

PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ NĂNG LƯỢNG CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU HÒA KHÔNG KHÍ

Nguyễn Thành Trung¹

Tóm tắt: Trong công tác thiết kế và đánh giá năng lượng trong hệ thống điều hòa không khí việc đánh giá tiêu thụ điện là rất cần thiết vì chi phí vận hành hàng năng của hệ thống điều hòa không khí chiếm khoảng 40 - 50% tiêu thụ điện năng của toà nhà. Tuy nhiên phương pháp đánh giá hiệu quả năng lượng, các bước kiểm tra, phân tích hệ thống, thiết bị trong hệ thống điều hòa không khí chưa được đưa ra một cách cụ thể. Ngoài ra việc tính toán, đánh giá một cách chính xác tiêu thụ điện của hệ thống điều hòa không khí chưa được hiểu rõ và chưa xem xét đến chế độ hoạt động của hệ thống trong năm. Bài báo này giới thiệu phương pháp đánh giá hiệu quả năng lượng, cách đánh giá và tính toán tiêu thụ điện của hệ thống điều hòa không khí.

Summary: In design and evaluation of energy in the system of air conditioner, the power consumption evaluation is essential because of the annual operating costs of air conditioning systems accounted for about 40 - 50% power consumption of the building. However, methods of assessment energy efficiency, test procedures, analyses of system and equipment in air-conditioning system have not been given specifically. In addition, accurate calculation and assessment of the electricity consumption of air conditioning systems are not well understood and not considered in the operation mode of the system. This paper introduces methods of assessment energy efficiency and how to assess and calculate the power consumption of air conditioning systems.

Nhận ngày 31/08/2011, chỉnh sửa ngày 10/11/2011, chấp nhận đăng ngày 28/02/2012.

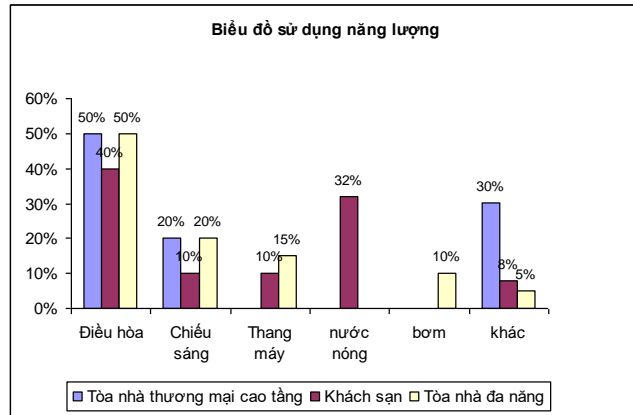
1. Đặt vấn đề

Theo số liệu thống kê từ năm 2004 đến năm 2010 trung bình cả nước trong 100 hộ dân thì số hộ sử dụng điều hòa không khí (ĐHKK) tăng từ 2,2 bộ đến 9,4 bộ, trong đó tỷ lệ số hộ sử dụng ĐHKK ở các thành thị là 15,8 bộ và ở nông thôn là 0,97 bộ trên 100 hộ với tiêu thụ điện gần 2% tổng sản lượng điện hàng năm của Việt Nam hiện nay [1] cùng với hàng ngàn công trình sử dụng hệ thống ĐHKK trung tâm chiller, hệ thống VRV(VRF).

Theo các nghiên cứu gần đây tiêu thụ năng lượng trong khu vực nhà dân và các tòa nhà thương mại chiếm tới 23-24% tổng điện năng tiêu thụ của quốc gia. Mặt khác trong các tòa nhà cao tầng hiện đại và các hộ nhà dân, tiêu thụ năng lượng cho hệ thống ĐHKK trong các tháng mùa hè chiếm từ 30-60% toàn bộ tiêu thụ điện năng trong công trình. Hơn nữa, với mức độ tăng trưởng kinh tế như hiện nay kết hợp với sự nóng lên của khí hậu, nhu cầu sử dụng điều hòa ngày càng gia tăng.

Để giảm tiêu thụ năng lượng, trước tiên cần phải có các hoạt động quản lý năng lượng một cách chặt chẽ của nơi tiêu thụ năng lượng để tìm ra các tiềm năng tiết kiệm năng lượng. Vì thế, việc tiến hành đánh giá hiệu quả năng lượng của hệ thống này là rất cần thiết.

