

XÂY DỰNG PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN TẢI LẠNH – TẢI NHIỆT THEO CHẾ ĐỘ KHÔNG ỔN ĐỊNH

Trần Ngọc Chấn^a, Trần Ngọc Quang^{a,*}, Bùi Thị Hiếu^a, Bùi Quang Trung^a, Nguyễn Thị Huệ^a,
Nguyễn Văn Duy^a, Mạc Văn Đạt^a

^aKhoa Kỹ thuật Môi Trường, Trường Đại học Xây dựng,
số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 23/12/2019, Sửa xong 11/05/2020, Chấp nhận đăng 11/05/2020

Tóm tắt

Tính toán chính xác tải lạnh – tải nhiệt là một khâu rất quan trọng trong quá trình thiết kế hệ thống điều hòa không khí (TG-ĐHKK). Nó không những giúp cho việc lựa chọn và lắp đặt hệ thống đúng yêu cầu để duy trì điều kiện tiện nghi nhiệt bên trong nhà mà còn có tác dụng giảm thiểu chi phí năng lượng trong quá trình vận hành hệ thống. Tuy nhiên hiện nay các phương pháp tính toán tải lạnh – tải nhiệt tại Việt Nam vẫn dựa trên chế độ ổn định với thông số tính toán có độ an toàn cao mà không kể đến diễn biến trong ngày của các thông số khí hậu bên ngoài cũng như dao động nhiệt thất dần và lệch pha khi đi qua kết cấu bao che (KCBC), dẫn đến kết quả tải lạnh tính toán tăng cao. Một số phần mềm thương mại nước ngoài được sử dụng để tính toán, tuy nhiên rất khó kiểm định được tính khách quan và sự tuân thủ các qui định về tiêu chuẩn và điều kiện khí hậu Việt Nam. Bài báo này trình bày phương pháp tính toán tải lạnh – tải nhiệt theo chế độ không ổn định. Đây là phương pháp được sử dụng phổ biến tại các nước tiên tiến trên thế giới. Phương pháp tính mới này sẽ là công cụ phục vụ cho công tác thiết kế, nghiệm thu và kiểm toán năng lượng cho các hệ thống TG-ĐHKK trong công trình.

Từ khoá: tải lạnh – tải nhiệt; chế độ không ổn định; chế độ ổn định; thông gió – điều hòa không khí.

DEVELOPMENT OF TRANSIENT COOLING – HEATING LOAD CALCULATION

Abstract

Accurate cooling - heating load calculation plays an important role to design a Heating Ventilation and Air Conditioning (HVAC) system. Cooling - heating load calculation is not only to utilize the selection of appropriate components of HVAC system to maintain indoor thermal comfort but also to minimize the energy consumption for operating this HVAC system. However, the current load calculation method in Vietnam is a quasi-steady-state method with the utilization of design parameters accounting for extreme conditions. Because this current load calculation method does not consider the thermal storage of building envelopes which causes the heat transferring time lag, it provides one peak value of cooling or heating load for entire day. Some commercial software packages were used to calculate cooling – heating load in Vietnam. However, it is difficult to ensure that these software packages follow the design standards and climate data of Vietnam. This paper describes the transient load calculation method using 24 hour weather data, which is one of widely used methods in developed countries. This transient load calculation method serves as an useful tool for designing, inspecting and energy auditing for building HVAC systems.

Keywords: cooling load – heating load; quasi-steady-state; transient-state; HVAC.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(2V\)-13](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(2V)-13) © 2020 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: quangtn@nuce.edu.vn (Quang, T. N.)

1. Đặt vấn đề

Do nhu cầu sử dụng năng lượng trong các công trình xây dựng ngày càng tăng cao, chiếm đến 40% tổng năng lượng toàn cầu, đặc biệt trong đó, hệ thống TG-ĐHKK thường sử dụng năng lượng với tỉ lệ lớn nhất, từ 40 - 60% tổng năng lượng điện tiêu thụ trong các công trình xây dựng. Hơn nữa do hiện tượng nóng lên toàn cầu và biến đổi khí hậu, việc sử dụng năng lượng hiệu quả trong các công trình xây dựng nói chung, hệ thống TG-ĐHKK nói riêng đã thu hút được nhiều nghiên cứu trên toàn thế giới [1-4].

Vì lý do đó, khoa học tính toán công trình trên thế giới đã trải qua các giai đoạn phát triển công cụ tính toán và mô phỏng, nhằm dần dần cải thiện độ chính xác khi thiết kế hệ thống TG-ĐHKK cũng như xác định mức sử dụng năng lượng của công trình xây dựng. Đồng thời với các nghiên cứu tối ưu hóa vận hành các hệ thống TG-ĐHKK, nhiều nghiên cứu đã tập trung xây dựng phương pháp tính toán tải nhiệt mới cho thiết kế hệ thống ĐHKK như các tài liệu ứng dụng của ASHRAE - Hiệp hội kỹ sư nhiệt lạnh và ĐHKK Hoa Kỳ [5-10].

