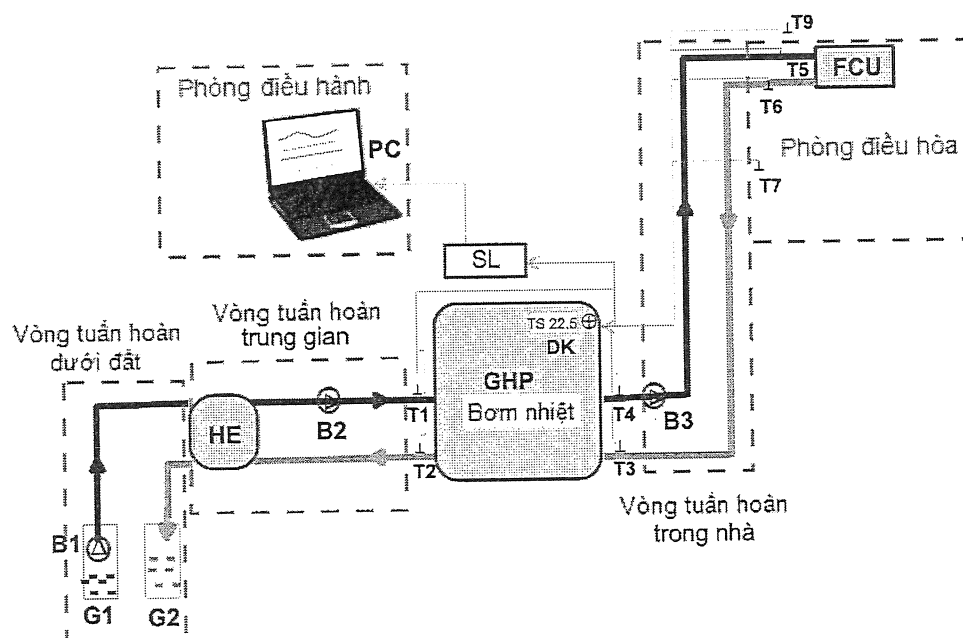
Hình 2

Hình 3





Hình 4



Hình 5