¹ThS, Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng. E-mail: trungiese@gmail.com



Hình 1. Biểu đồ sử dụng năng lượng trong các tòa nhà [9]

Trong công tác thiết kế và đánh giá năng lượng hệ thống ĐHKK việc đánh giá tiêu thụ điện là rất cần thiết vì chi phí vận hành hàng năm của hệ thống ĐHKK chiếm khoảng 40-50% tiêu thụ điện năng của tòa nhà. Tuy nhiên, để đánh giá một cách chính xác tiêu thụ điện của hệ thống ĐHKK cần phải hiểu rõ chế độ hoạt động của hệ thống trong năm.

Bài báo nhằm đưa ra các bước đánh giá hiệu quả năng lượng và cách tính tiêu thụ điện của hệ thống ĐHKK một cách chính xác.

2. Đánh giá hiệu quả năng lượng của hệ thống điều hòa không khí

2.1 Các bước đánh giá

Đánh giá hiệu quả năng lượng là hoạt động đo lường, phân tích, tính toán để xác định mức tiêu thụ năng lượng và đề xuất các giải pháp sử dụng năng lượng tiết kiệm và có hiệu quả hơn đối với hệ thống ĐHKK.

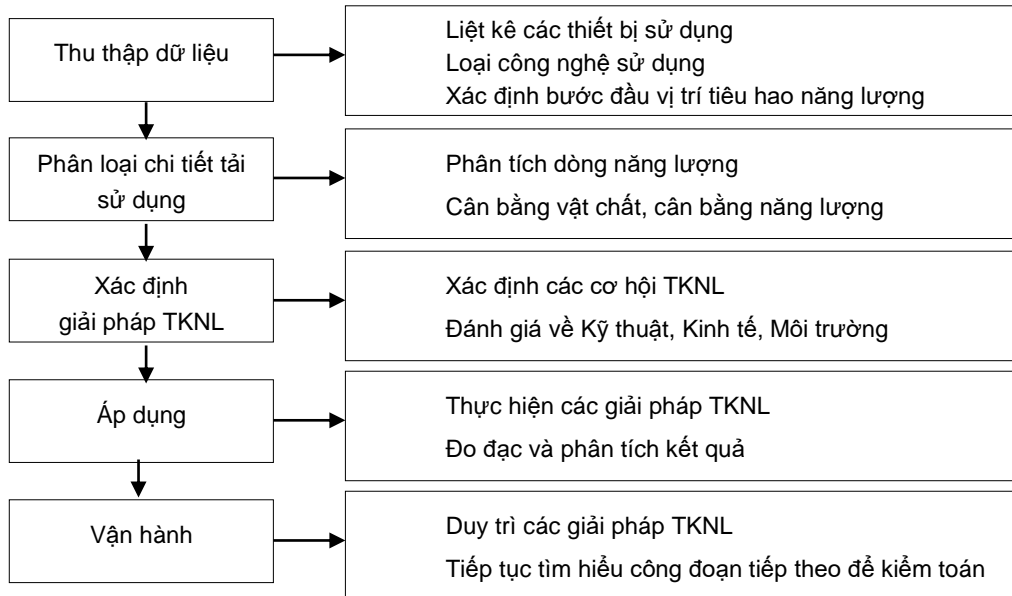
Các bước chính để đánh giá hiệu quả năng lượng bao gồm:

- Thu thập dữ liệu;
- Phân loại chi tiết tải sử dụng;
- Xác định các giải pháp tiết kiệm năng lượng;
- Thực hiện các giải pháp tiết kiệm năng lượng;
- Duy trì các giải pháp tiết kiệm năng lượng.