Chúng ta có thể thấy rằng tính toán tải lạnh - tải nhiệt là bước quan trọng trong tính toán thiết kế hệ thống TG-ĐHKK. Vấn đề này đã được quan tâm từ rất sớm ở Việt Nam, và được viết thành sách giáo khoa. Các sách giáo khoa này được sử dụng để giảng dạy trong các trường đại học ở Việt Nam có đào tạo kỹ sư lĩnh vực kỹ thuật nhiệt lạnh, TG-ĐHKK. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng phương pháp tính toán tải lạnh - tải nhiệt được sử dụng là phương pháp tính cho 2 thời điểm bất lợi về mùa nóng và mùa lạnh trong năm. Điều này có hạn chế là không tích hợp được số liệu tính toán về cường độ bức xạ mặt trời diễn ra từng giờ trong ngày [11-15].

Trong thời gian qua, một số nghiên cứu đã triển khai xây dựng một số phần mềm tính toán tải nhiệt nhưng cũng dựa trên phương pháp tính tải lạnh - tải nhiệt theo chế độ ổn định, chưa tích hợp đồng thời các thành phần nhiệt, các kết quả nghiên cứu mới ở mức độ chuyên đề nghiên cứu, bài báo hội thảo chưa tạo nên những sản phẩm có tính lan tỏa và ứng dụng cao, rộng rãi và phổ biến trong giới chuyên môn cũng như cho toàn xã hội. Các phương pháp tính đang áp dụng phổ biến hiện nay, nhất là phương pháp ước lượng tải lạnh - tải nhiệt theo đơn vị diện tích sàn hoặc thể tích không gian cần điều hòa, rất khó để xác định đúng được tải lạnh, tải nhiệt vì không kể đến sự biến động của các thành tố tải nhiệt và sự xuất hiện theo thời gian của chúng.

Tất cả các phương pháp nêu trên đều tính theo chế độ ổn định, tức là chỉ tính cho một thống số tính toán mà chưa kể đến dao động nhiệt và bức xạ mặt trời bên ngoài tại các thời điểm trong ngày. Một số phần mềm hiện đang sử dụng phổ biến ở Việt Nam có kể đến sự thay đổi của điều kiện khí hậu, tuy nhiên đều là vay mượn từ các hãng điều hòa nước ngoài, chưa mang tính khách quan, chưa phù hợp với tiêu chuẩn và điều kiện khí hậu của Việt Nam [16-18]. Chính vì vậy, nghiên cứu này tập trung xây dựng phương pháp tính tải lạnh - tải nhiệt theo chế độ không ổn định để tiến tới hoàn thiện công cụ tính toán xác định mức sử dụng năng lượng dùng cho ĐHKK trong công trình. Kết quả nghiên cứu sẽ phục vụ cho công tác thiết kế, nghiệm thu và kiểm toán năng lượng trong các công trình xây dựng.

2. Phương pháp nghiên cứu

Thu thập, phân tích và đánh giá các tài liệu liên quan đến nhiệm vụ, các báo cáo đề tài nghiên cứu, các báo cáo có liên quan tới phương pháp tính toán tải nhiệt, tải lạnh cho thiết kế hệ thống ĐHKK trong công trình xây dựng ở trong nước và ngoài nước để xây dựng phương pháp tính tải lạnh - tải nhiệt mới. Tính toán tải lạnh - tải nhiệt và so sánh, đánh giá kết quả với phương pháp sử dụng phần mềm thương mại. Từ đó đánh giá hiệu quả tiết kiệm năng lượng và chi phí đầu tư khi thiết kế hệ thống TG-ĐHKK trong công trình xây dựng trong các điều kiện khí hậu ở Việt Nam.

Bảng 1. Liệt kê các đại lượng và thông số trong các công thức tính toán xác định tải lạnh – tải nhiệt

STT	Ký hiệu	Chú giải	Đơn vị	Công thức
1	$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$	Diện tích bề mặt KCBC và thiết bị trong phòng	m ²	(8), (9)
2	A_{CS}	Diện tích CS	m ²	(20), (21)
3	A_{CS}	Diện tích CS	m ²	(3)
4	a_{ht}	Chỉ số hấp thu nhiệt BXMT		(2)
5	A_{op}	Diện tích bề mặt KCBC	m ²	(22)
6	A_{qTg}	Biên độ dao động của cường độ BXMT tổng	W/m ²	(22)
7	$A_{S,CS}$	Góc phương vị mặt trời và cửa sổ	độ	(4), (5), (6), (7)
8	A_{tN}	Biên độ dao động của nhiệt độ tính toán của không khí bên ngoài	°C	(21)
9	B	Áp suất khí quyển	kPa	(32), (33)
10	c_{TB}	Nhiệt dung riêng của vật liệu thiết bị	J/kg.°C	(19)
11	$\sum D$	Quán tính nhiệt tổng cộng của các lớp vật liệu trong KCBC		(23), (24), (25), (26), (27)
12	d	Dung ẩm của không khí	g/kg/K	(34)
13	$D_1, D_2, D_3, \dots, D_{n+1}$	Quán tính nhiệt của các lớp 1, 2, 3, ..., $n + 1$ của nền nhà		(16), (17), (18)
14	G_{TB}	Khối lượng của thiết bị	kg	(19)
15	I	Entanpy của không khí	kJ/kg	(34)
16	I_N, I_T	Entanpi của không khí bên ngoài diễn biến theo giờ trong ngày và bên trong nhà	kJ/kg	(31), (37)
17	k_i	Hệ số kể đến phần trăm số người ở trong phòng vào giờ i		(28)
18	k_i	Hệ số kể đến phần trăm sử dụng chiếu sáng vào giờ i		(29)
19	k_i	Hệ số kể đến phần trăm sử dụng thiết bị trong giờ i		(30)
20	$L_{ngoài}$	Tiêu chuẩn gió ngoài/đầu người nhân với số người	m ³ /h	(37)
21	L_{ro}	Lượng gió rò vào nhà	m ³ /h	(31)
22	n	Số người làm việc trong phòng	người	(28)

STT	Ký hiệu	Chú giải	Đơn vị	Công thức
23	N	Công suất của thiết bị	W	(30)
24	N_s	Tổng công suất đèn	W	(29)
25	p_{hn}	Áp suất hơi nước của không khí ngoài diễn biến theo giờ	kPa	(32), (33)
26	q'_{TaD}	Cường độ tán xạ chiếu đến mặt phẳng đứng cùng hướng như mặt kính 'b' đối diện với mặt kính 'a'	W/m ²	(7)
27	q'_{TaN}	Cường độ tán xạ chiếu đến mặt phẳng ngang cùng hướng như mặt kính 'b' đối diện với mặt kính 'a'	W/m ²	(7)
28	q'_{TrD}	Cường độ trực xạ chiếu đến mặt phẳng đứng cùng hướng như mặt kính 'b' đối diện với mặt kính 'a'	W/m ²	(6)
29	q'_{TrN}	Cường độ trực xạ chiếu đến mặt phẳng ngang cùng hướng như mặt kính 'b' đối diện với mặt kính 'a'	W/m ²	(6)
30	$Q_{CS,i}^c$	Lượng nhiệt chung truyền qua cửa sổ thứ i	W	(1), (2)
31	$Q_{CS,i}$	Lượng nhiệt BXMT cực đại truyền qua CS thứ i	W	(2), (3)
32	$Q_{CS,\Delta t}$	Lượng nhiệt truyền vào phòng qua cửa sổ (kính) do chênh lệch nhiệt độ	W	(20)
33	Q_d	Lượng nhiệt tỏa ra do thiết bị điện	kW	(30), (35)
34	$Q_{Lạnh}$	Năng suất lạnh tính toán của hệ thống ĐHKK	kW	(36)
35	Q_n	Lượng nhiệt do người tỏa ra	kW	(28), (35)
36	q_o	Lượng nhiệt toàn phần do 1 người tỏa ra trong 1 giờ	W/h.người	(28)
37	Q_{op}	Lượng nhiệt truyền qua bức tường không xuyên sáng thứ i	W	(1), (22)
38	Q_{kc}	Lượng nhiệt truyền vào nhà qua kết cấu bao che	W	(1)
39	Q_{ro}	Lượng nhiệt cần để xử lý không khí ngoài do rò gió	kW	(31), (35)
40	Q_s	Lượng nhiệt tỏa ra do chiếu sáng	kW	(29), (35)
41	$Q_{\Delta t}$	Lượng nhiệt truyền qua cửa sổ do chênh lệch nhiệt độ	W	(2)
42	q_{Ta}	Cường độ tán xạ của BXMT	W/m ²	(3)
43	q_{TaD}	Cường độ tán xạ chiếu đến mặt phẳng đứng cùng hướng mặt kính 'a'	W/m ²	(5)
44	q_{TaN}	Cường độ tán xạ chiếu đến mặt phẳng ngang cùng hướng mặt kính 'a'	W/m ²	(5)
45	q_{Tg}^{TB}	Cường độ BXMT tổng của q_{Tr} và q_{Ta} trung bình 24h trên bề mặt KCBC vào tháng 7 của hướng và Địa phương tính toán	W/m ²	(22)

STT	Ký hiệu	Chú giải	Đơn vị	Công thức
46	$Q_{Thừa}$	Nhiệt thừa của phòng	kW	(35), (36)
47	q_{Tr}	Cường độ trực xạ của BXMT	W/m ²	(3)
48	$q_{Tr,ng}$	Cường độ BCMT chiếu đến mặt phẳng nghiêng	W/m ²	(4)
49	q_{TrD}	Cường độ trực xạ chiếu đến mặt phẳng đứng cùng hướng mặt kính 'a'	W/m ²	(4)
50	q_{TrN}	Cường độ trực xạ chiếu đến mặt phẳng ngang cùng hướng mặt kính 'a'	W/m ²	(4)
51	Q_{Yc}	Lượng nhiệt cần để xử lý không khí ngoài theo yêu cầu vệ sinh	kW	(36), (37)
52	$\sum R$	Tổng cộng nhiệt trở của các lớp vật liệu trong KCBC		(23), (24), (25), (26)
53	R_1, R_i	Nhiệt trở của lớp thứ 1 và lớp thứ i	m ² .°C/W	(10), (11), (12)
54	R_i, R_n	Nhiệt trở của bản thân lớp vật liệu thứ i và thứ n của nền nhà	m ² .°C/W	(16), (17)
55	$R_{O,CS,CM}$	Tổng nhiệt trở của cửa sổ hoặc cửa mái	m ² .°C/W	(13)
56	$R_{o,CS}$	Tổng nhiệt trở của CS	m ² .°C/W	(20), (21)
57	$R_{o,op}$	Tổng nhiệt trở của KCBC không xuyên sáng	m ² .°C/W	(22)
58	R_v	Nhiệt trở của phần các lớp vách ngăn được phân chia theo trục đối xứng	m ² .°C/W	(14)
59	S_1, S_i	Hệ số hàm nhiệt của vật liệu lớp 1 và lớp i	W/m ² .°C	(10), (11)
60	S_1	Hệ số hàm nhiệt của vật liệu lớp bề mặt nền	W/m ² .°C	(15)
61	$SHGC$	Hệ số nhận nhiệt BXMT của kính cửa sổ		(3)
62	S_i, S_n, S_{n+1}	Hệ số hàm nhiệt của vật liệu lớp thứ i, n và n + 1	W/m ² .°C	(16), (17), (18), (23)
63	S_v	Hệ số hàm nhiệt vật liệu của lớp trên vách phân chia làm đôi của vách ngăn	W/m ² .°C	(14)
64	L_{ro}	Nhiệt độ không khí ngoài	°K	(32)
65	t	Nhiệt độ của không khí	°C	(34)
66	t_N^{TT}	Nhiệt độ tính toán của không khí bên ngoài, ứng với cấp ĐHKK và giờ trong ngày-đêm của Địa phương tính toán	°C	(20)
67	t_N^{TB}	Nhiệt độ trung bình của không khí bên ngoài	°C	(21)
68	t_T	Nhiệt độ không khí trong phòng	°C	(20)