Trong đánh giá hiệu quả năng lượng của hệ thống ĐHKK việc thu thập dữ liệu là công việc rất quan trọng đảm bảo được tính chính xác khi tiến hành kiểm toán năng lượng bao gồm:

- Hồ sơ thiết kế công trình bao gồm bản vẽ, thuyết minh tính toán;
- Hồ sơ hoàn công công trình;
- Hồ sơ nghiệm thu công trình;
- Báo cáo kiểm tra chất lượng công trình;
- Báo cáo công tác kiểm tra hiệu suất từng phần của công trình (do cơ quan đánh giá có thẩm quyền);
- Thu thập dữ liệu tổng quan công trình;
- Thu thập dữ liệu về quá trình hoạt động của công trình;
- Lấy thông số các quá trình công nghệ (áp suất, nhiệt độ, lưu lượng,...) của quá trình sử dụng thiết bị ĐHKK;

- Lấy thời gian của các giai đoạn hoạt động của công trình;
- Vẽ lưu đồ năng lượng và quá trình sử dụng thiết bị;
- Thu thập dữ liệu của các tiện ích vẽ sơ đồ đơn tuyến các tiện ích.



Hình 2. Các bước tiến hành đánh giá hiệu quả năng lượng đối với hệ thống ĐHKK

Điều tra về quá trình vận hành công trình

- Phân loại công trình;
- Các loại hình tiêu thụ năng lượng trong công trình;
- Hình thức vận hành;
- Hiện trạng sử dụng năng lượng;
- Danh mục các loại hình trang thiết bị vận hành năng lượng chính trong công trình: Công suất từ đơn vị tiêu thụ, số lượng, tỷ lệ;
- Các số liệu khác: cấu trúc chi phí (nguyên liệu (%); năng lượng (%), các chi phí khác), các yếu tố môi trường, các xu hướng phát triển.

Đối với các công trình thường chỉ có một đồng hồ điện tổng cho tất cả các hệ thống trong tòa nhà. Do vậy, sẽ không có số liệu tiêu thụ năng lượng cụ thể cho hệ thống ĐHKK để phân tích năng lượng tiêu thụ của hệ thống trong từng tòa nhà. Trong trường hợp này, phải khảo sát hoạt động của tòa nhà và ước lượng phụ tải trung bình của các ngày làm việc, thứ bảy, chủ nhật và ngày lễ, nhằm đánh giá tiêu thụ năng lượng hàng năm của hệ thống ĐHKK.

- Suất tiêu hao năng lượng của tòa nhà (BEI) thường tính bằng kWh/m²/năm: cho biết mật độ năng lượng (kWh/m²), phụ thuộc vào chính chỉ số BPI và số thời gian hoạt động hàng năm của tòa nhà.

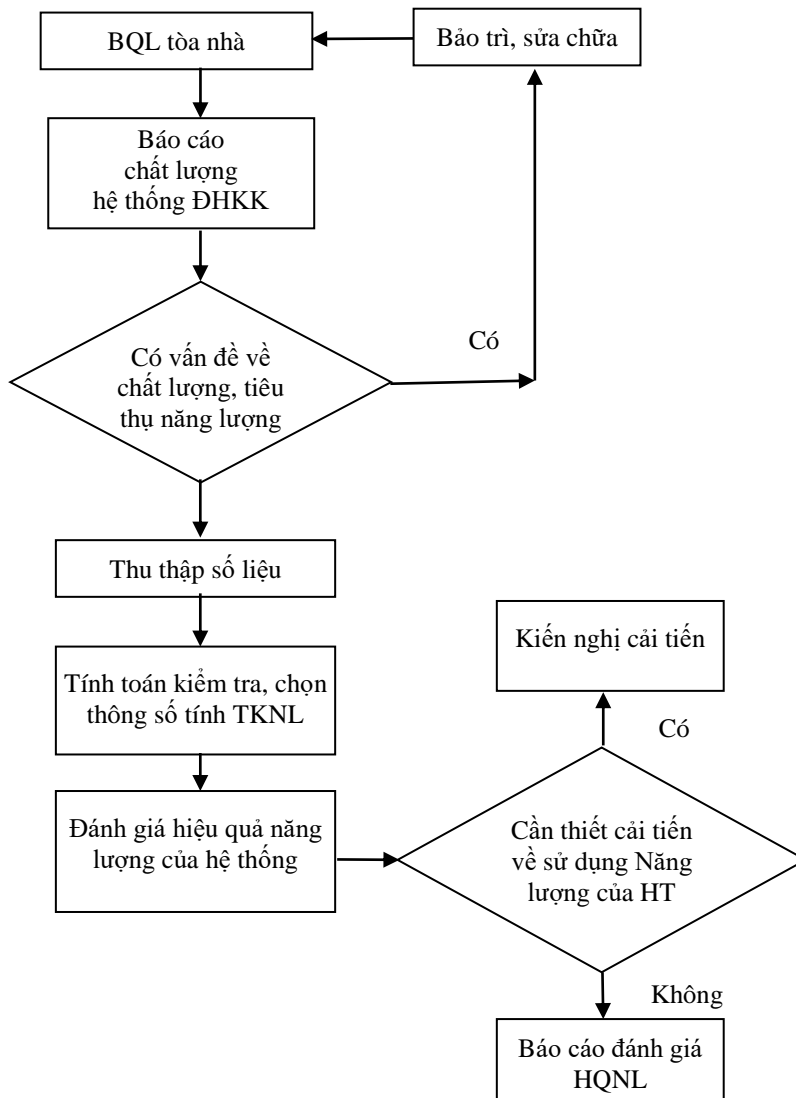
- Chỉ số năng lượng (BPI) W/m²: mật độ công suất của tòa nhà theo diện tích sàn (W/m²), nó chịu ảnh hưởng của những nguồn nhiệt thừa bên trong và bên ngoài nhà.

- Suất tiêu hao năng lượng của ĐHKK, AEI (kWh/m²)

Bảng 1. Chỉ số năng lượng của hệ thống ĐHKK [4]

STT	Loại công trình	Chỉ số năng lượng của ĐHKK (w/m ²)
1	Tòa nhà văn phòng, trung tâm thương mại	95 – 125
2	Tòa nhà đa năng, cao tầng	150 – 190
3	Nhà hàng	150 - 380
4	Bệnh viện	125 – 150
5	Chung cư	85 – 107
6	Khách sạn không gian công cộng	125 – 150
7	Khách sạn phòng nghỉ	75 – 95
8	Thư viện, bảo tàng	107 – 150
9	Siêu thị	107 – 150
10	Trung tâm mua sắm	107 – 150

2.2 Đề xuất quy trình đánh giá



Hình 3. Quy trình đánh giá năng lượng trong hệ thống ĐHKK

Sau khi đã có báo cáo về kiểm tra sự phù hợp chất lượng công trình, quy trình đánh giá được đề xuất trên hình 3.

Trong hệ thống ĐHKK ngoài thiết bị chính là máy lạnh còn có các thiết bị khác như bơm, quạt, tháp giải nhiệt đây là các thiết bị cũng tiêu tốn nhiều năng lượng. Tuy nhiên, đây là các thiết bị có thể sử dụng các giải pháp để tiết kiệm năng lượng. Bảng 2 thể hiện danh sách sàng lọc các giải pháp tiết kiệm năng lượng trong các thiết bị ĐHKK.

Bảng 2. Danh sách sàng lọc giải pháp tiết kiệm năng lượng

<i>Hệ thống điều hòa</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Bảo ôn lạnh: sử dụng độ dày bảo ôn một cách kinh tế và thích hợp để giảm thiểu nhiệt thu. - Cách ly những khu vực quan trọng cần ĐHKK bằng màn chắn gió. - Giảm thiểu tải nhiệt: chiếu sáng hiệu quả, hệ thống khí lưu lượng biến đổi, tối ưu hoá lưu lượng, tránh lãng phí tổn thất nước làm lạnh, thường xuyên làm sạch các bộ trao đổi nhiệt. - Hạn chế mở cửa đi, cửa sổ thường xuyên. - Kiểm tra máy làm lạnh theo chỉ định của nhà sản xuất. Thông thường, việc kiểm tra nên được thực hiện hàng quý. - Sử dụng thiết bị thu hồi nhiệt có hiệu quả sử dụng năng lượng cao - Tăng nhiệt độ điều hòa trong phòng.
<i>Tháp giải nhiệt</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Tuân theo những đề xuất của nhà sản xuất về khoảng trống quanh tháp giải nhiệt - Tối ưu hóa góc cánh quạt của tháp giải nhiệt theo mùa hoặc theo mức tải - Thường xuyên làm sạch vòi phân phối ở tháp giải nhiệt - Điều chỉnh quạt ở tháp giải nhiệt dựa trên nhiệt độ nước ra bằng biến tần - Giảm nhiệt độ nước ở tháp giải nhiệt.
<i>Quạt thông gió</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Sử dụng đường ống tròn, nhẵn để lấy khí vào. - Thường xuyên làm sạch màng, bộ lọc và cánh quạt. - Thường xuyên kiểm tra độ căng của dây curoa. - Sử dụng biến tần cho quạt có thay đổi lưu lượng. - Thường xuyên kiểm tra độ rung.
<i>Bơm nước</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Sử dụng biến tần điều chỉnh bơm. - Thay mới bơm có hiệu suất cao. - Thường xuyên kiểm tra độ rung.