STT	Ký hiệu	Chú giải	Đơn vị	Công thức
69	ν_a	Hệ số tắt dần dao động nhiệt độ khi dòng nhiệt đi qua KCBC có lớp không khí		(24), (26)
70	ν_e	Hệ số tắt dần dao động nhiệt độ khi dòng nhiệt đi qua KCBC nhiều lớp		(24), (25),
71	$\sum Y$	Hệ số hàm nhiệt tổng của KCBC và thiết bị trong phòng	W/°C	(8)
72	$Y_1, Y_2, ..., Y_n, Y_{TB}$	Hệ số hàm nhiệt của cửa sổ, tường, vách ngăn, mái, sàn nhà và thiết bị	W/m ² .°C	(8)
73	Y_1, Y_i, Y_{i-1}	Hệ số hàm nhiệt bề mặt ngoài của các lớp 1, i và $i - 1$	W/m ² .°C	(10), (11), (23)
74	$Y_{CS,CM}$	Hệ số hàm nhiệt của cửa sổ, cửa mái kính	W/m ² .°C	(13)
75	Y_i, Y_n	Hệ số hàm nhiệt bề mặt của lớp nền thứ i và thứ n	W/m ² .°C	(16), (17)
76	$Y_{nền}$	Hệ số hàm nhiệt của nền nhà	W/m ² .°C	(15)
77	Y_{TB}	Hệ số hàm nhiệt của thiết bị bên trong phòng	W/m ² .°C	(19)
78	Y_v	Hệ số hàm nhiệt của vách ngăn	W/m ² .°C	(14)
79	γ	Mật độ của không khí ngoài diễn biến theo giờ trong ngày	kg/m ³	(31), (32)
80	δ_1, δ_i	Bề dày của lớp vật liệu thứ 1 và thứ i	m	(12)
81	ε	Độ trễ dao động nhiệt độ (lệch pha) khi dòng nhiệt xuyên qua KCBC		(27)
82	η_1	Hệ số kể đến phần nhiệt tỏa vào phòng		(29)
83	η_2	Hệ số sử dụng đèn chiếu sáng		(29)
84	λ_1, λ_i	Hệ số dẫn nhiệt của lớp vật liệu thứ 1 và thứ i	W/m.°C	(12)
85	β	Hệ số giảm nhiệt BXMT truyền qua CS		(3)
86	α	Góc nghiêng của mặt kính so với mặt phẳng ngang	độ	(4)
87	α_T	Hệ số trao đổi nhiệt bề mặt trong của KCBC	W/m ² .°C	(13)
88	α_N, α_T	Hệ số trao đổi nhiệt bề mặt ngoài và trong của KCBC	W/m ² .°C	(22)
89	Δ	Chỉ số về cường độ trao đổi nhiệt đối lưu trong phòng	m	(9)
90	θ_1	Hệ số tính độ chênh nhiệt độ tính toán từng giờ so với nhiệt độ trung bình		(21)
91	θ_2	Hệ số tính độ chênh nhiệt độ tính toán từng giờ so với nhiệt độ trung bình		(22)
92	ρ	Hệ số hấp thu nhiệt BXMT của bề mặt KCBC		(22)

STT	Ký hiệu	Chú giải	Đơn vị	Công thức
93	β_K	Hệ số KCBC		(22)
94	ν	Hệ số tắt dần dao động nhiệt độ khi dòng nhiệt đi qua KCBC		(22), (23)
95	μ_1	Hệ số sử dụng công suất lắp đặt thiết bị		(30)
96	μ_2	Hệ số làm việc không đồng thời của thiết bị		(30)
97	μ_3	Hệ số kể đến độ nhận nhiệt của môi trường		(30)

3. Xây dựng phương pháp tính toán tải lạnh – tải nhiệt theo chế độ không ổn định

3.1. Tính toán lượng nhiệt truyền vào nhà qua kết cấu bao che

Lượng nhiệt Q_{kc} , W truyền vào nhà do BXMT qua cửa sổ kính (về sau gọi tắt là cửa sổ - CS) và bức tường không xuyên sáng (op) được tính từng thời điểm trong ngày của tháng nóng nhất trong năm (tháng 7 - đối với Hà Nội và một số địa phương khác) theo công thức:

$$Q_{kc} = \sum_{i=1}^n Q_{CS,i}^c + \sum_{i=1}^m Q_{op,i} \quad (1)$$

Đại lượng cần tìm là cường độ dòng nhiệt lớn nhất được chọn từ lượng nhiệt truyền vào nhà hàng giờ tính được trong ngày (24 giờ) của tháng tính toán.

a. Lượng nhiệt truyền vào nhà qua cửa sổ

- Do BXMT:

Lượng nhiệt chung $Q_{CS,i}^c$ bao gồm BXMT và chênh lệch nhiệt độ truyền qua CS thứ i được xác định như sau:

$$Q_{CS,i}^c = Q_{CS,i} \times a_{ht} + Q_{\Delta t} \quad (2)$$

Lượng nhiệt BXMT cực đại truyền qua CS thứ i :

$$Q_{CS,i} = (q_{Tr} + q_{Ta}) \times SHGC \times \beta \times A_{CS} \quad (3)$$

Cường độ BXMT chiếu đến mặt phẳng nghiêng:

+ Đối với mặt kính ‘a’ khi $0 \leq A_{S,CS} \leq 90$ độ hoặc khi $270 \leq A_{S,CS} \leq 360$ độ:

$$q_{Tr,ngh} = q_{TrN} \times \cos \alpha + q_{TrD} \times \sin \alpha \quad (4)$$

$$q_{Ta,ngh} = q_{TaN} \times \cos \alpha + q_{TaD} \times \sin \alpha \quad (5)$$

+ Đối với mặt kính ‘b’ khi $90 \leq A_{S,CS} \leq 270$ độ hoặc khi $270 \leq A_{S,CS} \leq 360$ độ:

$$q_{Tr,ngh} = q'_{TrN} \times \cos \alpha + q'_{TrD} \times \sin \alpha \quad (6)$$

$$q_{Ta,ngh} = q'_{TaN} \times \cos \alpha + q'_{TaD} \times \sin \alpha \quad (7)$$

Khi tính theo các công thức (4) và (6) nếu trị số $q_{Tr} < 0$ thì nhận $q_{Tr} = 0$, bởi vì trong trường hợp đó mặt kính nằm trong bóng râm. Chỉ số hấp thụ nhiệt BXMT ‘ a_{ht} ’ trong công thức (2) biểu thị mức hấp thụ nhiệt BXMT của KCBC và thiết bị bên trong nhà, sau đó truyền cho không khí trong phòng

bằng đối lưu. Chỉ số a_{ht} được xác định theo lý thuyết của Sklover và được lập thành bảng tra, nó phụ thuộc vào $\sum Y/\Delta$:

$$\sum Y = Y_1 A_1 + Y_2 A_2 + Y_3 A_3 + \dots + Y_n A_n + Y_{TB} \quad (8)$$

$$\Delta = 2,55 (A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n + A_{TB}) \quad (9)$$

Hệ số hàm nhiệt Y của tường hoặc mái nhà được tính toán tuần tự từng lớp từ trong ra ngoài (số thứ tự của các lớp vật liệu của tường hoặc mái được đánh số từ trong ra ngoài):

+ Hệ số hàm nhiệt bề mặt ngoài của lớp vật liệu có quán tính nhiệt $D \geq 1$ được nhận bằng hệ số hàm nhiệt S ($W/m^2 \cdot ^\circ C$), của vật liệu thuộc lớp đó. Lưu ý $1 \text{ kcal}/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C = 1,163 \text{ W}/m^2 \cdot ^\circ C$.

+ Nếu lớp vật liệu tường có quán tính nhiệt $D < 1$ thì hệ số hàm nhiệt mặt ngoài của nó phải được tính toán bắt đầu từ lớp thứ 1 kể từ trong ra ngoài theo các công thức sau:

• Đối với lớp thứ 1:

$$Y_1 = \frac{R_1 S_1^2 + \alpha_T}{1 + R_1 S_1} \quad (10)$$

• Đối với lớp thứ i tiếp theo:

$$Y_i = \frac{R_i S_i^2 + Y_{i-1}}{1 + R_i Y_{i-1}} \quad (11)$$

$$R_1 = \delta_1 / \lambda_1, R_i = \delta_i / \lambda_i \quad (12)$$

Xác định hệ số hàm nhiệt của cửa sổ, cửa mái kính, vách ngăn:

+ Đối với cửa sổ (CS) và cửa mái (CM) - bằng kính:

$$Y_{CS,CM} = I / (R_{O,CS,CM} - I / \alpha_T) \quad (13)$$

+ Đối với vách ngăn được tính toán cho 1/2 bề dày của nó theo công thức:

$$Y_V = R_V S_V^2 \quad (14)$$

Hệ số hàm nhiệt của nền nhà (số thứ tự của các lớp nền được tính từ trong phòng hướng xuống lòng đất):

+ Nếu lớp phủ bề mặt nền nhà có quán tính nhiệt $D_1 = R_1 S_1 \geq 0,5$, hệ số hàm nhiệt bề mặt nền nhà $Y_{nền}$ được xác định theo công thức:

$$Y_{nền} = 2 S_1 \quad (15)$$

+ Khi n lớp đầu tiên của nền ($n > 1$) có tổng quán tính nhiệt $D_1 + D_2 + \dots + D_n < 0,5$; nhưng quán tính nhiệt của $n + 1$ lớp $D_1 + D_2 + \dots + D_n + D_{n+1} \geq 0,5$ thì hệ số hàm nhiệt bề mặt của nền nhà $Y_{nền}$ cần được tính toán tuần tự từ lớp thứ n đến lớp 1.