Trong hệ thống ĐHKK tiêu tốn nhiều năng lượng nhất là máy lạnh, do đó chọn công nghệ máy nén theo dải công suất của từng loại máy lạnh là rất quan trọng quyết định đến giá trị vận hành của công trình. Bảng 3 theo ARI 550/590 đưa ra giá trị IPLV tối thiểu của máy lạnh theo giá trị non tải và đầy tải.

Bảng 3. Hiệu suất tối thiểu theo ARI 550/590

Loại máy nén & Công suất	Giá trị non tải (part load)		Giá trị đầy tải (full load)	
	Đạt yêu cầu IPLV (kw/ton)	Tốt nhất IPLV (kw/ton)	Đạt yêu cầu IPLV (kw/ton)	Tốt nhất IPLV (kw/ton)
Chiller giải nhiệt gió				
Xoắn ốc (30-60 tons)	≤ 0,86	0,83	≤ 1,23	1,10
Pít tông (30-150 tons)	≤ 0,90	0,80	≤ 1,23	1,00
Trục vít (70-200 tons)	≤ 0,98	0,83	≤ 1,23	0,94
Chiller giải nhiệt nước				
Ly tâm (150-299 tons)	≤ 0,52	0,47	≤ 0,59	0,50
Ly tâm (300-2000 tons)	≤ 0,45	0,38	≤ 0,56	0,47
Trục vít (> 150 tons)	≤ 0,49	0,46	≤ 0,64	0,58

2.3 Xác định tiêu thụ điện của hệ thống điều hòa không khí phục vụ cho đánh giá hiệu quả năng lượng

Hiện nay việc tính toán, đánh giá tiêu thụ điện của hệ thống điều hòa không khí được hiểu theo nhiều cách khác nhau và tính toán không đảm bảo một cách chính xác, thường chỉ xem xét về công suất tại 100% của thiết bị và không đề cập đến thời lượng vận hành và chỉ số hiệu quả năng lượng tổng hợp của thiết bị. Chúng ta cần chú ý rằng tiêu thụ điện của hệ thống ĐHKK chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố:

- Điều kiện vận hành;
- Quy mô, đặc điểm và mục đích sử dụng của công trình;
- Chỉ số tiêu thụ điện của các thiết bị;
- Mức độ tự động hóa tiết kiệm năng lượng của hệ thống ĐHKK và phương pháp quản lý vận hành.

Trong các nội dung trên, yếu tố chỉ số tiêu thụ điện của các thiết bị trước đây tính toán dựa trên công suất điện của từng thiết bị, chưa nói đến thời lượng vận hành và việc tính toán này không thể áp dụng được với máy lạnh mà chỉ áp dụng được với bơm, quạt, thiết bị xử lý không khí nên khi tính toán tiêu thụ điện cả hệ thống sẽ không chính xác.

Dưới đây trình bày hai công thức tính toán tiêu thụ điện cho hệ thống ĐHKK dạng VRV (VRF) và hệ thống điều hòa không khí chiller:

- Công thức tính tiêu thụ điện của hệ thống ĐHKK VRV/VRF

$$EC_{ht}^{vrv} = \sum_{i=1}^n \frac{HP_i \cdot h_i}{IEER_i} + \sum_{i=1}^k P_i h_i \quad (kWh/nam) \quad (1)$$

+ EC_{ht}: tổng tiêu thụ điện của hệ thống ĐHKK trong 1 năm (kWh/năm)

+ HP_i: Công suất lạnh 100% của dàn nóng thứ i

+ IEER_i: Chỉ số hiệu quả năng lượng tổng hợp của dàn nóng thứ i

$$IEER = 0,020A + 0,617B + 0,238C + 0,125D [10] \quad (2)$$

trong đó:

A=EER-chỉ số hiệu quả năng lượng máy lạnh (W/W) ở 100% công suất

B=EER-chỉ số hiệu quả năng lượng máy lạnh (W/W) ở 75% công suất

C=EER-chỉ số hiệu quả năng lượng máy lạnh (W/W) ở 50% công suất

D=EER-chỉ số hiệu quả năng lượng máy lạnh (W/W) ở 25% công suất

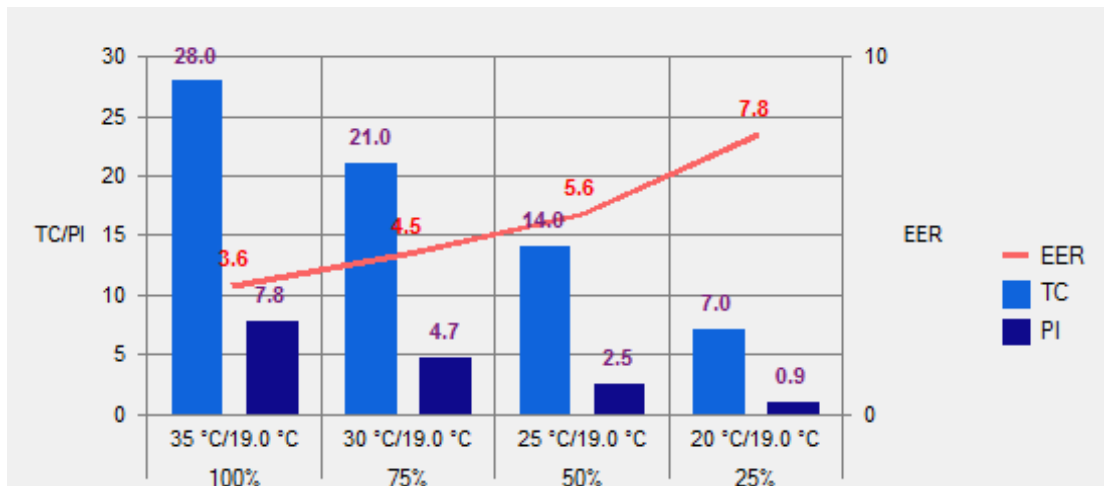
- h_i : thời lượng vận hành của máy lạnh, quạt,... thứ i

- P_i : Công suất điện của dàn lạnh (kw)

- n,k: Số dàn nóng, số dàn lạnh có trong hệ thống

Bảng 4. Công suất lạnh máy VRF (DVM 10HP) [11]

Nhiệt độ kk ngoài nhà (°C)	Nhiệt độ không khí ướt trong nhà (19°C)			Chỉ số hiệu quả làm lạnh EER (W/W)
	Công suất lạnh-TC (kW)	Điện tiêu thụ-PI (kW)	% tải	
20	7	0,9	25%	7,8
25	14	2,5	50%	5,6
30	21	4,7	75%	4,5
35	28	7,8	100%	3,6

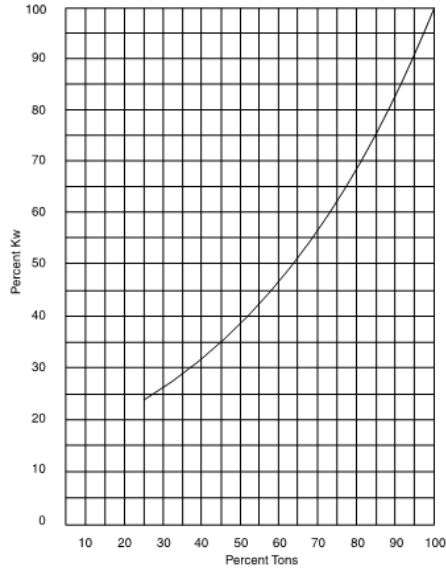


Hình 4. Chỉ số năng lượng tại các dải công suất của máy VRF-10Hp

Nếu sử dụng số liệu trên của một loại máy 10Hp có thể tính được chỉ số IEER theo ARI 340/360, Áp dụng công thức tính chỉ số IEER (công thức 2) với: A = 7,8, B=5,6, C=4,5, D=3,6

$$IEER = 0,020 * 7,8 + 0,617 * 5,6 + 0,238 * 4,5 + 0,125 * 3,6 = 5,15 (W/W)$$

Nếu như chỉ tính cho hiệu quả năng lượng ở 100% công suất thì chỉ số năng lượng của máy lạnh là EER = 3,60 (W/W), chỉ số này chênh lệch so với giá trị thực khoảng 43%.