• Đối với lớp thứ n :

$$Y_n = \frac{2 R_n S_n^2 + S_{n+1}}{0,5 + R_n S_{n+1}} \quad (16)$$

• Đối với lớp thứ i :

$$Y_i = \frac{4 R_i S_i^2 + Y_{i+1}}{1 + R_i Y_{i+1}} \quad (17)$$

$$D_i = R_i S_i \quad (18)$$

Hệ số hàm nhiệt bề mặt nền nhà $Y_{nền}$ được nhận bằng hệ số hàm nhiệt bề mặt của lớp 1 là Y_1 .

$$Y_{TB} = \frac{\pi}{24 \times 3600} c_{TB} \times G_{TB} = 3,6 \times 10^{-5} c_{TB} G_{TB} \quad (19)$$

trong đó c_{TB} là nhiệt dung riêng của vật liệu thiết bị (J/kg.°C); G_{TB} là khối lượng của thiết bị (kg). Đối với kim loại ta có nhiệt dung riêng là 481,5 J/kg.°C; Đối với gỗ thông, gỗ dán 2500 (J/kg.°C);

Lưu ý: Để xác định lượng nhiệt do BXMT truyền vào phòng hàng giờ qua CS phải dùng Bảng 1 tìm thời điểm bắt đầu của trực xạ Z_{Tr} và thời gian kéo dài của trực xạ ΔZ_{Tr} chiếu đến bề mặt của kính của phòng. Sau đó theo Bảng mẫu 1, căn cứ vào trị số ΔZ_{Tr} đã tìm được (Tiêu đề trên từng khối của bảng 5: $\Delta Z_{Tr} = 4h; \Delta Z_{Tr} = 6h; \dots$), theo dòng ứng với trị số $\sum Y/\Delta$ của cột ngoài cùng bên trái của bảng, tra được trị số a_{ht} ở cột Z Bảng 5 của Phụ lục cho thời điểm bắt đầu của chuỗi trực xạ ΔZ_{Tr} . Ghi trị số này vào bảng tính ở vị trí ứng với thời điểm bắt đầu có Trực xạ Z_{Tr} trên CS hướng tính toán. Tiếp theo ghi các trị số a_{ht} trên dòng đã chọn ở các cột $Z + 1, Z + 2, \dots$ trong Bảng mẫu 1 vào các cột tiếp theo. Ghi tuần tự liên tục cho cho hết dòng rồi quay lại ghi tiếp vào các cột Z ban đầu còn trống trước cột $Z = Z_{Tr}$ của bảng tính. Nhân trị số $Q_{CS,i}$ tính được từ công thức (3) với hệ số a_{ht} từng thời điểm đã ghi ra trên bảng tính ta nhận được lượng nhiệt do BXMT truyền vào nhà hàng giờ qua CS thứ i .

- Lượng nhiệt truyền qua cửa sổ do chênh lệch nhiệt độ:

Lượng nhiệt truyền vào phòng qua cửa sổ (kính) do chênh lệch nhiệt độ được xác định theo công thức sau:

$$Q_{CS,\Delta t} = (t_N^{TT} - t_T) \times A_{CS} / R_{o,CS} \quad (20)$$

hoặc

$$Q_{CS,\Delta t} = (t_N^{TB} + \theta_1 A_{tN} - t_T) \times A_{CS} / R_{o,CS} \quad (21)$$

b. Lượng nhiệt truyền vào phòng qua KCBC không xuyên sáng (op)

Lượng nhiệt Q_{op} truyền vào phòng qua KCBC không xuyên sáng (tường, mái - opaque) ở thời điểm tính toán được xác định theo công thức:

$$Q_{op} = \left[\frac{1}{R_{o,op}} \left(t_N^{TB} + \rho \frac{q_{Tg}^{TB}}{\alpha_N} - t_T \right) + \frac{\beta_K \times T}{v} \left(\theta_1 A_{tN} + \frac{\rho}{\alpha_N} \theta_2 A_{qTg} \right) \right] \times A_{op} \quad (22)$$

trong đó ρ, α_N, α_T xem trong phụ lục của [15].

- Hệ số tắt dần dao động nhiệt độ v khi dòng nhiệt đi qua KCBC:

+ Công thức đầy đủ - theo CII 50.13330.2012 (thay cho СНиП II-3-79**) của Nga:

$$v = 0,9 e^{\frac{\Sigma D}{\sqrt{2}}} \times \frac{(S_1 + \alpha_T)(S_2 + Y_1) \dots (S_n + Y_{n-1})(\alpha_N + Y_n)}{(S_1 Y_1)(S_2 Y_2) \dots (S_n Y_n) \alpha_N} \quad (23)$$

+ Công thức rút gọn của Bogoslovsky V.N.:

$$v = 2^{\Sigma D} \left(0,83 + 3 \frac{\Sigma R}{\Sigma D} \right) v_e v_a \quad (24)$$

Đối với KCBC nhiều lớp:

$$v_e = 0,85 + 0,15 \frac{S_2}{S_1} \quad (25)$$

Đối với KCBC có lớp không khí:

$$v_a = 1 + 0,5R_a \frac{\sum D}{\sum R} \quad (26)$$

Trong các công thức (22) đến (25): $\sum R = \sum (\delta_i / \lambda_i)$ là tổng cộng nhiệt trở của các lớp vật liệu trong KCBC (m².oC/W); $\sum D = \sum (R_i S_i)$ là quán tính nhiệt tổng cộng của các lớp vật liệu trong KCBC; S_1, S_2 là hệ số hàm nhiệt của vật liệu lớp 1 và 2 theo chiều dòng nhiệt (W/m²/oC);

- Độ trễ dao động nhiệt độ (lệch pha) ε khi dòng nhiệt xuyên qua KCBC:

$$\varepsilon = 2,7 \sum D - 0,4 \quad (27)$$

3.2. Tính toán lượng nhiệt tỏa vào nhà

a. Tỏa nhiệt do người

Lượng nhiệt do người tỏa ra được xác định theo công thức sau:

$$Q_n = k_i n q_o / 1000 \quad (28)$$

Lưu ý rằng n_i sẽ phụ thuộc và lịch và chế độ hoạt động của người trong tòa nhà.

b. Tỏa nhiệt do chiếu sáng

Lượng nhiệt tỏa ra do chiếu sáng được xác định theo công thức:

$$Q_s = k_i N_s \eta_1 \eta_2 / 1000 \quad (29)$$

c. Tỏa nhiệt do thiết bị

Lượng nhiệt tỏa ra do thiết bị dùng điện được xác định theo công thức:

$$Q_d = N k_i \mu_1 \mu_2 \mu_3 / 1000 \quad (30)$$

d. Tính toán lượng nhiệt để xử lý gió ngoài do rò gió

Lượng nhiệt cần xử lý không khí ngoài do rò gió diễn biến theo giờ trong ngày được xác định theo công thức sau:

$$Q_{ro} = \gamma L_{ro} \times (I_N - I_T) / 3600 \quad (31)$$

Mật độ không khí ngoài diễn biến theo giờ được xác định theo công thức sau:

$$\gamma = (1/T) (3,483B - 1,316p_{hm}) \quad (32)$$

$$d = 622p_{hm} / (B - p_{hm}) \quad (33)$$

$$I = 1,005t + (2500 + 1,8066t)d \times 10^{-3} \quad (34)$$

3.3. Tổng kết nhiệt thừa

Tổng nhiệt thừa của phòng theo từng giờ trong ngày được xác định theo công thức:

$$Q_{Thừa} = Q_{kc} + Q_N + Q_S + Q_d + Q_{ro} \quad (35)$$

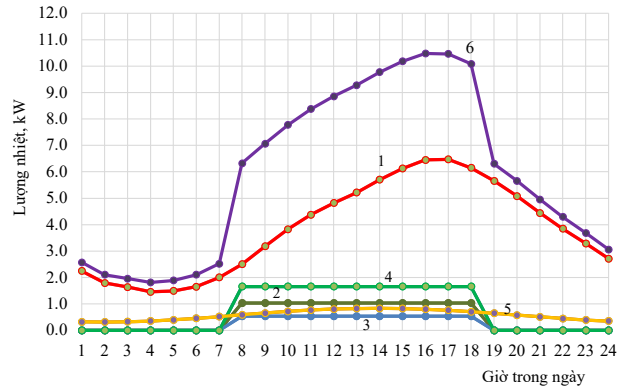
Hình 1 dưới đây minh họa đường tổng nhiệt thừa và các tải khi tính toán theo giờ của một văn phòng rộng 72 m² tại Hà Nội.

3.4. Năng suất lạnh tính toán của hệ thống ĐHKK

Năng suất lạnh theo từng giờ trong ngày của hệ thống ĐHKK được xác định theo công thức:

$$Q_{Lạnh} = Q_{Thừa} + Q_{Yc} \quad (36)$$

$$Q_{Yc} = \gamma L_{ngoài} \times (I_N - I_T) / 3600 \quad (37)$$

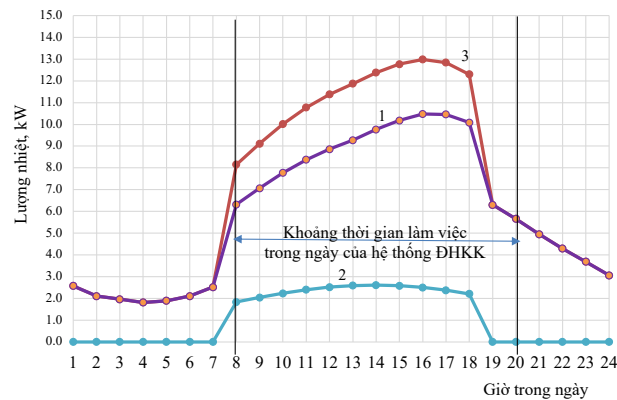


1- Lượng nhiệt truyền qua KCBC (Tường – mái, Cửa sổ); 2- Lượng nhiệt tỏa do người; 3- Lượng nhiệt tỏa do chiếu sáng; 4- Lượng nhiệt tỏa do thiết bị; 5- Lượng nhiệt tổn thất do rò gió; 6- Tổng nhiệt thừa

Hình 1. Mẫu biểu đồ tổng lượng nhiệt thừa của phòng tính toán

Các giá trị của γ , I_N và I_T được xác định hoàn toàn tương tự như mục 2.2d.