Hình 5. Đường đặc tính của máy lạnh RTHD 130-150, Trane

- Công thức tính tiêu thụ điện của hệ thống ĐHKK chiller

$$EC_{ht}^{chiller} = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i \cdot h_i}{IPLV_i} + \sum_{i=1}^k P_i h_i \quad (kWh/year) \quad (3)$$

+ EC_{ht} : tổng tiêu thụ điện của hệ thống ĐHKK trong 1 năm (kWh/năm)

+ Q_i : Công suất lạnh 100% của chiller thứ i

+ $IPLV_i$: Chỉ số hiệu quả làm lạnh tổng hợp của máy lạnh thứ i

+ h_i : thời lượng vận hành của thiết bị thứ i

+ P_i : Công suất điện của thiết bị phụ thứ i (kw)

+ n, k : Số máy lạnh, thiết bị phụ có trong hệ thống

Trên thực tế, phần lớn thời gian các hệ thống ĐHKK làm việc non tải. Theo cách phân nhóm của ARI thì phần lớn hệ thống ĐHKK ở Hà Nội xếp vào nhóm 4, chỉ chạy 1,8% thời gian trong năm ở 100% tải, thời gian là chạy non tải: 50,1 % thời gian chạy ở 75% tải, 48,1% thời gian chạy ở 50% tải và 0% thời gian chạy ở 25% tải. Do đó, ARI 550/590-2003 quy định lấy chỉ số non tải tổng hợp IPLV là chỉ số hiệu quả máy lạnh tính cho tổng thời gian vận hành trong 1 năm theo các mức phụ tải và được tính theo công thức:

$$IPLV = 0,018A + 0,501B + 0,481C + 0,00D \quad (kW/kW) \quad (4)$$

trong đó:

A - Chỉ số COP (kW/kW) tính ở 100% tải

B - Chỉ số COP (kW/kW) tính ở 75% tải

C - Chỉ số COP (kW/kW) tính ở 50% tải

D - Chỉ số COP (kW/kW) tính ở 25% tải

Để tính toán chỉ số IPLV có thể lấy thông số chạy non tải của Chiller ly tâm giải nhiệt nước trong Bảng 5 làm ví dụ.

Bảng 5. Thông số chạy non tải của Chiller 1100RT [12]

TT	%Tải	Công suất lạnh KW	Điện tiêu thụ kW	COP kW/kW	Bình bay hơi			Bình ngưng		
					Lưu lượng l/s	$T_{vào}$ °C	T_{ra} °C	Lưu lượng l/s	$T_{vào}$ °C	T_{ra} °C
1	100	3868	764,7	5,06	84,1	18,0	7,0	105,2	32,0	42,5
2	75	2901	467,9	6,20	84,1	15,2	7,0	105,2	32,0	39,8
3	50	1934	233,8	8,27	84,1	12,5	7,0	105,2	32,0	37,1
4	25	967	153,0	6,32	84,1	9,7	7,0	105,2	32,0	34,6

Áp dụng công thức tính chỉ số IPLV (công thức 4) với: A=5,06, B=6,2, C=8,27, D=6,32

$$IPLV = 0,018 \times 5,06 + 0,501 \times 6,2 + 0,418 \times 8,27 + 0,00 \times 6,36 = 6,65 \text{ (kW/kW)}$$

Khi Chiller vận hành 2500 h/năm thì tổng tiêu thụ điện của Chiller trong 1 năm sẽ là:

$$1 / 6,65 \times 3868 \times 2500 = 1.454.135 \text{ kWh/năm}$$

Nếu tính tiêu thụ điện của Chiller theo COP ở 100% công suất sẽ có kết quả như sau:

$$1 / 5,06 \times 3900 \times 2500 = 1.911.067 \text{ kWh/năm}$$

Giá trị này lớn hơn giá trị thực khoảng 31%.