Hình 2 minh họa đường tổng năng suất lạnh tính toán theo giờ của một văn phòng rộng 72 m² tại Hà Nội.



1- Tổng nhiệt thừa tính toán trong phòng; 2- Lượng nhiệt cần xử lý không khí ngoài theo yêu cầu vệ sinh; 3- Năng suất lạnh của hệ thống ĐHKK

Hình 2. Mẫu biểu đồ năng suất lạnh (tải lạnh) của hệ thống ĐHKK

4. Kết luận

Phương pháp tính toán tải lạnh - tải nhiệt theo chế độ không ổn định đã tích hợp được sự thay đổi của các thông số khí hậu cũng như điều kiện vận hành, đồng thời cũng kể đến quá trình tích trữ nhiệt trong kết cấu công trình theo từng thời điểm trong ngày.

- Lượng nhiệt do bức xạ mặt trời truyền vào nhà phù hợp với thực tế khi được tính toán theo từng giờ, và kể đến sự trễ nhiệt.

- Lượng nhiệt tỏa ra cho người, chiếu sáng và thiết bị đã được tính toán dựa trên điều kiện vận hành của công trình. Tại mỗi thời điểm tương ứng là các giờ trong ngày sẽ có sự hoạt động của con người, chiếu sáng và thiết bị là khác nhau.

- Lượng nhiệt tính toán để xử lý không khí ngoài cũng được tính toán theo từng giờ, phù hợp với hoạt động của con người theo chế độ vận hành và điều kiện không khí bên ngoài.

Đây là ưu điểm so với phương pháp truyền thống tính theo chế độ ổn định khi chỉ tính toán cho một thời điểm bất lợi nhất của từng thành phần nhiệt và phương pháp tính sử dụng phần mềm thương mại khi không kể đến sự trễ nhiệt.

Tuy nhiên, để thuận lợi hơn cho người dùng, phương pháp tính toán tải lạnh – tải nhiệt theo chế độ không ổn định cần được xây dựng thành phần mềm để quản lý cơ sở dữ liệu đầu vào và tự động hóa công tác tính toán.

Lời cảm ơn

Các tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Bộ Xây Dựng cho đề tài “Nghiên cứu xây dựng phương pháp tính toán tải lạnh tải nhiệt mới cho thiết kế hệ thống điều hòa không khí ở Việt Nam”, mã số RD 37-18.

Tài liệu tham khảo

- [1] Quang, T. N., He, C., Knibbs, L. D., De Dear, R., Morawska, L. (2014). [Co-optimisation of indoor environmental quality and energy consumption within urban office buildings](#). *Energy and Buildings*, 85: 225–234.
- [2] Bakirtas, T., Akpolat, A. G. (2018). [The relationship between energy consumption, urbanization, and economic growth in new emerging-market countries](#). *Energy*, 147:110–121.
- [3] Dat, M. V., Quang, T. N. (2018). [A study on energy consumption of hotel buildings in Vietnam](#). *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE)-NUCE*, 12(5):109–116.
- [4] Lượg, N. Đ., Nga, T. T. V., Hiệp, N. H., Giang, H. M., Minh, N. B. (2018). [Ứng dụng BIM để mô phỏng lượng nhiệt bức xạ mặt trời tác động lên một tòa nhà văn phòng ở thành phố Hà Nội](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐH XD*, 12(1):83–88.
- [5] Mackey, C. O., Wright, L. T. (1944). Periodic heat flow-homogeneous walls or roofs. *ASHVE Transactions*, 50(1994):293–312.
- [6] Mackey, C. O., Gay, N. R. (1952). Cooling load from sunlit glass. *ASHVE Transactions*, 58:321–330.
- [7] Mitales, G. P. (1972). Transfer function method of calculating cooling loads, heat extraction and space temperature: American Soc. Heat., Refrig. and Vent. Eng., Vol 14, No 12 (December 1972), pp 54–56. *ASHRAE Journal*, (12):52.
- [8] Rudoy, W., Duran, F. (1975). Development of an improved cooling load calculation method. *ASHRAE Transactions*, 2:19–69.
- [9] McQuiston, F. C., Spitler, J. D. (1992). *Cooling and heating load calculation manual*. ASHRAE Inc., Atlanta, GA.
- [10] Pellegrino, A., Verso, V. L., Cammarano, S., Aghemo, C. (2013). A graphical tool to predict the daylight availability within a room at the earliest design stages. *Proc. of CIE Centenary Conference*, France, 1250–1260.
- [11] Lợi, N. Đ. (2007). *Hướng dẫn thiết kế hệ thống điều hòa không khí*. Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [12] Hiệp, L. C. (2001). *Kỹ thuật điều hòa không khí*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [13] Chân, T. N. (1998). *Kỹ thuật thông gió*. Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội.
- [14] Chân, T. N. (2002). *Điều hòa không khí*. Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội.
- [15] Chính, V. C. (2015). *Điều hòa không khí và Thông gió*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [16] HVCVN (2016). [Hướng dẫn sử dụng phần mềm Heat Load](#). Truy cập ngày 27/02/2019.
- [17] HVCVN (2008). [Hướng dẫn sử dụng phần mềm Lats Load](#). Truy cập ngày 06/03/2019.
- [18] HVCVN (2008). [Hướng dẫn sử dụng phần mềm Trace 700](#). Truy cập ngày 06/03/2019.