Từ hai kết quả trên có thể thấy rằng nếu như chỉ phân tích về chỉ số hiệu quả năng lượng ở 100% tải của máy lạnh thì giá trị này lớn hơn khoảng từ 30% đến 40% giá trị thực và như vậy không phản ánh được chế độ hoạt động trong cả một năm của máy lạnh.

Bảng 6. So sánh tính toán tiêu thụ điện hệ thống ĐHKK

Hệ thống điều hòa	Cách tính toán thông thường về tiêu thụ điện của hệ thống ĐHKK (kWh/năm)	Cách tính toán chính xác tiêu thụ điện của hệ thống ĐHKK (kWh/năm)	So sánh (Chỉ tính riêng cho máy lạnh các thiết bị khác của hệ thống giống nhau)
VRV (VRF)	$EC_{ht}^{vrv} = \sum HP_i \cdot h_i + \sum P_i \cdot h_i$	$EC_{ht}^{vrv} = \sum_{i=1}^n \frac{HP_i \cdot h_i}{IEER_i} + \sum_{i=1}^k P_i \cdot h_i$	43 %
Chiller	$EC_{ht}^{chiller} = \sum Q_i \cdot h_i + \sum P_i \cdot h_i$	$EC_{ht}^{chiller} = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i \cdot h_i}{IPLV_i} + \sum_{i=1}^k P_i \cdot h_i$	31%

3. Kết luận

Qua phân tích những nội dung trong đánh giá hiệu quả năng lượng của hệ thống điều hòa không khí thì các bước kiểm tra, đánh giá hệ thống, đánh giá thiết bị đóng vai trò quan trọng từ đó đưa ra được biện pháp tiết kiệm năng lượng trong toàn bộ hệ thống như:

- Xác định nơi tiêu thụ năng lượng hoặc chuyển đổi năng lượng từ dạng này sang dạng khác
- Nhận ra các tiềm năng tiết kiệm năng lượng và xác định các biện pháp tiết kiệm năng lượng
- Đánh giá về kinh tế, kỹ thuật và môi trường có thể thực hiện được của các biện pháp này;
- Phân tích các biện pháp sử dụng năng lượng trong công trình;
- Mở rộng hiểu biết vận hành hệ thống và thiết bị ĐHKK trong tất cả các loại công trình;

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG

- Đánh giá chất lượng các cơ hội tiết kiệm năng lượng;
- Đề xuất đánh giá và cấp chứng chỉ xanh (tòa nhà sử dụng hệ thống điều hòa hiệu quả) cho các công trình sử dụng năng lượng tiết kiệm và có hiệu quả trong hệ thống điều hòa không khí và thông gió.

Qua tính toán và so sánh về cách tính tiêu thụ điện của hệ thống ĐHKK thấy rằng trước đây việc đánh giá tiêu thụ điện của máy lạnh thường chỉ đánh giá tại 100% công suất của thiết bị và chưa đề cập đến thời lượng vận hành và chỉ số hiệu quả năng lượng tổng hợp của thiết bị. Từ kết quả này có thể áp dụng được công thức tính chỉ số tiêu thụ điện của hệ thống ĐHKK một cách chính xác.

Tài liệu tham khảo

1. Báo cáo kết quả chính thức tổng điều tra dân số và nhà ở 1/4/2009.
2. Trần Ngọc Chấn (2002), *Điều hoà không khí*, NXB Xây dựng, Hà Nội.
3. TCVN 5687:2010, *Thông gió - Điều hòa không khí, tiêu chuẩn thiết kế*.
4. *HVAC Equation, Data, anh rules of thumb* - Arthur A.Bell Jr., PE, McGraw Hill
5. *American Society Heating Refrigeration and Air Conditioning*. ASHRAE Hand Book. 2001
6. *Handbook of Heating, ventilation, and air conditioning*, Series Editor, Edited by Jan F. Kreider, Ph.D., P.E.
7. US Department of Energy, *Energy Efficiency and Renewable Energy*.
8. *Energy efficiency guide for industry in asia*, <http://www.energyefficiencyasia.org>
9. *Energy-efficient Building systems Green Strategies for Operation and Maintenance*, Dr Lal Jayamaha
10. ARI 340/360-2007, ARI 550/590-2003
11. *Catalogue SAMSUNG-DVM*.
12. Daikin-McQuay Centrifugal Chiller –*Technical Data sheet-Model: WDC087MAT57F*.